

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira de Bejaia



Faculté de Technologie

Département de Mines et Géologie



Mémoire de fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme Master

Filière : Génie Minier

Option : Exploitation des Mines

Présenté par :

BOUZIDA Younes & AGOUNE Koussaïla

Thème :

Prédiction et amélioration de la qualité de la fragmentation des roches basée sur le modèle Kuz-Ram (modifié) sous Matlab

Soutenu le : 28 / 09 /2022

Devant le jury composé de :

Président	DJOUADI Fatiha	MAA	U.A.M.Bejaia
Encadrant	MAZARI Messaoud	MAA	U.A.M.Bejaia
Examineur	DJEZAIRI Omar	MAA	U.A.M.Bejaia

Promotion : 2021-2022

Remerciements

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr ; M, MAZARI, pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être menée à bonne portée. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Nous tenons également à remercier tous les membres du jury qui ont bien voulu consacrer à notre mémoire une partie de leur temps.

Nous remercions Mme ; F, DJOUADI pour avoir accepté de présider le jury.

Nos remerciements sont tout autant dédiés à l'examineur : Mr : O, DJEZAIRI pour le temps qu'il a consacré pour l'évaluation de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent aussi, à tout le personnel de la carrière d'agrégat de HACHEM (SPA NASR AGREG) en particulier : Le directeur de l'unité : Les ingénieurs responsables de l'exploitation du gisement de Mezaïdia

Nos vifs remerciements vont également à Mr. K, Aggoune pour tous ses aides.

Ces remerciements vont aussi au corps professoral et administratif de la faculté (Mines et Géologie), pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



B. Younes & A. Koussaïla -

Dédicace

Je dédie ce travail à

A la mémoire de mon Père : tu m'as toujours soutenu jusqu'à tes derniers moments de ta vie, j'aurai souhaité ta présence en ce moment pour partager ma joie avec toi, repose-toi en paix

A ma Mère : en vous, je vois la maman parfaite, toujours prête à se sacrifier pour le bonheur de ses enfants. Merci pour tout.

A mon épouse ZADI Thinhinane : Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

A mes chères sœurs : SABRINA & YASMINA et leurs enfants ILYAS, SARAH et LEA : pour leur soutien moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mon frère : BACHIR pour tous ses aides.

A tous mes amis, Mes collègues : A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



B. Younes -

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, qui mérite une grande estime, qu'ils trouvent ici l'accomplissement à tous les vœux et l'expression de ma profonde gratitude ainsi que le témoignage de mon affection et de ma tendresse.

A mon cher frère Abd Selam et ma chère sœur Meriem qui m'ont beaucoup aidé et poussé à arriver à ce que je le suis maintenant.

A la famille AGOUNE à tous mes amis ceux que j'ai partagés avec eux les meilleurs moments de ma vie.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

A tous ceux qui m'aiment pour de vrai.



- A.Koussaïla -

Prédiction et amélioration de la qualité de la fragmentation des roches basée sur le modèle Kuz-Ram modifié

Résumé

Dans le but d'améliorer le rendement des tirs des mines, ainsi que la qualité de fragmentation dans la carrière de Mezaidia (W. MASCARA), vu le taux élevé de blocs hors gabarit obtenu dans la masse rocheuse abattue. Nous allons procéder à la vérification et l'estimation des résultats des tirs exécutés dans la carrière, par utilisation des deux méthodes les plus répandues dans les mines et carrières, il s'agit de traitement d'image par le logiciel WipFrag, ensuite par estimation à l'aide du modèle Kuz-Ram.

Afin d'effectuer les modifications nécessaires dans les plans de tir, l'utilisation du modèle Kuz-Ram modifié est une alternative simple et efficace pour la prédiction des résultats des tirs, sur lequel on se base par une étude inverse d'un multiples de cas de maille, et de choisir la maille correspond au meilleur rendement de tir.

Mot clés : Mezaidia (W. MASCARA), fragmentation, traitement d'image, WipFrag, Kuz-Ram.

Abstract

The aim of improving the yield of blasting from the mines, as well as the quality of fragmentation in the Mezaidia quarry (W. MASCARA), given the high rate of out-of-gauge blocks obtained in the blasted rock mass. We are going to verify and estimate the results of the shots carried out in the quarry, using the two most popular methods in mines and quarries, this is image processing by the WipFrag software, then by estimation using the Kuz-Ram model.

To make the necessary modifications in the firing plans, the use of the modified Kuz-Ram model is a simple and effective alternative for the prediction of the results of the firings, on which we base ourselves by an inverse study of a multiple of mesh case, and to choose the mesh corresponds to the best shooting performance.

Keywords: Mezaidia (W. MASCARA), fragmentation, image processing, WipFrag, Kuz-Ram.

المخلص

بهدف تحسين إنتاجية التفجير في المناجم، وكذلك جودة التجزئة في مقلع المزيديا (و.معسكر)، بالنظر إلى المعدل العالي للكنتل خارج العيار التي تم الحصول عليها في كتلة الصخور المنفجرة. نقوم بالتحقق من نتائج التفجير المنفذة في المحجرة وتقديرها، باستخدام الطريقتين الأكثر شيوعاً في المناجم والمحاجر، وهي معالجة الصور بواسطة برنامج (WipFrag) ثم عن طريق التقدير باستخدام نموذج (Kuz-Ram).

من أجل إجراء التعديلات اللازمة في خطط التفجير، فإن استخدام نموذج (Kuz-Ram) المعدل هو بديل بسيط وفعال للتنبؤ بنتائج عمليات التفجير، والتي نبني أنفسنا عليها من خلال دراسة عكسية للعديد من حالات الشبكة، واختيار الشبكة يتوافق مع أفضل أداء للتفجير.

كلمات مفتاحية: مزايدية (و.معسكر)، التجزئة، معالجة الصور، (WipFrag، Kuz-Ram).

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dedicace

Sommaire

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction generale 1

Chapitre I

Cadre physique du gisement

Introduction 4

I.1. Localisation géographique 4

I.2. Données géologiques..... 5

I.2.1. stratigraphie de la région **Erreur ! Signet non défini.**

I.2.1.1. Quaternaire 5

I.2.1.2. Néogène..... 6

I.2.1.3. Paléogène 6

I.2.1.4. Crétacé..... 6

I.2.1.5. Jurassique 7

I.2.1.6. Trias..... 7

I.2.2. Cadre géologique local..... 8

I.2.3. Climat 8

I.2.3.1. Pluviométrie 8

I.2.3.2. Température 9

I.2.3.3. Vents..... 9

I.2.4. L'hydrologie et l'hydrogéologie 9

Conclusion..... 10

Chapitre II

Caracterisation du massif rocheux

Introduction 12

II.1. Structure géométrique du massif rocheux..... 12

II.1.1. Discontinuité structurale 12

II.1.2. Les types de discontinuités 12

II.1.2.1. Schistosité 12

II.1.2.2. Les diaclases 13

Sommaire

II.1.2.3. Les failles	14
II.1.2.4. Les fractures.....	14
II.1.2.5. Les fissures.....	15
II.1.2.6. Les joints sédimentaires	15
II.2. Propriétés physico-mécaniques des roches	16
II.2.1. Les propriétés physiques de la roche	16
II.2.1.1. La porosité	16
II.2.1.2. La teneur en eau	16
II.2.1.3. La perméabilité	16
II.2.1.4. La masse volumique	17
II.2.1.5. Degré de saturation	17
II.2.1.6. Le degré de fissuration des roches	17
II.2.2. Propriétés mécaniques des roches.....	18
II.2.2.1. Résistance à la compression.....	18
II.2.2.2. Résistance à la traction.....	18
II.2.2.3. La dureté	19
II.2.2.4. L'abrasivité	20
II.2.2.5. Densité	20
II.2.2.6. Module de Young (Elasticité).....	21
II.3. Propriétés et caractéristiques de la roche de calcaire du gisement de Mzaidia	21
II.3.1. Analyses physiques.....	21
II.3.1.1. Essai de Los Angeles (NF EN 18-573).....	21
II.3.1.2. Essai de Micro-Deval (NFP 18-572)	21
II.3.1.3. La résistance à la compression simple (NFP 94-420).....	22
II.3.1.4. La densité apparente (NFP 94-064)	22
II.3.1.5. Composition chimique des calcaires.....	22
Conclusion	23

Chapitre III

Outils de prediction de la qualite de fragmentation a savoir : kuz-ram & wipfrag

Introduction	25
III.1. Paramètres d'un plan de tir.....	25
III.1.1. définition des paramètres géométriques	Erreur ! Signet non défini.
III.1.2. Paramètres liés aux trous	25
III.1.2.1. Diamètre du trou.....	25

Sommaire

III.1.2.2. Longueur du trou	26
III.1.2.3. La hauteur du gradin.....	26
III.1.2.4. L'excès de forage (sous forage).....	26
III.1.2.5. L'inclinaison du trou	27
III.1.2.6. Les déviations des trous.....	28
III.1.2.6.1. Causes relatives à l'outil de forage.....	28
III.1.2.6.2. Causes relatives aux massifs.....	29
III.1.2.6.3. Causes relatives à l'opérationnel	29
III.1.3. Paramètres liés au bourrage	29
III.1.3.1. Hauteur du bourrage et sa disposition dans les trous.....	29
III.1.3.2. Qualité du matériau de bourrage	30
III.1.3.3. Indice de tirabilité.....	30
III.2. Paramètres énergétiques	33
III.2.1. Consommation spécifique de l'explosif	33
III.2.2. Energie de l'explosif.....	34
III.2.3. Puissance de l'explosif	35
III.2.4. Densité d'explosif.....	35
III.2.5. Vitesse de détonation.....	36
III.2.6. Influence de la construction des charges sur la qualité de fragmentation des roches	36
III.2.7. Longueur de la charge de colonne.....	36
III.2.8. Longueur de la charge de pied.....	37
III.3. Paramètres géométriques	37
III.3.1. Banquette.....	37
III.3.2. L'espacement.....	38
III.3.3. Rapport de maille.....	38
III.3.4. Présence des faces libres.....	40
III.4. Le modèle de Kuz-Ram.....	40
III.4.1. Généralité.....	40
III.4.2. Définition de modèle KUZ-RAM.....	41
III.4.3. Principe du fonctionnement.....	41
III.4.4. La taille moyenne des fragments	41
III.4.5. Indice d'uniformité	43
III.5. WipFrag	46

Sommaire

III.5.1. Définition.....	46
III.5.2. Principe de fonctionnement.....	46
Conclusion.....	47

Chapitre IV

Prediction et amelioration des resultats de tir de la carriere

Introduction	49
IV.1. Plan de tir réalisé dans la carrière de Mezaidia.....	49
IV.1.1. Schéma de tir.....	50
IV.1.2. Forme et dimensions de tas abattu	51
IV.2. Analyse des fragments (des résultats) obtenus après le tir avec l'utilisation de logiciel d'analyse d'images (WipFrag).....	51
IV.2.1. Les étapes de traitement de logiciel WipFrag	51
IV.2.2. Affichage des résultats	53
IV.2.3. Discussion des résultats.....	54
IV.2.4. Evaluation du résultat par Kuz-Ram avec le plan de tir de Mezaidia.....	55
IV.2.4.1. Comparaison des résultats Kuz-Ram et WipFrag	56
IV.3. Réalisation à nouveau d'un plan de tir en utilisant le modèle de Kuz-Ram modifié. 56	
IV.3.1. Les données de base de fonctionnement de modèle Kuz-Ram modifié.....	57
IV.3.2. Algorithme représente le principe de fonctionnement du modèle Kuz-Ram modifié	59
IV.3.3. Evaluation des résultats du plan par le modèle Kuz-Ram modifié sous Matlab.....	60
IV.3.4. Discussions des résultats	61
Conclusion	63
Conclusion generale	64
References bibliographiques	67
Annexes.....	71

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation

B : Distance entre les rangées de trous, (m).

D : Densité de la charge.

DEI : Détonateur Electrique Instantané.

DMR : Détonateur Microretards.

Dtr : Diamètre de trou.

Es : Espacement, (m).

FFDD : Pente en direction de la force

Hg : Hauteur du gradin, (m).

JDD : Pente en direction de fissure.

JF : Facteur de joints.

JPO : Facteur d'orientation du plan de joints.

JPS : Facteur d'espacement entre la famille des joints.

Kgf/m². : Kilo gramme force par mètre carré.

Km : kilomètre

Lb : Longueur du bloc, (m).

Ntr : Nombre de trous forés, (trous).

q_s : Consommation spécifique d'explosif, (Kg/m³).

Qtr : Quantité de la roche abattue, (t).

Qtrou : Quantité de la roche abattue par un trou, (tonne/ trou).

RDI : Influence de la densité de la roche.

RMD : Facteur de description de la masse rocheuse.

RWS : Relative weight strength.

Liste d'abréviation

Vtr : Volume de roche abattu par un trou, (m^3 /trou).

α : Angle du talus du gradin en activité, ($^\circ$).

β : Inclinaison du trou par rapport à la verticale, ($^\circ$)

γ : Densité de la roche minéralisée.

ρ : Masse volumique de la roche, (t/m^3).

ρ : Masse volumique (kg/m^3 , g/cm^3).

UTM : projection transverse universelle de Mercator.

ONM : Office National de la Météorologie.

Mpa : Méga Pascal.

IAC : Indice d'Abrasivité Cerchar.

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les coordonnées UTM Nord Sahara fuseau 31 du périmètre délimitant le gisement.....	4
Tableau II.1 : Classification des roches en fonction de la porosité	16
Tableau II.2 : Classification des roches en fonction de leur résistance à la compression. ..	18
Tableau II.3 : Classification des roches en fonction de leur résistance à la traction	19
Tableau II.4 : L'abrasivité d'un certain type de roches [6]	20
Tableau II.5 : La composition chimique du calcaire de la carrière de « Mezaidia ».....	22
Tableau III.1 : Les différents paramètres de calcul du facteur de la roche d'après Cunningham (1987) [15]	31
Tableau III.2 : Résistance au tirage de quelques roches [17]	34
Tableau III.3 : Facteur de la masse rocheuse en fonction de la dureté.....	42
Tableau III.4 : Effet des paramètres de tir sur (n)	46
Tableau IV.1: Les paramètres essentiels du plan de tir de Mezaidia (avril – juillet).	49
Tableau IV.2: La répartition des roches abattu par le tir	55
Tableau IV.3: Comparaison des résultats de la distribution granulométrique de kuz-ram et wipfrag.....	56
Tableau IV.4: Les paramètres de base de fonctionnement de modèle Kuz-Ram.....	57
Tableau IV.5: Les résultats d'évaluation de logiciel WipFrag, Kuz-Ram et le logiciel Matlab.....	62

Liste des figures

Figure I.1 : Situation géographique du site.....	5
Figure I.2 : La carte géologique de la région [1]	7
Figure I.3 : Stratification des formations géologiques de carrière de Mezaidia.....	8
Figure II.1 : Disposition de la schistosité	13
Figure II.2 : Exemple d'une diaclase.....	13
Figure II.3: Exemple d'une faille	14
Figure II.4: Exemple d'une fracture	14
Figure II.5: Exemple d'une fissure	15
Figure II.6: Joints sédimentaires.....	16
Figure III.1 : Choix de couple diamètre de trou-hauteur de gradin. [11]	26
Figure III.2: Schéma représente l'excès de forage. [8].....	27
Figure III.3: Comparaison schématique de l'action probable des forces dans le pied d'un tir profond en vertical et avec inclinaison. [12]	28
Figure III.4 : Emploi de bourrage de bouchon et intermédiaire. [13]	30
Figure III.5 : La consommation spécifique en fonction de la banquette. [16]	33
Figure III.6: Dynamique de l'abattage	39
Figure III.7: Principaux types de mailles utilisés pour les tirs en ciel ouvert.....	40
Figure IV.1: Répartition de la charge explosive dans la carrière de Mezaidia.....	50
Figure IV.2: Forme et dimension de tas abattu	51
Figure IV.3: Organigramme montrant les étapes de traitement de logiciel WipFrag	51
Figure IV.4: Une photo de tas abattus dans la carrière Mezaidia.....	53
Figure IV.5: L'analyse des fragments sur WipFrag.	53
Figure IV.6: Courbe des résultats de la distribution granulométrique des fragments par WipFrag.....	54
Figure IV.7: Courbe granulométrique des résultats de tir.	55
Figure IV.8: Paramètres géométrique du massif rocheux	58
Figure IV.9: Courbes granulométrique des résultats de tir avec changement de la maille .	60
Figure IV.10: Courbe granulométrique optimale.	61

Introducción General

Les deux dernières décennies ont connu un développement considérable de la mécanisation dans les carrières, les mines et les travaux publics, et cela due à la suite de la croissance de la demande sans cesse des besoins en matière première. Face à cette situation, l'extraction des matières premières et matériaux de construction devient de plus en plus importantes, et devant la concurrence entre les sociétés, la maîtrise de l'utilisation des produits explosifs, constitue l'une des solutions adéquate pour l'extraction massive des gisements et à des coûts très avantageux, en comparaison avec l'extraction mécanique.

La fragmentation des roches massive joue un rôle essentiel dans la détermination de la viabilité économique des opérations minières. La détermination de la taille des fragments est généralement effectuée à l'aide du modèle Kuz-Ram ou/et de l'analyse d'images. Cependant, l'utilisation des paramètres de tir existants dans les carrières donne toujours des estimations très élevé des hors gabarit (dimension des fragments supérieur 80 cm^3). Dans cette étude on se base sur le modèle Kuz-Ram modifié d'une manière itérative jusqu'à l'arrivée à un optimum qui représente généralement un minimum des fragments hors gabarit, et aussi un minimum des fines (inferieur à 10 cm^3). Le modèle Kuz-Ram est simple à mettre en œuvre, tandis que la prédiction par analyse d'image est difficile à mettre en œuvre et coûteuse.

L'objectif de ce travail de fin d'étude est d'améliorer le rendement des tirs ainsi que la qualité de fragmentation dans la carrière de « Mezaidia », vu le taux élevé des blocs hors gabarit obtenus dans la masse rocheuse abattue. C'est dans ce contexte que nous allons mener cette étude d'optimisation des tirs dans cette carrière. Dans le premier temps, nous allons procéder à la vérification et l'estimation des résultats des tirs exécutés dans la carrière, par l'utilisation des deux méthodes les plus répandues dans les mines et carrières, il s'agit de traitement d'images par le logiciel WipFrag, ensuite par estimation à l'aide du modèle Kuz-Ram modifié.

Afin d'effectuer les modifications nécessaires dans le plan de tir, l'utilisation du modèle Kuz-Ram modifié est une alternative simple et efficace pour la prédiction des résultats des tirs, sur lequel on se base par une étude inverse d'un multiple cas de maille, et de choisir la maille qui correspond au meilleur rendement de tir. Pour se faire nous avons structuré notre mémoire de la façon suivant :

Introduction Générale

Le premier chapitre est consacré à la présentation du cadre géologique du site, dans lequel nous avons fait une synthèse des études géologiques du gisement concerné.

Le deuxième chapitre traite les propriétés et les caractéristiques physico-mécaniques des roches.

Le troisième chapitre est un récapitulatif sur les paramètres de tir, ainsi une présentation sur le logiciel de traitement d'images (WipFrag), aussi une généralité sur le modèle Kuz-Ram modifié. Ceux sont les deux outils qu'on aura besoin d'utiliser dans notre travail.

Après avoir achevé les trois précédents chapitres, on procède à la partie pratique de notre travail, qui consiste à étudier le plan de tir réalisé dans la carrière de « Mezaidia », puis analyser la distribution granulométrique après le tir. Pour enfin arriver au but principal qui sera l'application des résultats précédents à l'aide du modèle Kuz-Ram modifié (Cunningham 2020) sous logiciel de Matlab, pour modifier les paramètres nécessaires de la maille afin d'améliorer la fragmentation des roches.

Chapitre I
Cadre physique du
gisement

Introduction

Le présent chapitre a pour objet de montrer des caractéristiques physique du gisement ainsi que quelques données géologiques sur la carrière Mezaidia, commune de Hachem, (W.Mascara).

I.1. Localisation géographique

Le site de « Mezaidia » objet de cette étude, est situé à 6 km au Nord-Est de Hachem soit à 36 km au Sud-Est de Mascara. Et à 20 km à l'Est de Tighennif et à 15 km à l'Ouest d'Oued El Abtal.

Il est accessible par une piste carrossable qui la relie au CW35 située à 500 m au Nord. Le site d'étude d'une superficie de 10 hectares est délimité par un polygone à dix cotés, il est lié à la carte topographique Oued El Abtal NI-31-XIX_61 Ouest au 1/25000, les coordonnées du site sont projetées dans le système « Algérie Nord Sahara » (Clarke 1880) fuseau 31, et sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.1 : Les coordonnées UTM Nord Sahara fuseau 31 du périmètre délimitant le gisement.

Bornes	X (m)	Y (m)
1	277 200	3 918 520
2	277 420	3 918 520
3	277 420	3 918 500
4	277 500	3 918 500
5	277 500	3 918 400
6	277 600	3 918 400
7	277 600	3 918 200
8	277 300	3 918 200
9	277 300	3 918 300
10	277 200	3 918 300



Figure I.1 : Situation géographique du site

Le réseau routier est bien développé, le chemin de wilaya longe le site à 478m au Nord du site. Le site est encadré dans ses quatre points cardinaux par des routes ou chemin revêtus (goudronnés).

I.2. Données géologiques

Le territoire de la wilaya de Mascara a fait l'objet de recherches géologiques à grande échelle 1/50 000, et 1/200 000, où sont répertoriés les gites et les indices prometteurs en substances utiles.

I.2.1. Stratigraphie de la région

La stratigraphie se présente comme suit :

I.2.1.1. Quaternaire

Les plaines de Habra au Nord-Ouest et Ghriss au Sud-Ouest constituent les formations alluvionnaires et néritiques du quaternaire. Sur le plan lithologique ces

formations sont composées de limons, limons sablonneux, sable argileux, galets, poudings et grés. La puissance de ces formations varie entre 5 et 25m.

I.2.1.2. Néogène

Il est représenté par le Pliocène et le Miocène.

Le pliocène continental affleure dans divers endroits de la région : Mascara, Ghriss, Oggaz, et Hachem. Il est essentiellement constitué d'un matériel sableux-gréseux alternant avec des argiles, des poudings et des conglomérats. Sa puissance varie de 30 à 100m.

Le pliocène marin est moins développé que le fascié précédent. Il affleure localement au Nord de Mascara et d'Oggaz. Il est constitué de trois séries lithologiques :

- Série de calcaire gréseux et marnes.
- Série de marnes gris bleus et d'argiles carbonatées.
- Série gréseuse.

Le miocène est très développé et occupe la majeure partie de la wilaya de Mascara. On y distingue le pontien, le miocène terminal, le miocène supérieur et le miocène inférieur. Lithologiquement, ces étages sont constitués de haut en bas d'une alternance des séries de grés, de gypse tripolis, d'argiles fortement plastique, des marnes et de conglomérats. Sa puissance totale est de 1000 à 1200m.

I.2.1.3. Paléogène

Il est représenté par l'oligocène et l'éocène.

L'oligocène affleure au Nord de Hachem et de Bouhnifia. Sur le plan lithologique, il est constitué de marnes et d'argiles sableuse alternant avec des couches de grés friables et de calcaires marneux durs. Sa puissance dépasse 100m par endroits.

L'éocène apparaît au Nord de Bouhnifia et au Nord-Est de Tighnif. Il est composé de marnes blanches et grises, de calcaires blancs crayeux à filons et inclusions de nodules de silex noir, d'argiles bentonitoides et de grés quartziques. Sa puissance est de 200m.

I.2.1.4. Crétacé

Il est subdivisé en crétacé supérieur, crétacé moyen et crétacé inférieur.

Le crétacé supérieur apparaît à l'Est de Hacine dans les Monts de Béni Chougrane. Il est constitué de marnes grises avec des couches de calcaires noirs localement ferrugineux durs et microgrenus. Sa puissance dépasse les 200m.

Le crétacé moyen affleure au Nord de Mascara et au Nord Est de Tighennif. Il est constitué de marnes schisteuses alternant avec des couches de calcaire marneux, d'argilites stratifiés et de grés quartziques. Sa puissance est de 200m.

Le crétacé inférieur est développé au Nord de Fekan et dans la région de Hachem. Il composé de marnes et d'argilites gris bleuâtres schisteuses avec des couches de grés quartziques et nodules ferrugineux. En bas de série, les marnes alternent avec des couches de calcaires durs, microgrenue, gris foncé. Sa puissance est d'environ 200m.

I.2.1.5. Jurassique

Le jurassique affleure au Sud, Sud-Est et l'Est de Mascara, dans les massifs montagneux de Djebel Ouled Aouf, Djebel Koujil, Djebel Ahnaidja, et Djebel Boughadou.

Il est constitué de calcaire gris, crypto cristallins, compact durs, de marnes, d'argilites ferrugineuse, de grés quartziques, de passées lenticulaires de silex, de calcaire siliceux et de dolomies. Sa puissance dépasse 500m.

I.2.1.6. Trias

Le trias forme des structures diapiriques composées de roches diverses : schistes violacés, grés, quartzites, gypse, anhydride et dolomies. Ces structures sont très disloquées.

Le trias affleure légèrement à l'Est d'El Bordj et au Nord-Est de Hacine.

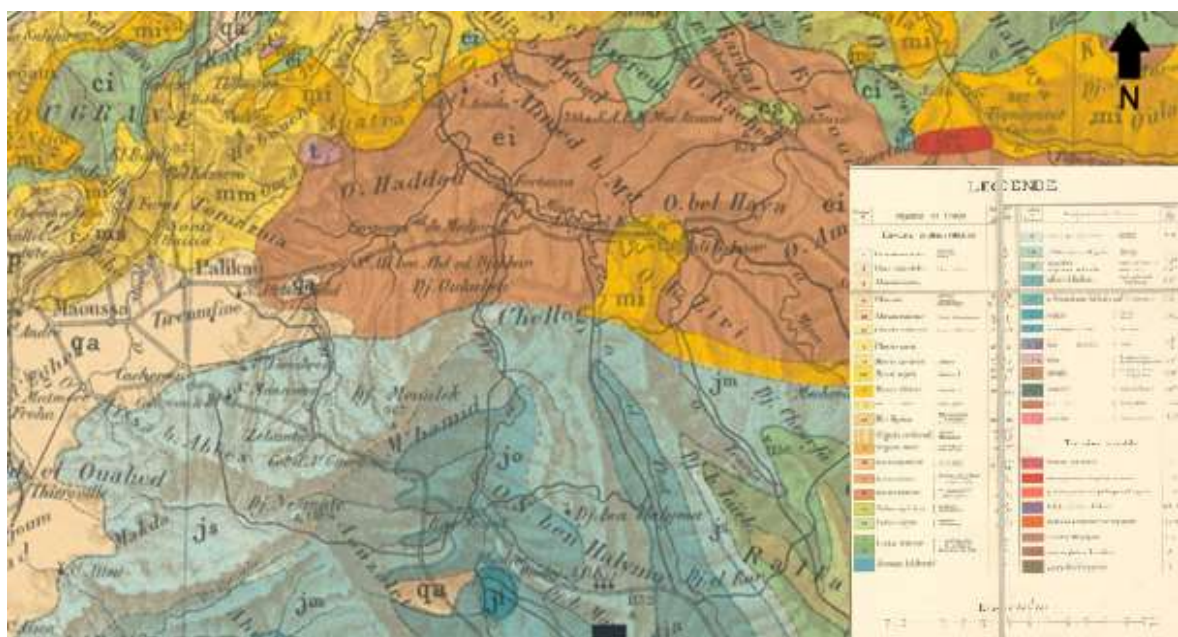


Figure I.2 : La carte géologique de la région [1]

I.2.2. Cadre géologique local

Le gisement de Mzaidia est formé d'une série de calcaire beiges. Ils affleurent en bancs décimétriques légèrement inclinés vers le Nord. Ils sont séparés par des joints de marnes grisâtres, verdâtres d'épaisseur centimétriques, décimétriques rarement métrique. Ces bancs de calcaire montrent les fracturations essentiellement sur le plan vertical. La couverture marneuse a une épaisseur moyenne de 2, 5 à 3, 0 m au sommet du site (Figure



I.3).

Figure I.3 : Stratification des formations géologiques de carrière de Mezaidia

I.2.3. Climat

Le climat de la wilaya est de type subhumide avec une tendance à la semi-aridité. Les étés sont chauds et secs, les hivers sont froids et relativement pluvieux.

I.2.3.1. Pluviométrie

La moyenne mensuelle de 22, 4 mm calculée pour les mois en allant de 1989 à 1999, traduit la faiblesse des précipitations sur la région de Mascara. En effet, les pluies débutent en automne (septembre) avec 14, 4 mm, elles atteignent une moyenne de 29, 8 mm en

Oct/Nov/Dec et 33, 7 mm en Jan/Fév/Mars/Avril. Dès le mois de mai les pluies se font de plus en plus rares qui atteignent la moyenne mensuelle de 3, 9 mm pour les mois de Juin/Juillet/Août. (Année : 1989 à 1999) [ONM].

I.2.3.2. Température

Le mois le plus frais de l'année est le mois de janvier avec 3°C (min) et 14°C (max) ; tandis que le plus chaud est le mois d'Août avec 18°C (mini) et 35°C (max).

I.2.3.3. Vents

Les vents les plus fréquents sont de direction dominante Sud/Sud-Est durant la période estivale (juin, juillet, août) et de direction dominante Est durant le reste de l'année.

Les vents sont généralement calmes et soufflent avec intensité moyenne annuelle enregistrée de 2, 5 m/s.

I.2.4. L'hydrologie et l'hydrogéologie

Deux grands oueds constituent principalement le réseau hydrographique de la wilaya de Mascara : Oued El Metbough et Oued El Hammam. Sur les cours de ces Oueds sont greffés les barrages de la wilaya en l'occurrence barrage El Fakia, barrage de Bouhnifia, et ceux de Chorfa et de Fergoug.

D'autres ressources hydriques sont signalées à travers la wilaya. Elles sont constituées par les retenues collinaires M'Hamid, Sidi Lakhdar, Sttouf et Khezour.

Le réseau hydrogéologique de la wilaya de Mascara est constitué par plusieurs niveaux aquifères dont le plus important sont :

- Le premier niveau se situe à la base de l'alluvion ancienne de la plaine de Ghriss.
- Le deuxième est situé à la base des grés pliocène : il s'agit de la nappe de Sidi Daho.
- Le troisième est situé à la base des grés helvétiques. A ce niveau, il existe plusieurs nappes dont le débit n'est pas assez important.
- Le quatrième niveau est situé à la base des grés oligocènes.[2]

Conclusion

D'après cette description géologique de la région, on conclut que notre gisement de Mezaidia a une formation de calcaire parfois marneux daté du crétacé inférieur. Ainsi que cette description nous a permis de bien savoir la localisation du site.

Les carrières en générale subissent l'influence des évènements climatiques, ce qui fait un grand impact sur le travail minier, tel que l'instabilité des talus produite par les hautes moyennes pluviométriques, et les puissances variés des vents. Ainsi que les températures qui influent souvent sur les moteurs des engins.

Chapitre II
Caractérisation du massif
rocheux

Introduction

Un **massif rocheux** tel que nous l'observons aujourd'hui résulte d'une longue histoire géologique, souvent complexe, qui comprend une phase de formation du matériau (dépôt et consolidation dans le cas d'une roche sédimentaire, cristallisation dans le cas d'une roche magmatique, etc.), une ou plusieurs phases de déformations tectoniques (avec formation de plis et de failles) et de transformations métamorphiques (foliation, recristallisation), et enfin une période d'altération météorique pour les parties proches de la surface.

Le massif rocheux comprend l'étude des caractéristiques géologiques globales qui s'agit de déterminer sur le terrain la complexité du massif dans son état naturel. Ce chapitre est porté sur la présentation générale des massifs rocheux et leurs caractéristiques, afin de simplifier l'étude par la suite du site objet de notre étude.

II.1. Structure géométrique du massif rocheux

Les massifs rocheux sont des structures très complexes formés d'une juxtaposition des matériaux hétérogène. Ils sont assimilés à un assemblage de blocs appelés matrice rocheuse qui sont délimités par des discontinuités constituées des fissures, des fractures, des failles ou encore des limites stratigraphiques.

II.1.1. Discontinuité structurale

On définit une discontinuité dans un massif rocheux par une surface qui interrompt la continuité physique du milieu sain, et qui ayant une résistance en tension négligeable dans une roche [3].

II.1.2. Les types de discontinuités

En géologie, il existe plusieurs catégories de discontinuités telles que :

II.1.2.1. Schistosité

Dans les roches métamorphiques, la forte compression a perturbé et transformé l'organisation des minéraux internes. Ceux-ci se sont alignés selon une direction orthogonale à la compression et ont entraîné la formation de plan de ruptures préférentielles. L'ardoise, qui est fondue selon cette schistosité, en est une bonne illustration. Ce sont généralement des lieux de grande déformabilité, où la rupture est plus

facile où l'eau circule plus facilement. Elles transforment l'état de contrainte du massif à leur proximité.



Figure II.1 : Disposition de la schistosité (Maurice Gidon, publiée sur <http://www.geol-alp.com>)

II.1.2.2. Les diaclases

une diaclase est réseau de fissures dans la roche de calcaire permettant l'infiltration de l'eau et provoquant des dolines. La diaclase qualifie aussi l'épisode géologique pendant lequel une roche va se fendre en deux sans déplacement de l'une ou de l'autre partie perpendiculairement au sens de stratification.



Figure II.2 : Exemple d'une diaclase (St Avaugourd.Vandee)

II.1.2.3. Les failles

Ce sont des fractures identiques aux diaclases mais qui ont entraîné un mouvement relatif des deux parties de la roche encaissante. Un glissement a donc eu lieu le long de cette faille. Leur longueur varie d'une dizaine de centimètres à plusieurs centaines de



kilomètres.

Figure II.3: Exemple d'une faille (claude monier, le 04/2008, publiée dans : theque.ac-aix-marseille.fr)

II.1.2.4. Les fractures

Elle est définie comme étant une cassure discrète dans une roche qui n'est pas parallèle avec une structure visible.



Figure II.4: Exemple d'une fracture (GCN6A4, alamy)

II.1.2.5. Les fissures

Elle est définie comme une discontinuité divisant un matériau continu sans séparation des unités géologiques du matériau. [4].



Figure II.5: Exemple d'une fissure (Image de Ahojdoma)

II.1.2.6. Les joints sédimentaires

Dans les roches sédimentaires, ce sont les joints séparant deux couches d'époques et



de conditions de dépôt différentes.

Figure II.6: Joints sédimentaires (Prise dans la carrière de Mezaidia le 18/05/2022)

II.2. Propriétés physico-mécaniques des roches

II.2.1. Les propriétés physiques de la roche

II.2.1.1. La porosité

C'est le rapport du volume des vides V_v de la roche au volume total V_t :

$$p = \frac{V_v}{V_t} * 100, [\%]$$

Tableau II.1 : Classification des roches en fonction de la porosité

La porosité (%)	La classe des roches
$0 < p < 5$	Roche de faible porosité
$5 < p < 10$	Roche de porosité moyenne
$10 < p < 20$	Roche de porosité élevée
$p > 20$	Roche de porosité très élevée

II.2.1.2. La teneur en eau

C'est le rapport de la masse d'eau M_w , à la masse du solide sec M_s :

$$W = \frac{M_w}{M_s} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s}$$

M_w : masse d'eau (g) ;

M_s : masse du matériau sec (g) ; M_{sat} : la masse d'où l'échantillon est saturé.

II.2.1.3. La perméabilité

On la caractérise par le coefficient de perméabilité K (filtration). Elle représente donc l'aptitude du matériau à laisser traverser par un liquide (l'eau).

Elle peut être déterminée à partir de la loi de Darcy qui, fait intervenir le débit (Q) traversant une surface (S) d'un matériau (échantillon) et le gradient hydraulique noté i :

$$K = \frac{Q}{S \cdot i} ; [m/s]$$

La plupart des roches ont des perméabilités très faibles. La perméabilité de la roche est régie par la porosité. La perméabilité est un paramètre très important dans l'étude des roches poreuses.

II.2.1.4. La masse volumique

C'est la masse de l'unité de volume de la roche (g/cm³). Suivant l'état du matériau, définit ρ_s la masse volumique absolue ou masse volumique du solide, ρ_h la masse volumique naturelle, ρ_d la masse volumique sèche et ρ_{sat} la masse volumique saturée

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s}; \rho_d = \frac{M_s}{V_t}; \rho_h = \frac{M_h}{V_t}; \rho_{sat} = \frac{M_{sat}}{V_t}; \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

Avec :

M_s : la masse du matériau sec; g.

V_s : le volume des grains après broyage; cm.

V_t : le volume de l'échantillon; cm³.

M_h : la masse naturelle; g.

M_{sat} : la masse de l'échantillon saturée; g.

II.2.1.5. Degré de saturation

Il est défini comme le rapport du volume de l'eau au volume des vides. Il s'exprime en pourcentage

$$S = \frac{V_w}{V_v} * 100; [\%]$$

Avec :

V_w : le volume de l'eau dans la roche (m³)

V_v : le volume du vide (m³)

II.2.1.6. Le degré de fissuration des roches

Les fissures ou les discontinuités sont la clé du comportement des roches et des massifs rocheux. On peut les définir comme des vides plats dont le rapport de l'épaisseur à la longueur est de l'ordre de 10 à 30. Sous l'effet des charges, ces fissures se referment progressivement, ce qui s'accompagne par un changement de la géométrie. [5]

L'indice de fissuration est égal à la distance moyenne entre les fissures.

$$Id = \frac{L}{n}$$

Avec :

L : longueur de la partie étudiée du massif (m)

n : nombre de fissures sur la partie mesurée

II.2.2. Propriétés mécaniques des roches

II.2.2.1. Résistance à la compression

Elle représente la résistance maximale supportée par la roche lorsqu'elle est soumise à un effort de compression uniaxiale. C'est la plus importante des propriétés mécaniques de la roche, utilisée en dimensionnement, analyse et modélisation. On peut la déterminer au la hauteur (H) est le double du diamètre (D). [6].

$$\sigma_c = \frac{F}{A}; [Mpa]$$

Avec :

F : la force normale (N)

A : l'aire d'une section de l'éprouvette (m²)

Tableau II.2 : Classification des roches en fonction de leur résistance à la compression.

Roche	Faiblement Résistantes	Moyennes	Résistantes	Très résistante
σ_c (Mpa)	<5	20	60	>100

II.2.2.2. Résistance à la traction

La résistance à la traction est la résistance qu'oppose une roche à la rupture lorsqu'elle est soumise à une sollicitation de tension. L'essai brésilien permet de mesurer de façon indirecte la résistance à la traction de la roche. Son principe est de mettre sous contrainte de tension une courte de roche par application d'une force de compression

suyant son diamètre. La résistance à la traction de la roche testée se calcule comme suit. [7].

$$\sigma_t = \frac{2 * p}{\pi * D * L}; [Mpa]$$

Avec

σ_t : Résistance à la traction; [Mpa]

P : charge à la rupture;

D : diamètre de l'éprouvette; (m)

L : longueur de l'éprouvette; (m)

On peut déterminer la résistance à la traction en fonction de la résistance à la compression, par la relation suivante :

$$\sigma_t = [0.08 ; 0.12] \sigma_c; [Mpa]$$

Tableau II.3 : Classification des roches en fonction de leur résistance à la traction

Roche	Faiblement résistantes	Moyenne	Résistantes	Très résistante
σ_t (Mpa)	0.40	1.50	4	>20

II.2.2.3. La dureté

La dureté est la caractérisation d'un matériau à résister à une déformation permanente. La dureté de la roche dépend de plusieurs facteurs, ainsi que la composition minérale et la densité.

La relation qui donne la dureté de la roche est celle du professeur PROTODIAKONOV est la suivante :

$$f = \frac{\sigma_c}{100}$$

Avec :

f : dureté de la roche

σ_c : résistance à la compression.

II.2.2.4. L'abrasivité

L'abrasivité mesure l'abrasion de la roche par rapport à d'autres matériaux, par exemple : acier.

L'abrasivité est fortement influencée par le pourcentage de quartz dans la roche. Une forte teneur en quartz entraîne une plus grande abrasivité. L'abrasivité est mesurée par des essais, ex. l'essai de Cerchar qui donne l'indice d'abrasivité Cerchar (IAC)

Tableau II.4 : L'abrasivité d'un certain type de roches [6]

La roche	L'abrasivité
Quartzite	[4.3 – 5.9]
Ardoise	[2.3 – 4.2]
Gneiss	[3.5 – 5.3]
Calcaire	[1.0 – 2.5]
Schiste argileux	[0.6 – 1.8]
Grés	[1.5 – 3.5 / 2.8 – 4.2]
Basalte	[2.0 – 3.5]
Andésite	[2.7 – 3.8]
Diorite	[4.2 – 5.0]
Granite	[4.5 – 5.3]

II.2.2.5. Densité

La densité ρ_e est le rapport de la masse volumique de la roche à la masse volumique d'un autre corps pris comme référence égale volume d'eau. C'est un nombre sans dimension. Pour les solides et les liquides, l'eau est prise pour référence ($\rho_e=1\text{g/cm}$).

II.2.2.6. Module de Young (Elasticité)

Le module de Young est une indication de déformabilité de la matrice rocheuse. Plus celui-ci est important, plus il est difficile pour le gaz de l'explosion de comprimer et rompre la roche.

Pour traduire que la déformation est proportionnelle à la contrainte, on utilise la (loi de Hooke) « entre la contrainte σ et la déformation longitudinale ε_l . Le coefficient obtenu est appelé module de Young E .

$$E = \sigma / \varepsilon_l; [Mpa]$$

Le module de Young caractérise la raideur de la roche. Des roches raides telle que les basaltes ou les granites ont un module élevé (80000 Mpa), les roches tendres ont un module faible (5000 à 8000 Mpa). [8].

II.3. Propriétés et caractéristiques de la roche de calcaire du gisement de Mezaidia

II.3.1. Analyses physiques

II.3.1.1. Essai de Los Angeles (NF EN 18-573)

Cet essai a pour but de mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite par fragmentation, en soumettant le matériau à des chocs de boulets à l'intérieur d'un cylindre en rotation. Un coefficient Los Angeles faible correspond à un excellent matériau.

La valeur moyenne de l'essai Los Angeles de la classe granulaire 8/15 est 21% ce qui montre que le calcaire du gisement de Mezaidia est de bonne qualité et peut être utilisé comme granulats routier et pour la confection des bétons.

II.3.1.2. Essai de Micro-Deval (NFP 18-572)

Cet essai permet de mesurer la résistance à l'usure par frottements entre les granulats et une charge abrasive. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite dans un broyeur, dans des conditions bien définies, à sec ou en présence d'eau. Plus le coefficient Micro-Deval est faible.

La valeur moyenne de l'essai Micro Deval obtenue sur 15 échantillons de la classe granulaire 8/15 est 18% ce qui montre que le calcaire du gisement de Mezaidia présente une bonne résistance au frottement.

II.3.1.3. La résistance à la compression simple (NFP 94-420)

La fraction testée est un échantillon des roches prélevées par carottage. Le résultat obtenu par moyenne de 357 kg/cm².

II.3.1.4. La densité apparente (NFP 94-064)

Un échantillon de roche prélevée par carottage, la densité apparente moyenne trouvée est de 2.743 kg/cm²

II.3.1.5. Composition chimique des calcaires

Tableau II.5 : La composition chimique du calcaire de la carrière de « Mezaidia »

Caractéristiques	Résultats (%)
Carbonate de calcium CaCO ₃	36.036
La chaux CaO	35.196
Silice	21.915
Oxyde de fer	1.429
Oxyde d'alumine	2.351
Oxyde de magnésium	0.026
Oxyde de potassium	0.884
Pentoxyde de phosphore	1.371
Dioxyde de titane	0.345
Strontium	0.319
Cuivre	0.017
Chlorure	0.007
Soufre	0.057
Argent	0.015
Or	0.001
Etain	0.015
Molybdène	0.003
Rubidium	0.013

Conclusion

Parmi les principales étapes d'un projet minier est bien la caractérisation des massif rocheux, car de cette dernière on obtient l'identité du massif dans le but d'évaluer les risques envisagés dans l'exploitation telle que (les glissements, affaissement...) d'une part, et d'une autre part, la maîtrise de tir des mines.

Dans ce chapitre nous avons montré les principales caractéristiques physico-mécaniques des roches, dans le but d'assurer le bon déroulement des travaux d'exploitation et de planifier un tir convenable, afin de garantir la stabilité de la carrière et la productivité envisagée par l'unité.

Chapitre III

*Outils de prédiction de la
qualité de fragmentation à
savoir : KUZ-RAM &
WipFrag*

Introduction

Le principal objectif des tirs dans les mines, est d'avoir une fragmentation optimale des roches avec le minimum des coûts selon les conditions. Le degré de fragmentation joue un rôle important dans le but de contrôler et minimiser le coût de chargement, de transport et de concassage des roches.

Les travaux de tir est l'une des opérations de base de l'exploitation minière. Pour un massif donné ; le volume de la roche à abattre et les conditions de sécurité sont les résultats d'un choix corrects des types d'explosifs, la quantité d'explosifs et la planification de tir.

III.1. Paramètres d'un plan de tir

Les paramètres d'un plan de tir déterminent la répartition de la charge dans l'espace. Ceci concerne les caractéristiques du trou de tir telles que son diamètre, sa longueur et son inclinaison ainsi que la disposition des trous dans le gradin. [9]

III.1.1. Paramètres liés aux trous

III.1.1.1. Diamètre du trou

Massif rocheux dur

Les trous à large diamètre donnent une meilleure économie de forage mais induit ultérieurement des couts additionnels. Un diamètre de charge plus grand favorise un rendement meilleur de l'énergie qui aide à la fragmentation du massif.

Massif rocheux fracturé

En outre, dans le cas où le massif est assez fracturé, une grande maille, conséquence d'un diamètre plus grand, n'arrivera pas à effectuer la fragmentation désirée, dans ce cas un diamètre de foration réduit permet une meilleure répartition de l'énergie explosive fournie au sein du massif, et permet de déjouer les difficultés techniques posées par des réseaux de discontinuités resserrés. [10]

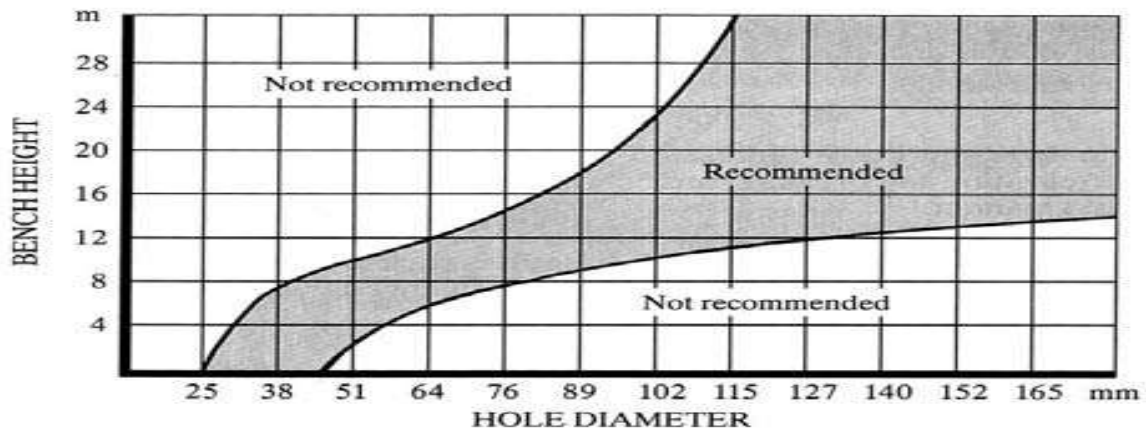


Figure III.1 : Choix de couple diamètre de trou-hauteur de gradin. [11]

III.1.1.2. Longueur du trou

Elle dépend essentiellement de la hauteur de gradin qui est un paramètre très important dans l'exploitation à ciel ouvert. La longueur de trou dépend aussi de l'inclinaison du trou et longueur d'excès de forage. [10]

III.1.1.3. La hauteur du gradin

Le gradin constitue la façon la plus rationnelle pour abattre la roche et consiste en l'exécution de gradin approprié. Une série de facteurs intervient dans la détermination de la hauteur du gradin :

- Caractéristiques des excavateurs employés ;
- Stabilité des roches ;
- Dureté de la roche ;
- Règles de sécurité ;
- Production annuelle.

III.1.1.4. 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 opérations très chères. La fragmentation excessive, endommage probablement la partie inférieure, et cela implique une réduction dans la stabilité du talus. Elle doit être au voisinage de 0,3 fois la banquette. Son rôle

devient nul ou insignifiant si le massif a des discontinuités horizontales prédominantes.

[10]

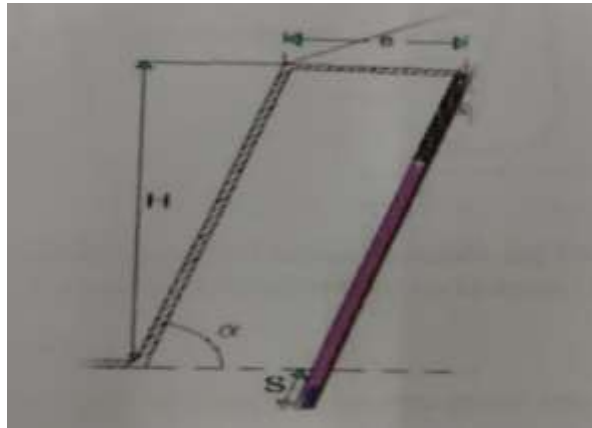


Figure III.2: Schéma représente l'excès de forage. [8]

B : banquette ; [m]

H : hauteur de gradin ; [m]

α : angle d'inclinaison; [°]

S : sous foration ; [m]

III.1.1.5. L'inclinaison du trou

Les trous inclinés favorisent l'efficacité de la fragmentation des roches et cela par la diminution de la zone de fragmentation réglée, les pertes d'énergie de charge dans le massif et la perte d'énergie pour la destruction du pied du gradin. La pratique de l'abattage montre que l'utilisation de trous inclinés diminue la production des blocs hors gabarits de [8 ;10] % à [15 ;25]% et augmente le rendement des pelles mécaniques de 1,5 fois. [12]

L'abattage par trous inclinés contribue à l'amélioration de la sécurité du travail tout en assurant des résultats désirables, dans le cadre d'une granulométrie planifiée.

D'autres avantages des trous inclinés sont à signaler :

- Les gradins ont une surface tenant mieux par suite de l'inclinaison des talus ;
- La consommation en explosif est optimale ;
- L'inconvénient du rebord se trouve éliminé.

Etant donné ces avantages, les trous inclinés sont de plus en plus utilisés dans les carrières et mines à ciel ouvert.

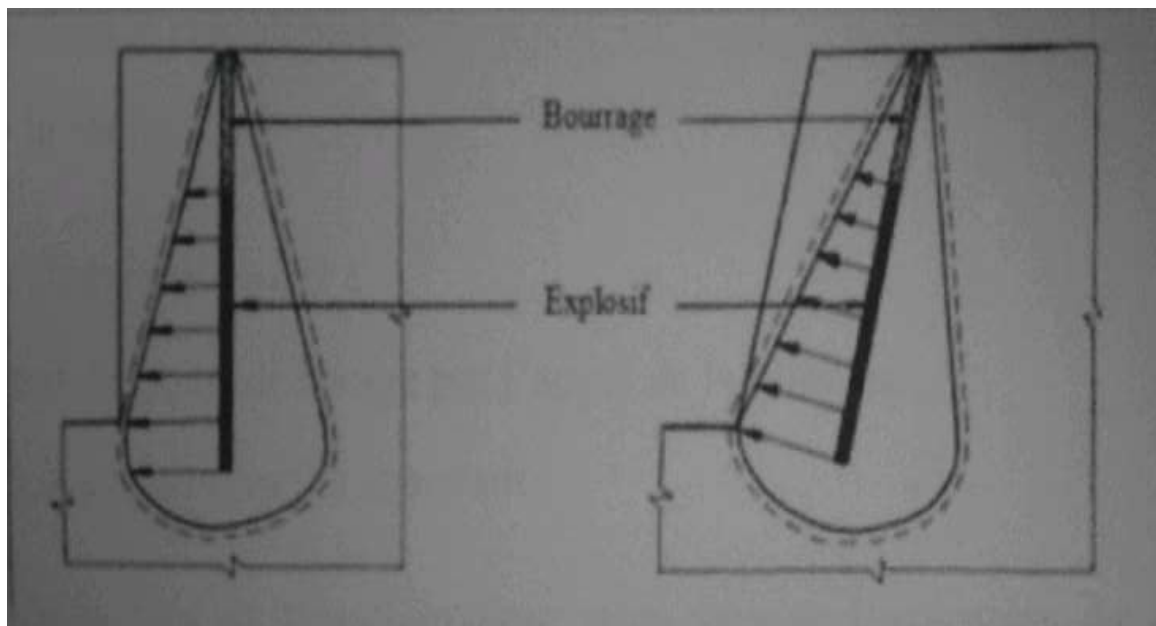


Figure III.3: Comparaison schématique de l'action probable des forces dans le pied d'un tir profond en vertical et avec inclinaison. [12]

III.1.1.6. Les déviations des trous

Les déviations des trous surviennent lorsque la trajectoire du trou prend une direction autre que celle choisie. Donc, une mauvaise qualité de forage se traduit le plus souvent par des déviations en plan ou en profondeur avec conséquence parfois énormes et indésirables : projection des roches, production des gros blocs, vibrations, etc.

Les causes des déviations des trous de mines sont multiples, on peut les résumer comme suit :

III.1.1.6.1. Causes relatives à l'outil de forage

- Diamètre de la tige et le taillant ;
- Qualité de la matière de fabrication ;
- Mode de forage (Marteau hors de trou ou font de trou) ;
- Positionnement de la machine de forage par rapport au front.

III.1.1.6.2. Causes relatives aux massifs

- Présence d'un plan de fissuration important ;
- Intercalation de couche suivant le sens de forage ;
- Failles diaclase et remplissage ;
- Nature de la roche.

III.1.1.6.3. Causes relatives à l'opérationnel

- Changement du point de forage par l'appui de la glissière ;
- Implantation sur un remblai mouvant.

Les trous sont déviés lors de l'implantation, lors de l'exécution de leur forage. Ces déviations conduisent à un élargissement, un écartement ou un rétrécissement de la maille de tir par rapport à sa valeur donnée lors de la conception du tir.

Ce qui aura pour conséquence une sous-estimation ou une surestimation de la charge spécifique d'explosif qui joue un rôle important dans la fragmentation des roches et dans la prédiction de la granulométrie.

III.1.2. Paramètres liés au bourrage

III.1.2.1. Hauteur du bourrage et sa disposition dans les trous

Le bourrage a pour objectif de diminuer les projections et d'améliorer l'effet de gaz des explosifs, il doit être suffisant pour éviter le travail (en cratère) de la dernière charge. En général, il dépend de la banquette. Dans les trous profonds, sa longueur doit être égale à la banquette, et il peut descendre à (0, 5 de la banquette) dans les trous courts [10].

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 (**Figure III.4**) 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.

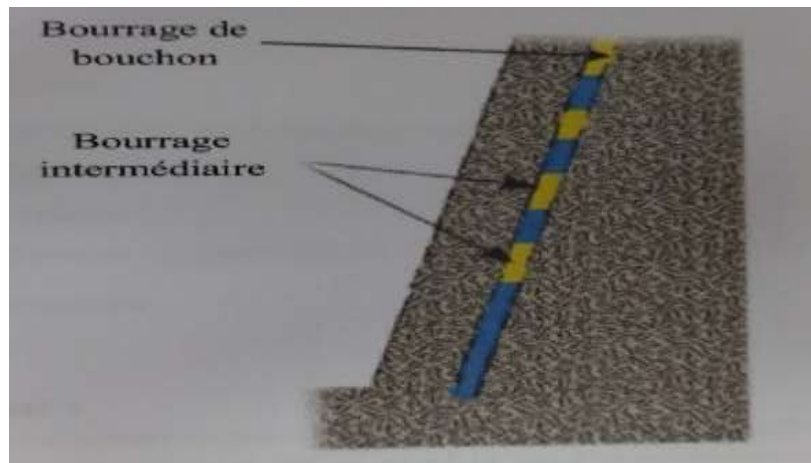


Figure III.1 : Emploi de bourrage de bouchon et intermédiaire. [13]

III.1.2.2. Qualité du matériau de bourrage

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

Les tirs expérimentaux montrent que bourrage aux gravillons (4/8) donne une meilleure utilisation de l'énergie explosive. [10]

III.1.2.3. Indice de tirabilité

Cunningham (1987), affirme que dans la plupart des cas le facteur de la roche (A) doit varier entre [8 ;12]. Ce facteur a été utilisé pour tenir compte de la nature des roches et de l'orientation des structures géologiques par rapport à la direction du tir. Il a été adapté par Cunningham en 1987 par référence à l'indice de tirabilité (blastibility index) développé par Lilly (1986) [14] de la manière :

$$A = 0,06(RMD + JF + RDI + HF)$$

Où :

- _ RMD : facteur de 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 ;

**Tableau III.1 : Les différents paramètres de calcul du facteur de la roche d'après
Cunningham (1987) [15]**

Paramètres	Destinations	Taux
RMD	Description de la masse rocheuse : <ul style="list-style-type: none"> • Pulvérulent/friable • Avec des joints verticaux • Massive 	
	JPS+JPO	
JPS	Facteur d'espacement entre des familles de joints <ul style="list-style-type: none"> • <0.1m • 0, 1a MS • MS a DP 	10 20 50
MS	Dimension Max du bloc in-situ (m)	
DP	Dimension de la maille de forage suppose DP>MS	
JPO	Facteur de l'orientation du plan de joints <ul style="list-style-type: none"> • Horizontal ou sortant (dr<30) • Le long de la direction du pendage du gradin (60 <dr) • entrant (30 <dr<60) 	20 30 40
Dr	Pente en direction relative (degrés)	

	<p>Dr = abs (JDD – FFDD) JDD : pente en direction de fissure (degrés) FFDD : pente en direction de la face (degrés)</p>	
RDI	<p>Facteur d'influence de la densité de la roche</p>	25*RD-50
RD	<p>Densité (t/m)</p>	
HF	<p>Facteur de dureté de la roche • si $Y < 50$ Gpa • si $Y > 50$ Gpa</p>	<p>HF=Y/3 HF=USC/5</p>
Y	<p>Module de Young, Gpa</p>	
UCS	<p>Résistance à la compression, Mpa</p>	

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

$$RMD = 10 + 10 * F_{50}$$

Où :

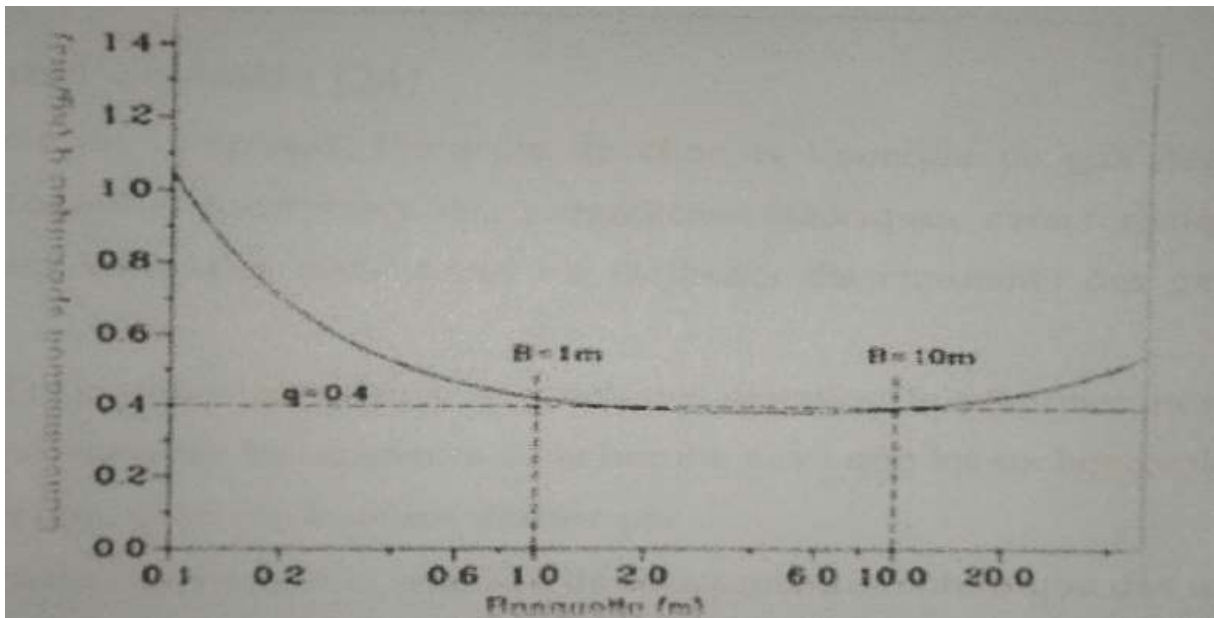
- F_{50} : dimension moyenne du bloc in-situ, (m)

III.2. Paramètres énergétiques

III.2.1. 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 m^3 de roche (ou 1 tonne), elle est donc donnée en kg/m^3 .

C'est un paramètre à adapter au massif rocheux à abattre et liée à la banquette



comme le montre la figure :

Figure III.5 : La consommation spécifique en fonction de la banquette. [16]

La figure nous donne la consommation en fonction de la banquette; On constate que la consommation diminue de $1.25 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ jusqu'à $0.4 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ pour des banquettes allant de 0.1 à 1m et reste au voisinage de $0.4 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ pour les banquettes de 1 à 10m. Pour les

banquettes qui dépassent 10m la consommation augmente progressivement jusqu'à ce qu'elle arrive à une consommation de 0.6 (kg/m³).

La consommation spécifique varie aussi selon les caractéristiques physico-chimiques du massif rocheux à abattre voir le tableau suivant :

Tableau III.2 : Résistance au tirage de quelques roches [17]

Roche	Consommation spécifique (kg/m ³)
Basalte	0.33
Calcaire crayeux	0.25
Calcaire moyen du à	[0.35 ; 0.4]
Diorite	0.45
Granite dur	0.45
Grés fins	0.4
Quartzite pâte fine	0.53
Quartzite fracturé	0.3

III.2.2. Energie de l'explosif

L'énergie totale de l'explosif, l'énergie de choc et l'énergie de gaz dégagés, ainsi que la vitesse de détonation constituent des paramètres théoriques caractéristiques des différents explosifs. Leurs variations constituent les éléments discriminants des gammes de produits explosifs.

L'énergie de l'explosion est libérée en quelques dizaines de microsecondes. Il se forme une boule de feu qui vaporise les éléments de la bombe ainsi que les roches avoisinantes.

L'énergie théorique d'un explosif est définie par :

- La quantité de chaleur qui a la réaction de décomposition chimiques des explosifs, supposée complète isochore (à volume constant) peut théoriquement dégager.
- Le travail maximum qui peut fournir les gaz d'explosion supposé parfait dans une détente depuis l'état comprimé dans le trou de mine, jusqu'à la pression atmosphérique.

L'énergie d'un explosif libéré au cours d'une détonation peut être décomposée en deux types d'énergie :

- L'énergie de choc, liée aux contraintes transmises dans le terrain (onde de choc),
- L'énergie des gaz, liée à la quantité de gaz à très haute température produite au cours de la réaction

III.2.3. Puissance de l'explosif

La puissance qui fait intervenir le volume de gaz dégagé et la température exprime le travail utile effectué. Elle est mesurée pour le coefficient d'utilisation pratique (C.U.P) ; ce coefficient traduit l'effet mécanique d'un explosif par rapport à celui obtenu par l'explosif de référence (la Mélinite appelée acide picrique cristallisé).

Les coefficients C.U.P varient de la façon suivante :

- Explosif très puissant : C.U.P = [1, 3 ; 1, 8]
- Explosif nitraté brisants : C.U.P = [1, 1 ; 1, 38]
- Explosif de faible puissance : C.U.P = [0, 6 ; 0, 85]

On peut déterminer le C.U.P de la façon suivante :

$$C. U. P = 100 * 15/C$$

Où :

C : désigne la masse d'explosif qui provoque le bloc de plombe le même évasement que 15g de mélinite

III.2.4. Densité d'explosif

La densité d'un explosif conditionne toutes ses autres propriétés ; c'est une caractéristique très importante dont il faut tenir compte. La densité des différents explosifs commerciaux varie entre 0, 8 et 1, 7.

L'accroissement de la densité s'accompagne d'un accroissement de la vitesse de détonation, donc des effets destructeurs de l'explosif. Néanmoins, il existe pour certains produits une densité critique au-delà de laquelle le produit ne détone plus. C'est le cas des émulsions. Cette densité critique peut être atteinte :

- De façon dynamique si les explosifs sont comprimés par le passage d'une onde de choc engendrée par la détonation de l'explosif dans les trous voisins d'une même volée;

– De façon statique, lorsque l'on mine avec une grande hauteur d'eau dans le forage ou en profondeur sous une grande quantité d'eau, la pression exercée sur l'explosif augmente sa densité.

III.2.5. Vitesse de détonation

La vitesse de propagation d'une détonation; qui est appelé vitesse de détonation à laquelle se déplace le front de détonation (onde de choc) au sein même de l'explosif est généralement compris entre 1500 et 6000 m/s.

Plus la vitesse de détonation est élevée; plus l'explosif sera apte à fragmenter les matériaux contre lequel ou dans lequel il est placé. Le choix d'un explosif avec telle ou telle vitesse de détonation doit se faire on tenant compte de certaines caractéristiques (impédance acoustique; résistance, etc.) des matériaux à faire sauter (ces caractéristiques ne seront pas abordé dans le cadre de ce guide).

La vitesse de détonation d'un explosif donnée; variée en fonction de son diamètre, de son mode d'amorçage (latérale ou ponctuelle) et de son confinement (charge appliqué ou confinée). [18]

III.2.6. Influence de la construction des charges sur la qualité de fragmentation des roches

Le degré de fragmentations dépend du le changement de la construction de la charge à l'intérieure du trou.

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

D'habitude le tir avec une charge continue est caractérisé par la fragmentation irrégulière du massif abattu puisqu'une charge continue a effectué son travail uniquement aux limites de la zone de fragmentation réglée. Cependant dans la partie supérieure où l'on dispose du bourrage, on obtient souvent des morceaux hors gabarits de différentes dimensions. Donc, des charges discontinuités sont souvent utilisées pour l'amélioration de la fragmentation et la diminution de la taille des blocs hors gabarits[19].

III.2.7. Longueur de la charge de colonne

L'énergie massique nécessaire en colonne est inférieure à celle nécessaire en pied. La diminution de l'énergie en colonne peut se faire de trois façons :

- En utilisent un explosif moins puissant que ceux utilisés en pied.
- En intercalant des bourrages intermédiaires dans un explosif de même puissance qu'en pied, en combinent les deux solutions précédentes.
- Comme les explosifs moins puissants sont moins chers, la première solution est généralement préférable.

La charge de colonne se calcule en fonction d'un coefficient de remplissage (k). C'est le rapport entre la longueur totale occupée par l'explosif rapporté à la longueur totale de la charge (explosif et bourrages intermédiaires).

On a :

$$L_{\text{colonne}} = L_{\text{trou}} - (L_{\text{chargepied}} + Bf); [m]$$

III.2.8. Longueur de la charge de pied

La charge de pied, est celle qui contribue au dégagement et à la fragmentation du pied; elle a une hauteur d'au moins une fois la banquette et la sous-foration :

$$L_p = 1,3 * B ; [m]$$

Tell que :

B : La banquette pratique.

III.3. Paramètres géométriques

III.3.1. Banquette

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

Les facteurs affectant le choix de la banquette sont :

- Le diamètre des trous ;
- La hauteur du gradin ;
- L'inclinaison des trous ;
- L'explosivité de la roche et la fragmentation prévue.

Pour abattre la roche, les trous de mines sont disposés en plusieurs lignes selon une géométrie théoriquement définie, dictée majoritairement par le diamètre de foration utilisé. L'épaisseur de roche entre les lignes, est appelée banquette. [20]

$$B_{\max} = 0.03 * Dt * \sqrt{\frac{S * \rho}{c * f * \frac{E}{B}}}, [m]$$

Où :

Dt : Diamètre du trou

S : Puissance de la charge de fond de l'explosif ;

ρ : Densité de l'explosif utilisé

C : Résistance au tirage

f : Facture de contrainte dépendent de l'inclinaison du trou de mine;

$\frac{E}{B}$: Rapport de la maille.

III.3.2. L'espacement

Parmi les distances caractéristiques d'un schéma de tir, l'espacement des trous en surface est un paramètre qui ne dépend que de la qualité de l'implantation de la maille en surface et la qualité de l'implantation du début de forage.

En général un espacement égal à 1.25 fois la banquette donne de bons résultats. Une bonne fragmentation peut être obtenue en variant l'espacement entre [0.8 ;1.5] fois la banquette sans pour autant augmenter l'énergie de la charge spécifique. [10]

III.3.3. Rapport de maille

C'est le rapport entre l'espacement et la banquette, généralement est appelée $\frac{E}{B}$. Langefors et Kihlstrom conseillent de la prendre compris entre 1 et 1, 5.

Ce rapport influence la fragmentation obtenue :

- $\frac{E}{B} \geq 1$ va avoir tendance à produire des blocs ;
- Tandis qu'un $\frac{E}{B}$ de 1, 5 fournira une fragmentation très fine ;
- La valeur de 1, 25 va engendrer une fragmentation régulière.

Des chercheurs ont introduit une part de dynamique pour tenter de justifier l'effet de la ration $\frac{E}{B}$ sur la fragmentation.

La distance entre les trous d'une même rangée est la distance entre deux rangées va conditionner la densité de fragmentation dû à l'onde de choc, ainsi que la mise en mouvement du massif, sa facilité de dégagement et sa vitesse, Le rapport $\frac{E}{B}$ suggère en quelques sorte une zone d'influence de chaque trou, un travail judicieux sur la maille pourrait permettre d'ajuster ces paramètres. [5]

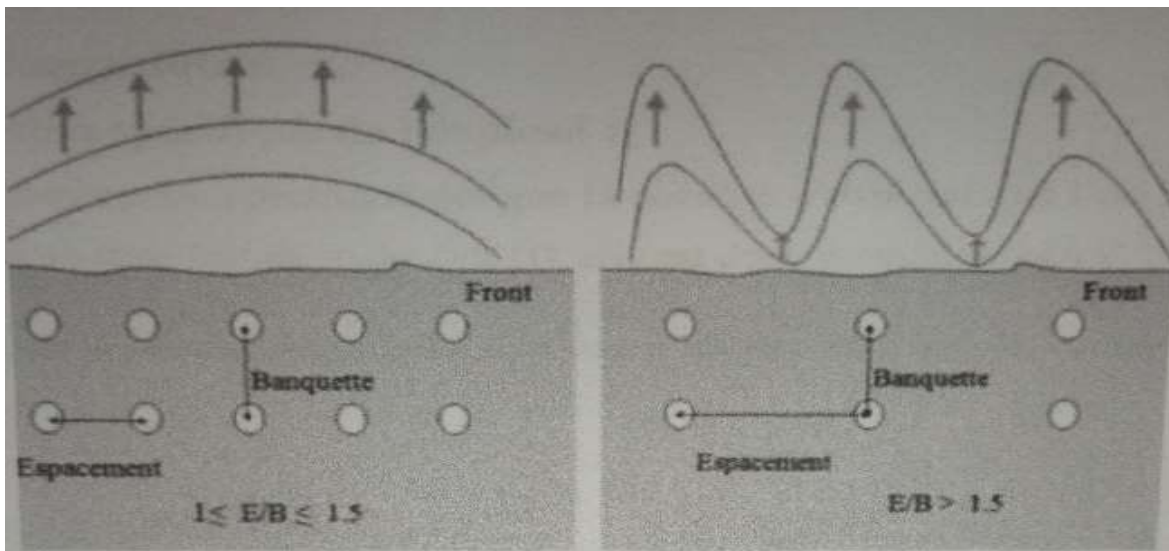


Figure III.6: Dynamique de l'abattage

Les paramètres de maille sont usuellement de l'ordre de 3, 5m pour B et de 3.5m pour E ; la maille est donc carrée $\frac{E}{B} = 1$.

- Pour une bonne fragmentation des roches, le rapport doit être aussi élevé que possible entre $[1, 1 ; 1, 5]$.
- Pour un bon profil du front, ou par commodité, il est entre $[1-\epsilon ; 1+\epsilon]$. $\epsilon \rightarrow 0$.

- La production d'embrochement, recommande de la réduire à une valeur inférieure à 1

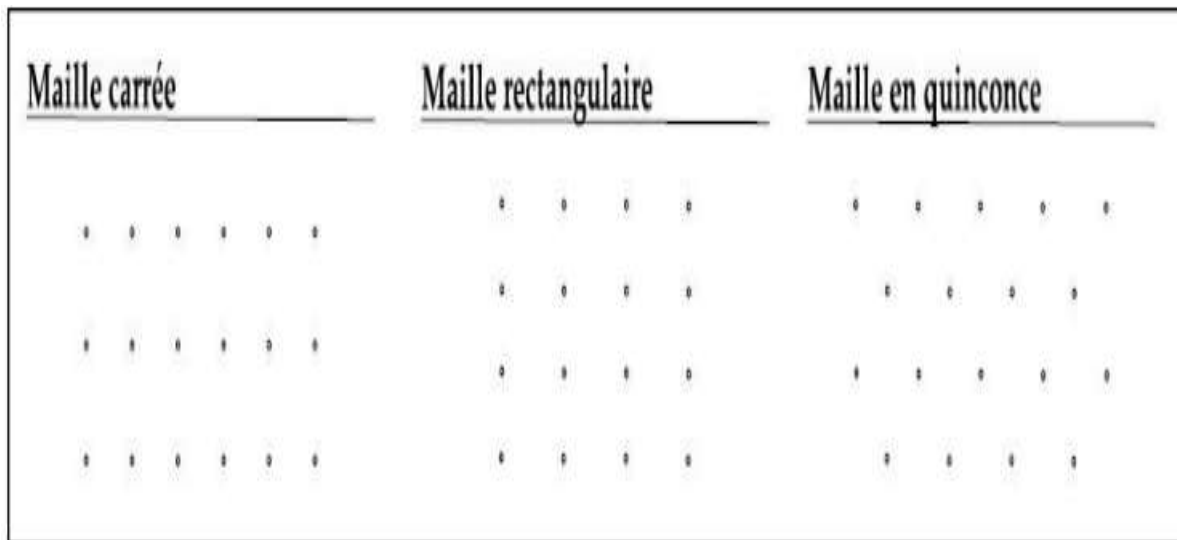


Figure III.7: Principaux types de mailles utilisées pour les tirs en ciel ouvert

III.3.4. Présence des faces libres

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

Dans le cas de l'interface roche/air est la réflexion est presque totale. L'onde de compression se réfléchit alors en une onde de traction qui est responsable de la formation d'une fissuration parallèle au plan d'onde. Ce phénomène bien connu est appelé Ecaillage. [21]

III.4. Le modèle de Kuz-Ram

III.4.1. Généralités

L'évaluation de la fragmentation reste une discussion toujours importante dans le jargon minier, car il s'agit de la première étape vers la récupération des minéraux. Divers logiciels et méthodes de prédiction et d'analyse du résultat de tir existent, l'un d'entre eux est le modèle Kuz-Ram. Ce travail a étudié le développement du modèle Kuz-Ram depuis sa création et les modifications qui ont été apportées sur le modèle. La méthodologie de son utilisation et les écarts qui existent entre les résultats prédits et les résultats réels générés par la conception pour les similitudes et la corrélation ont été examinés.

Des prédictions ont été faites sur la base des paramètres d'entrée d'une carrière de calcaire et la conception du tir de mine a été modifiée pour prédire de nouveaux paramètres de conception qui ont réduit la taille moyenne des fragments de 113 cm à 105 cm ce résultat montre une augmentation significative de la productivité des opérations ultérieures lorsque les valeurs estimées pour la charge et l'espacement ont été adoptées.

Il a été observé que la tendance des résultats reste valable dans l'application actuelle même s'il existe des différences significatives dans l'amplitude des valeurs. Il a été conclu que le modèle kuz-ram reste viable pour la prédiction de la fragmentation et un outil utile pour pré-évaluer l'effet de l'optimisation de certains paramètres d'une conception de dynamitage. [22]

III.4.2. Définition de modèle KUZ-RAM

KUZ-RAM est la combinaison des équations de Kuznetsov et de Rosin-Rammler, et le modèle empirique de fragmentation. Depuis son introduction par Cunningham, le modèle de Kuz-Ram a été utilisé par beaucoup d'ingénieurs des mines pour prédire la fragmentation des roches résultant d'un tir, et beaucoup de chercheurs ont essayé d'améliorer ce modèle. [23][24]

III.4.3. Principe du fonctionnement

Les étapes de fonctionnement du modèle sont :

- L'introduction des caractéristiques des roches étudiées (densité, module de Yong et la résistance à la compression).
- L'introduction des paramètres des discontinuités du massif.
- L'introduction des caractéristiques des explosifs utilisés pour l'abattage des roches étudiés.
- L'introduction des valeurs de l'espacement, la banquette et le coefficient de disposition du plan de tir.
- Le programme fait le calcul des pourcentages des différentes catégories des fragments (fines, moyennes et hors gabarits)
- Les résultats seront obtenus sous forme d'un graphe dont il sera interprété.[24]

III.4.4. La taille moyenne des fragments

Une équation empirique reliant la taille moyenne des fragments issus d'un tir X50 et la charge spécifique d'explosif appliquée a été développée par Gheibie et Al (2009), en fonction du type de roche et d'explosif. Son équation est de la forme :

$$X_{50} = 1.22Aq^{-0.8} * Q_{tr}^{\frac{1}{6}} \left(\frac{115}{S}\right)^{0.633} \text{ cm}$$

X₅₀ : La taille moyenne des fragments (cm).

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

A : Rock Mass Factor (facteur de la masse rocheuse). Le tableau suivant illustre la relation entre le facteur A et la dureté des roches.

Tableau III.3 : Facteur de la masse rocheuse en fonction de la dureté.

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

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

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

Où :

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

E : énergie de l'explosif en termes de puissance comparé à celle d'ANFO (%).

E_{anfo}= 100%.

$$E = \left(\frac{VOD_e}{VOD_n}\right)^2 * RWS (\%)$$

Avec :

VOD_e : vitesse de détonation effective de l'explosif, m/s

VOD_n: vitesse de détonation nominale de l'explosif, m/s

En introduisant la charge spécifique, l'équation deviendra :

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

Avec :

K : La charge spécifique en kg/m³.

L'équation de K est donnée par :

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

La taille moyenne des fragments (X₅₀) en fonction de la charge spécifique de l'explosif (K) est donnée par la formule suivante :

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

III.4.5. Indice d'uniformité

Cependant, il est très important de savoir la distribution granulométrique résultante de la conception initiale d'un tir. C'est dans ce but que Cunningham (1983, 1987), adapté le modèle de distribution de la granulométrie de Rosin-Rammler (1979), dans la prédiction de la distribution granulométrique du tir. Il trouva que celui-ci caractérisait mieux la fragmentation du tir. L'équation originale de prédiction de la granulométrie de Rosin-Rammler (1979), [25], se présente sous la forme :

$$R = e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)^n} (\%)$$

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

$$P(X) = 100 * (1 - R) = e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)^n} \%$$

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

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

X : Ouverture du tamis ou du crible, (cm) ;

X_c : Taille caractéristique, c'est la taille par laquelle passe R= 69, 3 % des fragments, (cm);

n : Indice d'uniformité. A partir de l'équation précédente, on peut trouver la taille caractéristique X_c:

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

Puisque la formule de Kuznetsov donne la taille moyenne des fragments X (X₅₀) par laquelle R=50% du matériau passe; en substituant ces valeurs on aura : X = X₅₀.

$$R = 0.5$$

La combinaison entre les deux dernières relations nous donne :

$$X_c = \frac{X}{(0.693)^{1/n}}$$

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

$$n = \left(2.2 - 14 * \left(\frac{b}{D}\right)\right) * \left(1 - \left(\frac{w}{b}\right)\right) * \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{a}{b}\right)}{2}\right) * \left(\frac{Le}{Hg}\right) * P}$$

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

$$n = 2.3481 - 0.0168\phi h \sqrt{\frac{(S/B)/(1.15)}{Le/K}} \left(1 - \frac{W}{b}\right) BI^{0.25}$$

Avec :

b : Banquette en (m) ;

a : Distance entre les trous dans une même rangée, (m)

D : Diamètre de la charge, (mm) ;

Lcp : Longueur de la charge du pied en (m) ;

Lcc : Longueur de la charge de colonne en (m) ;

Hg : Hauteur du gradin en (m) ;

Le : Longueur totale de la charge en (m) ;

P : Facteur de disposition de la maille de tir; } P=1; pour une disposition des trous en carré/rectangulaire; } P=1.1; pour une disposition des trous en quinconce.

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

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

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

Pour avoir une fragmentation uniforme, il faut éviter les fines, les hors gabarit, ainsi des valeurs élevées de « n » sont préférées. L'algorithme utilisé donne l'effet aux paramètres de tir sur les valeurs de « n ».

Tableau III.4 : Effet des paramètres de tir sur (n)

Paramètres	Effet des paramètres de tir sur l'augmentation de 'n'
b/D	Décroit
W	Croit
Le/Hg	Croit
a/b	Croit
P	Croit si $p=1.1$

III.5. WipFrag

III.5.1. Définition

Le logiciel WipFrag a été développé à l'Université de Waterloo au Canada. Des mesures rapides et précises de la distribution granulométrique sont essentielles pour gérer la roche fragmentée et autres matériaux. WipFrag est un système de granulométrie automatisé basé sur l'image qui est utilisé pour l'analyse d'image numérique de la roche photographiés et images de bandes vidéo pour déterminer les distributions granulométriques. [26]

III.5.2. Principe de fonctionnement

WipFrag accepte des images provenant de diverses sources comme les caméscopes itinérants, les caméras fixes, les photographies, ou des fichiers numériques. Il utilise des algorithmes automatiques pour identifier les individus blocs, et créer un contour "net", en utilisant l'état de l'art détection des bords.

Les étapes de traitements d'images suivies par ce logiciel sont les suivantes :

- a. L'acquisition des images.
- b. Les traitements 2D tentent en premier lieu de détecter partiellement les contours, puis opèrent des techniques basées sur des critères de voisinage pour la reconnaissance des contours complets.
- c. La reconstruction de la courbe granulométrique en 3D utilise les principes de la probabilité géométrique.

d. Enfin, un calibrage empirique prenant en compte les particules fines non détectées est effectué. La démarche suppose que la granulométrie analysée suit le modèle de Rosin et Rammler dont le coefficient d'uniformité n est déterminé grâce à des tamisages préalables. Selon les auteurs, cette démarche est aussi complétée par la combinaison de résultats d'images prises sous différentes résolutions (technique appelée : zoom-merging). [27]

Conclusion

Ce chapitre nous a renseigné sur le tir des mines et les paramètres qui contrôlent la qualité de ces derniers. Il est très important de pouvoir identifier les paramètres qui peuvent influencer sur les opération et indiquer la manière dont ces derniers affectent la fragmentation.

Puis on a pris une vision sur les différentes mises à jour de Kuz-Ram. Celui-ci permet de visualiser les paramètres des travaux de tir et de forage ainsi qu'un court récapitulatif sur le logiciel d'analyse d'images WipFrag qui nous permet de déterminer les distributions granulométriques après chaque tir.

Dans le prochain chapitre, on procède à la partie pratique de ce travail, tel que faire un aperçu sur le plan de tir réalisé à la carrière de Mezaidia, puis analyser les résultats obtenus après le tir.

Après cette opération on entame l'étape principale qui vise l'amélioration de la fragmentation des roches avec des changement itératifs de la maille de tir (espacement/banquette) en utilisant le modèle de Kuz-Ram modifié (2020).

Chapitre IV

*Prédiction et amélioration
des résultats de tir de la
carrière*

Introduction

L'analyse granulométrique est l'une des opérations de base de la chaîne technologique de l'enrichissement. Parmi les procédures à suivre l'analyse granulométrique des roches fragmentées. Ces courbes sont généralement mesurées par un criblage à l'aide des modèles de prédiction empiriques de la distribution granulométrique après le tir, tel que le modèle de Kuz-Ram modifié et l'analyse par traitement d'image.

Une nouvelle approche est proposée dans ce chapitre pour prédire et améliorer la qualité de la fragmentation d'un tir. Elle est basée sur un changement itératif de maille, tout en gardant les paramètres énergétiques résultants des plans de tir. Ce changement de maille nous oblige à passer à un autre logiciel de programmation afin de nous permettre d'appliquer les différentes itérations automatiques, ce qui nous a entraînés à utiliser le logiciel MATLAB, dont l'application de prédiction est basée sur les règles du modèle Kuz-Ram.

IV.1. Plan de tir réalisé dans la carrière de Mezaidia

Dans le plan de tir réalisé à la carrière de Mezaidia, nous avons pris les paramètres nécessaires pour calculer les taux de la distribution granulométrique afin de pouvoir prédire la distribution granulométrique résultant des tirs de mine de la carrière.

Les paramètres essentiels du plan de tir utilisé dans la période avril – juillet sont présenter le tableau suivant :

Tableau IV.1: Les paramètres essentiels du plan de tir de Mezaidia (avril – juillet).

Désignation	Unité	Quantité
Hauteur de gradin	m	11
Diamètre du trou	mm	89
Longueur totale du trou	m	12
Surforation	m	1
Longueur de bourrage	m	2.11
Longueur de la charge pied	m	3.76
Longueur de la charge colonne	m	6.13
Espacement	m	3
Banquette	m	3

Dont, la consommation spécifique $q_p = 0.30 \text{ kg/m}^3$ et la forme de maille carrée $P=1$ et maille en quinconce $P=1.1$. Les paramètres détaillés sont indiqués dans l'annexe N° [01, ..., 09].

IV.1.1. Schéma de tir

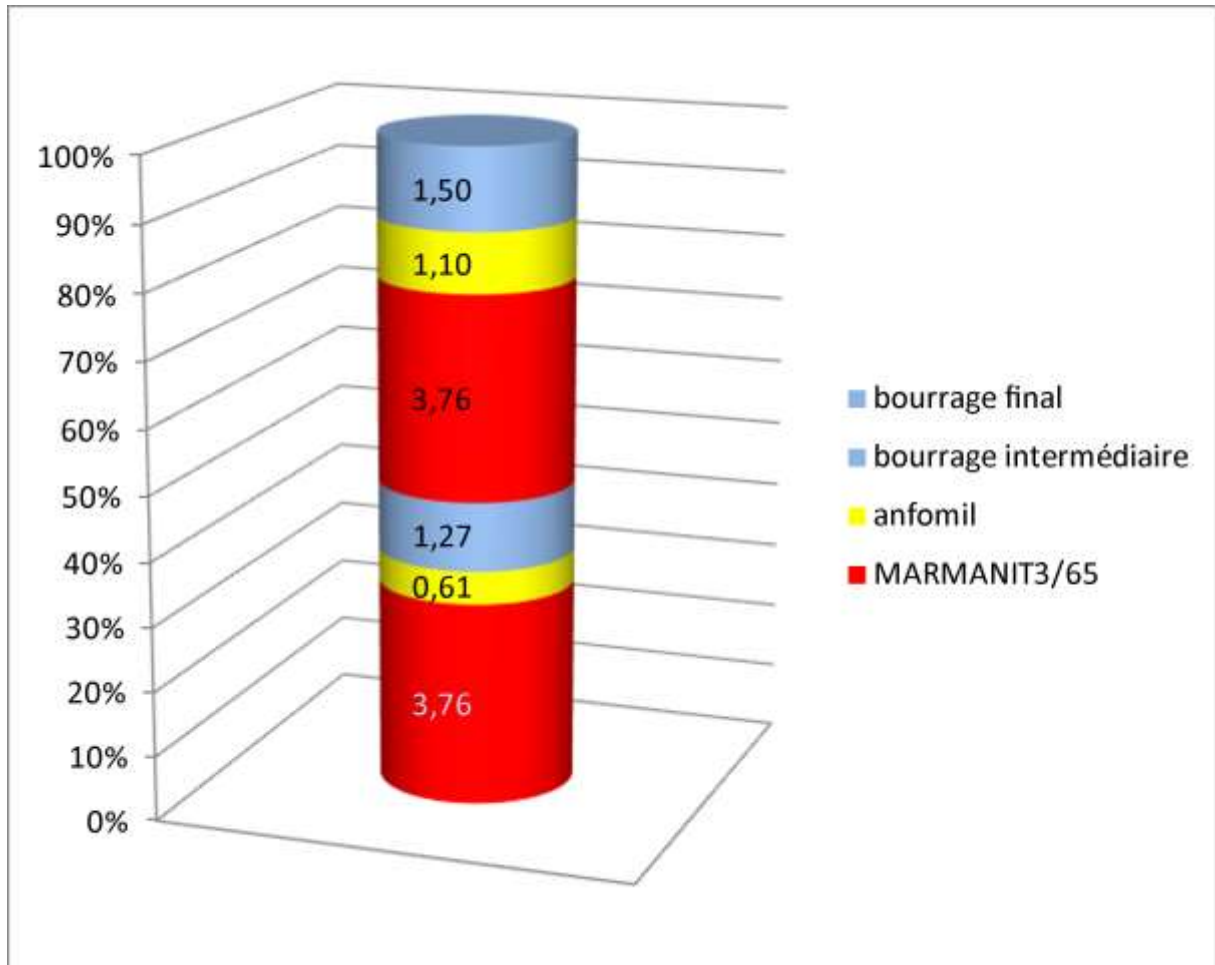


Figure IV.1: Répartition de la charge explosive dans la carrière de Mezaidia.

Dans le plan de chargement ci-dessus, on remarque que la quantité de Marmanit utilisé dans la charge colonne est un peu exagérée, car c'est un explosif brisant. Donc ça sera mieux de réduire la charge de Marmanit et la remplacer avec l'Anfomil.

IV.1.2. Forme et dimensions de tas abattu

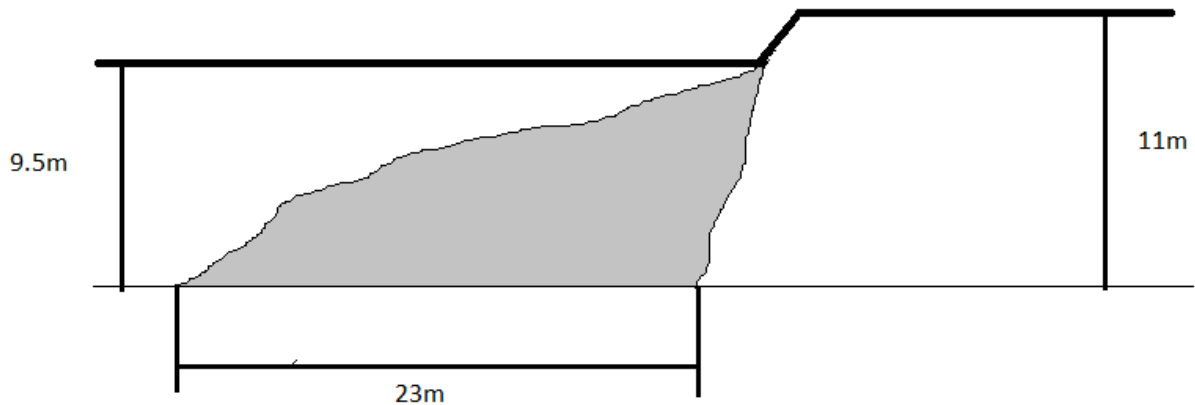


Figure IV.2: Forme et dimension de tas abattu

IV.2. Analyse des fragments (des résultats) obtenus après le tir avec l'utilisation de logiciel d'analyse d'images (WipFrag)

IV.2.1. Les étapes de traitement de logiciel WipFrag

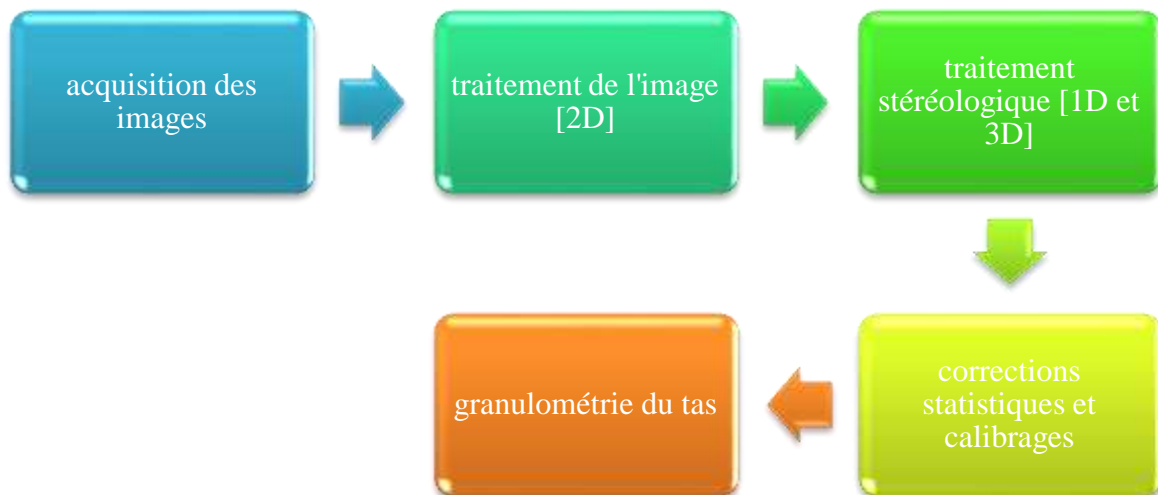


Figure IV.3: Organigramme montrant les étapes de traitement de logiciel WipFrag

Après le tir réalisé à la carrière de Mezaidia nous avons pris des photos de tas abattu pour faire une analyse numérique et déterminer la distribution granulométrique des fragments sur le logiciel WipFrag. L'image ci-dessous montre la figure de tas abattu dans

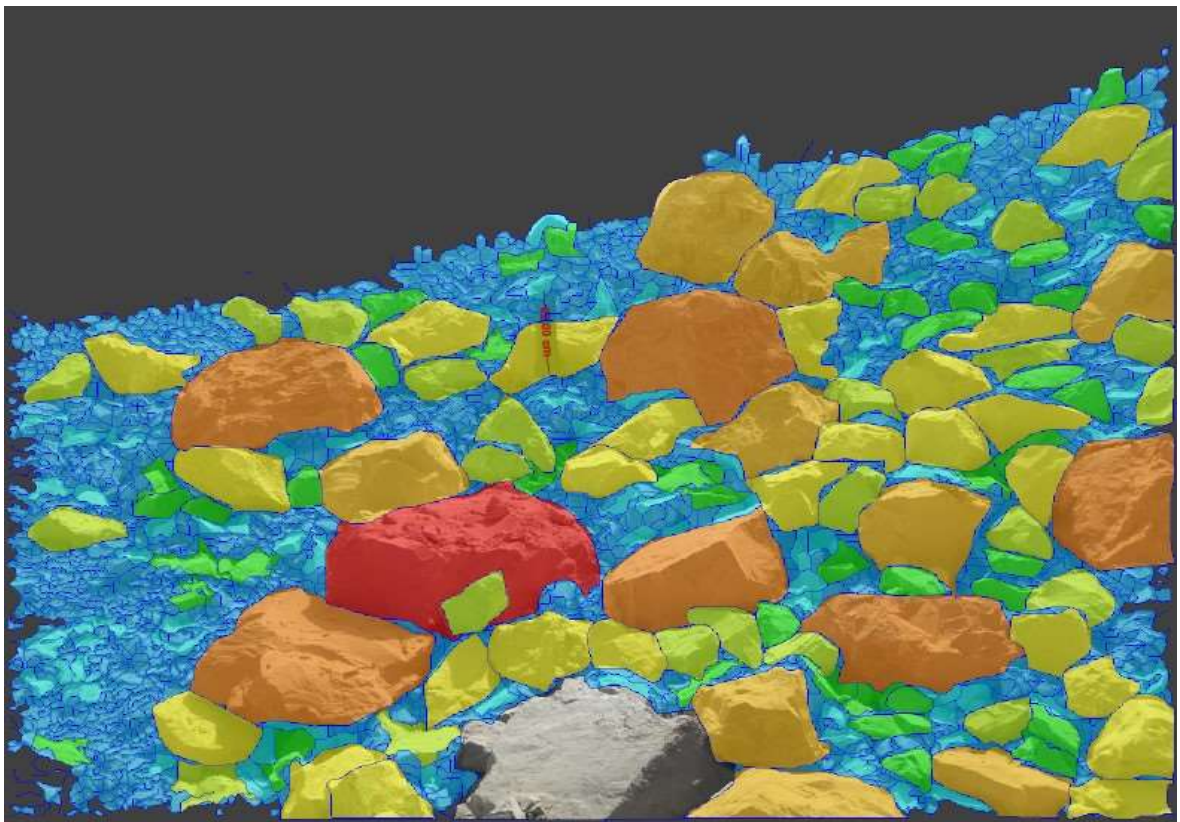


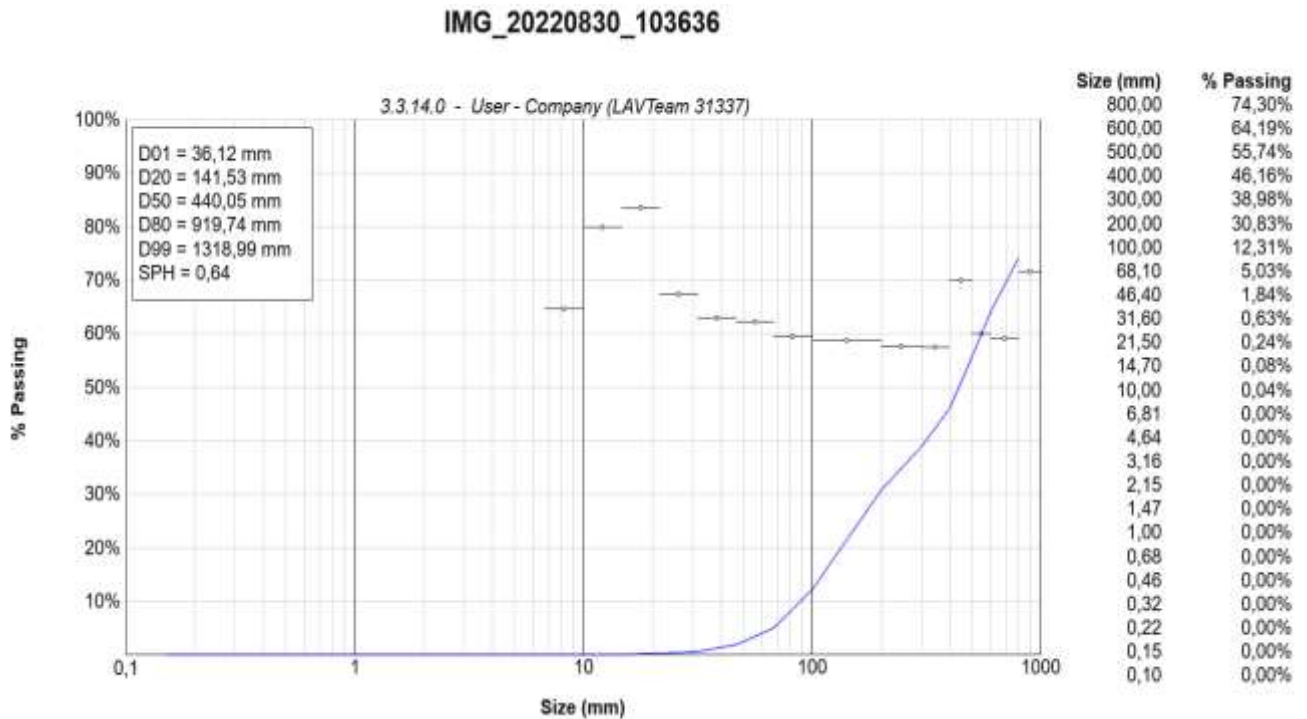
la carrière Mezaidia :

Figure IV.4: Une photo de tas abattus dans la carrière Mezaidia (18/05/2022)

Figure IV.5: L'analyse des fragments sur WipFrag.

IV.2.2. Affichage des résultats





Après l'analyse faite sur WipFrag nous avons obtenu les résultats ci-dessous :

Figure IV.6: Courbe des résultats de la distribution granulométrique des fragments par WipFrag.

La figure ci-dessus représente la courbe granulométrique des fragments analysés par WipFrag, avec le pourcentage des passants par rapport à la taille des fragments en (mm). On remarque que le taux des hors gabarits (>750 mm) est de l'ordre de 36 %, le pourcentage des fragments passants entre (700 mm et 100 mm) est de l'ordre de 59 % et le pourcentage des particules fines (<100mm) est de 5 %, ces estimations sont approximatives à cause de traitement de WipFrag qui ne détecte pas les particules fines. Donc la sélection des fragments des roches se fait manuellement.

Nb : le logiciel WipFrag ne détecte pas les particules fines.

IV.2.3. Discussion des résultats

Les pourcentages des hors gabarits et celui des fines sont très élevées ce qui nous amène à procéder une autre étape de travail supplémentaire pour réduire la taille des hors gabarits qui consiste l'utilisation de brise roche, et pour les particules fines nous devons améliorer les dimensions de la maille et la quantité d'explosif utilisé.

IV.2.4. Evaluation du résultat par Kuz-Ram avec le plan de tir de Mezaidia

Les valeurs des paramètres de travaux de forage et de tir dans la carrière sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV.2: La répartition des roches abattu par le tir

Dimensions des blocs	Pourcentage %
Roches hors gabarits	16.9
Roches moyenne	76.1
Roches fines	7.0

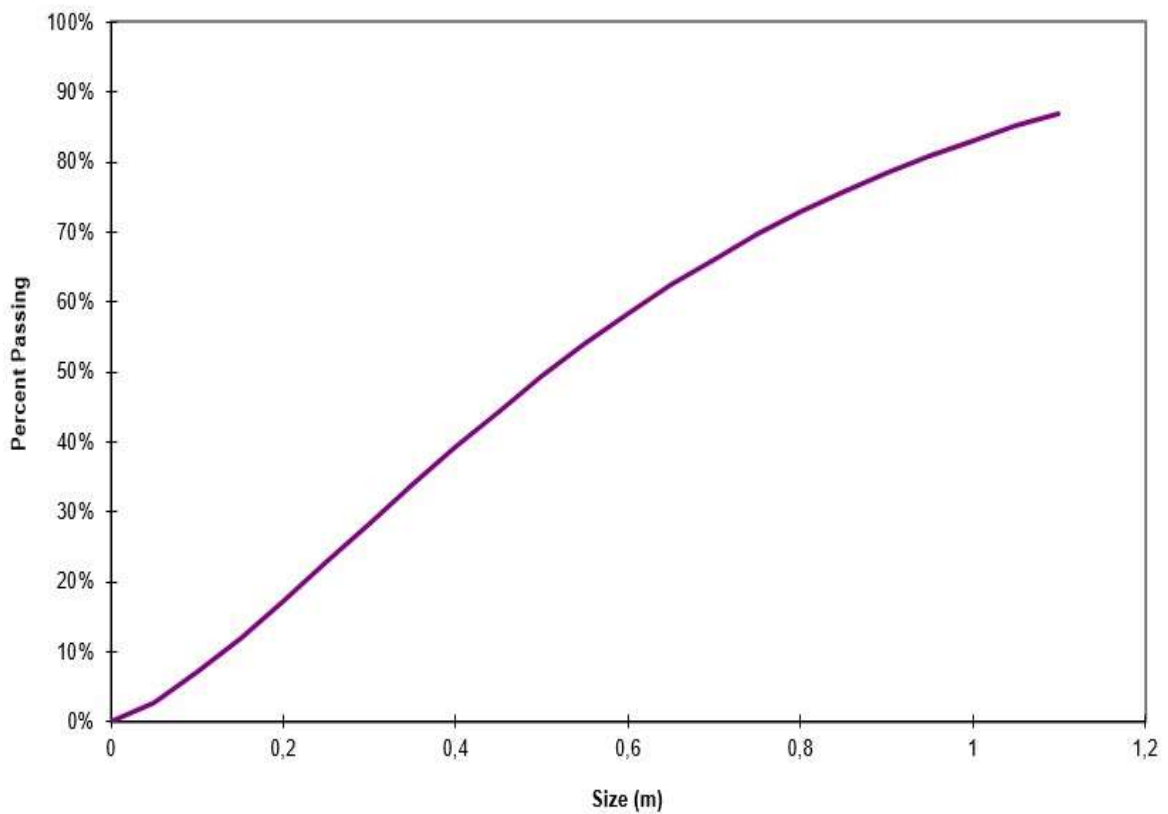


Figure IV.7: Courbe granulométrique des résultats de tir.

D’après les résultats présenter dans le tableau et la figure, on constate que le taux des fragments moyen obtenue pour les valeurs du plan de tir existent au niveau de la carrière Mezaidia est de l’ordre de 76 %, et 7.0% des fines qui représente un pourcentage un peu

élevé. Néanmoins, le taux des hors gabarits représente environ 17 % ce qui nous oblige à faire un travail supplémentaire pour réduire la taille des fragments.

IV.2.4.1. Comparaison des résultats Kuz-Ram et WipFrag

Après l'analyse faite sur logiciel de traitement d'image WipFrag et le l'application KUZ-RAM, on constate que le taux des hors gabarits sur WipFrag (36%) est plus élevé en comparaison avec celui de Kuz-Ram (17%) (**Tableau IV.2**). Après l'analyse numérique sur WipFrag nous avons remarqué que le logiciel ne détecte pas les particules fines et pour cela il ne nous a pas donné des résultats précis (nous avons perdu un volume important des fragments non détecter par WipFrag), on déduire que kuz-ram est plus efficace sur le volet de la distribution granulométrique. Les résultats de la distribution granulométrique sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau IV.3: Comparaison des résultats de la distribution granulométrique de kuz-ram et wipfrag.

Dimensions des blocs	Les résultats de Kuz-Ram	Les résultats de WipFrag
roches hors gabarits	17%	36 %
Roches moyenne	76%	59%
Roches fines	7%	5%

A partir des résultats de tir analysé on constat qu'il y a toujours un volume important des hors gabarits, d'où le besoin d'un nouveau plan de tir qui nous permet la réduction de ce taux, ce qui nous a mène à faire une autre analyse inverse par KUZ-RAM. Dont, on cherche la meilleure maille de tir pour avoir un minimum des hors gabarit et un taux de fins acceptable.

IV.3. Réalisation à nouveau d'un plan de tir en utilisant le modèle de Kuz-Ram modifié

En utilisant les formules de Kuz-Ram modifié (2020), nous avons procéder à la réalisation d'une application sous Matlab, qu'elle nous aide à réaliser des itérations sur les dimensions de la maille. Afin de tirer une meilleure maille qui assure un minimum des hors gabarit et un taux de fins acceptable.

Dans notre cas nous introduisant les caractéristiques du massif rocheux, les paramètres de discontinuités et les paramètres d'explosifs, pour qu'ils procèdent à une exécution sur Matlab afin d'obtenir la meilleure valeur de l'indice d'uniformité ainsi que la banquette et l'espacement pour une meilleure taille moyenne des fragments et un haut pourcentage des passants.

IV.3.1. Les données de base de fonctionnement de modèle Kuz-Ram modifié

Les paramètres utilisés dans Kuz-Ram modifié pour l'estimation du taux des hors gabarits sont présentés dans le tableau et la figure ci-dessous :

Tableau IV.4: Les paramètres de base de fonctionnement de modèle Kuz-Ram.

Diamètre de trou de mine (mm)		89
Caractéristique du massif rocheux	Masse volumique (kg/m ³)	2.6
	Modèle de Young(Mpa)	27
	Résistance à la compression(Mpa)	77.27
Paramètres de discontinuités	Espacement entre la discontinuité	0.8
	Direction(°)	10
	Taille de bloc in situ(m)	7
Paramètres d'explosif	Densité	0.75
	RWS(%)	80
	Vitesse de détonation nominale (m/s)	3350
	Vitesse de détonation effective (m/s)	1900
	Résistance de l'explosif	0.25

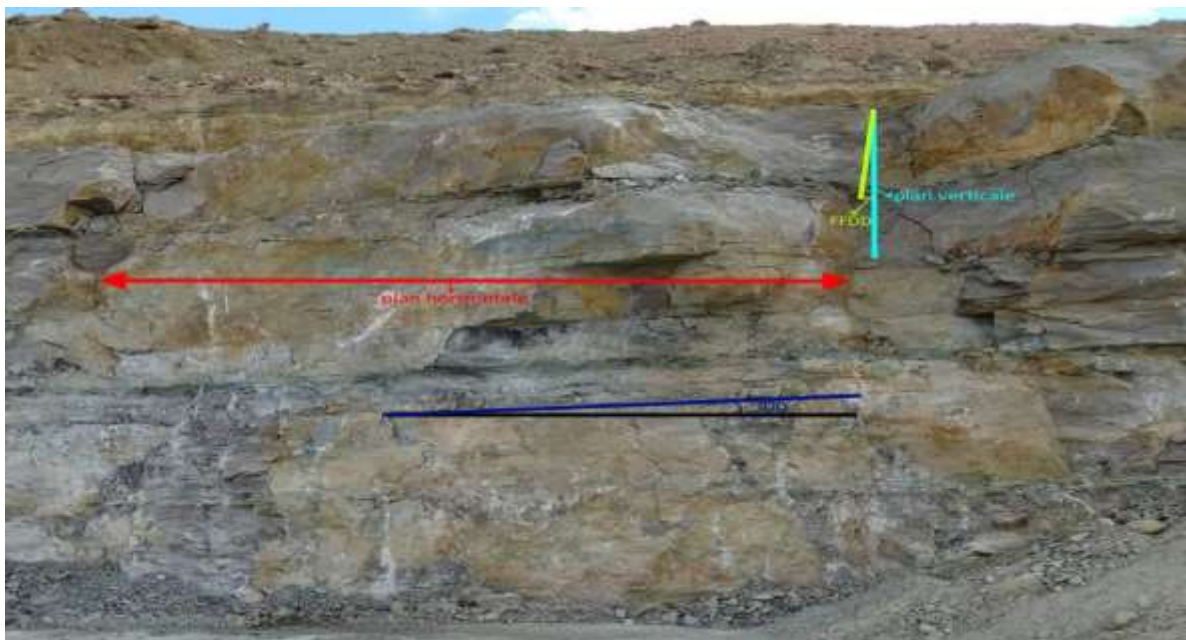


Figure IV.8: Paramètres géométrique du massif rocheux

Espacement des joints : est calculer à partir d'une ligne d'échantillonnage de 10m, qui a 8 joints qui la découpe, donc : $es = \frac{8}{10} = 0.8$ m

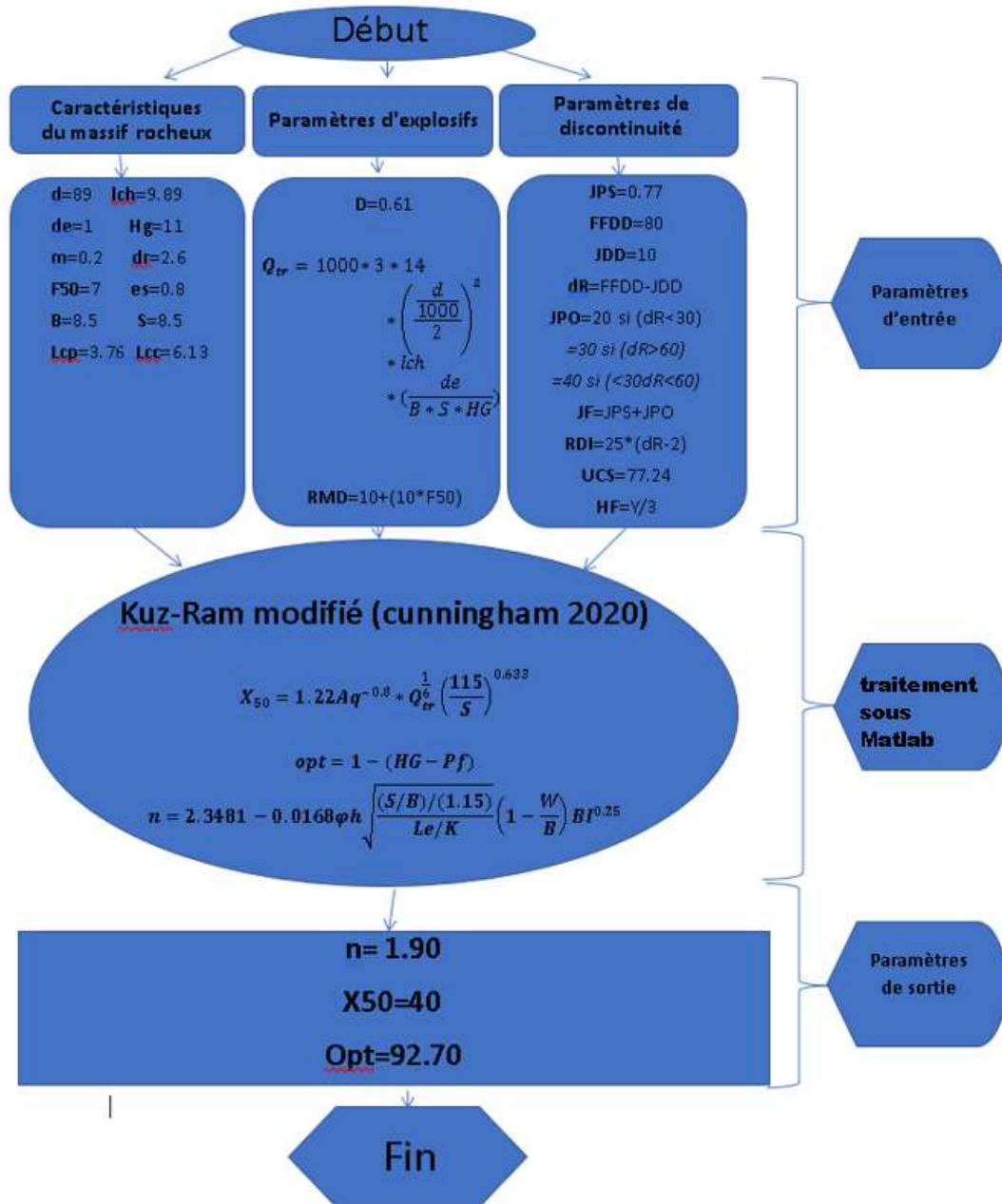
La taille du block in-situ : $F50 = 7$ m

JDD : pente en direction de fissure =10 degrés.

FFDD : pente en direction de la face (degrés)=89degrés.

Dans ce qui suit nous allons présenter l'algorithme de base, sur laquelle nous avons préparé l'application sous Matlab,

IV.3.2. Algorithme représente le principe de fonctionnement du modèle Kuz-Ram modifié



IV.3.3. Evaluation des résultats du plan par le modèle Kuz-Ram modifié sous Matlab

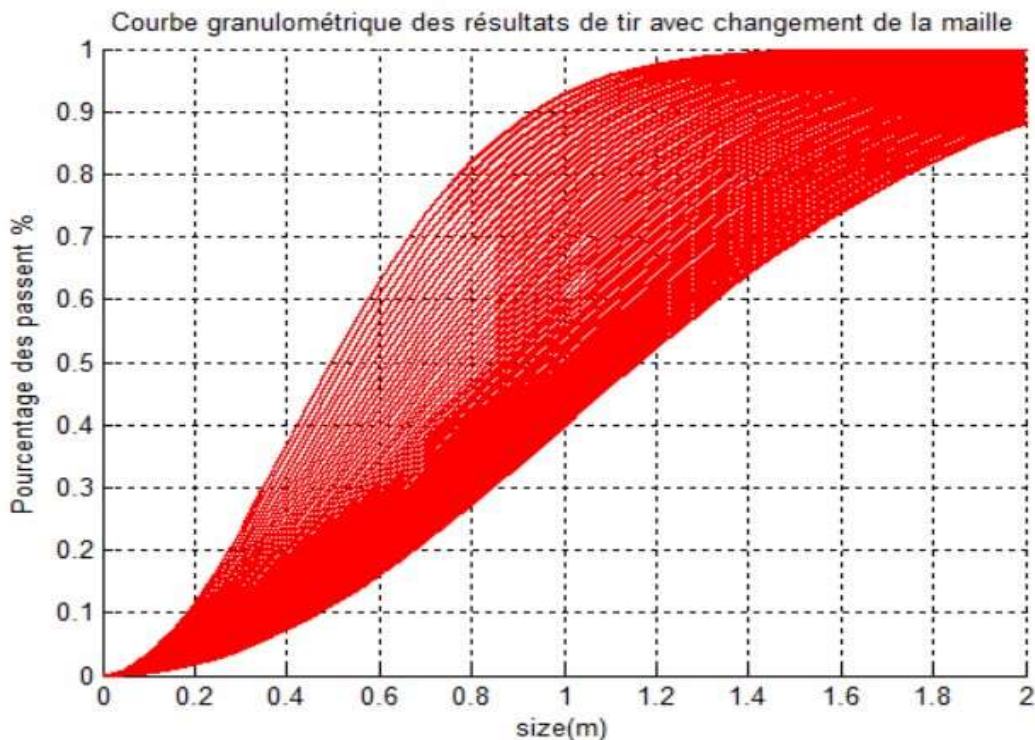


Figure IV.9: Courbes granulométrique des résultats de tir avec changement de la maille

La figure ci-dessus représente les courbes granulométriques qui ont été obtenus à partir des calculs des mailles (banquette/ espacement) par itération avec logiciel Matlab pour les valeurs du plan de tir. La maille change par un pas de 10 cm et fait 50 itérations des deux coté espacement et banquette, ce qui donne 2500 itérations. D'où le tableau détaillé des résultats est plus dense, dans lequel nous avons plusieurs paramètres présentés tels que : maille (banquette et espacement), indice d'uniformité, taille moyenne X50, pourcentage des fines, pourcentage des hors gabarits. Dans notre mémoire nous allons présenter un aperçu des tableaux sur les résultats des pourcentages des hors gabarits et l'indice d'uniformité dans l'Annexes 10 et 11 respectivement.

L'analyse superficielle de ces graphes, nous montre une répartition des tailles des particules fines, hors gabarits et ainsi que les particules moyennes.

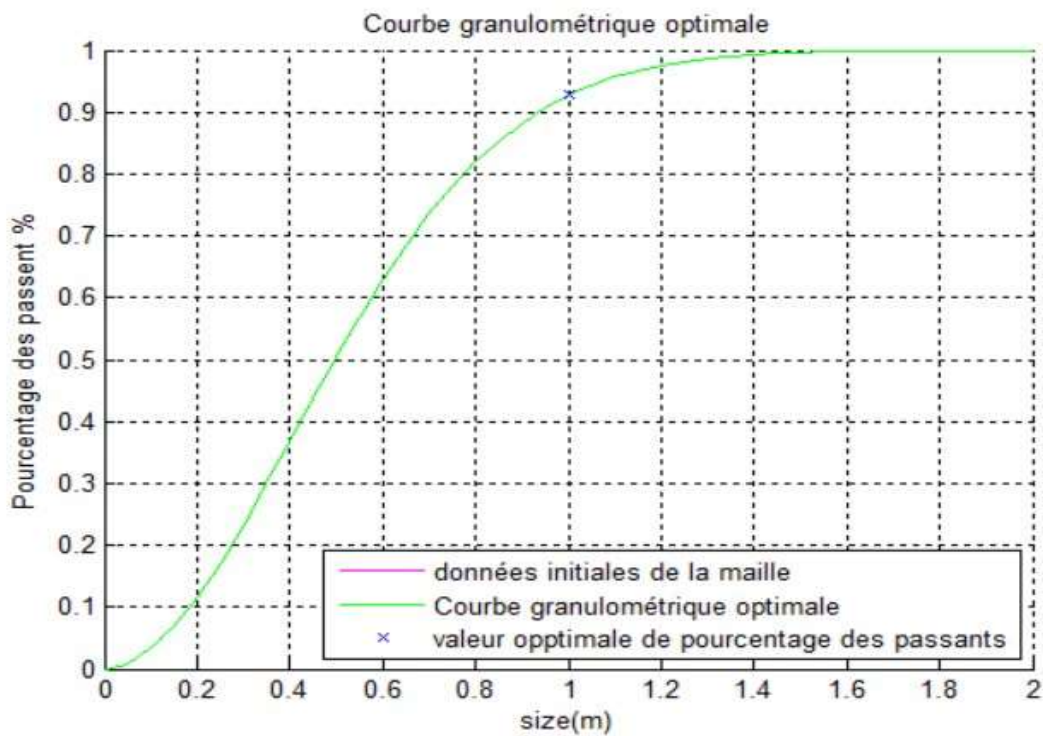


Figure IV.10: Courbe granulométrique optimale.

La figure ci-dessus représente la courbe granulométrique optimale, à partir de cette courbe on constate que le pourcentage des hors gabarits et celui des fines; tandis que le pourcentage des passants à une valeur optimale importante de l'ordre de 93 %.

IV.3.4. Discussions des résultats

Sur la base des résultats calculés par la méthode de Kuz-Ram modifié sous Matlab, on conclut que, le rapport de maille joue un rôle très important sur le résultat de la fragmentation des roches, la géométrie de disposition des trous exerce une influence sur la qualité de la fragmentation, la forme de maille en quinconce est plus efficace que la forme carrée et/ou rectangulaire.

A partir des résultats estimés par le model Kuz-Ram modifié sous Matlab, on remarque que le taux des hors gabarits a diminué en comparaison avec celle du plan de tir réalisé à la carrière. La maille correspond à cet optimum égal à 2.6 x 3.5 m, d'où le rapport de la maille (l'espacement sur la banquette) $a/b = 1.3$ ce qui représente un meilleur rapport, tandis que, d'après les recherches [28] ce rapport doit être compris entre 1 et 1.5, pour avoir un meilleur résultat de tir. Ce qui est confirmé dans notre cas d'étude.

En revanche, l'indice d'uniformité (n), égale 1.90 qui représente selon les chercheurs une mauvaise qualité de tir en termes de distribution des roches fragmenté, mais ça reste justifié vue que le massif n'est pas homogène et présente des fissurations qui influent sur la qualité de tir des mines. Etant donné que les roches fragmentées passent par une deuxième étape de préparation mécanique (concassage et/ou broyage), l'indice d'uniformité n'a pas beaucoup d'impact sur la qualité des tirs des mines, il faut juste s'assuré que les roches fragmentées ont des dimensions accessibles par la station de concassage.

Afin de confirmer ces prédictions optimales, il est nécessaire de faire une vérification par l'exécution de notre plan de tir, ce qui n'est pas possible vu que les conditions de la carrière ne permettent pas.

Tableau IV.5: Les résultats d'évaluation de logiciel WipFrag, Kuz-Ram et le logiciel Matlab.

Paramètres	Résultats de WipFrag	Résultats de Kuz-Ram	Résultats de Matlab	Unité
Indice d'uniformité	/	2.05	1.90	/
Taille moyenne des fragments	44	51	40.74	Cm
Banquette	3	3	2.6	m
Espacement	3	3	3.5	m
Pourcentages des hors gabarits	36%	17%	7.29%	%
Pourcentages des particules fines	5%	7%	0.01%	%
Pourcentage des tailles moyennes	59%	76%	92.70%	%
Consommation spécifique	/	0.30	0.29	Kg/m ³

Conclusion

Le modèle Kuz-Ram a été largement appliqué dans les conditions minières, afin de servir de base à évaluer les différentes conceptions et étudier l'effet de la modification de certains variables (maille de tir) et prédire la taille moyenne des fragments. Ceci rejoint l'objectif d'intégrer les améliorations à un outil destiné à la conception des tirs à l'explosif dans la carrière.

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons pratiqué le plan de tir effectuée dans la carrière, et vérifié à l'aide de logiciel WipFrag ainsi que le modèle Kuz-Ram, la distribution granulométrique des roches abattue ainsi que le pourcentage des hors gabarits qui est respectivement 36 % et 17 %. Cette différence entre l'estimation par Kuz-Ram et WipFrag est due généralement de l'ignorance des particules fines par le logiciel de traitement d'image, qui concentre beaucoup plus sur les particules grossières.

Afin d'améliorer ces résultats de tir qui sont dans toute les cas représentent un taux élevé des hors gabarit, nous avons procédé à une étude inverse par la méthode Kuz-Ram modifié, par l'utilisation des formules de base du modèle Kuz-Ram modifié, avec des changements itératifs des paramètres de la maille, ce qui nous a permis d'avoir une nouvelle maille plus pratique, ce dernier donne un résultat nettement meilleur en comparaison avec celle du plan exécuté au niveau de la carrière. Dont le taux des roches hors gabarit représente environ 7 % du tas abattu, et avec un pourcentage des fines qui est 0.01 % presque négligeable. Avec un léger changement de la consommation spécifique des explosifs de 0.30 kg/m^3 pour le plan initial à 0.29 kg/m^3 pour le plan résultant de l'étude itérative des paramètres de la maille.

A la fin de ce chapitre, nous avons pu faire un changement de maille d'une façon itérative, avec un nombre d'itérations très limité vis-à-vis la vitesse de calcul de logiciel Matlab, avec 2500 itérations effectuées ce qui représente 2500 plans de tir différents étaient vérifiées.

Les résultats de cette étude semblent raisonnables en se rappellent du rapport de la maille (E/B) qui est entre 1 et 1.5.

Afin d'avoir une amélioration sur la qualité de fragmentation des roches la carrière Mezaidia doit utiliser le nouveau plan de tir pour et faire des améliorations selon les conditions du terrain.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La fragmentation est une notion complexe dans le contexte de l'exploitation des mines à ciel ouvert. Son amélioration constitue le principal défi du mineur face aux roches classées dures.

L'objectif du travail était l'amélioration des paramètres de tir et la vérification par une méthode prédictive (Kuz-Ram modifié sous Matlab) de la qualité des fragments des tirs à l'explosif en ciel ouvert.

Cet objectif est atteint après avoir appliqué une nouvelle approche, basé sur un changement itératif des paramètres de maille de tir. Dont, nous cherchons un optimum de la qualité de fragmentation des roches abattus.

La distribution de la taille de la fragmentation des roches à la carrière de Mezaidia a été prédite par le modèle Kuz-Ram, en se basant sur les paramètres du plan de tir existant, puis il a été vérifié par le logiciel de traitement d'image (WipFrag). Les résultats du traitement d'image montrent que le modèle Kuz-Ram surestime la distribution de la taille moyenne des fragments. Par conséquent, le logiciel de traitement d'image ignore les particules fines résultant de tir ce qui donne une mauvaise présentation de la courbe granulométrique. D'où, les valeurs de pourcentage des différentes fractions ne sont pas de vraies valeurs. Ce résultat nous a poussé à engager dans une étude inverse en cherchant la maille optimale qui donne le meilleur rendement de tir et la distribution optimale des fragments résultant de tir.

La mise en application de cette approche dans les conditions de la carrière Mezaidia à permet une augmentation remarquable du pourcentage des passants, qui atteint un optimum d'environ 93 % et un pourcentage des hors gabarits réduite qui ne dépasse pas les 7 % avec un indice d'uniformité de l'ordre de 1.92.

La mise en application de cette approche dans les conditions de la carrière Mezaidia à permet la confirmation de l'objectif visé. Les résultats d'estimation nous a conduit à une nouvelle maille de tir (2.6 x 3m). Cependant, la nature agissant sur les conditions géologiques et minières nécessite le suivi et le contrôle des résultats de chaque tir et porter les corrections nécessaires aux paramètres dans les plans de tir des mines.

A la fin de ce travail nous avons pu prédire les paramètres optimaux de la maille et améliorer les pourcentages des passants ainsi que la diminution des pourcentages des hors

Conclusion Générale

gabarits et les fines, d'où l'avantage d'utiliser cette application Kuz-Ram modifié sous Matlab est très remarquable.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] : CARTE GEOLOGIQUE DE L'ALGERIE, troisième édition (rectifiée et complétée par : le service de la carte géologique de l'Algérie.
- [2] : RAPPORT GEOLOGIQUE, SPA ENASR AGREG, Gisement de calcaire de Mezaidia, décembre 2019.
- [3] : TAHIRI A (1992), Modélisation des massifs rocheux fissures par la méthode des éléments distincts. Thèse de doctorat de l'école nationale des ponts et chaussées.
- [4]: PREST S. (1993) Discontinuity analysis for rock engineering. London : Chapman: Hall ed.
- [5] : SOUKATCHOFF M. (2007), cours de géotechnique. L'école nationale supérieure des mines de Nancy.
- [6] : ZHAO J. (2008), Mécanique et propriétés des massifs rocheux, deuxième partie, cours de mécanique des roches, pp.10-21-43-4557-65. Ecole polytechnique fédérales de Lausanne.
- [7] : BERESPT B. (2000), comportement mécanique des discontinuités. Manuel de mécanique des roches, Tom1 : Fondements. Les presses de l'école des mines Paris.
- [8] : Abattage des roches, élaboration et mise en œuvre du plan de tir, conception et. Cours de l'école des mines de Douai.
- [9] : BERDOUDI S, (2014), étude de la mécanique de tir des roches par utilisation des modèles réduits dans les conditions Algérienne, Thèse de Doctorat de l'UNIVERSITE DE BADJI MOKHTAR ANNABA.
- [10] : BENELMOUAZ A, BOUKHLIFA A, (2016), Optimisation des paramètres d'abattage à l'explosif pour améliorer les résultats de tir de carrière « Chouf-Amar » Mémoire Master.
- [11]: MATHI H, Cheif editor. (1999), Rock excavation handbook.
- [12] : MERABET D, KHEBACHI H, MEHRI D, (1997) Amélioration de la qualité de fragmentation des roches fissurées lors de l'abattage à l'explosif dans les mines à ciel ouverts. Revue française de géotechnique, (78), 78-80.
- [13] : Ouvrage de L'OPPBTP ; Octobre, (2012). Travaux à l'explosif

Références bibliographiques

- [14]: Lilly P. 1986_ an empirical method of assessing rock mass blastability. In Proc. Large Open Pit Mining Conference (AusIMM), pages 89_92, 1986
- [15]: Lilly PA (1992) The use of blastability index in the design of blasts for open pit mines. In: Szwedzicki T, Baird GR, Little TN (eds) Proceedings of Western Australian Conference on Mining Geomechanics, Kalgoorlie, West Australia, 8–9 June 1992. Western Australia School of Mines, Kalgoorlie, pp 421–426
- [16]: PERSSON P; HOLMBERG R, LEE J (1994)
- [17] : Neggazi A, Projet d'exploitation de la colline Est du gisement de Dolomie-Calcaire à El Maleh (Ain Témouchent) Entreprise Nationale des Granulats (ENG) (2010) Mémoire de fin d'étude (Ecole Nationale Polytechnique).
- [18] : HERMAN F. (2005), L'utilisation des explosifs en milieu sous-marin
- [19] : ELLIAS H, Prédiction et analyse de la fragmentation des roches dans les conditions ALGERIENNE p : 11 – 14
- [20] : ASH R.L. (1963), The mechanics of rock breakage Part II : standards for blasting design. In Pit and Quarry 56(3), pages 118 – 122
- [21] : GHERICI A. (2009), « Projet d'ouverture et d'exploitation du gisement du Kraoula situé à proximité de Sidi Bel Abbes ». Mémoire de fin d'étude d'école national polytechnique.
- [22] : Rock Fragmentation Prediction using Kuz-Ram Model Jethro Michael Adebola* Ogbodo David Ajayi Peter Elijah.O Department of Minerals and Petroleum Engineering, School of Engineering, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria
- [23]: 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.
- [24]: 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.

Références bibliographiques

[25]: Rosin Rammler, 1979, “the laws governing the fineness of powdered coal”, J.Inst.Fuel, Fuel, 7, 2936

[26]: Franklin, J. A., and Maerz, N. H., 1987. Photographic Measurements of Jointing and Fragmentation. Proc. 2nd Int. Symp. Field Measurements in Geomechanics, Kobe, Japan, v 1 pp. 1-11.]

[27] : Souhail Outal, 2006, « Quantification par analyse d’images de la granulométrie des roches fragmentées : Amélioration de l’extraction morphologique des surfaces, amélioration de la reconstruction stéréologique », Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l’Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Spécialité : Techniques et Economie de l’Exploitation du Soussol, Centre de Géosciences, Ecole des Mines de Paris.

[28]: Hagan T.N. (1983) The influence of Controllable Blast Parameters on Fragmentation and mining costs. In Proceeding of the 1st International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting 1983.

Annexes

Annexes

Annexe N°01 : Paramètres de forage

Désignation	Symb	Unité	Quantité volée 01
Hauteur de front	H	Mètre	11
Profondeur du trou	L _{tr}	Mètre	12
Banquette	B	Mètre	3.0
Espacement	Et	Mètre	3.0
Sous-foration	Sf	Mètre	1
Diamètre foration	D	Mètre	0.089
Nombre de trou	Nb	Trous	24
Nombre de rangées	NR	Rangées	2
Inclinaison des trous	α	%	90
Longueur de la volée	L.V	Mètre	35

Annexe N°02 : Description des explosifs à utiliser

N° D'ordre	Désignation	Unité	Références
01	Explosif marmanit 3/65	Kg	50*470*1000, caisse=24kg
02	Cordeau détonant	m	12gr/m, Bobine=125m
03	Anfomil	Kg	Caisse de 25kg
04	Détonateur DMR	P	Retard : 20 millisecondes

Annexe N°03 : Calcul d'une maille de foration

Désignation	Symbole	Unité	Quantité de volée
Hauteur de front	H	m	11
Banquette	B	m	3.0
Espacement	Et	m	3.0
Diamètre foration	D	m	0.089
Maille	M	m	9
Rapport de maille	R	Unité	1.0

Annexes

Annexe N°04 : Estimation de la production

Désignation	symb	Unité	Quantité de volée
Diamètre de foration	D	m	0.089
Densité	d		2.5
Volume à abattre par trou	V	m ³	99
Production par trou	P	T	248
Production par mètre foré	Pmf	m ³	8.3
Surforation	Sf	m	1
Longueur du trou	L	m	12
Prévision production totale (T)	Pp	Tonne	5940
Prévision production totale (m ³)	Pp	m ³	2376
Métrage à forer	Vf	m	288
Nombre de trous	N _{tr}	U	24

Annexe N°05 : Consommation du Marmanit

Désignation	Unité	Quantité volée
Rayon du trou	m	0,0445
(Rayon) ² du trou	m ²	0,002
Hauteur de la cartouche	m	0,61
Nombre de cartouche/trou	U	12
Nombre total de cartouche	U	288
Poids total	Kg	360
Poids par trou	kg	15,00

Annexes

Annexe N°06 : Consommation d'Anfomil

Désignation	Unité	Quantité volée
Surface de cylindre	m ²	0.006
Volume charge colonne	m ³	0.0147
Densité	-	0.95
Poids/trou	Kg	14.00
Poids total	kg	336

Annexe N°07 : Calcul pour les DMR

Désignation	Unité	Quantité volée
Longueur du cordeau	m	312
DMR	p	24
		01 DMR pour un trou

Annexe N°08 : Récapitulatif consommation prévisionnelle

Désignation	Unité	Quantité volée
Quantité totale d'explosif	Kg	660.00
Quantité d'explosif par trou	Kg	27.50
Volume total à abattre	m ³	2376.00
La consommation spécifique	Kg/m ³	0.30

Annexe N°09 : Plan chargement des trous

Désignation	Type	Profondeur
Hauteur charge pieds	Marmanit	3.76
Bouillage intermédiaire	Sable 0/15	0.61
Hauteur charge colonne	Anfomil	1.27
Hauteur charge colonne	Marmanit	3.76
Hauteur charge colonne	Anfomil	1.10
Bouillage final	Sable 0/15	1.50
Total		12.00

Annexes

Annexe N°10 : Les itérations des taux des hors gabarits par rapport aux itérations de la maille

Les itérations de la banquette												
3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	3	2,9	2,8	2,7	2,6		Les itérations de l'espacement
0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	3,5	
0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	3,6	
0,21	0,20	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	3,7	
0,23	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	3,8	
0,24	0,23	0,22	0,20	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	3,9	
0,26	0,25	0,23	0,22	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,14	0,13	4	
0,27	0,26	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,14	4,1	
0,29	0,28	0,26	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	4,2	
0,31	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	4,3	
0,32	0,31	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	0,21	0,20	0,18	4,4	

Annexe N°11 : Les itérations de l'indice d'uniformité par rapport aux itérations de la maille.

Les itérations de la banquette												
3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	3	2,9	2,8	2,7	2,6		Les itérations de l'espacement
1,84	1,85	1,85	1,86	1,86	1,87	1,88	1,88	1,89	1,89	1,90	3,5	
1,85	1,85	1,86	1,87	1,87	1,88	1,88	1,89	1,90	1,90	1,91	3,6	
1,86	1,86	1,87	1,87	1,88	1,89	1,89	1,90	1,90	1,91	1,91	3,7	
1,86	1,87	1,88	1,88	1,89	1,89	1,90	1,90	1,91	1,92	1,92	3,8	
1,87	1,88	1,88	1,89	1,89	1,90	1,90	1,91	1,92	1,92	1,93	3,9	
1,88	1,88	1,89	1,89	1,90	1,90	1,91	1,92	1,92	1,93	1,93	4	
1,88	1,89	1,89	1,90	1,91	1,91	1,92	1,92	1,93	1,93	1,94	4,1	
1,89	1,90	1,90	1,91	1,91	1,92	1,92	1,93	1,93	1,94	1,94	4,2	
1,90	1,90	1,91	1,91	1,92	1,92	1,93	1,93	1,94	1,94	1,95	4,3	
1,90	1,91	1,91	1,92	1,92	1,93	1,93	1,94	1,94	1,95	1,95	4,4	

Prédiction et amélioration de la qualité de la fragmentation des roches basée sur le modèle Kuz-Ram modifié

Résumé

Dans le but d'améliorer le rendement des tirs des mines, ainsi que la qualité de fragmentation dans la carrière de Mezaidia (W. MASCARA), vu le taux élevé de blocs hors gabarit obtenu dans la masse rocheuse abattue. Nous allons procéder à la vérification et l'estimation des résultats des tirs exécutés dans la carrière, par utilisation des deux méthodes les plus répandues dans les mines et carrière, il s'agit de traitement d'image par le logiciel WipFrag, ensuite par estimation à l'aide du modèle Kuz-Ram.

Afin d'effectuer les modifications nécessaires dans les plans de tir, l'utilisation du modèle Kuz-Ram modifié est une alternative simple et efficace pour la prédiction des résultats des tirs, sur lequel on se base par une étude inverse d'un multiples de cas de maille, et de choisir la maille correspond au meilleur rendement de tir.

Mot clés : Mezaidia (W. MASCARA), fragmentation, traitement d'image, WipFrag, Kuz-Ram.

Abstract

The aim of improving the yield of blasting from the mines, as well as the quality of fragmentation in the Mezaidia quarry (W. MASCARA), given the high rate of out-of-gauge blocks obtained in the blasted rock mass. We are going to verify and estimate the results of the shots carried out in the quarry, using the two most popular methods in mines and quarries, this is image processing by the WipFrag software, then by estimation using the Kuz-Ram model.

To make the necessary modifications in the firing plans, the use of the modified Kuz-Ram model is a simple and effective alternative for the prediction of the results of the firings, on which we base ourselves by an inverse study of a multiple of mesh case, and to choose the mesh corresponds to the best shooting performance.

Keywords: Mezaidia (W. MASCARA), fragmentation, image processing, WipFrag, Kuz-Ram.

المخلص

بهدف تحسين إنتاجية التفجير في المناجم، وكذلك جودة التجزئة في مقلع المزيديا (و.معسكر)، بالنظر إلى المعدل العالي للكتل خارج العيار التي تم الحصول عليها في كتلة الصخور المنفجرة. نقوم بالتحقق من نتائج التفجير المنفذة في المحجرة وتقديرها، باستخدام الطريقتين الأكثر شيوعاً في المناجم والمحاجر، وهي معالجة الصور بواسطة برنامج (WipFrag) ثم عن طريق التقدير باستخدام نموذج (Kuz-Ram).

من أجل إجراء التعديلات اللازمة في خطط التفجير، فإن استخدام نموذج (Kuz-Ram) المعدل هو بديل بسيط وفعال للتنبؤ بنتائج عمليات التفجير، والتي نبنى أنفسنا عليها من خلال دراسة عكسية للعديد من حالات الشبكة، واختيار الشبكة يتوافق مع أفضل أداء للتفجير.

كلمات مفتاحية: مزيدية (و.معسكر)، التجزئة، معالجة الصور، (WipFrag، Kuz-Ram).