

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Ecole
Nationale Polytechnique



APMC
DIVINDUS



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Minier
Entreprise DIVINDUS APMC
Mémoire de projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

L'optimisation du plan de tir (cas de gisement ECAVA Bab
El Oued W.Alger)

Réalisé par KHELIFI Fares Eddine

Sous la direction de Mr. MOUSSAOUI Elabas
Présenté et soutenue publiquement le (18/11/2020)

Composition du Jury :

Président	Mr. BENKACI Djamel	Maitre assistant A	ENP
Examineur	Mr. GACEM Rachid	Maitre assistant A	ENP
Rapporteur/ Promoteur	Mr. MOUSSAOUI Elabas	Maitre assistant A	ENP

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Ecole
Nationale Polytechnique



APMC
DIVINDUS



Département Génie Minier
Entreprise DIVINDUS APMC
Mémoire de projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

L'optimisation du plan de tir (cas de gisement ECAVA à Bab
El Oued W.Alger)

Réalisé par KHELIFI Fares Eddine

Sous la direction de Mr. MOUSSAOUI Elabas

Présenté(e) et soutenue publiquement le (18/11/2020)

Composition du Jury :

Président	Mr. BENKACI Djamel	Maitre assistant A	ENP
Examineur	Mr. GACEM Rachid	Maitre assistant A	ENP
Rapporteur/ Promoteur	Mr. MOUSSAOUI Elabas	Maitre assistant A	ENP

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تحسين نتائج التفجير في محجرة باب الواد.

بعد التحليل الحبيبي لكومة الصخور المفجر عن طريق معالجة الصور التي تعتمد على توزيع حجم الكتل من الأكوام المقطوعة ، تمكنا من اقتراح حلول من شأنها أن تساهم في تحسين جودة التجزئة التي تتكون أساسًا من تعديل بعض العوامل في خطة التفجير.

الكلمات المفتاحية: التفجير ، جودة التجزئة ، تحليل حجم الجسيمات ، معالجة الصور ، العوامل ، خطة التصوير

Abstract

The objective of this work is to optimize the results of blasting at Bab El Oued open pit.

After the granulometric analysis of the pile of the blasted rock by image processing which is based on the distribution of the size of the blocks of the felled heaps, we were able to propose solutions which should contribute to improving the quality of fragmentation which essentially consists of modifying some parameters in the firing plan.

Keywords: blasting, quality of fragmentation, particle size analysis, image processing, parameters, shooting plan

Résumé

L'objectif de ce travail est d'optimiser les résultats d'abattage à l'explosif au niveau de la carrière de Bab El Oued.

Après l'analyse granulométrique du tas de la roche abattue par traitement d'image qui se base sur la distribution de la taille des blocs des tas abattus, nous avons pu proposer des solutions qui devraient contribuer à améliorer la qualité de fragmentation qui consiste essentiellement à modifier quelques paramètres dans le plan de tir.

Mots clés : abattage a l'explosif, qualité de fragmentation, analyse granulométrique, traitement d'image, paramètres, plan de tir

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je remercie le bon dieu qui m'a donné la volonté pour réaliser ce travail.

Le grand merci à mon cher encadreur MOUSSAOUI Elabas pour sa permanente disponibilité, son aide, ses précieux conseils qui m'ont guidé dans l'élaboration de ce travail.

Je remercie également la direction et tout le personnel de la carrière de Bab El Oued en particulier Hamrit Farid.

J'adresse également mes remerciements à tous les membres du jury Mr .R.GACEM et Mr .M.AGUID d'avoir accepté d'examiner ce travail.

J'adresse également mes remerciements à tous les enseignants qui ont participé à ma formation et l'aide qu'ils m'ont fournie pendant la période d'étude.

DEDICACE

Je profite de cette occasion pour dédier ce travail à :

Ma très chère mère

Mon très cher père

Ma sœur

Mes amis

1 Table de matière

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

INTRODUCTION GÉNÉRALE	12
Chapitre 1 – Généralités sur les travaux d’abattage à l’explosif	13
1. Introduction	13
2. La Foration	13
2.1. Techniques de foration	13
2.2. Caractéristiques des machines de foration	15
3. L’explosif	16
3.1. Mécanisme de fonctionnement de l’explosif	17
3.2. Caractéristique des explosifs	17
3.3. Critères de choix des explosifs	20
3.4. Les accessoires de tir	20
3.5. Les explosifs fabriqués en Algérie et leur accessoires	22
4. Les principaux paramètres d’un plan de tir et leurs impacts sur son résultat	24
4.1. Les paramètres liés au plan	24
4.1.1. Hauteur du gradin	24
4.1.2. La Banquette	25
4.1.3. La maille de foration	25
4.1.4. Largeur d’enlevure (bloc)	26
4.2. Les paramètres liés au trou	26
4.2.1. Diamètre de trou	26
4.2.2. Inclinaison du trou	26
4.2.3. Profondeur de surforation	27
4.2.4. Profondeur de trou	27
4.3. Les paramètres liés à l’explosif	27
4.3.1. La consommation spécifique	27
4.3.2. L’amorçage	28
4.3.3. Connexion des trous	28
4.3.4. Mise à feu	29
4.3.5. Charge instantanée	29

4.4. Les paramètres liés au chargement des trous	30
4.4.1. Le bourrage	30
4.4.2. Le bourrage intermédiaire	30
4.4.3. La construction des charges	30
4.4.4. La quantité d'explosif par trou	31
5. Les anomalies d'un tir	32
5.1. Les anomalies naturelles	32
5.2. Les anomalies dues aux tirs	32
5. Conclusion	32
Chapitre 02 - Etude de l'existant.....	34
1. Présentation de l'entreprise	34
2. Situation géographique du site.....	34
3. Contexte géologique du massif d'Alger.....	35
3.1 Composition pétrographique	35
3.2 Litho-stratigraphie.....	36
4. Tectonique	37
5. Sismique	37
6. Climat de la région.....	37
7. Cadre hydrogéologique du gisement.....	37
8. Caractéristique qualitative de la matière.....	37
9. Identification de matériau tout venant carrière.....	38
10. Les réserves.....	38
11. Capacités de la production et le régime de la carrière	38
12. Système d'exploitation du gisement.....	40
12.1. Paramètres de la méthode d'exploitation dans la carrière Beb El Oued	40
12.2. Paramètres des pistes	40
12.3. Le chargement	40
12.4. Transport	40
13. Traitement du tout venant	41
Chapitre 3 – Optimisation du plan de tir.	44
1. Introduction.....	44
2. Présentation du logiciel WipFrag.....	44

3. Analyse des tirs	46
3.1 Tir du 24 Aout 2020	46
3.1.1. Plan de tir théorique	46
3.1.2. Mise en application du plan de tir	48
3.1.3. Analyse granulométrique	52
3.2 Tir du 06 Septembre 2020	57
3.2.1. Plan de tir théorique	57
3.2.2. Mise en application du plan de tir	58
3.2.3. Analyse granulométrique	61
3.3 Tir du 28 Septembre 2020	65
3.3.1. Plan de tir théorique	65
3.3.2. Mise en application du plan de tir	66
3.3.3. Analyse granulométrique	70
4. Plan de tir proposé	72
5. Conclusion	74
Conclusion générale	75

Liste des figures

Figure 1 : Tarière	13
Figure 2 : Foration rotative à l'air comprimé	14
Figure 3 : Foration par circulation inverse	14
Figure 4 : Foration par carottage	15
Figure 5 : Schéma des différents modes de décomposition.....	17
Figure 6 : Diamètre critique en fonction de la vitesse de détonation	19
Figure 7 : Détonateur pyrotechnique	21
Figure 8 : Détonateur électrique	22
Figure 9 : Construction du cordeau détonant.....	22
Figure 10: Les éléments d'un plan de tir	24
Figure 11: Schéma représentant la maille de foration	25
Figure 12: Les différentes mailles de foration	26
Figure 13: les paramètres liés au trou	27
Figure 14: L'amorçage latéral	28
Figure 15: Schéma de la mise à feu	29
Figure 16: Les différents types de construction de charge	31
Figure 17 Localisation de la commune d'Oued Koriche dans la wilaya d'Alger	34
Figure 18: Schéma de la station de concassage	42
Figure 19: L'insertion de l'image	44
Figure 20: Le choix de la longueur d'échelle	45
Figure 21: Ajustement des bords	45
Figure 22: L'analyse de l'image	46
Figure 23: Plan de foration réel réalisé avec l'Auto CAD du premier tir.....	51
Figure 24: Roche abattue après le premier tir capturé le 24 Aout	52
Figure 25 : Le choix de l'échelle et ajustement des contours.....	53
Figure 26: Courbe granulométrique du tas abattu du tir 24 aout, pris en photo le 24 aout.	53
Figure 27: Roche abattu du premier tir capturé le 6 septembre.....	54
Figure 28: Le choix de l'échelle et ajustement des contours.....	54
Figure 29: Courbe granulométrique du tas abattu du tir 24 aout, pris en photo le 6 septembre.....	55
Figure 30: Le pied d'un gradin après le premier tir.....	56
Figure 31: Plan de foration réel réalisé avec l'Auto CAD du deuxième tir	60
Figure 32: Roche abattue après le deuxième tir capturé le 6 septembre.	61
Figure 33: Le choix de l'échelle et ajustement des contours.....	62
Figure 34: Courbe granulométrique du tas abattu du tir 6 septembre, pris en photo le 6 septembre.	62
Figure 35: Roche abattue après le 2ème tir capturé le 6 septembre	63
Figure 36: Le choix de l'échelle et ajustement des contours.....	63
Figure 37: Courbe granulométrique du tas abattu du tir 6 septembre, pris en photo le 6 septembre.	64
Figure 38: Plan de foration réel réalisé avec l'Auto CAD du Troisième tir.....	69
Figure 39: Roche abattue après le troisième tir (capturé 28 septembre).	70

Figure 40: Courbe granulométrique du tas abattu du tir 28 septembre, pris en photo le 28 septembre. 71

Liste des tableaux

Table 1 : Schéma des différents modes de décomposition	18
Table 2 : La densité des différents produits explosifs	18
Table 3: Les différents explosifs fabriqués par L'ONEX.....	23
Table 4 : Dommages prévisibles en fonction de la zone d'influence [14]	30
Table 5: Les différents paramètres de plan de tir	31
Table 6: Points de coordonnées de délimitation du périmètre du site (Système de projection UTM)	35
Table 7 : Résultats des analyses chimiques	37
Table 8: Les résultats des essais effectués au laboratoire.....	38
Table 9: Le volume et le tonnage de la matière utile.....	38
Table 10: le volume et le tonnage de stérile	38
Table 11: représente la capacité de la production de la carrière.....	39
Table 12 : Principaux paramètres de chantier.....	40
Table 13: Plan de tir théorique actuel	46
Table 14: Plan de tir pratique.....	48
Table 15: Plan de tir théorique actuel	57
Table 16: Plan de tir pratique.....	58
Table 17: Plan de tir théorique actuel	65
Table 18: Plan de tir pratique.....	66
Table 19: Plan de tir proposé	72
Table 20: La différence entre le plan proposé et le plan théorique pour Hg=8m.....	73
Table 21: La différence entre le plan proposé et le plan théorique pour Hg=13m.....	73

Liste des abréviations

LNHC : Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction

ECAVA : Entreprise des Carrières de la Ville d'Alger

APMC : l'Algérienne de Production des Matériaux et de Construction

C U P : Coefficient d'Utilisation Pratique

DMR : Détonateur Microretards

DEI : Détonateur Electrique Instantané

ONEX : Office National des Substances Explosifs

TNT : Trinitrotoluène

NGL : Nitroglycéroglycol

C.S.E : Coefficient de Self Excitation

Cm : Centimètre

C U P : Coefficient d'utilisation Pratique

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'exploitation minière nous permet d'obtenir diverses substances minérales, elle a un rôle très important dans le développement de l'économie du pays.

Cette substance utile peut être extraite soit par un abattage mécanique en utilisant des engins de chantiers soit par un abattage à l'explosif en utilisant des substances chimiques.

La conduite des travaux miniers avec emploi des matières explosives exige une étude et un suivi rigoureux, parce que tant de paramètres entre en jeu pour réaliser un arrachement d'un certain volume de la roche avec la fragmentation désirée.

Notre étude se porte sur l'utilisation d'un logiciel, pour l'analyse de l'imagerie numérique et ceci nous aidera à confirmer la distribution de la blocométrie, il s'agit du programme WipFrag.

La Proposition d'un plan de tir optimal conformément aux conditions minières de gisement de la carrière de Bab El Oued, constitue le contenu et le but de ce projet de fin d'étude.

Chapitre 1 – Généralités sur les travaux d'abattage à l'explosif

1. Introduction

L'exploitation minière est une étape technologique du cycle de vie de la mine qui consiste à extraire une substance utile du sol, ou du sous-sol en quantité industrielle dans le but de sa commercialisation.

Cette substance utile peut être extraite soit par un abattage mécanique en utilisant des engins de chantiers (tel que les pelles hydrauliques) soit par un abattage à l'explosif.

La roche ainsi abattue doit avoir une fragmentation optimale qui permettra d'avoir une bonne productivité des opérations de chargement, de transport ainsi que la préparation mécanique pour le traitement, et ce, dans le but de minimiser le coût de revient global de la production.

2. La Foration

La foration des trous de carrière est une étape fondamentale dans le cycle d'une exploitation minière, elle a une grande importance sur le plan technique et économique.

L'opération de foration se résume au creusement des trous inclinés à des profondeurs variables, selon la hauteur du gradin, grâce à des engins spécifiques.

La foration diffère d'un sondage sur le plan des objectifs de chacun d'eux. Le sondage est un trou effectué dans le but d'étudier la nature des sous-sols, sans savoir s'il va y avoir une exploitation. La foration quant à elle, est une réalisation d'un trou qui servira pour la production. On peut également utiliser la foration comme élément de reconnaissance du sous-sol (forage destructif) sur des profondeurs limitées (jusqu'à 20m) contrairement au sondage qui peut atteindre des profondeurs allant jusqu'à une centaine de mètre. [1]

2.1. Techniques de foration

Il existe plusieurs techniques de foration, parmi lesquelles on distingue :[2]

- **La Tarière**

Adapté aux terrains tendres seulement, la tarière est une vis sans fin qui peut être manuelle ou mécanique ; les matériaux extraits sont remaniés et parfois partiellement mélangés avec la paroi du trou.



Figure 1 : Tarière

- **Foration rotative à l'air comprimé**

Technique destructive, s'appliquant à des faibles profondeurs. Elle consiste à broyer le sol par l'intermédiaire d'un outil rotatif tandis qu'un flux d'air comprimé ramène les débris à la surface entre l'outil et la paroi du trou.



Figure 2 : Foration rotative à l'air comprimé

- **Foration par roto percussion (marteau fond du trou)**

Technique destructive, elle consiste à utiliser un marteau pneumatique (marteau en tête de tige ou marteau en fond de trou), en rotation et en percussion. La roche est ainsi broyée et ramenée à la surface par l'espace entre les tiges et la paroi du trou sous la forme de débris (cuttings) à l'aide d'une circulation d'air comprimé qui permet également le fonctionnement de l'outil.

Cette méthode présente les avantages suivants :

- Rectitude du trou, limitant les déviations et les risques de coincement par la présence du marteau immédiatement derrière le taillant ;
- L'énergie transmise au taillant (c'est un outil de coupe, il détermine le diamètre des trous) est indépendante de la profondeur ;
- L'air de l'échappement est utilisé également pour le nettoyage du trou ;
- Rendement élevé.

- **Foration par circulation inverse**

Technique destructive qui utilise un jeu de deux tiges creuses emboîtées concentriques avec un « marteau percutant en rotation ». Elle permet de collecter sous forme de débris (cuttings) un échantillonnage continu des roches le long du trou réalisé (débris remontés dans un fort courant d'air comprimé/aspiré dans l'espace annulaire entre les tiges emboîtées).



Figure 3 : Foration par circulation inverse

- **Foration par carottage :**

Technique non-destructive, elle consiste en la découpe d'un cylindre de roche par un outil tubulaire imprégné de diamant. Le cylindre de roche découpé se met progressivement en place dans le tube intérieur du carottier d'une longueur en général comprise entre 1,5 et 3 m. Cette technique permet de récupérer un cylindre d'échantillon (carotte) continu et intact des terrains traversés.



Figure 4 : Foration par carottage

2.2. Caractéristiques des machines de foration

Les machines de foration à utiliser peuvent être caractérisés par :

- Le diamètre de foration : dans les travaux miniers d'abattage, le diamètre de foration varie de 45 à 152 mm
- La vitesse de foration.
- La force de poussé et de traction.
- La profondeur de foration : elle détermine l'intervalle des diamètres utilisables. Par Exemple, les engins légers ne permettent que la foration à faible profondeur et en diamètre réduit.
- Le rendement horaire de la machine : il est directement lié au rythme de production.
- Type de moteur et sa puissance.
- Dimension de la machine : Poids, longueur, largeur, hauteur...
- Vitesse de déplacement.
- La maintenance de la machine.

Compte tenu de la dureté des roches de calcaires, on note l'utilisation des machines de foration fonctionnant avec le principe de roto percussion et qui ont un certain nombre d'avantage pratiques tel que :

- Le contrôle indépendant de la rotation et de la percussion permettant une adaptation à chaque type de roche
- La pression constante et élevée sur le trépan (c'est la partie principale de la sondeuse qui désagrège la roche sur le fond du trou, il est en acier spécial au carbure traité thermiquement) qui est constitué selon la nature de la roche avec un profil spécial.

3. L'explosif

Un explosif est un corps simple ou un mélange de corps susceptible se décompose en un temps très court sous l'influence de la chaleur (sensibilisation par voie chimique) ou d'une action électrique particulière (sensibilisation par voie physique) en produisant une grande quantité de gaz porté à haute température.[5]

Le principe de l'explosion repose sur la transformation d'une énergie chimique en énergie mécanique communiquée au milieu extérieur.

Les explosifs industriels sont en général constitués par un comburant (oxydant), un combustible (réducteur) et divers autres produits pour leur conférer des propriétés particulières.

Selon la vitesse de réaction, on distingue trois modes de décomposition :

- **Combustion :**

C'est une réaction chimique exothermique entre un corps réducteur et l'oxygène ou un autre corps oxydant utilisé pour la destruction des produits explosif.

- **Détonation :**

La décomposition de la substance explosive est rapide avec une naissance d'une onde de choc. La vitesse de décomposition est supérieure à 2000 m/s.

Cette détonation apporte un choc et une poussée utilisés dans les travaux d'abattage et de démolition.

- **Déflagration :**

La déflagration de la substance explosive est créée par la décomposition de la molécule suivie par une combustion des atomes de carbone et d'hydrogène contenus dans la matière.

La vitesse de décomposition est lente « entre 10 et 400 m/s. »

Ci-dessous un schéma qui illustre positionne les modes de combustion en fonction de leurs vitesses de réaction.

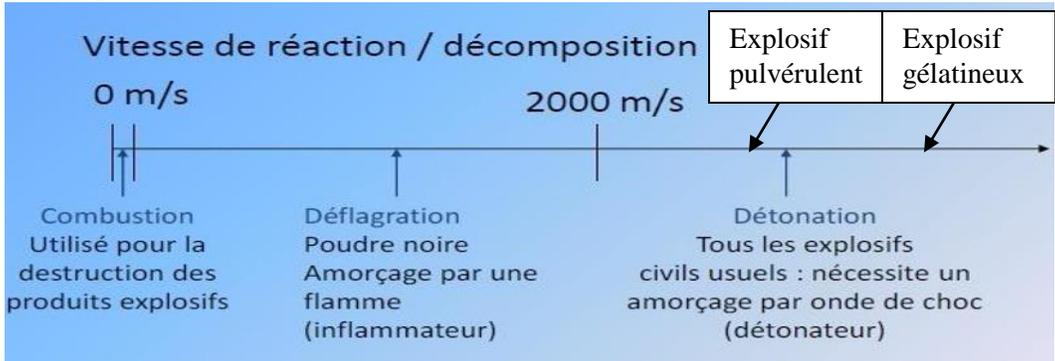


Figure 5 : Schéma des différents modes de décomposition

Les explosifs sensibilisés par voie chimique sont caractérisés par l'ajout dans leurs composition d'un explosif pur de type Nitroglycérine ou de TNT.

- Ajout de nitroglycérine : production de Dynamites sous forme :
 - ✓ Pâteuse : si le pourcentage de nitroglycérine dans le mélange est supérieur à 10%
 - ✓ Pulvérulente : si le pourcentage de nitroglycérine dans le mélange est inférieur à 10%.
- Ajout de TNT : production des explosifs nitrates sous forme pulvérulente.

Les explosifs sensibilisés par voie physique quant à eux, sont caractérisés par un mélange intime entre comburant et carburant. On distingue :

- Les Nitrates Fuel : grains poreux et Fuel
- Les gels : grains de nitrates et huiles gélifiés
- Les émulsions : solution de nitrate avec huile
- Les émulsions composites : mélange de nitrate fuel avec émulsion

3.1. Mécanisme de fonctionnement de l'explosif

Le mécanisme de fonctionnement de l'explosif sur la roche peut être définie par les actions suivantes : [7]

- La génération d'une onde de choc de haute pression qui soumettra la roche à une compression élevée, qui engendre à son tour la fissuration de la roche dans une zone allant jusqu'à 2 à 3 fois le rayon du trou.
- L'onde de compression se réfléchit sur la surface libre et revient dans le matériau en onde de traction, qui a comme conséquence le développement de la fissuration.
- Le gaz généré par l'explosion se propage dans les fissures existantes, les agrandissent et les projettent dans la direction de la surface libre.

3.2. Caractéristique des explosifs

Les caractéristiques techniques des explosifs peuvent être divisées en 3 grands groupes ; à savoir : [7] et [6]

- Caractéristiques physiques
- Caractéristiques de sécurité
- Caractéristiques de performance

Chacun des groupes de caractéristiques cités ci-dessus est également divisé en plusieurs éléments qui sont décrit ci-après.

3.2.1. Caractéristiques physiques

- **Sensibilité à l'eau :**

Il s'agit de la résistance de l'explosif à l'eau. Cette information peut aider l'ingénieur à faire le choix sur le type d'explosif à utiliser tenant compte des conditions climatiques par exemple.

Table 1 : Schéma des différents modes de décomposition

Produit	Résistance à l'eau
Dynamite	Bonne
Emulsion	Bonne
Nitrate fuel	Nulle
Emulsion composite (émulsion < 40%)	Nulle
Emulsion composite (émulsion > 40%)	Bonne

- **La Densité :**

C'est une caractéristique qui indique le comportement explosif de chaque produit.

Une densité élevée d'un explosif implique une énergie d'explosion concentrée, ce type d'explosif est utilisé généralement dans les travaux d'abattage dans les roches dures.

Une faible densité d'un explosif implique une énergie d'explosion répartie ou dispersée. [7]

Table 2 : La densité des différents produits explosifs

Produit	Densité
Dynamite	1.4
Emulsion	1.2
Nitrate fuel	0.8
Emulsion composite (émulsion < 40%)	0.90 à 1.15
Emulsion composite (émulsion > 40%)	1.10 à 1.25

3.2.2. Caractéristiques de sécurité

- **Coefficient de self excitation**

Il s'agit de la distance maximum entre deux cartouches permettant l'amorçage de l'une à l'autre.

- **Sensibilité au choc et à la friction**

C'est le choc ou la friction maximale entraînant l'amorçage de l'explosif.

- **Résistance aux conditions climatiques**

Les conditions climatiques telles que la chaleur, l'humidité et la pression peuvent influencer sur le comportement du produit explosif.

La chaleur par exemple peut provoquer un ramollissement de la cartouche et une accélération du vieillissement de l'explosif.

- **Sensibilité a l'amorçage**

Pour qu'une molécule d'explosif se décompose il faut lui donner un minimum d'énergie, dite énergie d'activation. Si cette énergie est faible on peut dire que l'explosif est sensible.

Les explosifs conditionnés en cartouche sont amorcés par des détonateurs. Quant aux explosifs conditionnés en sac ou en vrac, sont amorcés par les cartouches d'explosifs.

- **Vieillessement**

Le vieillissement est caractérisé par une évolution lente et irréversible du pouvoir explosif des produits.

Le standard du vieillissement des explosifs est de 1.5 ans pour les produits usine et de 1 mois pour les explosifs fabriqués sur site.

- **Fumées de tirs**

Lors des explosions, on note le dégagement des gaz toxiques tel que le monoxyde de carbone(CO) et Les oxydes d'azote (Nox). Lors de la fabrication des explosifs, la valeur limite de dégagement des gaz est vérifiée avant de donner l'agrément du produit.

- **Diamètre critique de détonation**

C'est le plus petit diamètre à partir duquel la détonation d'un explosif est possible à l'air libre.

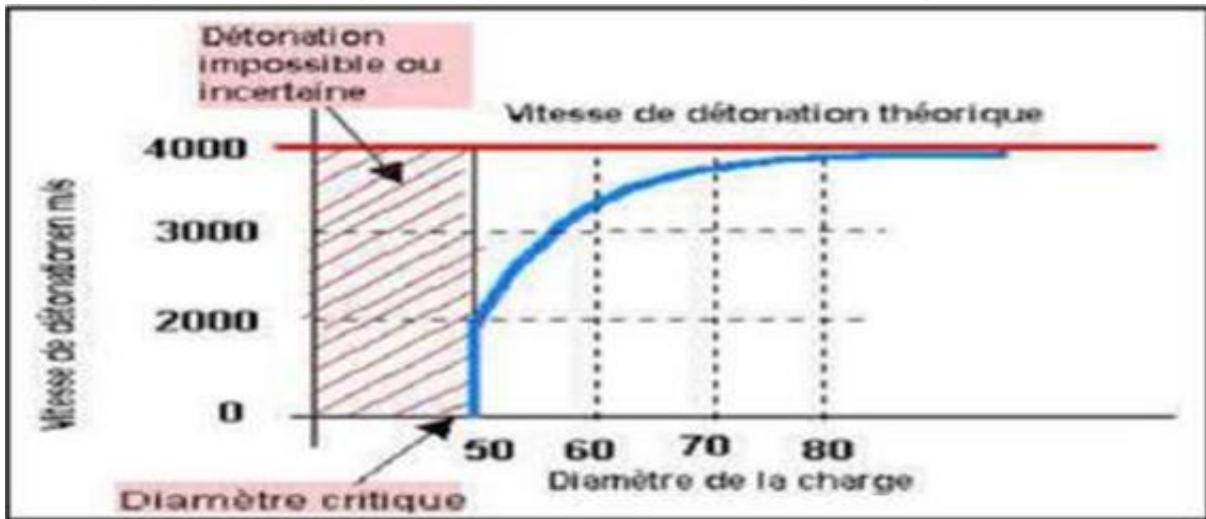


Figure 6 : Diamètre critique en fonction de la vitesse de détonation

3.2.3. Caractéristiques de performances

- **Vitesse de détonation**

C'est la vitesse de réaction de l'explosion autrement dit c'est la vitesse de propagation de l'onde de choc dans le matériau explosif, elle conditionne le pouvoir brisant de l'explosif et l'état de fracturation à attendre du tir, cette brisance augmente avec la vitesse de détonation. Ci-dessous des exemples de la valeur de cette caractéristique pour certains types d'explosifs.

- Nitrate Fuel : 4500 m/s
- Dynamite : 5500 m/s
- Emulsion : 6500 m/s

- **Energie délivrée**

C'est la quantité de chaleur dégagée par la réaction d'explosion.

L'énergie libérée par l'explosion est séparée en énergie de gaz (volume de gaz produit sous pression) et énergie de choc (amplitude de l'onde de choc).

3.3. Critères de choix des explosifs

Le choix de l'explosif à utiliser se fait en fonction des éléments suivants. [5] et [6]

- **Le massif rocheux**

Le choix de l'explosif à utiliser doit se faire dans un premier lieu par rapport aux différentes propriétés du massif rocheux, parmi lesquelles on peut noter la dureté de la roche, la fracturation sur site, ou la présence d'eau.

Une roche dure par exemple exige l'utilisation d'un explosif dense avec une grande vitesse de détonation, contrairement à une roche mi dure où on peut utiliser un explosif de densité plus faible que celui utilisé dans le premier cas.

Un massif fracturé impose l'utilisation d'un explosif qui a un effet de poussée important (énergie dégagée importante), car l'utilisation des explosifs brisants risque d'être inutile vu que leur énergie sera dissipée dans les fissures.

Quant à l'humidité sur site, et si on note la présence d'eau dans les trous (suite à une pluviométrie par exemple), il est déconseillé d'utiliser les explosifs livrés en vrac (forme granuleuse en sac) car leurs sensibilités à l'amorçage chutent fortement en présence d'eau.

- **De l'expérience des tirs antérieurs**

Les tirs antérieurs peuvent informer sur la présence des fissures, des vides, des intercalations de stériles ou de vérifier l'efficacité d'un explosif sur un terrain donné.

- **Les objectifs de fragmentation**

L'objectif de la fragmentation dépend de la capacité des engins de chargement et de transport, de l'utilisation de la roche abattue obtenue (destiné à la production de granulats ou à la vente comme tout venant ou enrochement), et de la capacité de traitement de l'usine de traitement. Par exemple, si l'entreprise exige par exemple un certain taux d'enrochement dans le résultat de tir, il est préférable d'utiliser un explosif avec un effet de poussée que celui avec un effet brisant.

3.4. Les accessoires de tir

3.4.1. Les détonateurs

Le principe des détonateurs est d'envoyer une énergie qui se transformera en énergie chimique pour provoquer la détonation d'une charge explosive. On distingue deux types de détonateurs, électriques et pyrotechniques. [8]

- **Détonateur pyrotechnique**

Le détonateur pyrotechnique est constitué d'un tube d'Aluminium fermé à l'une de ses extrémités et séparé en deux par un petit embouti qu'on appelle opercule. Sur la seconde extrémité un trou est percé pour laisser passer les étincelles.

La partie fermée du détonateur contient deux éléments distincts : au fond une charge explosive dite secondaire qui est formée par de la pentrite. Contre l'opercule, une charge d'amorçage très sensible au choc qu'on appelle la charge primaire formée par de l'azoture de plomb. [8]

Avec ce type de détonateur le dispositif de mise à feu est une mèche constituée d'un fin cordon de poudre noire enrobé de plusieurs couches de jute, la dernière étant imprégnée d'un produit bitumineux destiné à la rendre étanche.

Le détonateur est serti sur cette mèche à l'aide d'une pince spéciale appelée pince à serti.

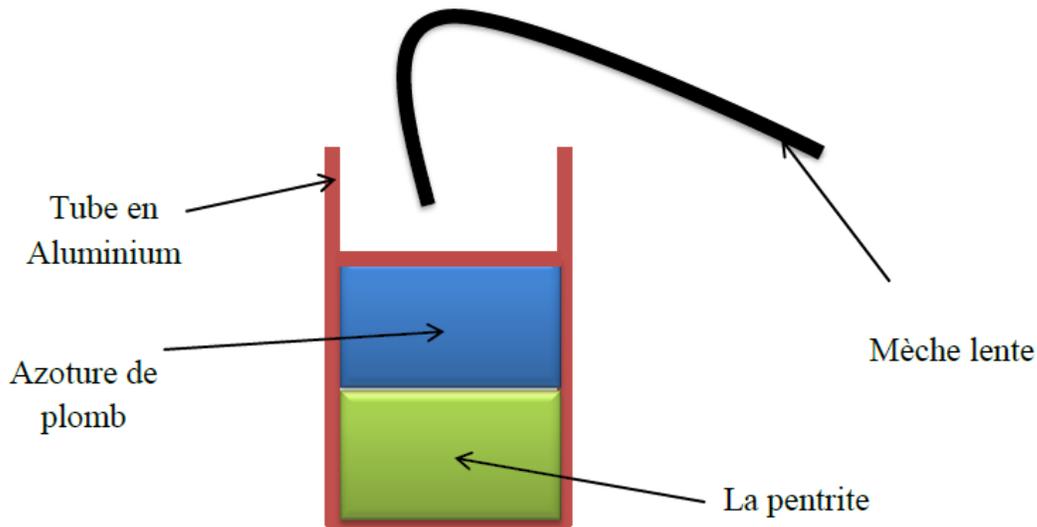


Figure 7 : Détonateur pyrotechnique

- **Détonateur électrique**

Le détonateur électrique est constitué d'un tube en Aluminium fermé à l'une de ses extrémités, et à l'autre bout est serti un bouchon en plastique laissant passer deux fils électriques.

A l'intérieur du tube, on trouve une charge détonante identique à celle des détonateurs pyrotechniques, une tête d'allumage constitué d'un filament relié à deux fils électrique et enrobé d'une poudre d'allumage.

Il existe trois types de détonateur électrique :

- Détonateur électrique instantané « DEI ».
- Détonateur électrique à retard « DER » : Il existe 12 numéros en Algérie, dont l'écart de temps entre deux numéros successifs égale à 0.5s.
- Détonateur électrique à microretard « DMR » : il existe 12 numéros en Algérie, dont l'écart entre deux numéros successifs est de 20 ms.

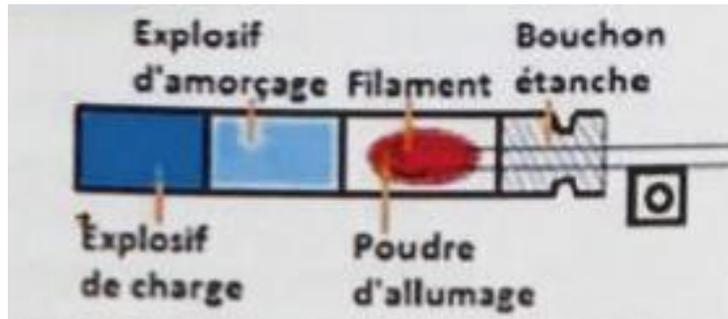


Figure 8 : Détonateur électrique

3.4.2. Cordeau détonateur

Le cordeau détonant est constitué d'un cordeau explosif très puissant enrobé d'une gaine de textile qui est elle-même enrobé en plastique. Sa vitesse de détonation est de l'ordre de 7000m/s. Son rôle est d'amorcer la charge explosive dans les trous.

L'explosion du cordeau détonant engendre une onde de choc puissante qui fait exploser toutes les charges placées à son contact. L'explosion du cordeau est amorcée par un détonateur.

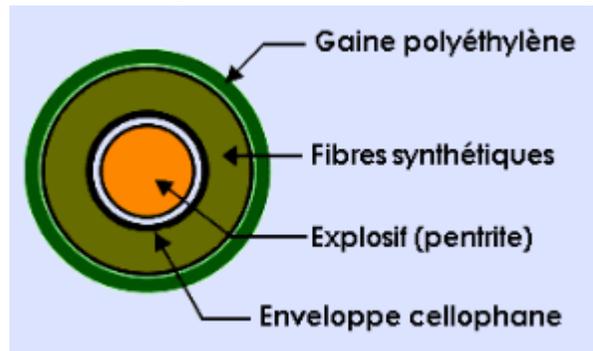


Figure 9 : Construction du cordeau détonant

La mise en détonation de la charge explosive dans le trou peut être réalisé avec un cordeau détonant, dans ce cas l'amorçage est dit latéral, ou bien par détonateur, l'amorçage dans ce cas est dit ponctuel.

3.5. Les explosifs fabriqués en Algérie et leur accessoires

L'Office National des substances Explosives (ONEX) fourni aux différents opérateurs miniers une gamme variée d'explosifs fabriqués en Algérie.

En plus des substances explosives, l'ONEX met à la disposition des opérateurs miniers des accessoires de tir comme le cordeau détonant, la mèche lente, le fil électrique et les détonateurs (pyrotechniques et électriques).[3]

3.5.1. Gammes des explosifs fabriqués en Algérie

- Explosifs de consistance gélatineuse :
 - Fabriqués en cartouches
 - Vitesse de détonation : 5000-6000 m/s
 - Résistent à l'humidité
 - Les types :
 - ✓ Géonit
 - ✓ Gélanit 1 et 2
- Explosifs de consistance pulvérulente (les nitrates) :
 - Fabriqués en cartouches
 - Vitesse de détonation : 2500-4000 m/s
 - Résistent faiblement à l'humidité
 - Les types :
 - ✓ Marmanit 1 ; 2 et 3
 - ✓ N18 bis
- Les nitrates fuel :
 - Fabriqués en vrac et conditionné dans des sacs de 25 Kg.
 - Vitesse de détonation : 3000-4000 m/s
 - Résistent très faiblement à l'humidité
 - Les types :
 - ✓ Anfo

Ci-après un tableau récapitulant l'ensemble des explosifs fabriqués en Algérie avec leurs caractéristiques respectives.

Table 3: Les différents explosifs fabriqués par L'ONEX

Désignation commerciale	Resistance a l'eau	Densité (g/cm ³)	Vitesse de détonation (m/s)	Coefficient de self excitation (cm)	Volume gaz L/KG
GEONIT	Très bonne	1.50	5800	18	733
GELANIT I	Bonne	1.40	6300	8	865
GELANITII	Bonne	1.45	6000	6	808
CARRINIT	Médiocre	1.00	4500	10	892
MARMANIT I	Médiocre	0.95	4000	5	842
MARMANITII	Médiocre	0.98	4100	2	868
MARMANITIII	Médiocre	0.95	3800	2	907
N. 18 BIS	Médiocre	0.95	2500	4.5	
ANFO	Médiocre	0.90	3000	0	975
TEMEX1	Très bonne	1.22	4500	5	/
TEMEX2	Très bonne	1.22	4000	4	868

3.5.2. Les accessoires de tir fabriqués en Algérie

Les accessoires de tirs fabriqués par l'ONEX sont les suivants :

- La mèche lente
- Les détonateurs pyrotechniques
- Les détonateurs électriques instantanés
- Les détonateurs électriques à micro retard
- Le cordeau détonant
- Le fil de tir

4. Les principaux paramètres d'un plan de tir et leurs impacts sur son résultat

Le plan de tir est élaboré en prenant en considération plusieurs paramètres. Il est certain qu'une bonne connaissance du terrain, des objectifs de production et des explosifs et accessoires de tir sont d'une grande utilité pour l'élaboration d'un bon plan de tir qui permettra à l'ingénieur des mines d'obtenir les résultats désirés, tous les formules sont issues de l'expérience française.[5]

4.1. Les paramètres liés au plan

4.1.1. Hauteur du gradin

Les facteurs qui interviennent dans sa détermination sont :[7]

- a. Caractéristiques des excavateurs
- b. Stabilité des roches
- c. Règles de sécurité
- d. Production annuelle

La hauteur du gradin a une influence sur la banquette pratique, la profondeur du trou et le volume de roche abattu.

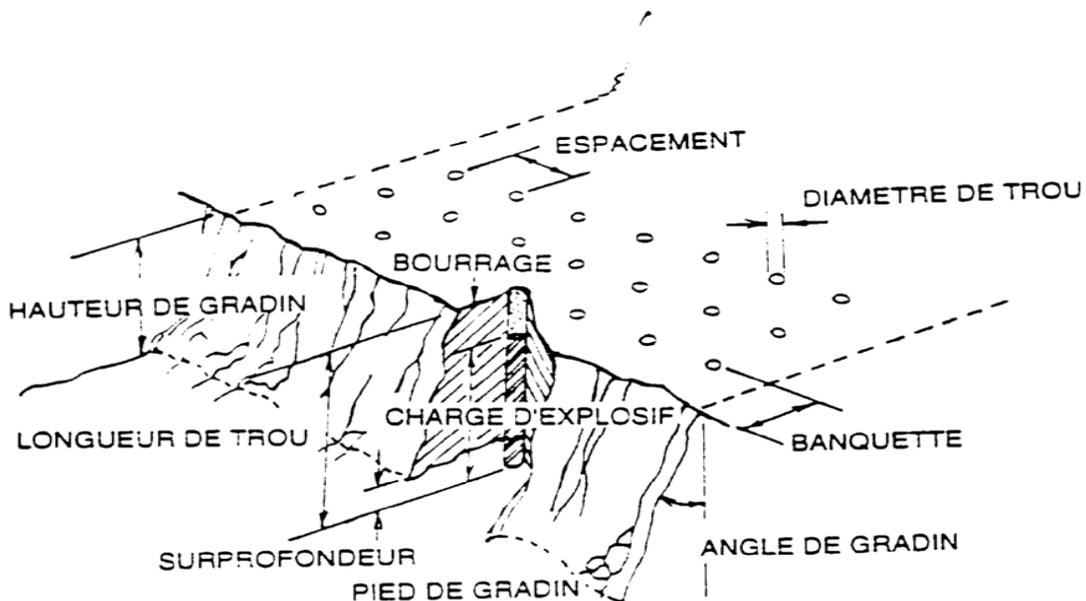


Figure 10: Les éléments d'un plan de tir

4.1.2. La Banquette

La banquette ou la ligne de moindre résistance est la distance entre le trou de la première ligne et la surface libre du gradin. Elle dépend essentiellement du diamètre de trou.

La banquette influe sur la granulométrie, la quantité d'explosif par trou et le dégagement du pied.

$$B = 40 * D_{tr} \dots\dots [7]$$

4.1.3. La maille de foration

La maille de foration est caractérisée par 2 paramètres, à savoir l'espacement entre trous (a) et la banquette B. le rapport entre ces deux paramètres permet d'avoir une idée sur la granulométrie sortante du tir comme suit :

- Pour la production d'embrochement on utilise $0.8 < a/B < 1$
- Pour la production des granulats on utilise $1 < a/B < 3$

Un rapport de maille trop faible nuit à la granulométrie moyenne.

Un rapport de maille trop élevé induit un mauvais découpage du front d'abattage et conduit à la formation de bosses en pied du gradin.

La formule de la distance entre les trous de la même ligne est :

$$B < a < 1.2B \dots\dots [7]$$

B : la banquette

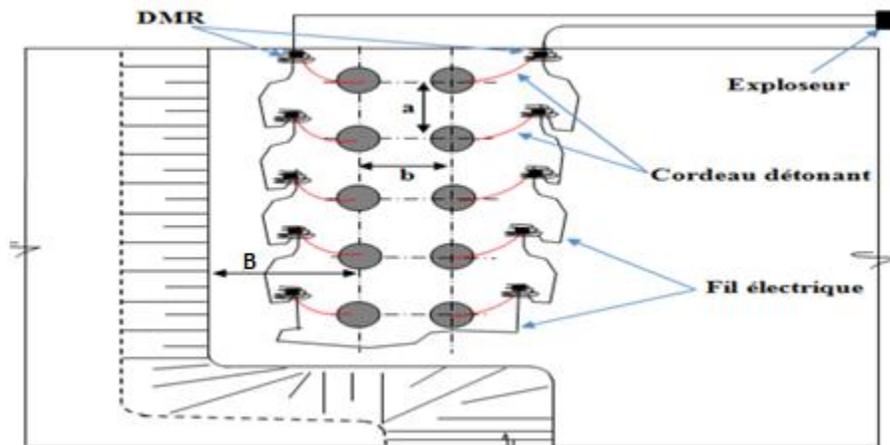


Figure 11: Schéma représentant la maille de foration

Il existe trois types de mailles :

- a) Une seule rangée
- b) Une maille quinconce
- c) Une maille carrée

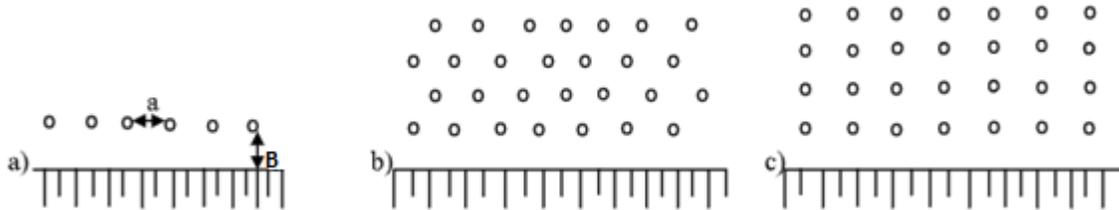


Figure 12: Les différentes mailles de foration

4.1.4. Largeur d'enlèvement (bloc)

Largeur d'enlèvement c'est la largeur du bloc à abattre, calculée par la formule suivante :

$$A = B * n$$

n : Nombre des rangées.

B : La banquette.

4.2. Les paramètres liés au trou

Les résultats d'un tir sont fortement influencés par les paramètres liés aux trous qui ont principalement un impact direct sur les dimensions des blocs issus du tir. [6]

4.2.1. Diamètre de trou

Le diamètre de trou dépend de type de travail et le matériel utilisé.

Le diamètre de trou influe également sur le calcul de la banquette et donc sur le choix de la maille de foration et par conséquent sur le degré de fragmentation.

4.2.2. Inclinaison du trou

L'inclinaison du trou est un paramètre qui permet un bon foisonnement de la roche.

Elle est en fonction de la hauteur du front et des conditions de stabilité de la roche. Si la hauteur du front est inférieure à 10m, l'angle d'inclinaison est compris entre 0° et 10° . Si la hauteur du front est supérieure à 10 m, l'angle d'inclinaison est compris alors entre 5° et 30° .

Les trous inclinés favorisent l'efficacité de la fragmentation des roches et la diminution des 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 gabarit de 8 à 25 % et augmente le rendement des pelles mécaniques de 1,5 fois. [12] L'inclinaison du trou influe sur la qualité de fragmentation, le dégagement du pied et les fissurations d'effet arrière.

Une inclinaison entre 10° à 20° par rapport à la verticale peut apporter les avantages suivants :

- Meilleure rupture du pied;
- Allongement du trou, donc des charges explosives plus favorables au rendement;
- Moins de blocs en tête, avec moins d'effet arrière sur le bord du gradin;
- Plus de sécurité car les surplombs sont moindres.

4.2.3. Profondeur de surforation

Elle sert à augmenter l'action du tir dans la partie inférieure du gradin et assure une bonne destruction au niveau du pied du gradin, et créant par la suite les conditions normales de travail des engins de chargement.

Ainsi, la profondeur de surforation évite la création d'un pied du gradin.

Elle dépend de la hauteur du gradin et le diamètre de trou.

$$0.15B < L_s < 0.3B \dots\dots [7]$$

L_s : Longueur de surforation.

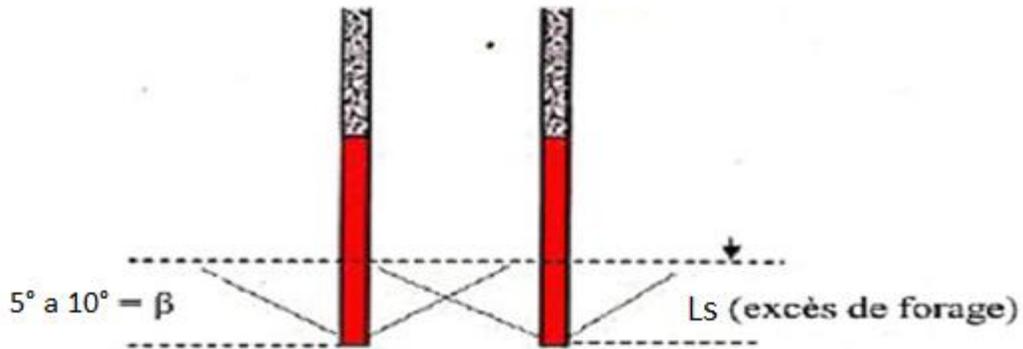


Figure 13: les paramètres liés au trou

4.2.4. Profondeur de trou

La longueur du trou dépend de la hauteur du gradin, l'inclinaison et aussi la longueur sur foration.

Elle influe sur la quantité d'explosif.

$$L_{tr} = \frac{H_g}{\cos(\beta)} + L_s \dots\dots [7]$$

L_{tr} : Longueur de trou ;

H_g : Hauteur de gradin.

β : Angle d'inclinaison du trou.

L_s : Longueur de surforation.

4.3. Les paramètres liés à l'explosif

4.3.1. La consommation spécifique

La consommation spécifique de l'explosif est la quantité d'explosif nécessaire pour l'abattage de 1m^3 de roche. [10]

La consommation spécifique est déterminée par la formule suivante :

$$q = \frac{Q}{H_g * a * B} \dots\dots [7]$$

Q : La quantité d'explosif par trou (kg).

H_g : Hauteur du gradin (m).

a : Distance entre les trous (m).

B : Banquette pratique (m).

4.3.2. L'amorçage

On donne le nom d'amorçage à l'opération consistant à placer un allumeur dans une charge explosive, afin qu'elle soit prête à être mise à feu. Un bon amorçage doit satisfaire aux conditions suivantes : [12]

L'amorçage doit être soigneusement attaché à l'explosif.

L'amorçage doit être dans la position convenant le mieux dans la charge, pour donner les meilleurs résultats.

Il existe deux modes d'amorçage :

➤ L'amorçage ponctuel :

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

➤ L'amorçage latéral :

Le détonateur est placé hors de trou.

Le cordeau détonant est placé tout au long du trou, la détonation est propagée du haut vers le bas ou l'inversement par le cordeau détonant.

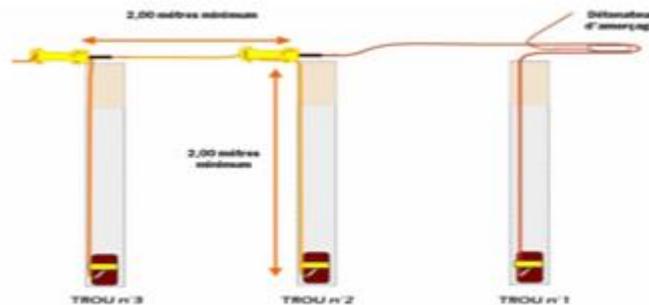


Figure 14: L'amorçage latéral

4.3.3. Connexion des trous

- **Tir ligne par ligne :** ce schéma de tir peut être appliqué dans une pure séquence d'initiation ligne par ligne avec des temps de retard seulement entre les lignes ou dans un schéma, avec de petits retards entre les trous, et entre les lignes de telle sorte qu'il n'y ait pas d'interaction entre les lignes.
- **Tir en V :** dans ce schéma les retards entre trous et lignes sont choisis de telle sorte que la séquence d'initiation résulte en forme de V, il nécessite également au moins une face libre.
- **Tir en échelon :** c'est simplement la moitié du schéma en V, il nécessite au moins deux faces libres.
- **Tir en diamant :** c'est un schéma qui est utilisé pour la découpe de tranchées et des applications il n'y a pas de faces libres autour de la foration, les blocs fragmentés remontent vers le haut avec une augmentation de risque de projections.

4.3.4. Mise à feu

Le responsable du tir fait évacuer le périmètre dangereux et donne le signal (trois coups de trompe prolongés) annonçant qu'il va procéder à la mise à feu. Après cela, il effectue l'allumage, mettant en œuvre le cordeau détonant par l'intermédiaire d'un détonateur à partir de son abri de tir. On utilise le détonateur à microretard parce qu'il améliore le travail de l'explosif par la création d'une surface libre.

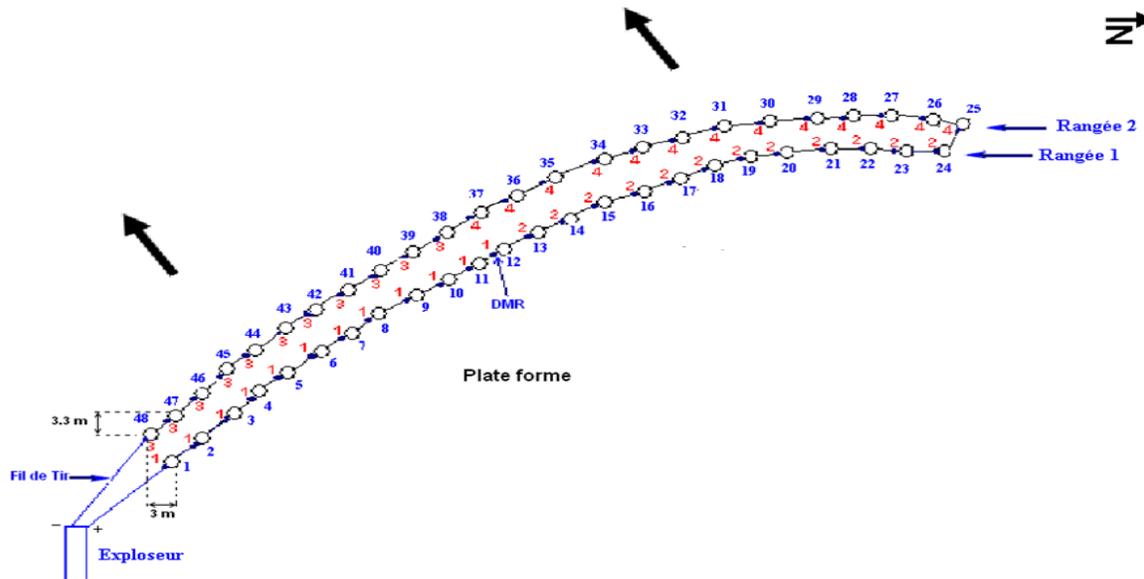


Figure 15: Schéma de la mise à feu

4.3.5. Charge instantanée

La charge instantanée moyenne de l'explosif est déterminée par la formule suivante :

$$Qm = \frac{Q * Ntr}{m}$$

Q : Quantité d'explosif par trou

Ntr : Nombre de trou

m : Nombre de retard

Afin de calculer la charge instantanée maximale et minimale il faut dans un premier lieu calculer le rapport nombre de trou par le nombre des retards. Sachant que le résultat de ce rapport multiplié par la quantité d'explosif par trou donne la charge moyenne, on déduit que pour trouver la charge instantanée maximale et minimale, on doit calculer l'arrondi inférieur et supérieur de ce rapport et utiliser les résultats respectifs pour le calcul de la charge. Afin d'expliquer ce principe on va utiliser l'exemple suivant :

Supposant que le nombre de trous est de $Ntr = 100$ et que le nombre de retard est de $m = 13$ (le numéro 0 ainsi que les numéros de 1 à 12), en faisant le calcul du rapport Ntr/m on trouve : 7.69.

Ce résultat multiplié par la quantité d'explosif par trou donne la charge instantanée moyenne.

Par contre pour trouver la charge instantanée maximale, il suffit de multiplier la quantité d'explosif par trou par l'arrondi supérieur de ce chiffre, c'est à dire 8. De même, afin de trouver la charge instantanée minimale, il faut multiplier la quantité d'explosif par trou par l'arrondi inférieur de ce chiffre, c'est à dire 7.

Table 4 : Dommages prévisibles en fonction de la zone d'influence [14]

Zone	Distance R	Dommages prévisibles aux personnes	Dommages prévisibles aux biens
Z1	$0 < R1 \leq 5.Q^{1/3}$	Blessures mortelles	Dégâts très graves
Z2	$5. Q1^{1/3} < R2 \leq 8.Q^{1/3}$	Blessures graves	Dégâts importants
Z3	$8. Q1^{1/3} < R3 \leq 15.Q^{1/3}$	Blessures	Dégâts moyens
Z4	$15. Q1^{1/3} < R4 \leq 22.Q^{1/3}$	Possibilité de blessures	Dégâts légers
Z5	$22. Q1^{1/3} < R5 \leq 44.Q^{1/3}$	Très faibles possibilités de blessures légères	Dégâts très légers

4.4. Les paramètres liés au chargement des trous

4.4.1. Le bourrage

L'objectif du bourrage est d'éliminer les projections et d'améliorer l'effet de gaz des explosifs. Il est réalisé par des matériaux inertes (sable ou terre humide, argile...).

L'expérience montre que si la hauteur de bourrage est inférieure à la banquette, il y a risque de projection des pierres de la surface avec la diminution de la fragmentation. Par contre, si la hauteur de bourrage est supérieure à la banquette, il y a risque d'avoir une fragmentation poussée.

Le bourrage a une influence sur la projection des roches et la présence des surplombs si le bourrage est très important. [10]

$$Lb = B \dots [7]$$

B : La banquette.

4.4.2. Le bourrage intermédiaire

On peut utiliser le bourrage intermédiaire dans les couches où elles ont une faible résistance ou la présence des fissures, ce bourrage intermédiaire permet d'éviter la perte d'énergie et d'éviter une surconsommation d'explosif.

4.4.3. La construction des charges

L'explosif est réparti dans le trou sous forme de deux charges :

- La charge de pied

Elle est constituée d'une charge de cisaillement et une charge de poussé (énergie importante), longueur du pied est déterminée par la formule suivante :

$$Lp = Ls + B \dots [7]$$

- La charge de colonne

L'énergie nécessaire en colonne est inférieure à celle en pied (moyenne ou faible), la diminution de l'énergie en colonne peut se faire en utilisant un explosif moins puissant que ce utilisé en pied. Longueur de colonne est déterminée par :

$$Lc = Ltr - (Lb + Lp) \dots [7]$$

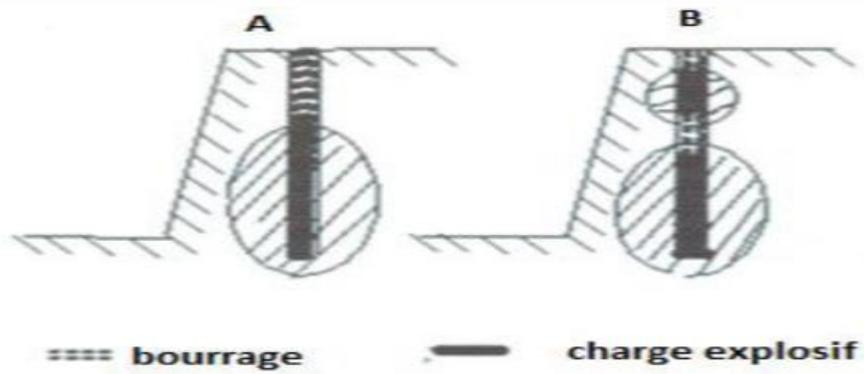


Figure 16: Les différents types de construction de charge

4.4.4. La quantité d'explosif par trou

La formule de la quantité d'explosif par trou est la suivante :

$$Q_{tr} = Q_c + Q_p \dots [7]$$

Q_{tr} : Quantité d'explosif par trou.

Q_p : Quantité d'explosif au pied

Q_c : La quantité d'explosif en colonne

Table 5: Les différents paramètres de plan de tir

Paramètres d'un plan de tir	Méthode de Langefors
Longueur de trou	$L_{tr} = \frac{Hg}{\cos(\beta)} + L_s$
Longueur de surforation	$0.15B < L_s < 0.3B$
Banquette	$B = 40 * D_{tr}$
Espacement	$B < a < 1.2B$
Rapport de la maille	$1 < a/B < 1.2$
Longueur de bourrage	$L_b = B$
Longueur du pied	$L_p = B + L_s$
Longueur de la colonne	$L_c = L_{tr} - (L_b + L_p)$
Quantité d'explosif par trou	$Q_{tr} = Q_c + Q_p$
Consommation spécifique	$q = \frac{Q_{tr}}{Hg * a * B}$
Volume de roche abattu par trou	$V = Hg * a * B$

5. Les anomalies d'un tir

5.1. Les anomalies naturelles

- **Les karsts**

Il s'agit de cavités présentes dans le massif, et qui compliquent par leurs présence l'opération de foration ainsi que le chargement de l'explosif dans les trous.

La foration peut être retardée par la présence de ces vides souterrains qui sont difficilement détectable sans une étude géophysique détaillée. L'engin de foration peut rencontrer un karst en plein foration d'un trou et par conséquent obligera le foreur à annuler complètement ce trou et passer à un nouvel emplacement ce qui chamboulera la maille de foration.

D'un autre côté, il est possible que le foreur ne se rend pas compte de la présence des karsts (surtout s'il s'agit d'un foreur avec peu d'expérience) et réalisera tous les trous comme prévu sur le plan de foration, sauf qu'au moment de chargement des explosifs dans les trous, le boutefeu constatera que la longueur de charge est supérieure à ce qu'il est mentionné sur le plan à cause de la disparition dans les vides souterrains. [11]

- **Les failles**

Une faille est une cassure (discontinuité) de la croûte terrestre, l'apparition des failles est causée par les contraintes tectoniques.

La présence des failles dans le terrain a une influence principalement sur le rendement de l'opération de foration d'un côté et de l'autre côté sur la qualité de la roche abattue, qui en présence des failles, présentera des intercalations de stériles au milieu de la roche saine. [11]

- **Les discontinuités naturelles**

Un joint est une rupture d'origine naturelle dans la continuité de soit une couche ou un corps de roche.

5.2. Les anomalies dues aux tirs

- **Gradin en surplomb**

Les surplombs sont des parties du massif non tombées après le tir qui se situent sur la partie haute du front de taille. Elles se révèlent dangereuses si elles ne sont pas traitées (risques de chute de blocs sur les engins ou des personnes).[11]

- **Pied du gradin**

Les pieds du gradin sont des parties du massif qui ne sont pas dégagées lors de tir et se situent sur la partie basse du front de taille.

- **Effet arrière**

Suite à un tir de mine, il se génère des fissurations parallèlement au front de taille.

5. Conclusion

Pour obtenir un bon tir qui répond au besoin de l'entreprise, il faut d'abord passer par un bon plan de tir qui doit tenir compte les paramètres liés au plan, au trou, au bourrage et au chargement de l'explosif.

Chapitre II

Chapitre 02 - Etude de l'existant.

1. Présentation de l'entreprise

Une entreprise est un groupement humain qui met en œuvre des moyens mentaux, physiques et financiers pour produire, former, distribuer les richesses afin de réaliser un profit.

ECAVA est une entreprise de carrière de la ville d'Alger sous la direction de DIVINDUS.

DIVINDUS APMC est une entreprise Algérienne de Production des Matériaux de Construction a pour vocation la production et la commercialisation des différents matériaux de construction, ainsi que la réalisation des travaux d'isolation industrielle.

2. Situation géographique du site

La carrière de Bab El Oued est située dans la commune d'Oued Koriche, daïra de Bab el Oued. Cette commune est limitée au nord par la commune de Bab el Oued, au Sud par la commune d'El Biar, à l'Est par la commune de la Casbah et à l'Ouest la commune de Bouzaréah.[13]



Figure 17 Localisation de la commune d'Oued Koriche dans la wilaya d'Alger

Le permis minier de l'exploitation est renouvelé pour dix (10) ans, à compter de la date 17/12/2019.

D'après le permis (1109 PXC) le gisement s'étend sur une superficie de 11 hectares et est délimité par six (6) points dont les coordonnées en UTM sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Table 6: Points de coordonnées de délimitation du périmètre du site (Système de projection UTM)

Point	Coordonnée		Point	Coordonnée	
	X	Y		X	Y
1	503 015	4 071 429	4	503 440	4 071 250
2	503 720	4 071 430	5	503 200	4 071 290
3	503 720	4 071 250	6	503 015	4 071 337

3.Contexte géologique du massif d'Alger

La carrière de Bab El Oued est le gisement de calcaires le plus important affleurant dans le massif d'Alger.

Le site est constitué en grande partie par un ancien terrain de roches métamorphiques et des roches sédimentaires. Ces roches sont fortement altérées et fracturées par endroits allant des schistes à séricite aux gneiss en passant par les pegmatites et le calcaire.

La roche noble est représentée par les calcaires métamorphiques de couleur bleu terne, formant le massif de Sidi Benour et de Bordj Polignac. C'est une roche très dure, laissant apparaître un gros grain à la cassure.

Au microscope, elle est essentiellement composée de gros grains de calcite dont certains présentent des plans de clivages en kinks bandes témoignant d'une déformation subie lors du métamorphisme, on observe aussi très peu de quartz, quelques cristaux de muscovite de taille variable s'imbriquant parfaitement entre les grains de calcite.

Au niveau des fronts de taille on observe une fracturation omniprésente ainsi qu'une structure rubanée ou alternent des lits bleus sombres et blancs jaunâtres. Cette structure permet d'estimer le pendage des calcaires qui au centre de la formation varie entre 15° et 20° Sud-est.

Cependant, on constate que les pendages changent fréquemment de direction Est ; ce qui suppose une mise en place complexe globalement comprise dans une structure anticlinale d'échelle kilométrique.[13]

3.1 Composition pétrographique

La structure géologique de la région est constituée par des terrains sédimentaires d'âge Mio- Plio —Quaternaire et d'un complexe cristallophyllien : le massif d'Alger qui constitue la principale zone orographique de la région.

Le massif cristallophyllien d'Alger est composé de six unités structurales numérotées de I à VI de haut en bas.

Unité I : Elle occupe la position sommitale et affleure dans la région de Bainem. Elle est constituée de barre de marbres surmontée par des niveaux de quartzites, passant vers le haut à des séricitoschistes et des chloritoschistes.

Unité II : Elle est composée de schistes et de formations non métamorphiques avec intercalation d'un mélange de matériel détritique et magmatique.

Unité III : Lambeaux de marbres emballés dans des schistes gris acier

Unité IV : Composition variée de paragneiss (gneiss fins) ou s'intercale des orthogneiss (gneiss ocellés et leptinites), des quartzites noires (anciennes phtanites) et deux types d'amphibolites, l'une litée à hornblende verte et cumingtonite, l'autre en boule à actinote, épidote, chlorite, biotite verte. Le gneiss fin passe à une barre de marbre par l'intermédiaire d'un niveau de micaschistes.

Unité V : Séricito-schistes et chlorito-schistes

Unité VI : Elle est essentiellement constituée de micaschistes dont la partie supérieure est surmontée d'un niveau métrique de marbre, marquant le contact.

3.2 Litho-stratigraphie

Quaternaire

Le Quaternaire est formé par des alluvions qui sont largement développés et de composition variée. Au Nord, sur le littoral, les alluvions des plages composées de sables et de galets forment une bande étroite discontinue. Vers le Nord-Ouest, les dépôts alluvionnaires sont constitués de débris de roches du massif ancien (schistes, calcaires métamorphiques, gneiss et granitoïdes). Les dépôts du Quaternaire ancien se rencontrent principalement sur les terrasses marines anciennes avec une puissance allant de 50 à 300m. Ils sont composés par des argiles rouges, des galets et des blocs de calcaires argileux.

Tertiaire

Les terrains du tertiaire, localement développés dans le Sud-ouest du territoire de la wilaya d'Alger, sont représentés par des formations mio-pliocènes. Les formations du Pliocène occupent essentiellement la Mitidja et sa bordure Nord. Ils apparaissent très peu dans la bordure Sud. Glangeaud et AL (1952), reconnaissent deux subdivisions dans le Pliocène : L'Astien au sommet et Le Plaisancien à la base.

Paléozoïque

Les formations rapportées au Paléozoïque sont fortement métamorphisées et se rencontrent uniquement au Nord-Ouest du territoire algérois. Le massif cristallophyllien d'Alger, auquel on joint la presqu'île de Sidi Fredj, est allongé en direction Est- Ouest sur une vingtaine de kilomètres, de la baie d'Alger jusqu'à El Djemila. Il s'étend au Sud jusqu'à l'oued Beni — Messous où il est couvert par les terrains du Plio-Quaternaire du Sahel d'Alger. Il appartient à l'orogène Alpin du Nord de l'Algérie.

4. Tectonique

La tectonique de la région est marquée par deux phases de plissement de direction N120 à N160 et Est Ouest, associés à différents degrés de métamorphisme allant de l'épizone à la mésozone. Cette tectonique, en relation avec le phénomène eustatique, est responsable de l'individualisation de cette région naturelle. La région algéroise présente des reliefs prononcés, source d'une certaine instabilité des terrains naturels. Le massif cristallin de bouzaréah constitue son principal relief.

5. Sismique

Le Nord de l'Algérie où se situe la région d'Oued Koriche est associée à une activité sismique importante liée à la collision des plaques africaines et euro-asiatique. La faille d'Ain Benian a généré un séisme de 5.7 sur l'échelle de Richter le 04/09/96 en mer.

6. Climat de la région

Le climat de l'ensemble de la région est un climat méditerranéen humide du littoral. Les étés sont chauds et les hivers tempérés, doux et humides. Les configurations du relief côtier jouent un rôle déterminant dans le régime des pluies, des vents et des températures.[13]

7. Cadre hydrogéologique du gisement

Sur le plan hydrogéologique, l'eau est rare, elle se concentre surtout dans les dépressions des ravins qui descendent dans différentes directions. Ces dépressions donnent naissance à des petites nappes contenues dans des terrains d'éblouis, des glissements ou des alluvions qui occupent le fond de ces ravins. [13]

8. Caractéristique qualitative de la matière

Aujourd'hui, les agrégats produits lors de l'exploitation de ce gisement comportent principalement des sables, graviers, stériles et enrochements. Selon les données recueillies des études déjà effectuées sur le matériau prélevé du gisement, les calcaires extraits et les produits marchands obtenus peuvent être utilisés pour les couches de fondation, dans le domaine routier et pour les bétons hydrauliques dans le domaine de la construction et de l'habitat.[14]

Les caractéristiques chimiques et physico-mécaniques les plus récentes d'après les essais réalisés au laboratoire du LNHC en 2018 pour l'échantillon 15/25, sont résumées à la suite :

La masse volumique réelle : 2.66 T/m³

Les analyses chimiques correspondant à des éléments chimiques données dans le Tableau suivant :

Table 7 : Résultats des analyses chimiques

Teneur%											
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	PF	TiO ₂	CL
5.64	1.08	0.47	51.45	0.30	0.07	0.16	0.05	0.04	40.69	0.05	0.007

9. Identification de matériau tout venant carrière

La matière première calcaire par le billet du laboratoire centrale et le laboratoire du LNHC a subi une série d'observation, d'essais mécaniques et d'analyse qui ont permis de suivre régulièrement sa qualité et celle des produits marchands. Les résultats des essais effectués au laboratoire sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

Table 8: Les résultats des essais effectués au laboratoire

Essai	Résultat
Détermination du coefficient de dégradabilité	DG=1.37%
Résistance a la compression	RC=79.7KPa
Coefficient d'absorption	WA=1.53
Résistance a la fragmentation Los Angles	LA=24.5%
Masse volumique des particules solides des sols	$\gamma_s=2.64 \text{ T/m}^3$
Masse volumique	$\rho=2.62\%$

10. Les réserves

Evaluation des réserves :

L'exploitation a pratiquement atteint les limites latérales en surface, a cause de la situation de la carrière. Les réserves restantes sont donc localisées à l'Ouest et au Sud.

Les volumes des réserves sont consignés dans le tableau ci-dessous.[13]

Sur la base de ses estimations, les réserves s'établissent come suit :

Table 9: Le volume et le tonnage de la matière utile

Nature	Volume (m ³)	Tonnage(T)
Matière utile (calcaire)	3 877 480	10 314 097

Table 10: le volume et le tonnage de stérile

Nature	Volume (m ³)	Tonnage (T)
Stérile	200 000	532 000

11. Capacités de la production et le régime de la carrière

La production est un indicateur statistique permettant de mesurer les variations des quantités produites dans les travaux d'exploitation de la carrière. Ce processus est un élément fondamental de l'économie dans la vie d'une carrière.

La production annuelle est un objectif arrêté compte tenu de la part du marché obtenu par l'entreprise. A partir de cette information, l'entreprise peut décliner la production par mois, par jour ou par poste en utilisant afin de déterminer par la suite ses besoins en moyens humains et matériels afin d'atteindre l'objectif souhaité. [13]

Le tableau ci-dessous donne les formules utilisées pour le calcul des informations de production.

Table 11: représente la capacité de la production de la carrière

Désignation	Formule	Résultat
Production annuelle	Objectif arrêté par l'entreprise	$P_{an} = 346\ 650$ T/an.
Production mensuelle	$P_m = P_{an}/N_m$ avec $N_m = 12$	$P_m = 346650/12 = 28887.5$ T/mois
Production journalière	$P_j = \frac{P_m}{N_j/\text{mois}}$ avec $N_j/\text{mois} = 22$ jours	$P_j = 28887.5/22 = 1313.06$ T/jour
Production par poste	$P_p = P_j/N_p$ avec $N_p = 2$	$P_p = 1313.06/2 = 656.53$ T/poste

Le présent plan d'exploitation pour l'année 2018 est élaboré sur la base des objectifs arrêtés dans le plan de développement a moyen terme de la société.

Ces objectifs de masse rocheuse seront assurés en totalité à partir de la carrière de Beb el Oued. [15]

Vu les besoins croissants et compte tenu de la matière première abondante, la carrière est dotée d'un régime de travail.

- Nombre de jours ouvrables par an :

On considère comme ouvrable les jours consacrés au travail, c'est-à-dire tous les jours du calendrier à l'exception des jours correspondant au repos hebdomadaire légal et des jours fériés par an. Dans l'entreprise d'ECAVA. On a observé que :

$$N_{j/an} = 260 \text{ jours/an}$$

- Nombre de jours ouvrable par semaine :

On considère couramment que la semaine contient cinq jours ouvrés.

$$N_{j/se} = 5 \text{ jours/se.}$$

- Nombre de jours ouvrable par mois :

On considère couramment que le mois contient 22 jours ouvré

- La durée d'un poste de travail :

C'est-à-dire toute période pendant laquelle le salarié est à la disposition de l'employeur, dans l'obligation de se conformer à ses directives sans pouvoir se consacrer librement à des occupations personnelles.

S'ils répondent à ces critères, les temps de restauration et de pauses sont considérés comme temps de travail effectif.

$$T_p = 7h.$$

12. Système d'exploitation du gisement

Un système d'exploitation est caractérisé par l'ordre de développement des travaux préparatoires, de découverte, et d'extraction dans le temps et dans l'espace.

12.1. Paramètres de la méthode d'exploitation dans la carrière Beb El Oued

- Hauteur du gradin Hg (15-8m).
- Largeur d'enlevure (A=6m).
- Largeur de plate-forme de travail (Lpt=39.2m)

Pour déterminer la largeur de plate-forme de travail on doit tenir compte des propriétés physiques et mécaniques des roches, les dimensions de tas des roches abattus et des caractéristiques technique des engins de chargement et de transport.

$$L_{pt} = A + X + C + T + Z \dots\dots [3]$$

Avec ;

A : La largeur d'enlevure.

X : La largeur de tas de roche abattus, elle dépend de la hauteur du gradin, de la nature de terrain, des paramètres de forage et de tir (X=20).

C : La distance de sécurité (C=2m).

Z : Largeur de brise d'éboulement (Z=3.2m).

T : Largeur de berme de transport (T=8m).

12.2. Paramètres des pistes

- La distance moyenne des fronts de la carrière au concasseur c'est entre 380m et 790m.
- La pente est de 10%.

12.3. Le chargement

Après le tir, les roches abattues doivent être assemblées et ensuite chargées sur des camions. Cette étape est assurée par des engins spécifiques (capacité du godet 4m³).

Table 12 : Principaux paramètres de chantier.

Désignation	Niveau de Chantier (m)	Hauteur de Gradin (m)	Inclinaison des Talus gradins	Largeur D'enlevure (m)	Largeur de la Plate-forme (m)
Calcaire	145 – 240	8 – 15	75° - 85°	6	39.2

12.4. Transport

Le choix du transport dans la carrière prédétermine le mode d'ouverture du gisement, le choix de la méthode d'exploitation, les équipements miniers etc.

Le but principal du transport consiste à déplacer la masse minière bien fragmentée des chantiers (front de taille) jusqu'aux points de déchargement (concasseur, les trémies de réception ; les stocks). Le choix des moyens de transport dépend des facteurs suivants :

- La production de la carrière.
- La distance de transport.
- Du type d'engins de chargement.
- Des caractéristiques de la masse minière à transportée.
- Des conditions géologiques du gisement.
- Des dimensions de la carrière.

A la carrière de Beb El Oued le transport de la roche abattue est assuré par des camions, la capacité de ces camions est de 20 Tonnes.

13. Traitement du tout venant

Cette étape permet de réduire la taille des blocs abattus, différents types de concasseurs assurent cette opération. La carrière de Bab El Oued a choisi un concasseur à mâchoire comme concasseur primaire. Il est constitué par deux mâchoires une mâchoire fixe et l'autre mobile, ouverture de concasseur égale à 1.m et une sortie de 200mm, avant le concasseur primaire il existe un crible de stérile d'une ouverture de 30mm. Un deuxième concasseur à percussion avec un débit de 250 T/h, après ce concasseur il y'a des cribles vibrants (1) de (60mm, 40mm, 25mm) et des cribles vibrants (2) de (25mm, 15mm, 8mm, 3mm). Le troisième concasseur à percussion avec un débit de 80 T/h est utilisé pour le recyclage des particules de taille supérieure à 60mm sortant du concasseur secondaire.

Le tout venant va être criblé sur un crible avec une ouverture de 30mm, les granulats de taille inférieure ou égale à 30 mm vont passés au stock de stérile. Les granulats supérieurs à 30 mm ils vont être concassés par le concasseur primaire ce concasseur qui alimente le concasseur secondaire. Les granulats 0/3, 3/8, 8/15, 15/25, 25/40 vont être stockés par contre les granulats qui ont une taille supérieure a 60mm être recyclés par un le concasseur tertiaire et ils vont être criblés sur les même cribles vibrants (1 et 2).

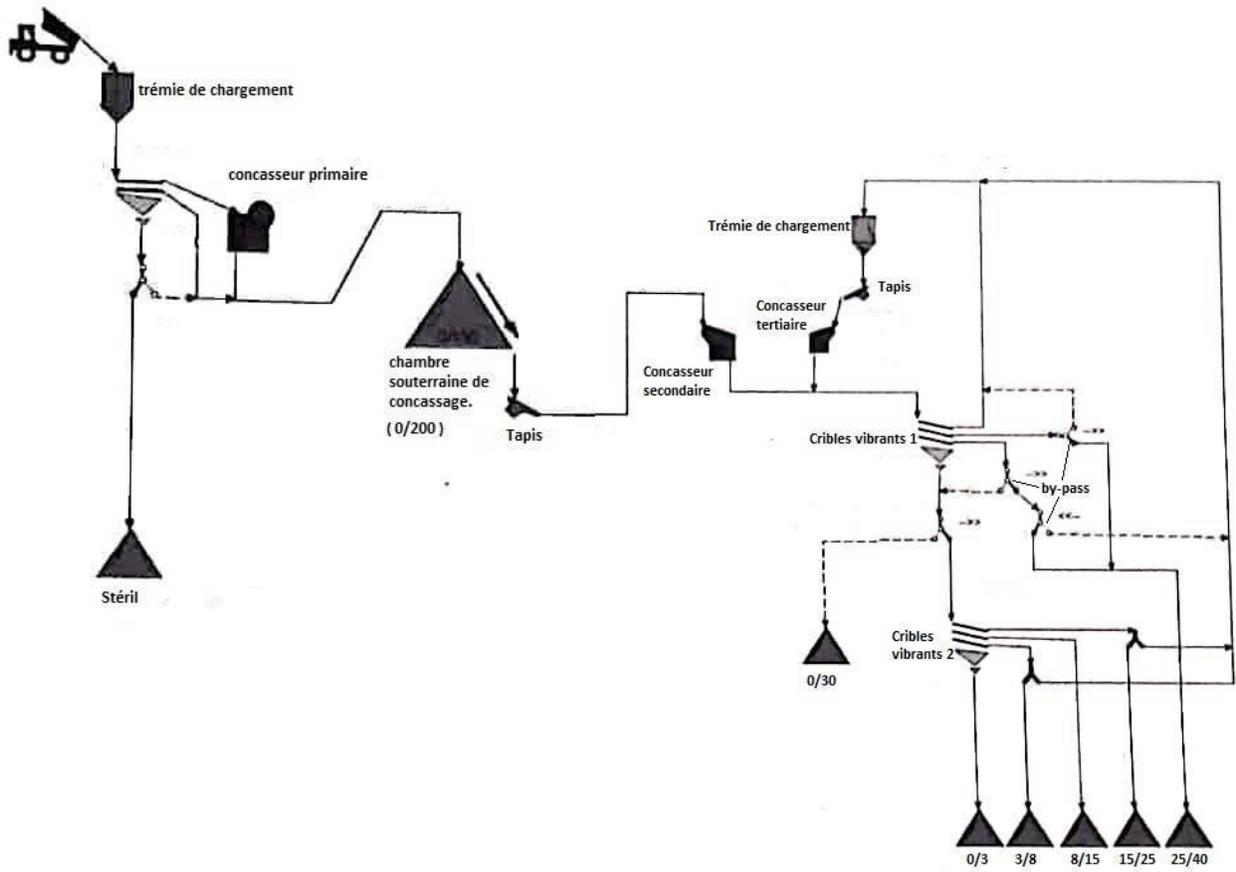


Figure 18: Schéma de la station de concassage

Chapitre III

Chapitre 3 – Optimisation du plan de tir.

1. Introduction

Le plan de tir doit prendre en considération des exigences ou bien des contraintes sur terrain, et adopter les paramètres de tir pour y répondre. Pour cela il faut concevoir un bon schéma de tir répondant à ces objectifs en utilisant les différentes méthodes de conception.

Dans ce chapitre on va analyser le résultat de chacun des tirs assistés, et puis on va les comparer avec les plans prévisionnels, dans le but de traiter et minimiser les problèmes, une étude comparative sera effectuée entre les résultats obtenus des paramètres des plans de tir.

2. Présentation du logiciel WipFrag

WipFrag est un logiciel qui permet une analyse instantanée des images numériques collectées après une explosion, un échantillon rapproché d'un stock, un échantillon de laboratoire, avec une mise à l'échelle automatique. [16]

La première étape c'est l'insertion de l'image dans le logiciel, en cliquant sur le signe « + » comme le montre la figure ci-dessous.

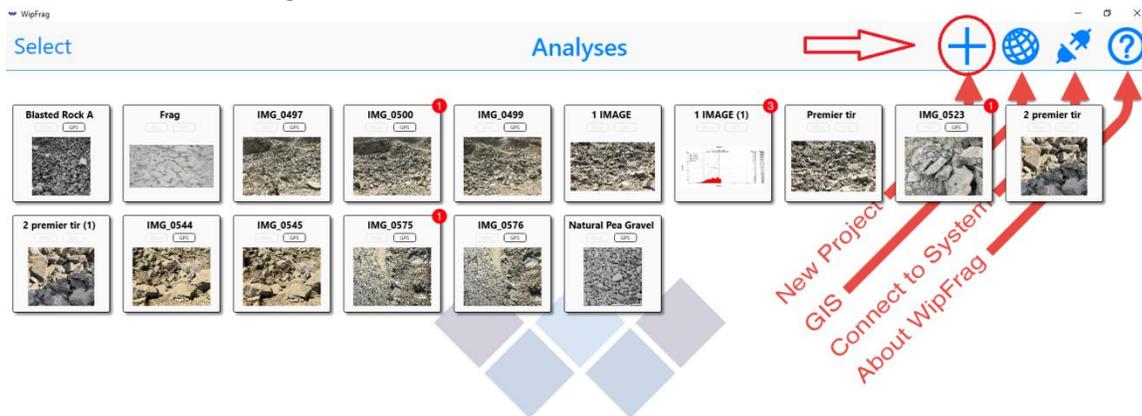


Figure 19: L'insertion de l'image

Après l'insertion de l'image, il faut choisir la longueur de l'échelle. Voici l'image ci-dessous qui montre l'opération.

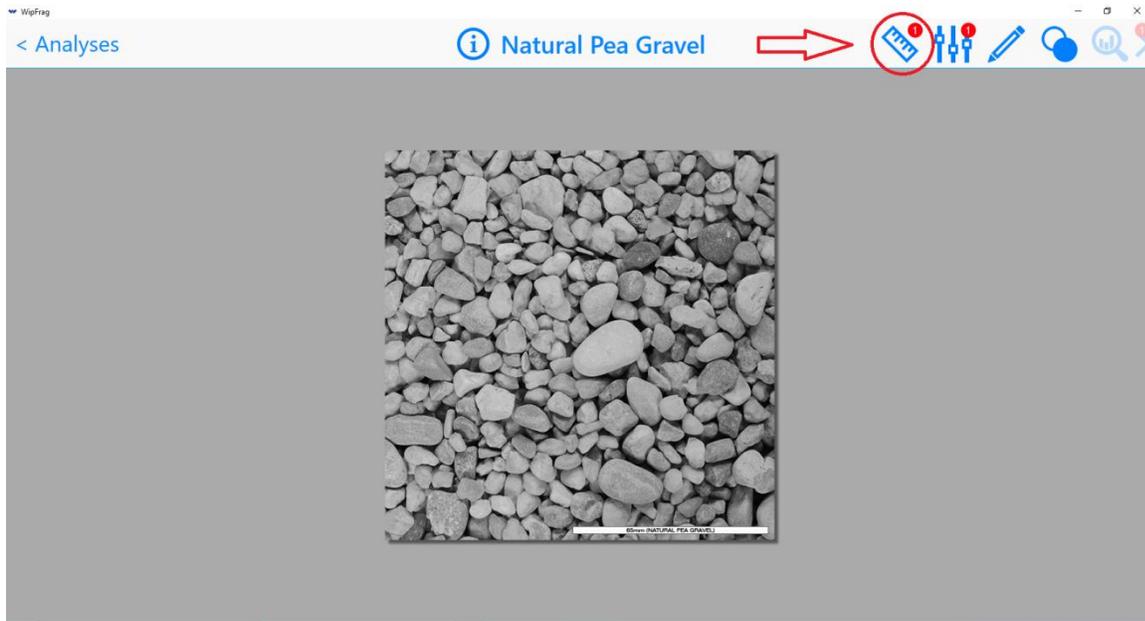


Figure 20: Le choix de la longueur d'échelle

Maintenant que nous avons mis l'échelle, on click sur le bouton paramètres de détection de bord pour produire plus ou moins de bords selon la nature de l'image.



Figure 21: Ajustement des bords

On peut aussi ajuster ces bords tout dépend de l'image.

Enfin, la dernière étape c'est l'analyse de l'image qui nous donne la courbe granulométrique.



Figure 22: L'analyse de l'image

3. Analyse des tirs

3.1 Tir du 24 Aout 2020

3.1.1. Plan de tir théorique

Table 13: Plan de tir théorique actuel

Paramètre de tir	Plan Théorique
Diamètre de trou (mm)	89
Hauteur du gradin (m)	9
Banquette (m)	3
Profondeur surforation(m)	1
Profondeur du trou (m)	10
Espacement (m)	2.5
Nombre de trou	25
Charge de pied TEMEX 1	18
Longueur de pied	4.5
Charge de colonne ANFO	9
Longueur de colonne	2
Quantité d'explosif par trou (kg)	27
Quantité d'explosif totale (kg)	675
Volume de roche abattu par trou (m ³)	67.5
Volume abattu total (m ³)	1687.5
Charge spécifique (kg/m ³)	0.4
Longueur de la charge (m)	6.5
Longueur de bourrage (m)	3.5
Nombre de rangée	2

Ce plan de tir a été réalisé en s'inspirant de la méthode longefors d'un côté et de l'expérience acquise sur le terrain d'un autre côté.

Ce tir a été réalisé au niveau 145m de la carrière objet de cette étude.

On note que la quantité d'explosif par trou a été calculée par la formule suivante :

$$Q = q * Hg * a * B$$

En utilisant d'un côté la maille ainsi que la hauteur du gradin pour trouver le volume abattu par chaque trou, et d'un autre côté, la consommation spécifique qui a été arrêtée par les ingénieurs de mines.

Cette méthode de faire, a donné une quantité d'explosif de 27 Kg/trou, une quantité qui reste difficilement applicable sur le terrain compte tenu du mode de conditionnement des explosifs utilisés en général (2 kg par cartouche pour le Temex et 25 kg/ sac pour l'Anfo).

A cet effet, il sera préférable de déterminer dans un premier lieu la longueur de la charge de fond et celle de colonne, puis la quantité d'explosif à mettre dans chacune avant de vérifier si la consommation spécifique reste dans les normes ou pas.

On constate également que la longueur de la charge de colonne ne correspond pas à la quantité mentionné d'Anfo, car sachant que chaque sac de 25 kg remplit 5 m de trou, les 2 m mentionné comme charge devraient contenir 10 kg, ce qui reste difficile à appliquer sur le terrain.

On note également que la quantité abattue dans ce tir ne permet pas d'atteindre l'objectif mensuel d'abattage arrêté par l'entreprise qui est de 28887.5 T ce qui donne à réfléchir sur le nombre de trous choisi qui peut être augmenté dans les prochains tirs pour récupérer ce déficit de production.

3.1.2. Mise en application du plan de tir

Table 14: Plan de tir pratique

Paramètre de tir	Plan Pratique
Diamètre de trou (mm)	89
Hauteur du gradin (m)	9
Banquette (m)	2
Profondeur surforation(m)	1
Profondeur du trou (m)	8.9– 10
Espacement (m)	2.5
Nombre de trou	25
Charge de pied (TEMEX 1)	18
Longueur de pied	4.5
Charge de colonne (TEMEX 1)	8
Longueur de colonne	2
Quantité d'explosif par trou (kg)	26
Quantité d'explosif totale (kg)	650
Volume de roche abattu par trou (m ³)	38– 45
Volume abattu total (m ³)	950– 1125
Charge spécifique (kg/m ³)	0.68 - 0.57
Longueur de la charge (m)	6.5
Longueur de bourrage (m)	3 - 3.5
Nombre de rangée	2

Afin de vérifier si le plan de tir arrêté est respecté ou pas, il a été décidé de procéder au contrôle de ses paramètres en 2 phases :

- D'abord, il est important de vérifier la veille du jour de tir si les paramètres inscrits sur le plan de tir sont respectés ou pas. Il s'agit de la vérification de la banquette, l'espacement entre trous et la profondeur des trous.
- La deuxième phase de contrôle consiste à assister le jour du tir aux opérations de chargement des trous et la mise a feu afin d'assurer du respect des paramètres en relation avec l'explosif et les séquences de tirs qui ont été inscrit sur le plan théorique.

Suite à la vérification des éléments cités ci-dessus, j'ai pu constater ce qui suit :

- La banquette :

La ligne de moindre résistance a été forée à une distance de 2m du front de taille contrairement a ce qui est mentionné sur le plan théorique qui fait apparaitre une banquette de 3m compte tenu des formules de calcul utilisés et l'expérience des ingénieurs sur le terrain. Cette diminution de la banquette impactera forcément la granulométrie du tir comme le montrera l'analyse granulométrique effectuée par le logiciel WipFrag.

- Profondeur du trou :

Suite aux mesures des profondeurs de tous les trous, j'ai pu constater qu'en réalité elle varie entre 8.9m et 10m contre une profondeur théorique de 10m comme mentionné sur le plan initial. Cet écart dans les profondeurs peut influencer sur le résultat du tir de plusieurs manières. Déjà qu'il quasiment sur de retrouver un pied de gradin après le tir vu que l'effet de l'explosif n'atteindra pas la plate forme inférieur du gradin. D'un autre coté, on doit s'attendre à avoir 2 scénarios en fonction des décisions prises par le responsable du tir. Le premier scénario est de maintenir la quantité d'explosif tel qu'elle a été décidé sur le plan théorique et donc réduire par conséquent la longueur du bourrage ce qui augmentera nécessairement le risque des projections. Le second scénario consiste à maintenir la longueur du bourrage et diminuer la quantité d'explosif par trou ce qui réduira par conséquent la consommation spécifique et par conséquent augmente le taux des roches hors gabarits dans le tas abattu sans oublier le fait de se retrouver avec une partie d'explosif qu'il faut consommer d'une manière ou d'une autre (dans ce genre de situation, on peut ou bien consommer cet explosif résiduel dans des trous de secours qu'on aurait préparé à l'avance au cas ou, ou bien les ajouter à d'autres trous et dans ce cas on se retrouvera au premier scénario).

- Type d'explosif :

Suite à l'indisponibilité de l'Anfo, l'ingénieur des mines été contraint d'utiliser un seul type d'explosif à savoir le TEMEX qui est un explosif brisant et qui a comme effet principal d'augmenter le taux des fines et réduire le dégagement du tas abattu par rapport au front de taille. On note également que l'utilisation d'un seul type d'explosif ne permet pas de vérifier si la longueur de la charge de pied et celle de colonne ont été respectée ou pas. Par contre j'ai pu constaté que la quantité utilisé par trou est de 26 kg ce qui confirme l'hypothèse qu'il faut revoir la quantité d'explosif dans le plan théorique (27kg) qui est irréalisable sur le terrain compte tenu du conditionnement de l'explosif et des conditions de travail sur le terrain.

- Nombre de rangée :

La forme de la plate forme de travail a fait en sorte que le plan de tir soit réalisé en 2 lignes, la première ligne (ligne de moindre résistance) contient 18 trous que la deuxième ligne contient uniquement 7 trous.

- Quantité abattue :

La différence entre les trous en termes de profondeur influe forcément sur la quantité de roche abattue lors du tir. On constate que compte tenu des profondeurs compris entre 8.9m et 10m, la quantité de roche abattue variera également entre 950 m³ et 1125 m³. Cette variabilité peut créer un manque à gagner considérable si l'entreprise n'est pas dotée d'un stock de matière première à utiliser en cas de rupture de stock et matière abattue dans ce tir.

- Consommation spécifique :

La consommation spécifique subira l'impact des changements sur les paramètres ci-dessus. On constate que vu la diminution des quantités abattue, on note forcément une augmentation de la consommation spécifique ce qui signifie l'augmentation du taux des fines dans le tir d'un coté et par conséquent l'augmentation du prix de revient de la matière abattue.

- Le bourrage :

La longueur du bourrage varie entre 3m et 3.5m, contre 3.5m prévisionnelle. Cette différence engendre un risque élevé de projection des roches d'un côté. Et d'un autre côté, l'évacuation d'une partie de l'énergie des explosifs sans donner d'effet sur la fragmentation et donc une perte inutile de cette énergie et par conséquent pas de fragmentation de la roche.

Plan de foration

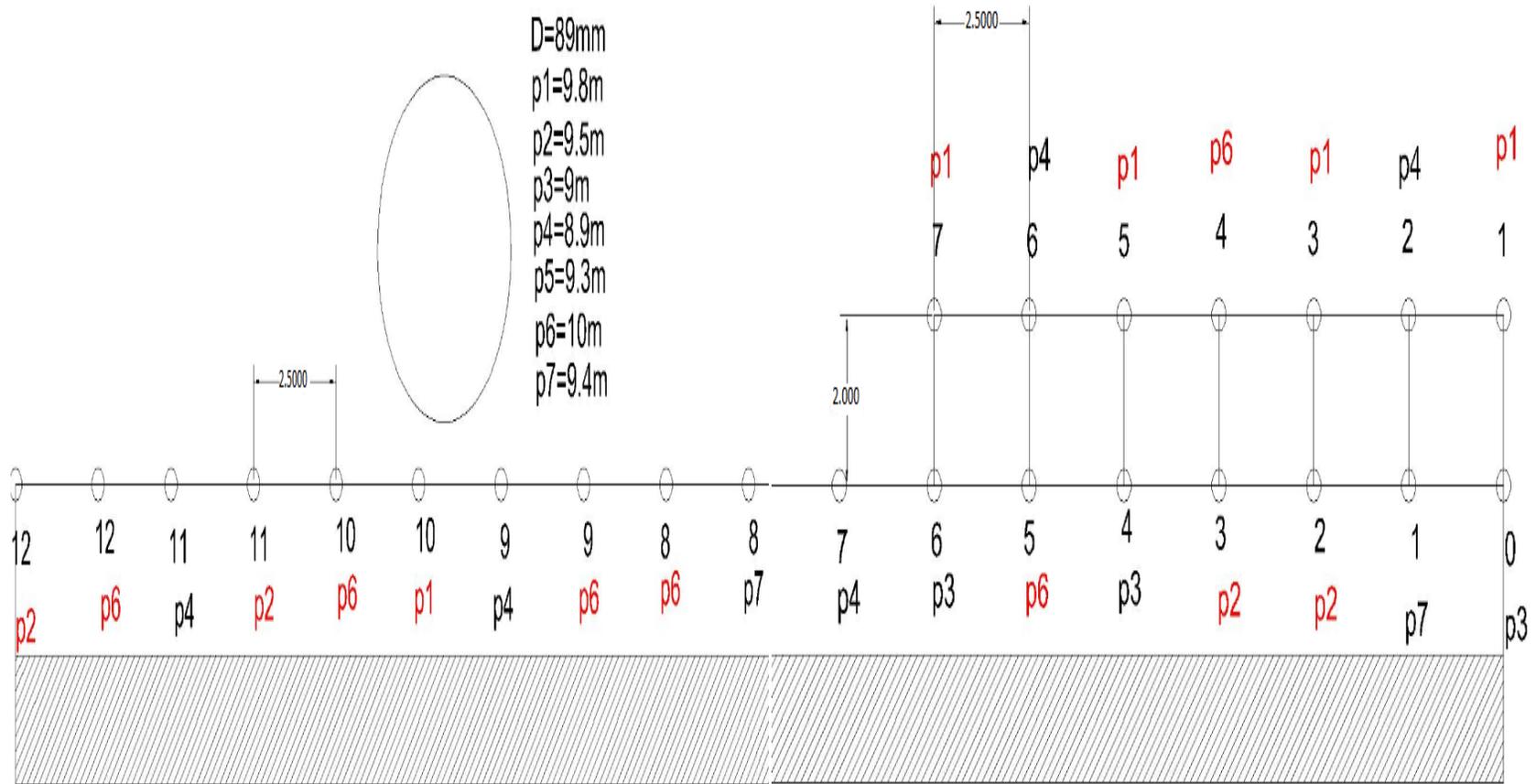


Figure 23: Plan de foration réel réalisé avec l'Auto CAD du premier tir

La figure 23 permet de voir le positionnement des trous de mines par rapport au front de taille d'une part et par rapport aux trous avoisinants d'autre part. On constate que la foration a été réalisée en utilisation d'une maille carrée qui est déconseillée vu que les meilleurs résultats de tir sont obtenus par une maille en quinconce.

Ce schéma nous permet également de visualiser l'endroit exact des trous avec une profondeur inférieure à 9.5m (trous en noir) et donc nous donne d'avance une idée sur les endroits où le risque d'avoir un pied de gradin est important.

On signale également qu'il aurait été préférable d'utiliser 2 types d'explosif même si l'Anfo est indisponible. Le mieux serait d'utiliser un explosif puissant dans la charge de pied (Temex1) et un explosif moins puissant dans la colonne (N18- BIS).

3.1.3. Analyse granulométrique

Pour l'analyse de la granulométrie on a utilisé le logiciel WipFrag qui va nous donner le graphe ci-dessous.



Figure 24: Roche abattue après le premier tir capturé le 24 Aout



Figure 25 : Le choix de l'échelle et ajustement des contours

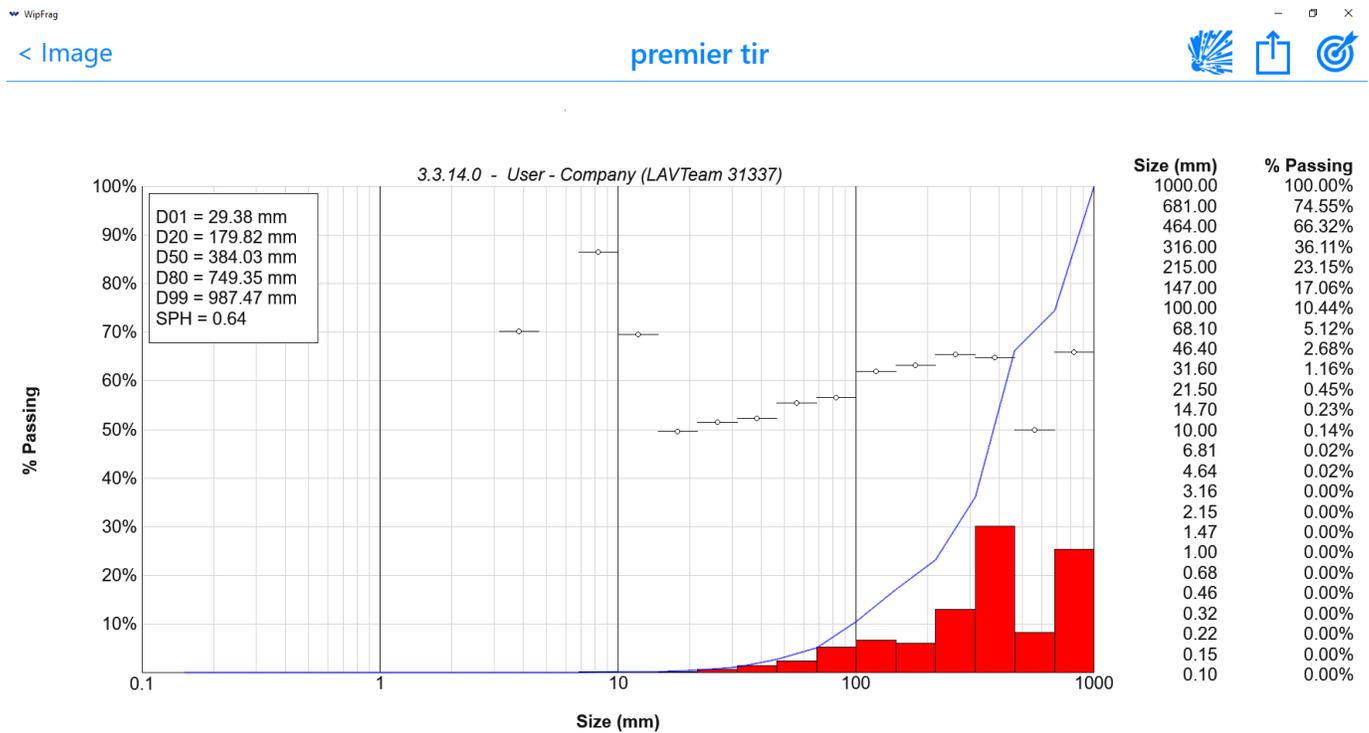


Figure 26: Courbe granulométrique du tas abattu du tir 24 aout, pris en photo le 24 aout.



Figure 27: Roche abattu du premier tir capturé le 6 septembre

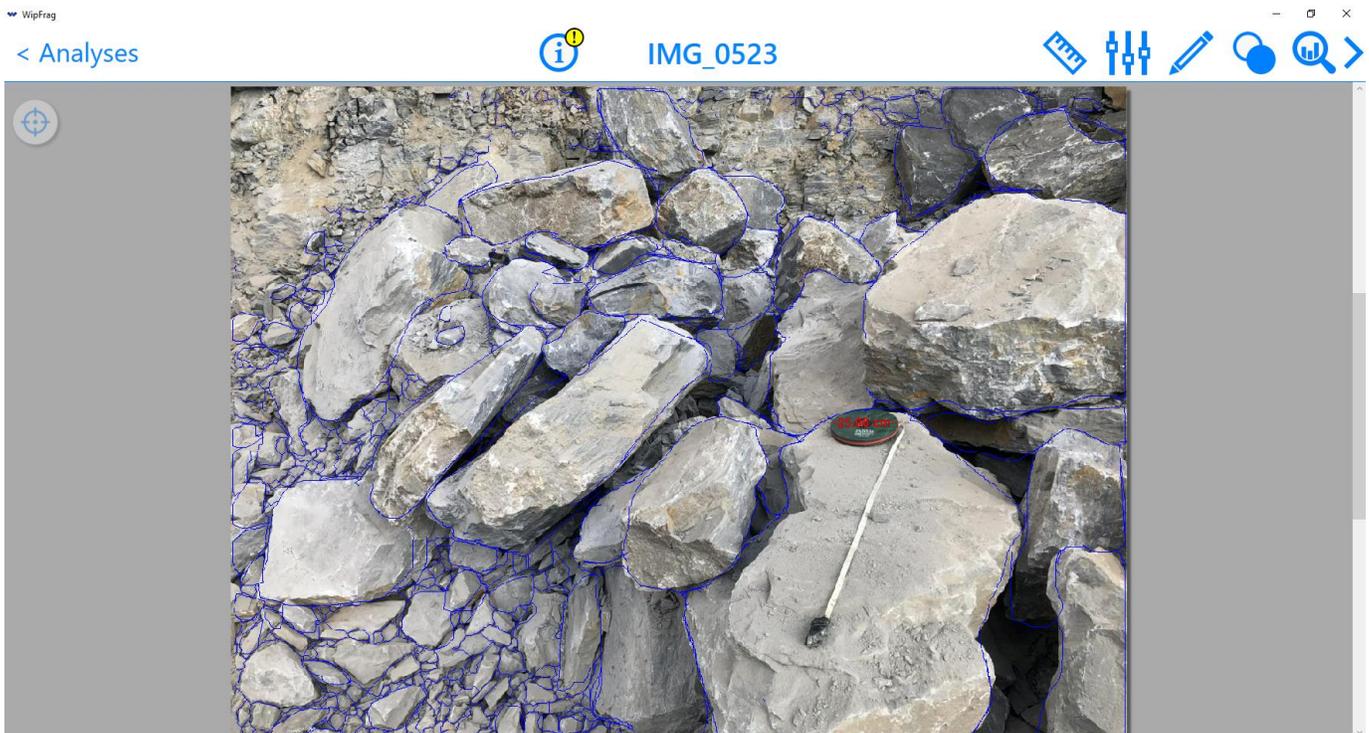


Figure 28: Le choix de l'échelle et ajustement des contours

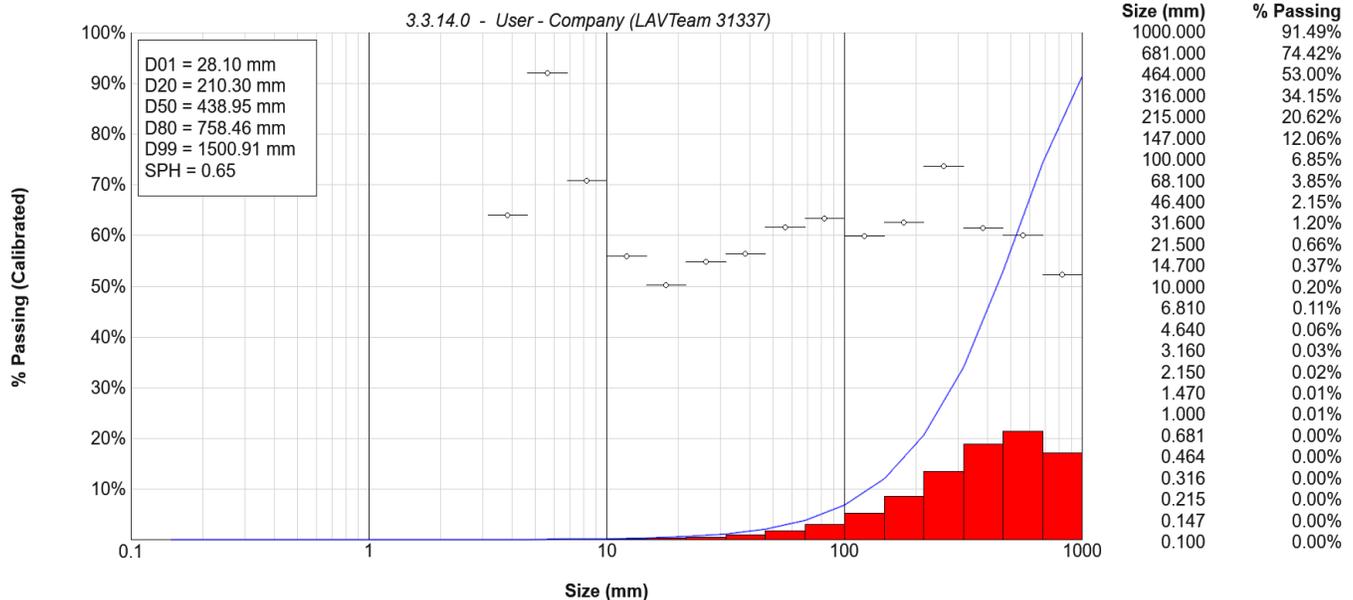


Figure 29: Courbe granulométrique du tas abattu du tir 24 aout, pris en photo le 6 septembre.

Interprétation des graphes :

La courbe granulométrique des photos prises sur le terrain du tas abattu donnent les informations suivantes :

- D50 est compris entre 384 mm et 439 mm
- D80 est compris entre 749 mm et 758 mm

Concernant maintenant les autres anomalies du tir on peut constater ce qui suit :

- Pied de gradin :

Comme le montre la figure 30 ci-dessous, un pied de gradin s'est formé et ce suite au non respect des profondeurs de foration compte tenu de la hauteur du gradin et de l'inclinaison des trous. Il est primordial d'éliminer ce pied avant de procéder aux prochains tirs et ce ou bien par brise roche ou bien en réalisant des trous de relevage (3m de profondeur au max) et qui doivent être les premiers à sauter avant la mise du gradin en question.

- Effet arrière :

Pas de fissures après le tir ce qui permet de conclure que l'inclinaison des trous a été respectée.

- Surplombs de gradin :
Pas de surplomb de gradin après le tir



Figure 30: Le pied d'un gradin après le premier tir

3.2 Tir du 06 Septembre 2020

3.2.1. Plan de tir théorique

Table 15: Plan de tir théorique actuel

Paramètre de tir	Plan Théorique
Diamètre de trou (mm)	89
Hauteur du gradin (mm)	13
Banquette (m)	3
Profondeur surforation(m)	1
Profondeur du trou (m)	14
Espacement (m)	2.5
Nombre de trou	25
Charge de pied (TEMEX1)	26
Longueur de pied	6.5
Charge de colonne (ANFO)	13
Longueur de colonne	3
Quantité d'explosif par trou (kg)	39
Quantité d'explosif totale (kg)	975
Volume de roche abattu par trou (m ³)	97.5
Volume abattu total (m ³)	2437.5
Charge spécifique (kg/m ³)	0.4
Longueur de la charge (m)	9.5
Longueur de bourrage (m)	4.5
Nombre de rangée	2

Ce tir a été réalisé au niveau 200m de la carrière objet de cette étude.

On note que la quantité d'explosif par trou a été calculée par la même formule précédente :

$$Q = q * Hg * a * B$$

Cette méthode de faire, a donné une quantité d'explosif de 39 Kg/trou, une quantité qui reste toujours difficilement applicable sur le terrain compte tenu du mode de conditionnement des explosifs.

A cet effet, il sera préférable de déterminer dans un premier lieu la longueur de la charge de pied et celle de colonne, puis la quantité d'explosif à mettre dans chacune avant de vérifier si la consommation spécifique reste dans les normes ou pas.

On constate également que la longueur de la charge de colonne ne correspond pas à la quantité mentionné d'Anfo, car sachant que chaque sac de 25 kg remplit 5m de trou (diamètre 89mm) les 3m mentionné comme charge devraient contenir 15 kg, ce qui reste difficile à appliquer sur le terrain.

3.2.2. Mise en application du plan de tir

Table 16: Plan de tir pratique

Paramètre de tir	Plan Pratique
Diamètre de trou (mm)	89
Hauteur du gradin (mm)	13
Banquette (m)	3
Profondeur surforation(m)	1
Profondeur du trou (m)	12.5 - 14.1
Espacement (m)	2.5 – 4
Nombre de trou	25
Charge de pied (TEMEX1)	24
Longueur de pied	6
Charge de colonne (TEMEX1)	14
Longueur de colonne	3.5
Quantité d'explosif par trou (kg)	38
Quantité d'explosif totale (kg)	950
Volume de roche abattu par trou (m ³)	88– 160.4
Volume abattu total (m ³)	2200–4010
Charge spécifique (kg/m ³)	0.23 - 0.43
Longueur de la charge (m)	9.5
Longueur de bourrage (m)	3 - 4.5
Nombre de rangée	2

Suite à la vérification des éléments cités ci-dessus, j'ai pu constater ce qui suit :

- La banquette :

La ligne de moindre résistance a été forcée à une distance de 3m du front de taille conformément à ce qui est mentionné sur le plan théorique.

- Espacement :

L'espacement entre les trous en réalité varie entre 2.5m et 4m contrairement à ce qui est mentionné sur le plan qui fait apparaître un espacement de 2.5m. Cette augmentation impactera automatiquement sur la blocométrie du tas abattu.

- Profondeur du trou :

Suite aux mesures des profondeurs de tous les trous, j'ai pu constater qu'en réalité elle varie entre 12.5m et 14.1m contre une profondeur théorique de 14m comme mentionné sur le plan initial. Cet écart dans les profondeurs peut influencer sur le résultat du tir de plusieurs manières. Déjà qu'il quasiment sur de retrouver un pied de gradin après le tir vu que l'effet de l'explosif n'atteindra pas la plate forme inférieur du gradin. D'un autre côté, on doit s'attendre à avoir 2 scénarios exactement comme dans le premier tir.

- Type d'explosif :

Suite à l'indisponibilité de l'Anfo, l'ingénieur été forcé d'utiliser un seul type d'explosif à savoir le TEMEX qui est un explosif brisant et qui a comme effet principal d'augmenter le taux des fines et réduire le dégagement du tas abattu par rapport au front de taille. On note également que l'utilisation d'un seul type d'explosif ne permet pas de vérifier si la longueur de la charge de pied et celle de colonne ont été respectée ou pas. Par contre j'ai pu constaté que la quantité utilisé par trou est de 38 kg ce qui confirme l'hypothèse qu'il faut revoir la quantité d'explosif dans le plan théorique (39kg) qui est irréalisable sur le terrain compte tenu du conditionnement de l'explosif et des conditions de travail sur le terrain.

- Nombre de rangée :

La forme de la plate forme de travail a fait en sorte que le plan de tir soit réalisé en 2 lignes, la première ligne (ligne de moindre résistance) contient 22 trous que la deuxième ligne contient uniquement 3 trous.

- Quantité abattue :

La différence entre les trous en termes de profondeur influe forcément sur la quantité de roche abattue lors du tir. On constate que compte tenu des profondeurs compris entre 12.5m et 14.1m, la quantité de roche abattue variera également entre 2200 m³ et 4010 m³. Cette variabilité peut créer un manque à gagner considérable si l'entreprise n'est pas dotée d'un stock de matière première à utiliser en cas de rupture de stock et matière abattue dans ce tir.

- Consommation spécifique :

La consommation spécifique subira l'impact des changements sur les paramètres ci-dessus. On constate que vu l'augmentation des quantités abattues, on note forcément une diminution de la consommation spécifique ce qui signifie l'augmentation du taux des hors gabarits.

- Le bourrage :

La longueur du bourrage en réalité varie entre 3m et 4.5m contrairement à ce qui est mentionné sur le plan théorique. Cet écart entraine un risque élevé de projection des roches.

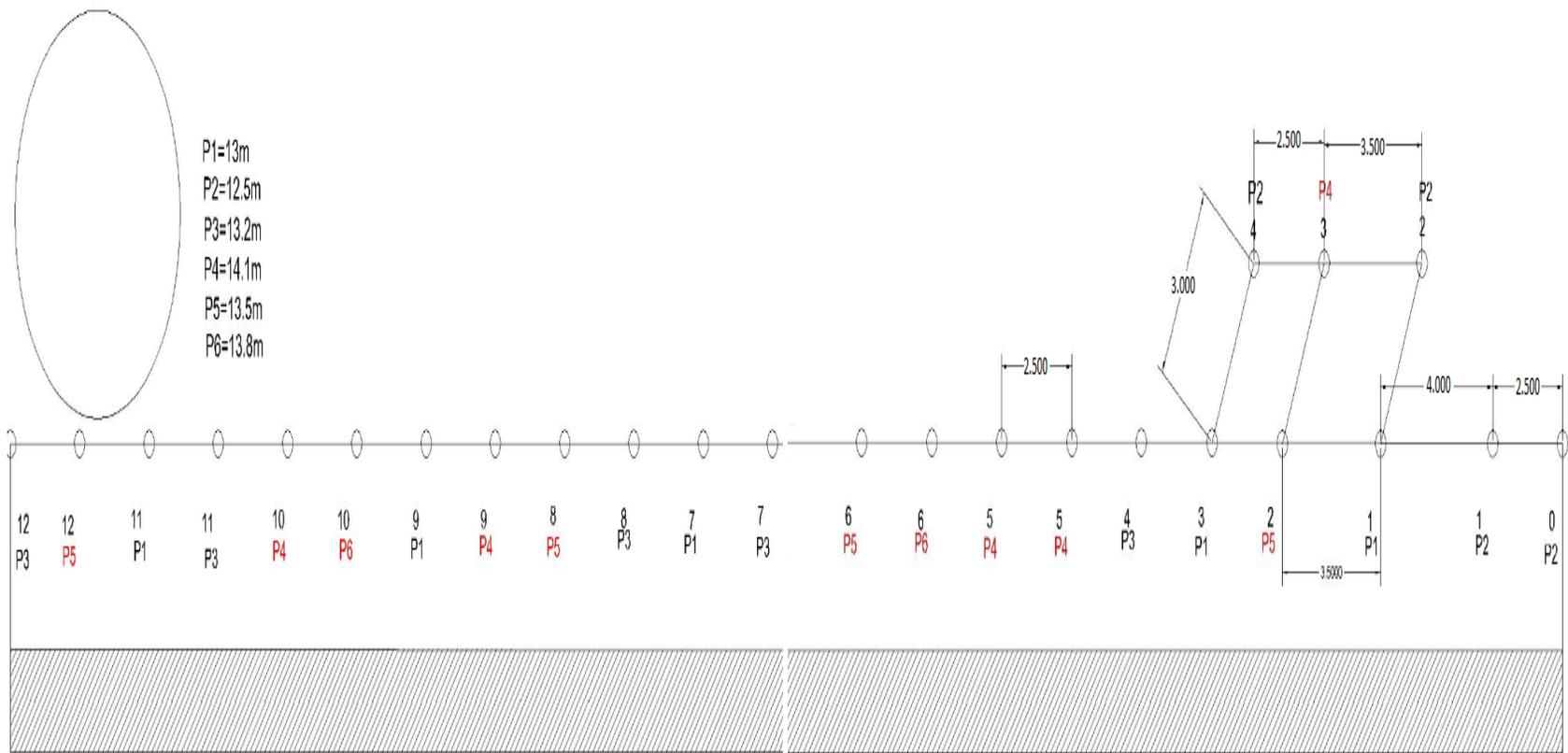


Figure 31: Plan de foration réel réalisé avec l'Auto CAD du deuxième tir

La figure 31 montre que la maille foration est constituer de 2 rangées, la première rangée contient 22 trous, la deuxième rangée contient uniquement 3 trous en quinconce avec la première rangé. Ce schéma montre également l'endroit exact des trous qui ont une profondeur inférieure à 13.5m (trous en noir) et donc nous donne d'avance une idée sur les endroits ou le risque d'avoir un pied de gradin est important.

3.2.3. Analyse granulométrique

Pour l'analyse de résultat de tir on a utilisé le logiciel WipFrag qui va nous donné la granulométrie de la roche abattu a partir d'une image capturé ci-dessous.



Figure 32: Roche abattue après le deuxième tir capturé le 6 septembre.

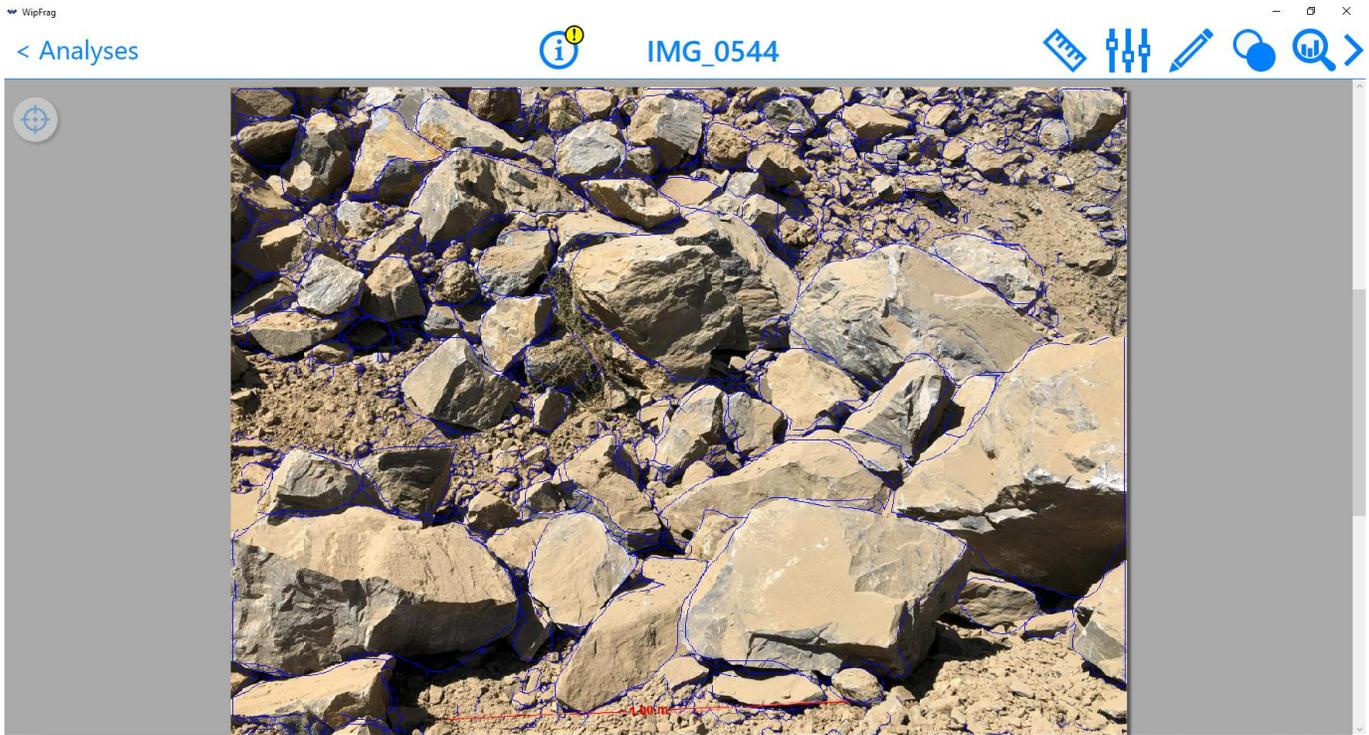


Figure 33: Le choix de l'échelle et ajustement des contours

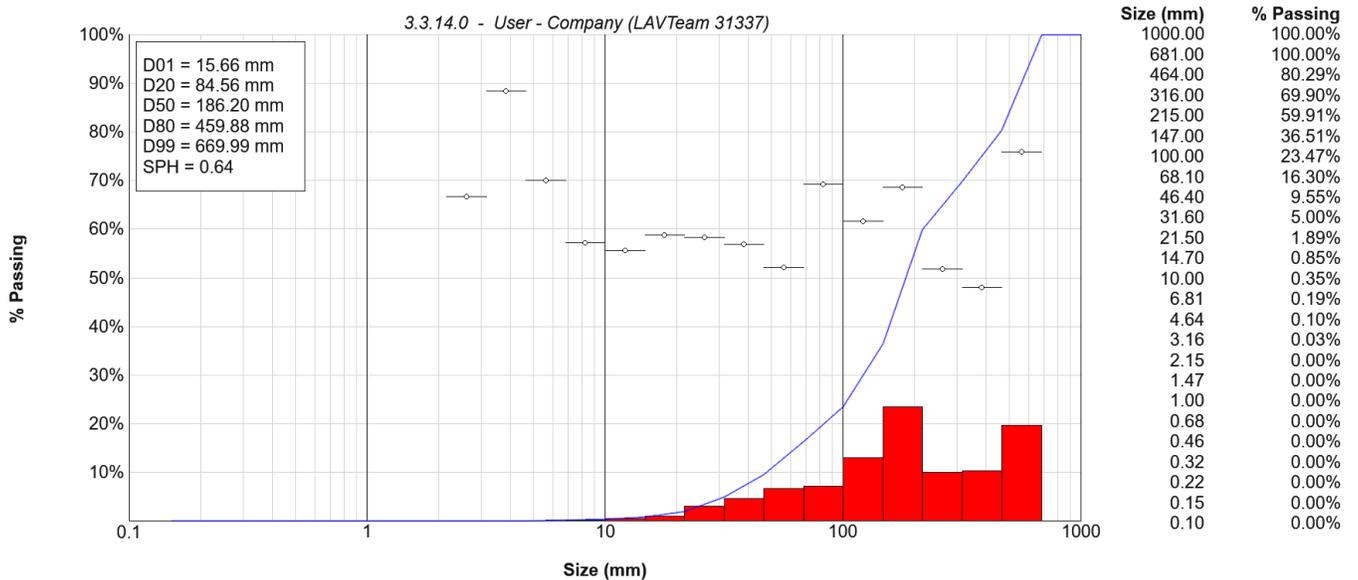


Figure 34: Courbe granulométrique du tas abattu du tir 6 septembre, pris en photo le 6 septembre.



Figure 35: Roche abattue après le 2^{ème} tir capturé le 6 septembre

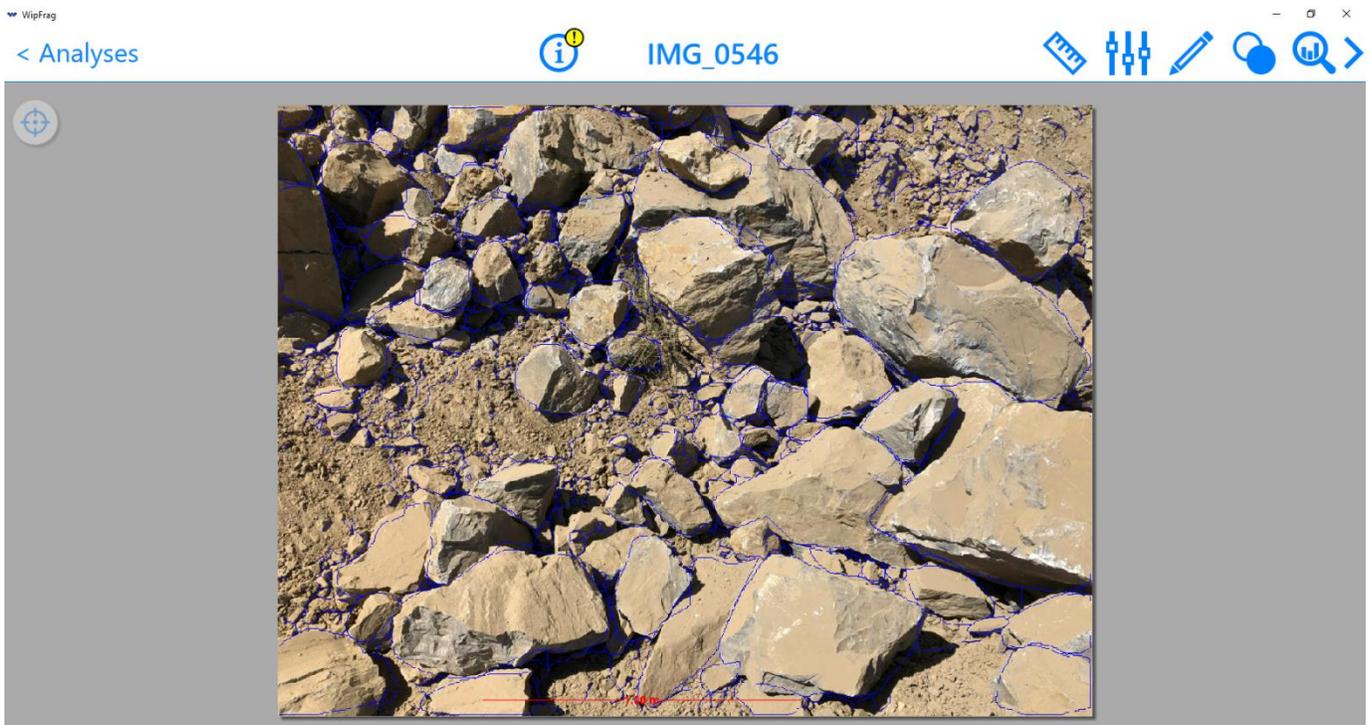


Figure 36: Le choix de l'échelle et ajustement des contours.

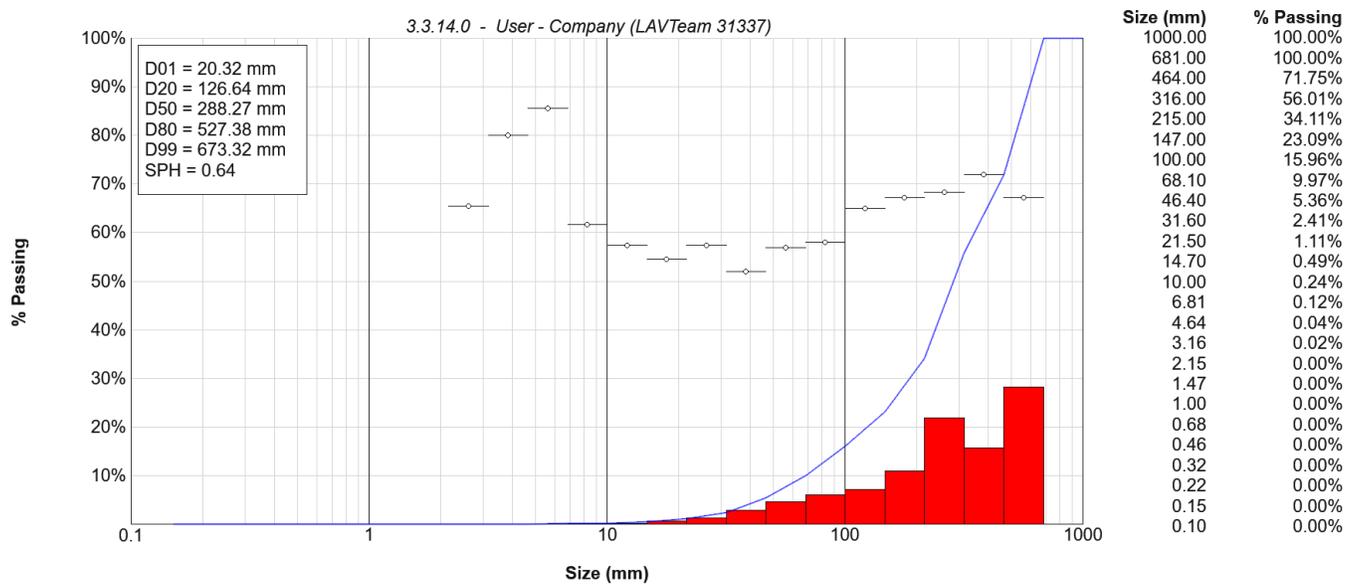


Figure 37: Courbe granulométrique du tas abattu du tir 6 septembre, pris en photo le 6 septembre.

Interprétation des graphes

La courbe granulométrique des photos prises sur le terrain du tas abattu donnent les informations suivantes :

- D50 est compris entre 186 mm et 288 mm
- D80 est compris entre 450 mm et 527 mm

Concernant maintenant les autres anomalies du tir on peut constater ce qui suit :

- Pied de gradin :

Un pied de gradin s'est formé et ce suite au non respect des profondeurs de foration compte tenu de la hauteur du gradin.

- Effet arrière :

Pas de fissures après le tir ce qui permet de conclure que l'inclinaison des trous a été respectée.

- Surplombs de gradin :

Pas de surplomb de gradin après le tir

3.3 Tir du 28 Septembre 2020

3.3.1. Plan de tir théorique

Table 17: Plan de tir théorique actuel

Paramètre de tir	Hg=8m	Hg=10m
Diamètre de trou (mm)	89	89
Hauteur du gradin (m)	8	10
Banquette (m)	3	3
Profondeur surforation(m)	1	1
Profondeur du trou (m)	9	11
Espacement (m)	2.5	2.5
Nombre de trou	22	6
Charge de pied (TEMEX2)	16	20
Longueur de pied	4	5
Charge de colonne (TEMEX2)	8	10
Longueur de colonne	2	2.5
Quantité d'explosif par trou (kg)	24	30
Quantité d'explosif totale (kg)	528	180
Volume de roche abattu par trou (m ³)	60	75
Volume abattu total (m ³)	1320	450
Charge spécifique (kg/m ³)	0.4	0.4
Longueur de la charge (m)	6	7.5
Longueur de bourrage (m)	3	3.5
Nombre de rangée	3	2

Ce tir a été réalisé au niveau 145m de la carrière objet de cette étude.

On note que la quantité d'explosif par trou est de 24 Kg pour les trous de 9m de profondeur et 30 Kg pour les trous de 11m de profondeur, ces quantités qui sont applicable sur le terrain compte tenu du mode de conditionnement des explosifs utilisés pour ce plan (2Kg par une cartouche de Temex).

Donc pour remplir les trous de 9m de profondeur il nous faut 12 cartouches c'est-à-dire un carton, qui est applicable sur terrain.

On signale également que le volume de la roche abattue dans ce tir ne permet pas d'atteindre l'objectif mensuel d'abattage visé par l'entreprise qui est de 10900 m³, donc il faut revoir le nombre de trous dans les prochains tirs

3.3.2. Mise en application du plan de tir

Table 18: Plan de tir pratique

Paramètre de tir	Hg=8m	Hg=10m
Diamètre de trou (mm)	89	89
Hauteur du gradin (m)	8	10
Banquette (m)	2	2
Profondeur surforation(m)	1	1
Profondeur du trou (m)	8.5 – 9.2	11
Espacement (m)	2.5	2 – 2.5
Nombre de trou	22	6
Charge de pied (TEMEX2)	16	20
Longueur de pied (m)	4	5
Charge de colonne (TEMEX2)	8	10
Longueur de colonne (m)	2	2.5
Quantité d'explosif par trou (kg)	24	30
Quantité d'explosif totale (kg)	528	192
Volume de roche abattu par trou (m ³)	38.2 – 42	40 – 50
Volume abattu total (m ³)	840.4 – 924	240 - 300
Charge spécifique (kg/m ³)	0.57 – 0.62	0.6 - 0.75
Longueur de la charge (m)	6	7.5
Longueur de bourrage (m)	2.5 – 3.2	3.5
Nombre de rangée	3	2

Afin de vérifier si le plan de tir arrêté est respecté ou pas, il a été décidé de procéder au contrôle de ses paramètres en 2 phases :

- D'abord, il est important de vérifier la veille du jour de tir si les paramètres inscrits sur le plan de tir sont respectés ou pas. Il s'agit de la vérification de la banquette, l'espacement entre trous et la profondeur des trous.
- La deuxième phase de contrôle consiste à assister le jour du tir aux opérations de chargement des trous et la mise a feu afin d'assurer du respect des paramètres en relation avec l'explosif et les séquences de tirs qui ont été inscrit sur le plan théorique.

Suite à la vérification des éléments cités ci-dessus, j'ai pu constater ce qui suit :

- La banquette :

La ligne de moindre résistance a été forée à une distance de 2m du front de taille contrairement a ce qui est mentionné sur le plan théorique qui fait apparaitre une banquette de 3m compte tenu des formules de calcul utilisés et l'expérience des ingénieurs sur le terrain. Cette diminution de la banquette impactera forcément la granulométrie du tir comme le montrera l'analyse granulométrique effectuée par le logiciel WipFrag.

- Espacement :

L'espacement entre les trous a été forcé à une distance qui varie entre 2m et 2.5m contrairement à ce qui est mentionné sur le plan qui fait apparaître un espacement de 2.5m. Cette diminution impactera automatiquement la blocométrie du tas abattu.

- Profondeur du trou :

Suite aux mesures des profondeurs de tous les trous, j'ai pu constater qu'en réalité elle varie entre 8.5m et 9.2m pour le plan avec une Hg=8m contre une profondeur théorique de 9m comme mentionné sur le plan théorique. Cet écart dans les profondeurs peut influencer sur le résultat du tir de plusieurs manières. Il est probable de retrouver un pied de gradin après le tir vu que l'effet de l'explosif n'atteindra pas la plate forme inférieur du gradin. D'un autre côté, on doit s'attendre à avoir 2 scénarios fonction des décisions prises par le responsable du tir. Le premier scénario est de maintenir la quantité d'explosif tel qu'elle a été décidé sur le plan théorique et donc réduire par conséquent la longueur du bourrage ce qui augmentera nécessairement le risque des projections. Le second scénario consiste à maintenir la longueur du bourrage et diminuer la quantité d'explosif par trou ce qui réduira par conséquent la consommation spécifique et par conséquent augmente le taux des roches hors gabarits dans le tas abattu sans oublier le fait de se retrouver avec une partie d'explosif qu'il faut consommer d'une manière ou d'une autre (dans ce genre de situation, on peut ou bien consommer cet explosif résiduel dans des trous de secours qu'on aurait préparé à l'avance au cas ou, ou bien les ajouter à d'autres trous et dans ce cas on se retrouvera au premier scénario).

- Nombre de rangée :

La forme de la plate forme de travail a fait en sorte que le plan de tir soit réalisé en 3 lignes, la première ligne (ligne de moindre résistance) contient 12 trous, la deuxième ligne contient 12 trous que la troisième ligne contient uniquement 4 trous.

- Quantité abattue :

La différence entre les trous en termes de profondeur influe forcément sur la quantité de roche abattue lors du tir. On constate que compte tenu des profondeurs compris entre 8.5m et 9.2m, la quantité de roche abattue variera également entre 814 m³ et 884 m³, pour la maille d'une hauteur de 8m. Cette variabilité peut créer un manque à gagner considérable si l'entreprise n'est pas dotée d'un stock de matière première à utiliser en cas de rupture de stock et matière abattue dans ce tir.

- Consommation spécifique :

La consommation spécifique subira l'impact des changements sur les paramètres ci-dessus. On constate que vu la diminution des quantités abattue, on note forcément une augmentation de la consommation spécifique ce qui signifie l'augmentation du taux des fines dans le tir d'un côté et par conséquent l'augmentation du prix de revient de la matière abattue.

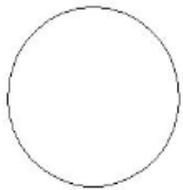
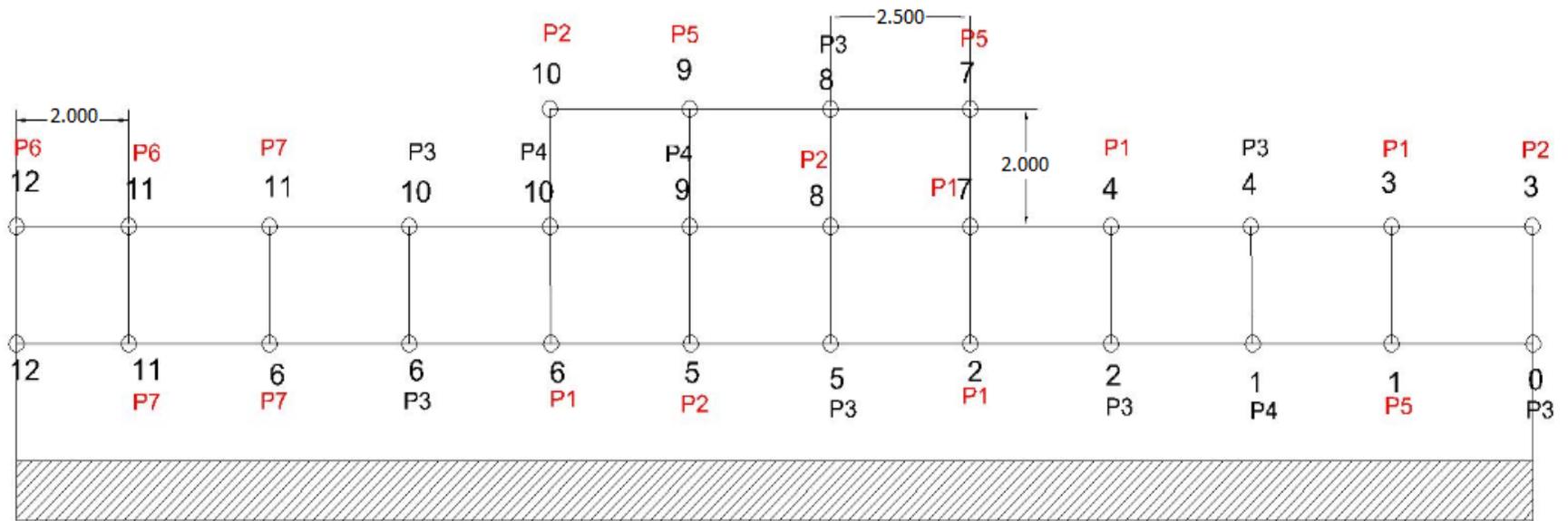
- Type d'explosif :

L'explosif utilisé sur terrain est le Temex2 conformément à ce qui est mentionné sur le plan théorique.

- Le bourrage :

La longueur du bourrage est de 3.5m conformément à ce qui est mentionné sur le plan théorique pour la hauteur de 10m. Donc pas de risque de projection des roches d'un côté. Et d'un autre côté, y'aura pas de perte d'énergie et par conséquent y'a une fragmentation de la roche. Par contre pour une hauteur de gradin de 8m, la longueur de bourrage varie entre 2.5m et 3.2m contrairement à ce qui est mentionné sur le plan initial. Cette différence engendre un risque élevé de projection des roches d'un côté. Et d'un autre côté, l'évacuation d'une partie de l'énergie des explosifs sans donner d'effet sur la fragmentation.

Plan de foration



- D=89mm
- P1=8.8m
- P2=9m
- P3=8.6m
- P4=8.5m
- P5=9.2m
- P6=11.1m
- P7=11.2m

Figure 38: Plan de foration réel réalisé avec l'Auto CAD du Troisième tir

La figure 38 montre que la maille foration constituer de 3 rangées, la première rangée contient 12 trous, la deuxième rangée contient 12 trous en carré avec la première rangé et la troisième rangée contient uniquement 4 trous en carré avec la deuxième rangée.

Ce schéma nous permet également de visualiser l'endroit exact des trous avec une profondeur inférieure à 8.5m (trous en noir) ou il y'a un risque d'avoir un pied de gradin.

3.3.3. Analyse granulométrique

Pour l'analyse granulométrique de résultat de tir on a utilisé le logiciel WipFrag qui va nous donné la courbe granulométrie de la roche abattu a partir des images capturées ci-dessous.



Figure 39: Roche abattue après le troisième tir (capturé 28 septembre).

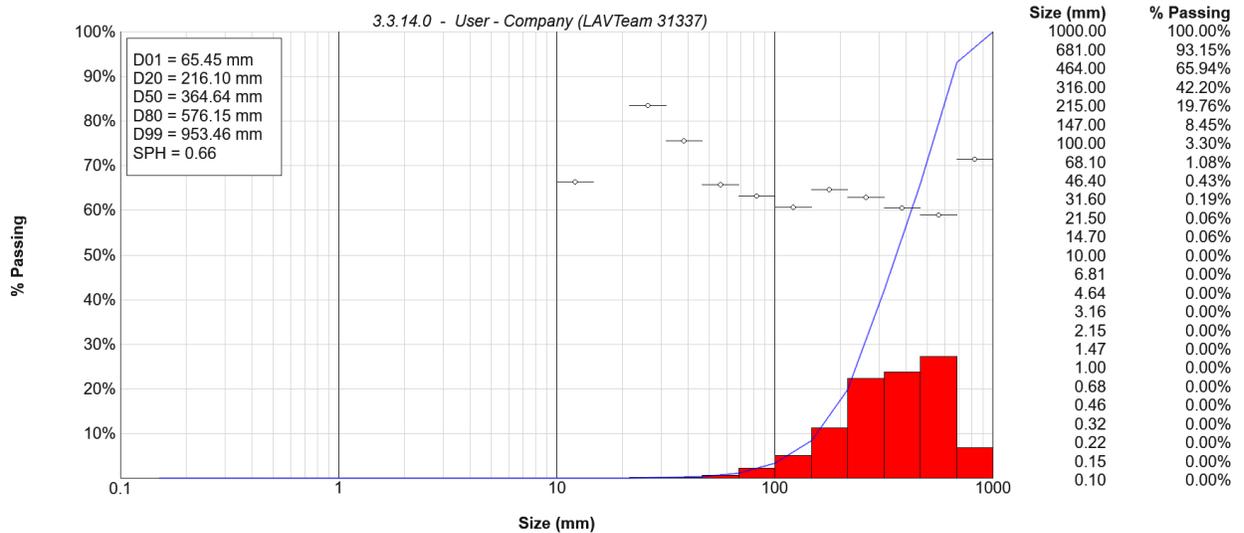
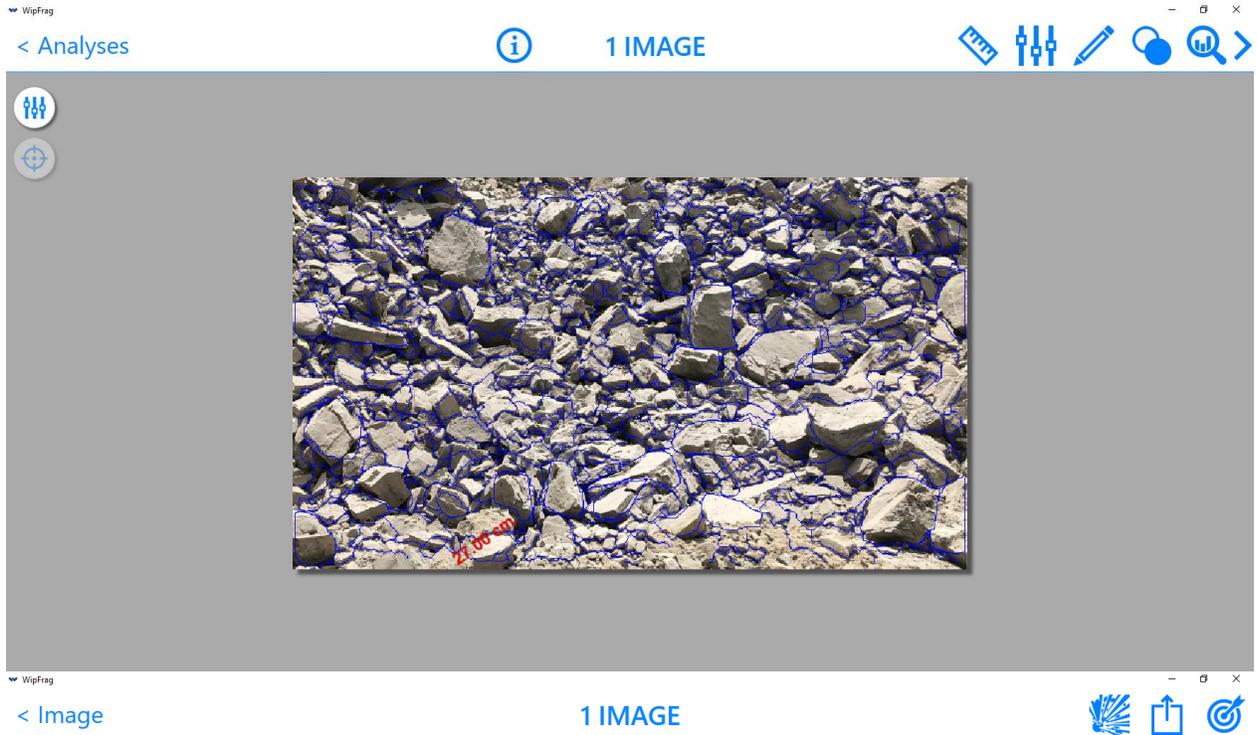


Figure 40: Courbe granulométrique du tas abattu du tir 28 septembre, pris en photo le 28 septembre.

Interprétation :

La courbe granulométrique des photos prises sur le terrain du tas abattu donnent les informations suivantes :

- D50 est égal à 364 mm
- D80 est égal à 576 mm

Ces résultats confirment le constat fait sur la réalisation du plan de tir sur terrain. On note une présence des particules fines qui peuvent baisser le rendement du concasseur primaire, mais également augmenter le cout de revient de la matière abattue, ce qui donne à réfléchir à revoir certains paramètre pour assurer une meilleure fragmentation.

Concernant les autres anomalies du tir on peut constater ce qui suit :

- Pied de gradin :

Cette fois ci le pied de gradin a été dégagé et ce suite au respect des profondeurs de foration et l'inclinaison des trous.

- Effet arrière :

Pas de fissures après le tir.

- Surplombs de gradin :

Pas de surplomb de gradin après le tir

4. Plan de tir proposé

Sachant que pour atteindre l'objectif mensuel de l'entreprise il nous faut 3620 m³ par tir, et de planifier 3 tirs chaque mois, voici le plan de tir proposé :

Table 19: Plan de tir proposé

Les paramètres de plan tir	Plan de tir proposé 1	Plan de tir proposé 2
Diamètre de trou (mm)	89	89
Hauteur du gradin (m)	8	13
Banquette (m)	3.5	3.5
Profondeur surforation (m)	1	1
Profondeur (m)	9	14
Inclinaison du trou (degrés)	10	10
Espacement (m)	3.5	3.5
Nombre de trous	36	22
Longueur de pied (m)	4.5	4.5
Charge de pied TEMEX1 (kg)	18	18
Longueur de colonne (m)	1	6
Charge de colonne TEMEX2 (kg)	4	24
Quantité d'explosif par trou (kg)	22	42
Quantité d'explosif totale (kg)	792	924
Volume de la roche abattu par trou (m ³)	98	159.2
Volume de la roche total (m ³)	3620	3620
Charge spécifique (kg/m ³)	0.22	0.26
Longueur de la charge (m)	5.5	10.5
Longueur de bourrage (m)	3.5	3.5
Nombre de rangée	3	2

Table 20: La différence entre le plan proposé et le plan théorique pour Hg=8m

Paramètres de plan	Plan théorique	Plan proposé
Banquette (m)	3	3.5
Espacement (m)	2.5	3.5
Le nombre de trou a foré	22	36
Longueur de la charge (m)	6	5.5
Longueur de bourrage (m)	3	3.5
Quantité d'explosif totale (kg)	528	792
Volume de roche abattue (m ³)	1320	3620
Consommation spécifique (kg/m ³)	0.4	0.22

Table 21: La différence entre le plan proposé et le plan théorique pour Hg=13m

Paramètres de plan	Plan théorique	Plan proposé
Banquette (m)	3	3.5
Espacement (m)	2.5	3.5
Le nombre de trou a foré	25	22
Longueur de la charge (m)	9.5	10.5
Longueur de bourrage (m)	4.5	3.5
Quantité d'explosif totale (kg)	975	924
Volume de roche abattue (m ³)	2438	3620
Consommation spécifique (kg/m ³)	0.4	0.26

Les deux tableaux (17,18) ci-dessus montrent la différence entre les paramètres de plan de tir proposé et le plan théorique actuel de la carrière de Bab El Oued

Ces deux plans de tir proposé ci-dessus ont été réalisés avec la méthode de longefors (expérience française).

Dans ces plans proposés les mailles ont été agrandies dans le but de:

- ❖ L'abaissement de la consommation spécifique.
- ❖ La diminution des fines.
- ❖ Obtention de la production mensuelle visée par l'entreprise.

Le tableau 18 ci-dessus montre qu'avec ce plan proposé on va obtenir l'objectif mensuel de l'entreprise avec seulement 924 Kg d'explosif contrairement à ce qui est mentionné sur le plan théorique qui fait apparaître une quantité d'explosif de 975 Kg d'un côté, de l'autre côté avec le plan théorique la quantité abattue n'est pas suffisante pour atteindre la production mensuelle.

5. Conclusion

Après les analyses qu'on a effectuées dans ce chapitre, on a conclu que les résultats de tir ont une fragmentation de mauvaise qualité (beaucoup de fines) et une mauvaise destruction au niveau de pied.

Alors pour atteindre une bonne qualité de fragmentation, la conception du plan de tir doit être effectuée selon les règles, la construction des charges doit être respectée, le choix de l'explosif pour chaque charge est très important et il faut contrôler l'opération de foration.

Conclusion générale

Dans une exploitation à ciel ouvert nous avons des exigences géométriques, dimensionnelles et des impératifs de sécurité.

Un bon plan de tir doit prendre en considération ces exigences, et de traiter les principaux paramètres de tir selon les règles pour y répondre.

Après l'étude et l'élaboration de ce projet, on déduit que la qualité de fragmentation contient beaucoup de fines qui a un effet sur le rendement de concasseur et par conséquent l'augmentation du prix de revient de la matière abattue.

L'apparition de pied du gradin, cela signifie la mauvaise destruction au niveau inférieur du front, cette anomalie est due au non respect de profondeur des trous.

La fragmentation est une notion complexe dans le contexte de l'exploitation à ciel ouvert, pour cela on a proposé un plan de tir avec une maille plus grande, qui répond à l'objectif de l'entreprise et plus économique.

Il faut tester le plan proposé pour confirmer son efficacité ou bien le réajuster pour avoir un meilleur résultat.

Références bibliographiques :

- [1] KAMULETE MUDIANGA N. Cours d'exploitation a ciel ouvert université Lubumbashi. P75-132 (Minage et Forage).
- [2] Urien, P., Charles N., Galin R., Guillon D. (2017) – Sondages miniers. Collection « La mine en France ». Tome 11, 42 p., 13 fig., 1 tabl. 1 Ann.
- [3] Gueramtia Laid et Mokkeden Hicham. L'optimisation du plan de tir (cas de gisement de Sidi Yous Wilaya de Boumerdes). Thèse de mémoire : Mines et géologie, Bejaia soutenu le : 26/062016 disponible sur <http://univ-bejaia.dz/jspui/bitstream/123456789/6450/1/L%E2%80%99optimisation%20du%20plan%20de%20tir%20%28Cas%20de%20gisement%20de%20Sidi%20Yous%20Wilaya%20de%20Boumerdes%29..pdf>
- [4] Héraud H., Leblond J-J., Souchet C., Veronneau J-Y., Bellerepayre J-M., 1994, Minage. Intérêts technique et économique d'une foration de qualité en carrière. Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées n°215, pp 33-39.
- [5] Luz-Deinny CELY-HOSTOS, Optimisation des tirs à l'explosif et de la chaîne de production dans les carrières de granulats, application à la carrière Héлары de Ruvernison (Morlaix, France), ENSMP-CGI, CESECO 2006. (P25-45)
- [6] Optimisation d'utilisation des explosifs en génie civil Qiang Zeng. P13 et p124
- [7] TAYEB SERRADJ CETIM. Rappel abattage a l'explosif.
- [8] BacharAssed Mohamed Aguid Cours d'exploitation.
- [9] ONEX : L'Office National Des Substances Explosives
- [10] TOUT POUR LE FORAGE. Minage et Forage en carrière principes, calcul méthodes de forage et usage. Consulté le 15/08/2020. Disponible sur <https://www.toutpourleforage.com/minage-et-forage-en-carriere-principes-methodes-calculs-pour-un-forage-des-trous-de-mine/>
- [11] Méthode d'évaluation quantitative de l'hétérogénéité de la fracturation dans les carrières souterraines de calcaire. P.61-72 Institut EGID-BORDEAUX3. Université Michel-de-Montaigne. Consulté le 26/08/2020. Disponible sur <http://www.geotech-fr.org/sites/default/files/rfg/article/99-5.pdf>
- [12] Djoudi Merabet, Hamid Kherbachi, Djamel Mehri : Amélioration de la qualité de fragmentation des roches fissurées l'hors de l'abattage a l'explosif dans les carrières a ciel ouvert P.78-80 Consulté le 15/09/2020. Disponible sur : <http://www.geotech-fr.org/sites/default/files/rfg/article/78-7.pdf>
- [13] Djoudi Merabet Rapport Géologique Actualisé. Dossier élaboré par CEF (Cabinet Conseil, Expertise, Formation) 2018,39P

[14] Les règles de l'art minier dans les exploitations minières, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (P53-P54)