



الجمهورية الجزائرية الشعبية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للمناجم و المعادن – عمار العسكري- عنابة

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES ET DE LA METALLURGIE

AMAR LASKRI- ANNABA

Département Génie Minier

En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Minier

Spécialité : Contrôle des Terrains

Thème

Influence du tir à l'explosif sur la stabilité
des ouvrages et des constructions - cas de
carrière d'Elkhroub -Constantine -

Présenté par : Goumeida Marwa . **Encadré par :** Pr. Bensehamdi Salim

Jury de Soutenance

Djamel Nettour

MCB, ENSMM Annaba

Président

Abdelghani Mimoun

MCB, ENSMM Annaba

Examineur

Salim Bensihamdi

Pr, ESMM Annaba

Encadreur

Septembre 2020



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie

Département Génie Minier

AUTORISATION DE DEPOT FINAL DU MEMOIRE DE MASTER

Je soussigné (e) Mr. Nettour Djamel
Président(e) du jury de soutenance de mémoire de fin d'études (MFE), déclare
avoir autorisé l'ingénieur d'état Mlle. Goumeida Marwa
à déposer son mémoire de fin d'études après avoir apporté les corrections
signalées par les membres du jury.

Avis du Promoteur :


Soussigné

Avis de l'Examineur :


A. M. MOUNE

Président du Jury



Dédicaces

*Je tiens à dédier ce modeste travail aux êtres les
plus chers à mon cœur :*

*À celle qui a veillé des nuits pour mon bien-être, à
celle que j'adore : Maman.*

*À mon père qui m'a guidé vers les voies de la
réussite.*

*À mes frères, Surtout ma sœur Masmina et mes
nièces, Imanet Norsinet Mon chère amie
Bellahsene feriel*

À ma famille et toutes mes amies.

Remerciements

Je tiens à remercier Dieu pour me guider tous le long du chemin et pour me donner le courage et la patience dans ma vie.

Je tiens à remercier mon encadreur (Mr. Bensehamdi Salim) pour son aide durant toute la période du travail.

Je tiens à remercier ma famille qui est et qui sera mon soutien dans le bonheur et dans le malheur.

Je remercie aussi mon promoteur pour son engagement, et pour son acceptation de m'aider dans ce thème.

Je remercie mes amis et collègues qui partagent avec moi les jours et les nuits de souffrance, de joie et du sérieux.

Résumé

Objectif de ce travail est d'étudier et analyser l'impact des tirs sur la stabilité de carrière d'El khroube et sur la région même ; ainsi que sur les habitants. Les tirs de production réalisés d'une manière répétitive peuvent influencer la stabilité du terrain : d'une part en raison des forces des pressions de choc engendrées, et d'autre part : dégradation à long terme les propriétés mécaniques du massif, ceux-ci peuvent contribuer à diminuer sa résistance au cisaillement. Les problèmes liés à l'utilisation des explosifs ont été observés dans les effets arrière des tirs de production, ces effets arrière affectant souvent et de manière importante une partie du massif située en arrière de tir réalisé. Nous avons utilisé un logiciel de calcul bien adapté aux problèmes d'effet de tir, pour comprendre les vibrations sismiques et leurs caractéristiques (vitesse transversale, vitesse radiale, vitesse particulaire, vitesse verticale, fréquence) ; et les vibrations acoustiques et nous avons appliqué de la loi chapot fondatrice pour mieux comprendre la propagation des vibrations qui se transmettent aux bâtiments ou aux ouvrages ce qui nous a permis une première estimation du niveau vibratoire en disposant un calage de cette loi sur le site d'étude, on en déduit une estimation réaliste du niveau vibratoire. Sa valeur par rapport à un niveau de référence permet de situer les enjeux. Les résultats obtenus du coefficient de site indiquent que les mesures de vibrations effectuées en carrière de d'Elkhroub wilaya de Constantine .

Mots clés : stabilité, explosion, propagation, vibration sismique, vibration acoustiques, effet sismique, effet acoustique, plan de tir.

Abstract

The objective of this work is to study and analyse the impact of the shooting on the stability of the quarry in El khroube and on the region itself, as well as on the inhabitants. Repetitive production shots can influence the stability of the terrain: on the one hand, due to the forces of the shock pressures generated, and on the other hand, due to the long-term degradation of the mechanical properties of the massif, they can contribute to a decrease in its shear resistance. Problems linked to the use of explosives have been observed in the rear effects of production firing, as these rear effects often and significantly affect a part of the massif located behind the shot fired. We used a calculation software well adapted to the problems of shooting effects, to understand the seismic vibrations and their characteristics (transverse velocity, radial velocity, particle velocity, vertical velocity, frequency); and the acoustic vibrations and we applied the founding chapot law to better understand the propagation of the vibrations which are transmitted to buildings or structures. This allowed us to make a first estimate of the vibratory level by having a calibration of this law on the study site, from which a realistic estimate of the vibratory level can be deduced. Its value in relation to a reference level allows us to situate the stakes. The results obtained from the site coefficient indicate that the vibration measurements carried out in the quarry of Elkhroub

Key words: stability, explosion, propagation, seismic vibration, acoustic vibration, seismic effect, acoustic effect, firing plan.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations.

Introduction générale

CHAPITRE I : Généralités sur de tir à l'explosif

I- Introduction.....	1
I.1 Mécanisme de tir à l'explosif	1
I.1.1. Principe du tir à l'explosif- la fragmentation des roches	1
I.1.2. L'abattage à l'explosif	2
I.2. Caractéristiques de la substance explosive et critères de choix	3
I.2.1. Caractéristiques de la substance explosive	4
I.3 Critères de choix d'explosifs	5
I.3.1. Par rapport au massif rocheux.....	5
I.3.2. Par rapport à la productivité de l'entreprise.....	5
I.4 Les explosifs utilisés dans la carrière d'ELKhroub	6
Conclusion.....	7

CHAPITRE II : Tir à l'explosif et phénomènes vibratoires

II.1 Introduction.....	8
II.2. Causes, origines, gravités et effets des vibrations	8
II.3. Caractérisation.....	9
II.4 Types d'ondes.....	10
Les ondes mécaniques.....	10
II.4.1 Propagation des ondes sismiques.....	11
II.5 Propagation des ondes acoustiques	12
II.5.1. Vibrations acoustiques.....	12
II.5.2 Définition.....	12
II.6 Effets des tirs à explosif dans les mines et carrières	14
II.6.1 Action de l'explosif dans un trou de mine.....	14
II.6.2 Effet des ondes réfléchies	15
II.6.3 Effet de la fragmentation finale et mise en mouvement.....	17
II.6.4 Effet de la présence d'une face libre	17

II.6.5	Effet arrière du tir	17
II.6.7	Effets acoustiques.....	18
II.6.10	Projections excessives	20
	Conclusion.....	21

CHAPITRE III : Etude des vibrations dues au tir de la carrière d'Elkhroub

III – Introduction	22
III.1 Données sur la carrière.....	23
III.2 Situation géographique de la carrière.....	23
III.2.1 Localisation du site.	23
III.3 Habitations environnantes.....	24
III.4 / Données géologiques.....	26
III.4/ 1-Stratigraphie du gisement.	26
III.4 /2- Géologie du gisement.	26
III. 5 Vibrations consécutives aux tirs de au carrier d'Elkhroub	26
III.5.1 Coordonnées du Point de tir (PT)	28
III.5.2 Coordonnées des ouvrages à protéger.....	29
III.6. Caractéristiques du matériel utilisé pour les mesures de vibrations.	29
III.7. Normes à respecter en matière de vitesse de vibration.....	30

CHAPITRE IV : Mesures des vibrations par les tirs de carrière

IV.1. Résultats de mesures.....	35
IV.2. Interprétation des résultats.....	35
IV.2.1.1. Interprétation des résultats.....	35
IV.2.2. L'onde acoustique (surpression d'air)	37
IV.2.2.1 Interprétation des résultats.	38
IV.2.3. Les projections.....	39
Conclusion.....	40

Conclusion générale

Références bibliographiques

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur de tir à l'explosif

Figure. I.1 : Marmanit II.

Figure I.2 : Anfomil.

Chapitre II : Tirs à l'explosif et phénomènes vibratoires

Figure II.1 : Etude des nuisances lors d'un tir.

Figure II.2 : les ondes de compression, ou ondes Vp.

Figure II.3 : Les ondes de cisaillement, ou ondes S.

Figure II.4: les ondes de surface

Figure II.5 : A. Courbe de mesure du bruit de choc. B. Courbe de mesure du bruit d'explosion

Figure II.6 : Contrainte radiale associées σ_p et tangentielle.

Figure II.7: Effet arrière constaté pour les essais mono-trous.

Chapitre III : Etude des vibrations dues au tir de mine a la carrière d'elkhroub

Figure III.1 : Situation géographique de la région d'étude.

Figure.III.2: Situation géographique de la carrière.

Figure III.3 : Localisation géographique du gisement.

Figure III.4 : Volée de tir ($Z = 910$ m).

Figure III.5 : Volée de tir ($Z = 910$ m).

Figure III.6 : Point de mesure suivant la direction NNO.

Figure III.7 : NOMIS SEISMOGRAPHS.

Figure III.8 : Abaque résultant de la loi de Chapot.

Figure III.9 : Courbe limite des vibrations dues aux tirs de mines.

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur de tir à l'explosif

Tableau. I.1 : les principales caractéristiques des explosifs utilisés.

Chapitre II : Tir à l'explosif et phénomènes vibratoires

Tableau. II .1 : La relation entre la vitesse de vibration et les dommages causés.

Tableau. II.2 : Effets des vibrations acoustiques en fonction de la vitesse particulière.

Chapitre III : Etude des vibrations dues au tir de mine a la carrière d'Elkhroub

Tableau. III.1 : Représentation des coordonnées des périmètres selon le système.

Tableau.III.2 : Paramètres de forage et de tir.

Tableau III.3 : Valeurs de références pour la vitesse de vibration selon les catégories d'ouvrages.

Chapitre IV : Mesures des vibrations par les tirs de carrière

Tableau. IV. 1 : Effet de la charge Instant anti sur la vibration de projection 500 m

Introduction général :

Le développement des chantiers minier en milieu urbain et la rapidité avec laquelle ils sont habituellement menés pose souvent le problème de l'utilisation des explosifs à proximité de construction une augmentation des quantités d'explosif utilisées dans une volée ce qui n'est pas toujours sans risque pour les constructions voisines soumises aux vibrations provoquées par les explosions.

Un tir à l'explosif provoque un choc qui se traduit par un ébranlement du terrain et qui se propage à la manière d'un tremblement de terre provoquant une perturbation dont l'intensité décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'origine de l'exploitation.

En raison de la réponse élastique de sol la partie relation est constituée par une série d'oscillation et autour d'une position d'équilibre ces oscillations s'amortissant.

La perturbation se propage cette forme des fronts d'ondes de divers types ou l'on distingue en particulier :

- Des ondes longitudinales ou la vibration s'effectue dans la direction de la propagation ces ondes se traduisent par des tractions. Et compressions successives on les appelle également ondes de compressions, ou onde P (primaires) ;

- Des ondes transversales, ou la vibration se produit dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation on les appelle également ondes de cisaillement ou ondes S (secondaires) ;

- Des ondes de surface en particulier les ondes de Rayleigh qui se traduisent par un mouvement plus complexe (ellipse dans un plan perpendiculaire à la surface et parallèle à la direction de propagation) ;

Les fronts d'ondes se propagent à des vitesses différentes selon les matériaux traversés et selon le type d'onde.

Notre projet d'étude a pour but, d'étudier l'onde de vibration provoquée par les explosifs et son impact sur l'instabilité du terrain dans le cas de la carrière d'El khroub. A cet effet, notre travail est organisé dans Quatre chapitres :

- Le premier chapitre, est consacré au principe de l'abattage des roches à l'explosif,
- Le deuxième chapitre est consacré à la relation entre le tir à l'explosif et les ondes vibratoires qu'il provoque (vibrations sismiques et acoustiques). Ainsi que, les impacts de ces ondes sur la stabilité du terrain ;
- Le troisième chapitre : la présentation de l'unité d'ELKhroub, sa situation géographique ainsi que son cadre géologique ;
- Le quatrième chapitre consacré aux mesures des vibrations sismiques et acoustiques provoquées par les tirs de carrière et leurs impacts sur le déplacement des terrains suite à une configuration spécifique des plans de tirs en vue d'en optimiser la composante des paramètres Charge explosive-distance du tir affectant directement le déplacement du terrain étudié.

Chapitre I : Généralités

sur de tir à l'explosif

I- Introduction

L'activité minière constitue depuis l'éternité un élément vitale dans l'enrichissement de l'économie des pays, elle porte essentiellement sur l'extraction des substances minérales de l'écorce terrestre soit en ciel ouvert ou en souterrain, et à leurs traitements afin de les utilisées dans divers domaines de l'industrie.

Le principal objectif des tirs dans l'activité minière est d'atteindre une fragmentation optimale de la roche. Pouvant contribuer au contrôle et à la minimisation du coût global de production et du volume de la roche à abattre tout en augmentant la sélectivité minérale.

Désormais, Le processus du tir à l'explosif comporte plusieurs risques principalement par rapport à la stabilité des terrains, la sécurité de la mine ainsi que le site environnant.

I.1. Mécanisme de tir à l'explosif

I.1.1. Principe du tir à l'explosif : - la fragmentation des roches

Point central du processus minier du tir à l'explosif, c'est un procédé technique ne pouvant être parfaitement contrôlable qui vise à détacher et à réduire les roches d'un massif en place lorsque leur résistance est trop élevée afin de permettre une excavation mécanique (rentable).

Les activités de tir dans une exploitation minière sont à la fois un centre de coût et un levier de performance pour l'ensemble du cycle extractif, L'optimisation d'un tir de production minière se résume à la recherche des quatre objectifs suivants:

- ✓ Quantité maximale de roche abattue et déplacée.
- ✓ Quantité optimale d'explosifs utilisés.
- ✓ Taille des fragments obtenus.
- ✓ Impacts environnementaux minimaux.

L'explosion d'une charge est une réaction de décomposition extrêmement rapide et puissante qui résulte de la production d'un important volume de gaz au cours d'une durée très réduite. Selon la conception largement acceptée dans la

Littérature, les gaz de réaction produits se détendent dans le trou de mine et forcent sur la paroi jusqu'à ce qu'un équilibre quasi-statique entre pression de gaz et niveau de contrainte accepté par la roche environnante soit atteint.

Pendant cette phase de montée en pression, la puissance mécanique fournie au matériau par les gaz est plus importante que sa capacité de dissipation acoustique, ce qui a pour effet la création d'une onde de choc. Suite à cette phase, l'équilibre quasi-statique à la paroi est atteint et les gaz d'explosion exercent une pression dans le trou et le réseau de fissures créer par l'onde de choc, ou existant précédemment dans le massif.

La rapidité de réaction de l'explosif (vitesse de détonation), ainsi que la nature de la décomposition chimique, influencent donc les deux phases précédemment citées.

Lors du tir à l'explosif, une quantité importante d'énergie est libérée dans les terrains pendant une très courte durée, cette énergie est compte tenu de la rapidité des phénomènes, transmise à un milieu rocheux non homogène, et non continu.

Du fait de l'impossibilité de maîtriser complètement les phénomènes, une partie non négligeable de l'énergie explosive mise en jeu dans un chantier est dispersée dans des phénomènes inutiles comme la déperdition de chaleur dans la roche, les vibrations, le bruit, les projections de bloc, et les glissements de terrains. D'où les nuisances dues aux tirs à l'explosif sont inéluctables. [10]

I.1.2. L'abattage à l'explosif

La méthode d'abattage à l'explosif est en général utilisée dans les carrières et mines de roches massives et dures. En effet, dans le cas de roches dures, les procédés d'extraction continus ne sont pas possibles, l'abattage à l'explosif est alors une alternative qui présente l'avantage de fragmenter des volumes de roche importants, et ce avec des moyens limités en termes d'engins (foreuse et engins de chantiers pour la reprise) et une mise en œuvre assez restreinte. Exécuter un ou Plusieurs trous de dimensions convenables dans la masse rocheuse ou dans le filon minier, où l'on place. L'abattage à l'explosif va avoir différents objectifs : [12]

- ✓ Assurer la sécurité, c'est à dire pas de projections et pas de tirs ratés.
Abattre un grand volume de roche avec :
- ✓ Une granulométrie adaptée aux installations, avec une proportion de blocs et de fines la plus réduite

possible.

- ✓ Un épanchement du tas et un foisonnement adapté aux engins de reprise du tas.
- ✓ Assurer une bonne géométrie des fronts sur le chantier avec :
- ✓ Une bonne sortie du pied.
- ✓ Un bon alignement des fronts et de la plateforme.
- ✓ Des effets arrière réduits.

I.2. Caractéristiques de la substance explosive et critères de choix

I.2.1. Caractéristiques de la substance explosive

Les caractéristiques de l'explosif sont basées essentiellement sur sa stabilité chimique, sa transmission de détonation, sa vitesse de détonation, sa puissance, sa densité, sa résistance à l'eau, son comportement à des températures extrêmes et les gaz dégagés pendant l'explosion. [10]

I.2.1.1. La substance chimique

C'est l'aptitude de la substance explosive à ne pas varier du point de vue caractéristique chimique sous des conditions de stockage déterminés. Pour cela le fabricant procède à des tests de stabilité sévères au niveau du choix de matières premières, durant les phases de production (produits semi-finis) et sur le produit fini. Ces précautions doivent rendre les produits commercialisés fiables et résistants pour de longues durées. [10]

I.2.1.2. Transmission de détonation

C'est l'une des caractéristiques les plus importantes de l'explosif. Elle détermine l'aptitude d'une cartouche d'explosif amorcée à transmettre la détonation à une autre cartouche non amorcée, ceci à une distance donnée.

Après avoir placé deux cartouches à l'air libre, de même diamètre et du même produit dans le même axe, l'une sera amorcée par un détonateur **n°8** (pyrotechnique). La détonation de la première cartouche doit entraîner celle de la deuxième, ceci jusqu'à une distance de séparation maximale.

I.2.1.3. Puissance de l'explosif

Elle se définit par l'énergie développée pendant la détonation et par la capacité d'un explosif à réaliser un travail donné.

I.2.1.4. Densité

C'est une caractéristique importante qui peut remettre en cause la réussite d'un

Travail à l'explosif, elle est exprimée en gr/cm^3 Avec un explosif de haute densité, l'énergie développée sera concentrée, ceci est conseillé dans des travaux de dérochage, de forage et d'abattage dans les sols résistants et rigides.

Pour un explosif de faible densité, le travail de fragmentation et de fissuration sera fait avec une grande répartition de l'énergie, ceci est conseillé pour des sols friables et pour des roches tendres.

I.2.1.5. Vitesse de détonation

La vitesse de détonation d'un explosif est la vitesse à laquelle se déplace le front de détonation au sein même de l'explosif. Cette vitesse est généralement mentionnée en m/s , variant entre **2400 m/s** et **7900 m/s** .

Plus la vitesse de détonation est élevée, plus l'explosif sera apte à fragmenter ou fissurer le matériau contre lequel ou dans lequel il est placé. Également, une vitesse lente est bonne pour la poussée et une vitesse rapide est efficace pour une énergie de choc. [10]

I.2.1.6. Diamètre critique de détonation

C'est, par définition, le plus petit diamètre d'une charge explosive au-dessous duquel la détonation est impossible à l'air libre, car l'onde explosive ne peut s'y entretenir.

I.2.1.7 Résistance à l'humidité

La résistance à l'humidité détermine l'utilisation de l'explosif en milieu marin, humide ou sec. Elle est inversement proportionnelle au pourcentage de sels oxydants contenus dans l'explosif (par exemple : nitrate d'ammonium). L'augmentation du taux d'huile explosive accroît cette résistance par exemple : mélange (nitroglycérine, nitroglycol).

I.3 Critères de choix d'explosifs

Le choix de l'explosif se définit par le travail qui lui est demandé (par exemple : abattage, décrochage, fissuration etc.). Généralement, l'explosif est choisi essentiellement en fonction de deux critères : [10]

I.3.1. Par rapport au massif rocheux

L'humidité détermine une première sélection forcément respectée, un explosif résistant à l'eau est choisi dans une roche humide. Mais de plus, l'explosif doit être

« Adapté » à la roche, ce choix peut se faire par l'examen du rapport d'impédance ou plus simplement par le choix.

D'un explosif de vitesse de détonation élevée dans une roche résistante. Si le massif est facturé, on privilégie un explosif qui exerce surtout un effet de poussée (quantifiée par son énergie des gaz et par son volume des gaz).

I.3.2. Par rapport à la productivité de l'entreprise

Ce critère est souvent pris en considération par plusieurs entreprises. Des grandes carrières travaillent avec des sondeuses à fort diamètre pour garantir une cadence de production élevée. Ce qui implique de choisir des cartouches d'explosifs à grand diamètre.

I.4 Les explosifs utilisés dans la carrière d'Elkhroub :

Compte tenu de la nature et Les caractéristiques physico-mécaniques de gisement d'ELKhroub, deux types d'explosifs sont utilisés :

- **Marmanit II** : pour la charge de pied ;
- **Anfomil** : Pour la charge de colonne.



Figure I.1 : Marmanit II.



Figure I.2 : Anfomil.

Tableau I.1 : les principales caractéristiques des explosifs utilisés. [2]

L'explosif	Marmanit II	Anfomil
Résistance à l'eau	médiocre	médiocre
Densité	1.05	0.85
Vitesse de détonation	4500	2600- 100
Puissance C.U.P	1.27	1.15
Energie (kg/kg)	3987	3803.8
Volume de gaz(l/kg)	868	967
	En cartouche avec ✓ diamètre de 80 mm ✓ longueur de : 50 cm	En sac de : Poids de : 25.kg

Conclusion

La méthode d'abattage à l'explosif est en général utilisée dans les carrières de roches massives et dures. En effet, dans le cas de roches dures, les procédés d'extraction continus ne sont pas possibles, l'abattage à l'explosif est alors une alternative qui présente l'avantage de fragmenter des volumes de roche importants, et ce avec des moyens limités en termes d'engins (foreuse et engins de chantiers pour la reprise) et une mise en œuvre assez restreinte. Dans le cas du gisement d'EL Khroub deux types d'explosifs sont utilisés : Marmanit II, Anfomil.

Chapitre II : Tir à l'explosif et phénomènes vibratoires

II.1 Introduction :

Une vibration peut être définie comme un mouvement oscillatoire d'une particule ou d'un corps autour de sa position d'équilibre. L'interface entre les particules au repos et les particules en mouvement s'appelle un front d'onde et se déplace à des vitesses comprises entre 1000 et 6000 m/s. Cette vitesse de propagation du front d'ondes est également appelée célérité de l'onde.

Lors d'un tir, une partie de l'énergie est communiquée à la roche sous forme de vibrations. L'amplitude de l'impulsion initialement produite décroît avec la distance, en raison de la perte d'énergie par le travail nécessaire pour la fragmentation, des déformations non élastiques, ou de la diffusion volumique due à l'expansion (l'énergie se conserve mais le volume croît).

Lors d'un tir de mines, le signal initial est émis sur une durée égale au temps de détonation. Transmis au massif, ce signal prend la forme d'un train d'ondes qui correspond à la superposition de plusieurs ondes ayant des phases et des amplitudes différentes. Ce train d'ondes résulte :

- ✓ d'une part des différents délais de détonation réalisés lors du tir, qui vont créer des ondes à des instants différents ;
- ✓ d'autre part des différentes ondes réfléchies et réfractées créées par les discontinuités du massif rocheux.

II.2. Causes, origines, gravités et effets des vibrations

Les vibrations peuvent avoir des effets sur les bâtiments, les habitations et les êtres vivants. Ces effets sont plus ou moins aggravés selon le mode de transmission, les caractéristiques de l'environnement vibratoire, le temps de répartition et d'exposition, et la nature des activités en carrière.

Les vibrations occasionnées par les tirs de mines, qui induisent des ébranlements se propagent à partir des points d'explosion sous forme d'ondes complexes tridimensionnelles (radiales, transversales, et verticales) et s'atténuent avec la distance. [3]

Le niveau des vibrations, induit par les tirs de mines à un point donné, résulte de plusieurs facteurs qui doivent être analysés et qui sont les suivants :

- ✓ Nature des explosifs ;
- ✓ Charge instantanée : dosage ;
- ✓ Dispositif d'amorçage et séquence des détonations ;
- ✓ Distance du lieu d'explosion : maille ;
- ✓ Nature des terrains traversés ;
- ✓ Couple vitesse-fréquence.

II.3. Caractérisation

A partir de toute explosion, une partie de l'énergie cédée au terrain (environ 10 à 20%) se propage sous forme d'une onde vibratoire solidienne tant dans les fluides que dans les solides. Les ondes aériennes qui représentent 5 à 10% de l'énergie n'ont pas d'action sensible sur les constructions sauf sur les voiles minces (vitres, voiles minces...). Elles ne sont généralement aujourd'hui pas prises en compte dans les études de risques. Le train d'ondes solidiennes se propage à la manière d'un tremblement de terre à des vitesses différentes selon le type d'onde et selon les propriétés élastiques du milieu. Le reste de l'énergie développée, sert à l'abattage du rocher (cf. figure II.1).

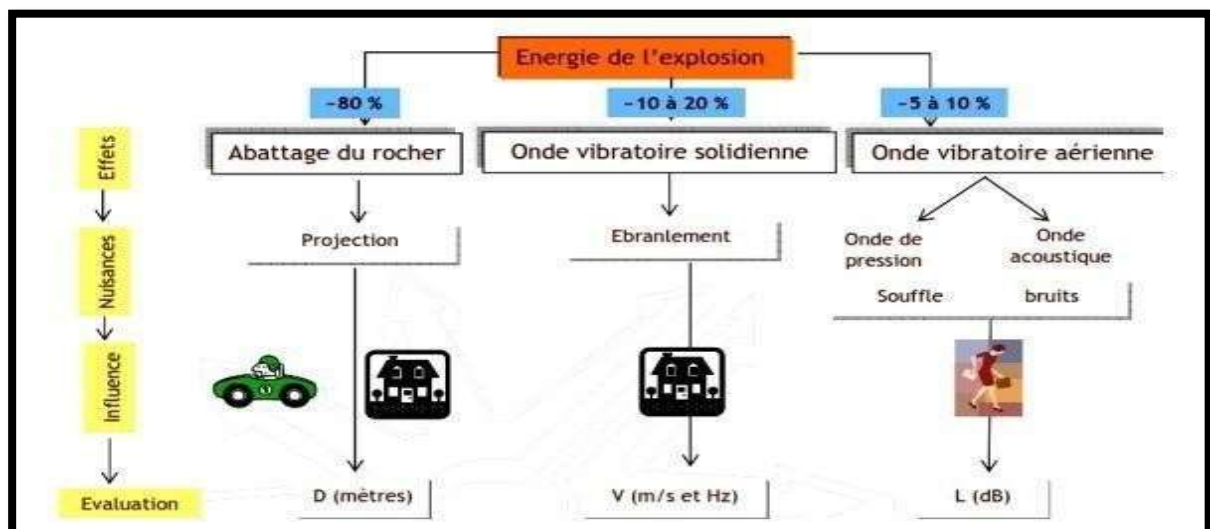


Figure II.1 : Etude des nuisances lors d'un tir. [3]

II.4 Types d'onde :

II.4.1 Les ondes mécaniques

Propagation d'une déformation mécanique dans un milieu, la perturbation se transmet de proche en proche dans le milieu, Elle transfère de l'énergie sans transfert de matière, ce sont les ondes sonores, les ondes sismiques, les vagues, etc. [6]

II.4.2 Propagation des ondes sismiques

Les ondes sismiques se propagent à partir du foyer (ou hypocentre) dans toutes les directions qui leur sont offertes, l'énergie est propagée sous forme de trains d'ondes à l'origine du soit de tremblement de terre ou par travaux de tir à l'explosif dans les mines ou les carrières, l'onde sismique provoque un déplacement minime de chaque particule minérale qui oscille autour de sa position d'équilibre par transmission d'énergie, la surface séparant les particules en mouvement de celles qui ne le sont pas encore correspond au front d'onde, la surface formée par les particules vibrant en phase est la surface d'onde.

On matérialise la direction de propagation de l'énergie par les rais sismiques qui sont dans un milieu isotope est perpendiculaire à la surface d'onde, dans un milieu homogène, le rai sismique est droit. [3]

II.4.2.1 Types d'ondes sismiques

Les vibrations lors d'un tir à l'explosif se propagent dans toutes les directions .On distingue deux types d'ondes sismiques, les ondes de volume qui traversent les couches géologiques et les ondes de surface qui se propagent à la surface sur les enregistrements des sismographes, elles se succèdent ou se superposent, leur vitesse de propagation et leur amplitude sont modifiées par les structures géologiques qu'elles traversent

Les signaux enregistrés sont la combinaison d'effets liés à la source, aux milieux traversés et aux instruments de mesure. [3]

-d'une part, les ondes volume qui se propagent dans le massif rocheux on peut distinguer deux types d'ondes de volume : les ondes de compression, ou ondes P,

Qui consistent en la succession de compressions/tractions dans le massif rocheux.
Elles se propagent à la vitesse V_p et sont les plus rapides.

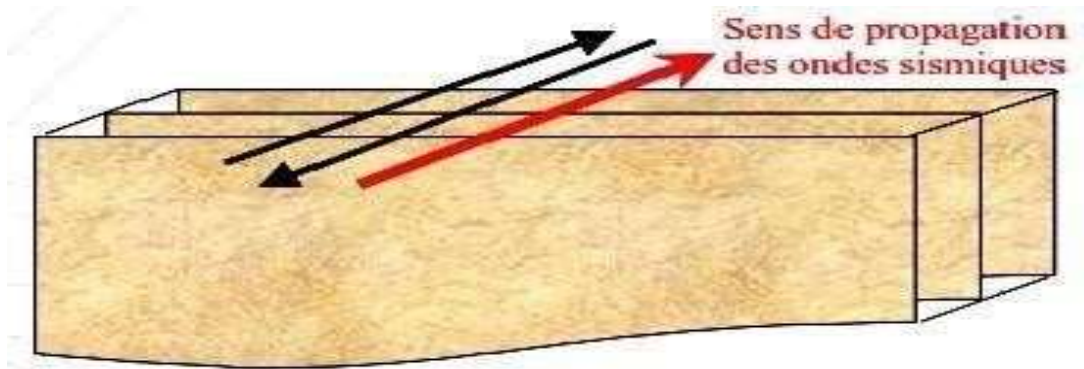


Figure II.2 : les ondes de compression, ou ondes V_p

Les ondes de cisaillement, ou ondes S, qui correspondent à une communication latérale du mouvement dans le massif rocheux.

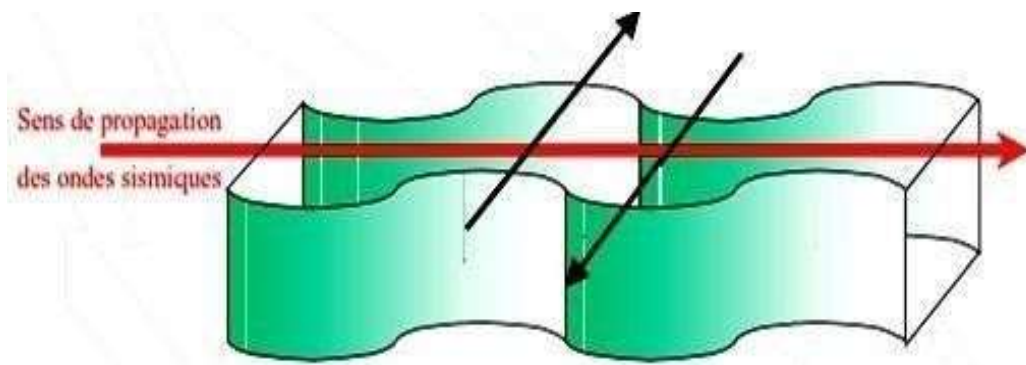


Figure II.3 : Les ondes de cisaillement, ou ondes S.

Elles se propagent à la vitesse V_s , qui vaut en général la moitié de la célérité des ondes P.

- d' autre part les ondes de surface, qui se propagent dans la partie supérieure du sol et aux intercar faces assez énergétique de fréquences, basses, elles ont une vitesse propagation inférieure à la célérité des ondes de cisaillement (de l'ordre de 1000 m/s) mais se propagent plus loin



Figure II.4: les ondes de surface

L'énergie transmise au terrain sous forme de vibrations se répartie en moyenne de la façon suivante :

- ✓ Ondes de surface 67%,
- ✓ Ondes transversales (cisaillement) 26%,
- ✓ Ondes longitudinales (compressions/tractions) 7%.

II.5 Propagation des ondes acoustiques

II.5.1. Vibrations acoustiques

Une vibration acoustique est constituée par le mouvement des particules d'un milieu élastique à la suite d'un ébranlement initial. La propagation des vibrations sonores se fait à vitesse variable selon les milieux. Elle est d'autant plus rapide que le milieu présente une bonne cohésion. La vitesse du son dans l'air (célérité) est de **340 à 360 m/s** suivant la température et l'hygrométrie. Elle atteint **1420 m/s** dans l'eau et **5600 m/s** dans l'acier. [3]

II.5.2. Définition

Les ondes acoustiques sont des ondes élastiques qui se propagent dans les milieux gazeux et solide.

Une onde sonore est également générée, elle se transmet par l'air et peut parfois faire vibrer.

Perturbation d'un milieu qui se propagent dans le milieu éventuellement en se déformant avec une vitesse mesurable, la propagation de la perturbation n'implique pas la propagation de la matière, il faut différencier la vitesse de l'onde, de celle de l'élément matériel, propagation de l'énergie continue dans la perturbation généralement pas de la matière, dont les déplacements nets sont en moyenne nulles, en première approximation.

Les ondes en besoin d'un milieu matériel pour se propager, une exception provient de la lumière, l'onde modéliser à un champ de déformation, défini en tout point de l'espace, à chaque instant l'onde est irréductible au corpuscule. (Il ne faut pas confondre bruit et son).

Le bruit est une vibration acoustique erratique, intermittente qui constitue une sensation auditive désagréable ou gênante pour l'homme. On en distingue:

- ✓ Les bruits entretenus : concasseur, moteur.
- ✓ Les bruits impulsionnels qui sont caractérisés par un pic de pression très bref : coup de feu, tir démine.

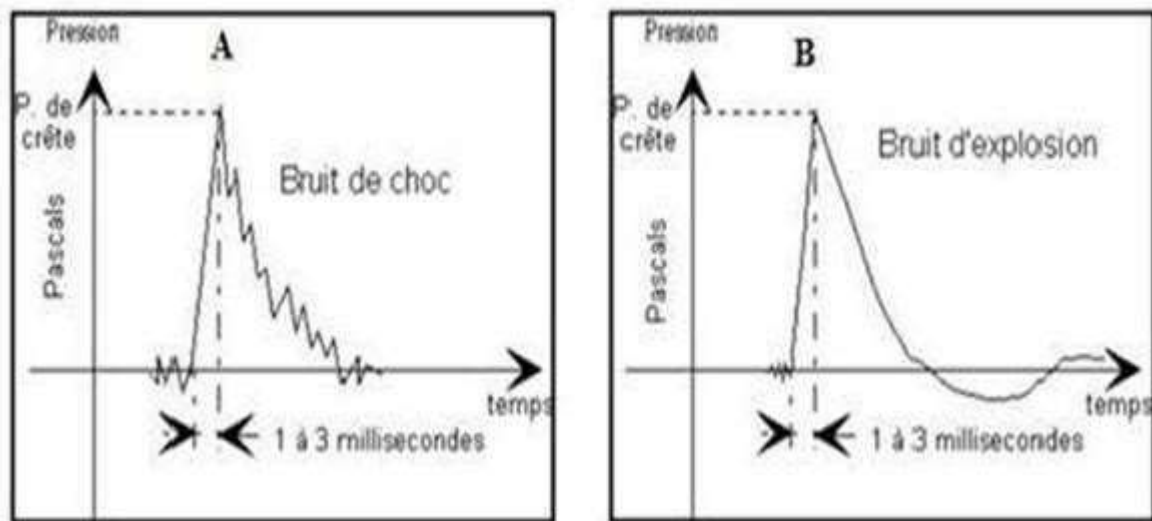


Figure II.5. : A. Courbe de mesure du bruit de choc. B. Courbe de mesure du bruit d'explosion [3]

- Les gaz de tir à haute pression (9000 à 10000 bars) et à vitesse élevée (2000 m/s) vont produire un bruit d'impact en entrant en contact avec la roche (Energie de choc de l'explosif).
- La détente rapide des gaz du milieu confiné vers le milieu extérieur va induire une forte surpression aérienne (bruit d'explosion) en liaison avec l'énergie de gaz de l'explosif.[10]

On remarquera que pour tout explosif utilisé en milieu non confiné, tir en charges appliquées par exemple, la majeure partie de l'énergie potentielle des gaz

est transformée en onde de pression aérienne. Ces méthodes et dispositifs sont à proscrire en site sensible.

II.6 Effets des tirs a explosif dans les mines et carrières

II.6.1 Action de l'explosif dans un trou de mine :

La détonation d'un explosif dans un trou de mine entraîne une réaction violente et rapide. Les gaz d'expansion contenant la matière de l'explosif en pleine expansion et suivant le front de détonation d'exercer leur pression sur la paroi du trou de mine et d'amorcer l'onde énergétique qui aura comme rôle le pré conditionnement des faiblesses existantes et la génération des nouvelles fissures dans le roc. La propagation de la détonation engendre une pression dynamique sur la paroi du trou, dont la forme de la courbe de variation, en fonction du temps, est caractéristique de l'explosif, du couplage roche-explosif et de la nature de la roche. [13]

Cette onde de déformation est créée sous l'action des gaz qui déplacent la paroi du trou. Elle (onde de choc) provoque une impulsion de contrainte dans la roche d'un niveau élevé qui broie très finement la roche autour du trou de mine (zone transitoire). Cette impulsion de contrainte (fig.3) donne naissance à une onde de compression élastique qui se propage radialement dans la roche en y développant une contrainte radiale et une contrainte tangentielle (fig.3).

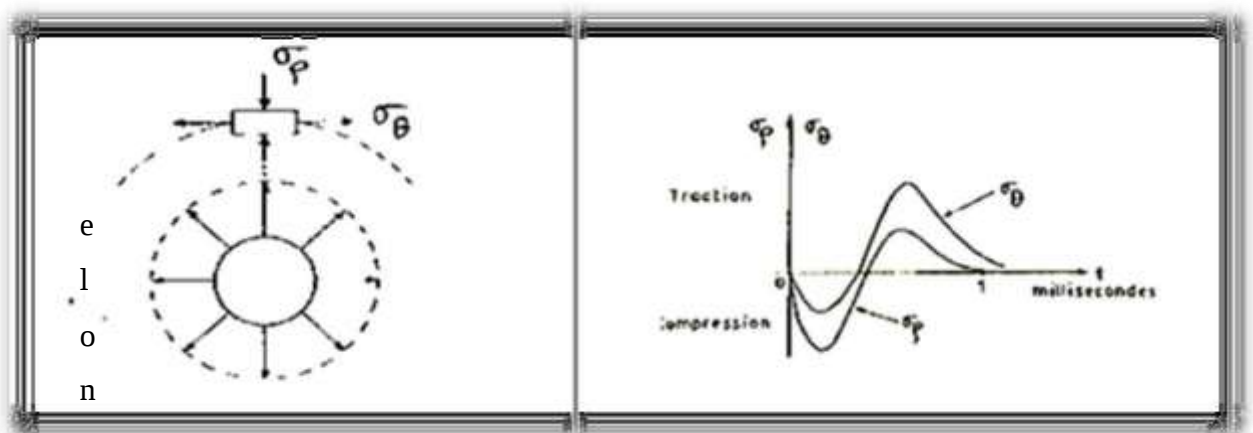


Figure II.6 : Contrainte radiale associées σ_p et tangentielle à l'onde

Résistances en compression et en traction de la roche qui est broyée. Tant que la contrainte tangentielle maximale, en s'éloignant de la charge, reste supérieure à la résistance à la traction, une fissuration radiale dense est développée (zone à forte fissuration radiale). [8]

La géométrie de tir (emplacement de la charge par rapport aux autres charges, aux

Surfaces libres (fig 6) des réflexions et additions d'ondes peuvent se produire et développer un réseau moins dense de fissures radiales longues. [4]

II.6.1 Effets sismiques

La maîtrise de la sismicité produite par les tirs se résume essentiellement soit à

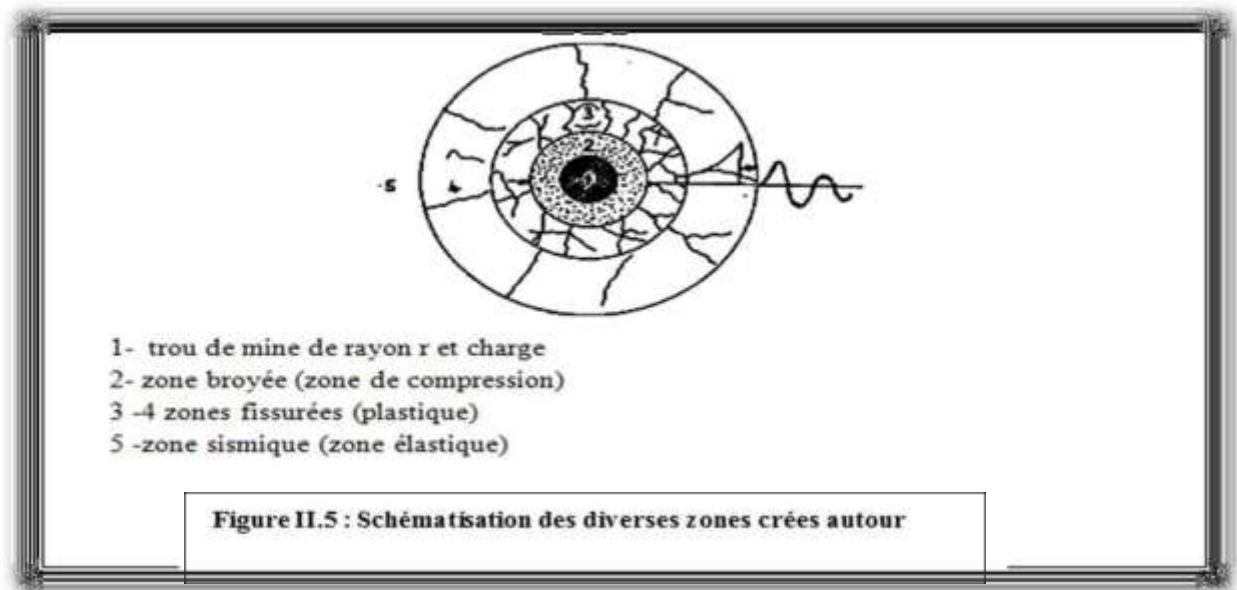


Figure II.7 : schématisation des diverses zones créées autour. [8]

Limiter les tirs ou à les contrôler, à tous points de vue, les ondes à basse fréquence sont les plus néfastes, étant à la fois plus nocives pour les infrastructures de surface et plus facilement ressenties par l'être humain

Le tableau ci-dessous donne la relation entre la vitesse de vibration et les dommages causés à des immeubles fondés sur rocher.

Tableau II.1. La relation entre la vitesse de vibration et les dommages causés. [13]

V (m /s)	Fréquence (Hz)	Déplacement (μm)	L'accélération (m/s ²)	Description des dégâts
0.5	>80	<1	251.2	Pas de fissuration
3	80	6	1507.2	Pas de fissures apparentes
5	30	26.5	942	Fissurations visible
10	5	320	312.5	Fissures importantes
>10	1	1560	>62.8	Chute des pierres dans les galeries

Lors de la détonation d'une charge, cette dernière s'accompagne de phénomènes irréversibles qui permettent de définir les zones d'influence dont

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

II.6.2 Effet des ondes réfléchies

Dans les zones sismiques, les tirs généralement réalisent près d'une face libre dans un massif qui contient une discontinuité importante.

En effet, dès qu'elle rencontre une discontinuité, l'onde de contrainte émise se scinde en une onde transmise et une onde réaffichée.

Dans le cas de l'interface roche/air pris dans cet ordre, la réflexion est presque totale. L'onde de compression (longitudinal) se réfléchit en une onde de traction et elle peut conduire à des contraintes excédant la résistance à la traction de la roche. Cela se produit, lorsque la distance entre la source et la discontinuité est faible. Une fissuration parallèle au plan d'onde apparaît alors. Ce phénomène est appelé écaillage, la présence de nombreuses discontinuités dans le massif (micro fissures) induit deux effets sur l'onde qui se propage:

- ✓ Affaiblissement du maximum de contraintes.

- ✓ Diminution des fréquences associées aux ondes de contraintes (phénomènes vibratoires).
- ✓ Les ondes réfléchies jouent deux rôles.
- ✓ Modification de l'orientation des fissures radiales.

Initiation de nouvelles fissures. Ainsi une nouvelle fissuration perpendiculaire à l'écaillage apparaît au voisinage de la surface libre. [1]

II.6.3 Effet de la fragmentation finale et mise en mouvement

Si l'onde émise et l'onde réfléchie sur la surface libre, ont pu pré fissurer ou, affaiblir suffisamment le massif entre cette surface libre et le diamètre du trou, les gaz emprisonnés vont pouvoir poursuivre leur propagation et leur action. Ils s'infiltreront dans les fissures, complétant éventuellement la fissuration et mettent les blocs formés en mouvement. [11]

II.6.4 Effet de la présence d'une face libre

Lorsque l'onde de choc rencontre une discontinuité, elle se scinde en une onde transmise et une onde réfléchie. La répartition entre l'énergie transmise et l'énergie réfléchie dépend du rapport des impédances des matériaux de part et d'autre de la discontinuité. Dans le cas de l'interface roche/air, la réflexion est presque totale. L'onde de compression se réfléchit alors en une onde de traction qui est responsable de la formation d'une fissuration parallèle au plan d'onde; Ce phénomène bien connu est appelé écaillage [6]

II.6.5 Effet arrière du tir

Les résultats d'effets arrière obtenus sont très variables d'un essai à l'autre dans une même catégorie d'essais. (La Figure II.7, 12 compare les croquis des effets arrière obtenus pour deux essais mono-trou différents (R1T6 et R2T4), et montre les photographies de la plate- forme supérieure réalisées après tir. La Figure II.5 montre de même les résultats d'effets arrière obtenus pour un essai bi-trou à amorçage retardé (R7B3), un essai bi-trou à amorçage simultané (R8B2), et un essai multi-trous. [5]

Les fissures observables après tir sur la plate-forme supérieure sont majoritairement en arcs par rapport aux trous abattus pour les essais mono-trou et, sauf rare exception, sensiblement parallèles au front abattu pour les essais multi-trous.

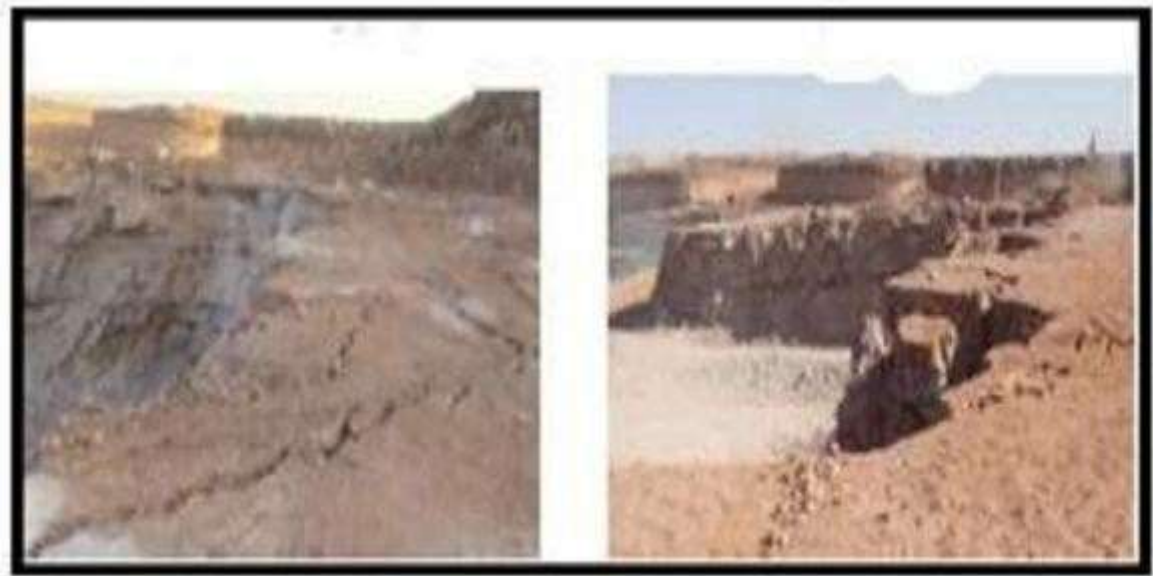


Figure II.8. Effet arrière constaté pour les essais mono-trous. [5]

Lors d'un tir d'abattage toute l'énergie transmise au massif et qui ne sert pas à abattre ou à fragmenter la roche se retrouve sous forme de nuisances. [5]

II.6.7 Effets acoustiques

Les vibrations acoustiques de l'explosion transmise par l'air (onde aérienne), proviennent surtout de la libération des gaz de tir des cordeaux détonant placés sur le sol, et dans une moindre mesure, des charges des Fournaux à travers les fissurations du massif ou à travers le haut du trou de forage après expulsion du bourrage. [12]

L'onde acoustique ainsi provoquée présente une crête de surpression d'air très brève, suivi par une série d'oscillations de pression, les conditions météorologiques affectant l'onde aérienne (plafond de nuage, pluie, humidité, brouillard, vent), de sorte qu'il peut se dérouler des phénomènes de réflexions, de déviation ou de concentration de l'onde aérienne engendrant des effets sonores imprévisibles en des zones données.

Tableau II.2. Effets des vibrations acoustiques en fonction de la vitesse particulaire.[12]

Dégâts (dB)	Fr (Hz)	Description des dégâts
<50	0.5	Non détecter par l'oreille
90	1	Imperceptible
112	8	Apparition des premières plaintes isolées
120	20	Probabilité de plainte élevée, vibration des vitrages
125	35	Seuil conseillé par l'arrêté du 22/09/1994
130	63	Seuil de dommages préconisés aux USA pour les constructions sensibles, vibration sensible des planchées.
135	112	Premiers dommages superficiels, fissuration du plâtre et d'enduit (vibrations répétitives).
140	200	Bris de vitres les plus fragiles.
145	350	Seuil d'exposition des personnes conseillé dans les publications.
170	6000	Bris tous les vitrages non traité spécifiquement.

- A Effet d'onde sonore

Dans l'exploitation en ciel ouvert ou souterraine, lorsque les gaz d'expulsion se détonant dans la masse d'air ambiante, une onde de surpression acoustique est générée, avec du bruit associé, l'exposition à une surpression aérienne trop élevée peut causer des dommages auditifs, et peut endommager notamment. [13]

Les fenêtres des bâtiments environnant, lors de désastre industriel de l'ancienne usine AZF à Toulouse (sud-ouest de la France) en 2001, où un stock de 300 tonnes de nitrates d'ammonium a explosé en bon lieux de la ville, les fenêtres des habitations ont été endommagées dans un rayon de 4 kilomètres autour du lieu de l'explosion, le bruit associés a été entendu jusqu'à 80km de distance d'après une publication du centre interdisciplinaire d'Etude Urbaines(CIEU,2002).

- B Bruit

Les vibrations acoustiques de l'explosion transmises par l'air (ondes aériennes) proviennent surtout de la libération des gaz de tir des cordeaux détonants placés

sur le sol, dans une moindre mesure, des charges des fourneaux à travers les fissurations du massif ou à travers le haut du trou de forage après expulsion du bourrage. [12]

II.6.10 Projections excessives

A cause de la pression de gaz d'explosion, outre les effets de surpression aérienne précédemment cités, des fragments de roche peuvent être projetés au niveau de la zone de bourrage (verticalement) ou dans les directions du tir (horizontalement), pour cette raison, un périmètre de sécurité est défini autour du tir, évacué et contrôlé le boute-feu en chef avant la mise à feu est tenu de protéger les personnes et équipements, il arrive toutefois dans des cas rares que des projections exceptionnellement vives se produisent, celles-ci pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres de portée, ce type de risque environnemental est d'autant plus prononcé lorsque l'opération de tir a lieu à proximité de zones urbaines ou d'infrastructures publiques ; parmi les facteurs pouvant favoriser cet effet secondaire néfaste, on peut citer de manière exhaustive : une banquette faible, une banquette trop forte favorisant l'éjection verticale des roches dans la zone de bourrage ; des trous de mine anormalement convergents à proximité du front. [7]

La présence d'une zone de résistance particulièrement faible au niveau du front indépendamment du danger que représentent les projections excessives, un étalement trop important du tas abattu par un tir n'est pas techniquement souhaitable, car les engins de déblayages sont dans ce cas forcés de ratisser la plateforme inférieure afin de récupérer les déblais, ce scénario est d'autant plus problématique dans le cas où le déblayage se fait avec des pelles hydrauliques, et la finesse de la fragmentation devient alors même un désavantage.

Conclusion

Le passage de l'état de stabilité à l'état d'instabilité d'un versant relève de causes nombreuses et variée, y compris les effets des ondes de choc produites par l'explosion lors de leur propagation sur le sol.

Dans ce chapitre, nous introduisons les ondes résultant de l'explosion qui conduisent à des glissements de terrain et des catastrophes de construction si elles ne sont pas étudiées avec importance

CHAPITRE III : Etude des vibrations dues au tir de la carrière d'Elkhroub

III – Introduction

Les sites d'extraction minière étant de plus en plus proches des zones habitées, la prise en compte des nuisances sismiques sont de plus en plus nécessaires. Lors du déclenchement du tir, des vibrations sont émises dans l'environnement proche et transitent soit par le sol (onde sismique) soit par l'air (onde acoustique). Les vibrations vont engendrer des déplacements sur les structures proches du tir, parfois à une distance de plus de 1 km en fonction de la charge unitaire employée. Ces déplacements doivent rester dans des valeurs faibles pour ne pas générer de dégâts à toutes les structures pouvant se trouver à proximité des travaux à l'explosif comme:

- Habitations.
- Ouvrage classés (site historique, château, église, mosquée...etc.).
- Installations industrielles (hangar, atelier, matériels ...).
- Ouvrages d'art (pont).
- Conduite enterrée (eau, gaz).
- Béton frais (temps de prise inférieure à 24 h).

Et ne pas provoquer de craintes ou de gênes vis-à-vis des riverains situés à proximité des tirs.

La vitesse maximale de déplacement des ondes. Elle est employée pour déterminer la probabilité de dommage des tirs sur les infrastructures. Elle est mesurée en mm/s par un séismographe.

III.1 Données sur la carrière

III.2 Situation géographique de la carrière :

Le gisement de calcaires de l'Oum Settas exploité par l'entreprise nationale des granulats est située sud-est de la ville de Constantine et à 04 kilomètres à Est du chef-lieu de Daïra d'ELKhroub, Administrativement il est rattaché à la commune d'Oued Rahmoune Daïra d'ElKhroub wilaya de Constantine. La superficie du périmètre est de **164 hectares**. [10]



Figure. III.1 : Situation géographique de la région d'étude. [10]

III.2.1 Localisation du site

Tableau III.1 : représentation des coordonnées des périmètres selon le système UTM32 : [10]

Points	UTM32				
	X	Y	Points	X	Y
1	300 400	4 013 400	8	299 400	4 012 400
2	300 400	4 012 300	9	298 800	4 012 400
3	300 100	4 012 300	10	298 800	4 012 800
4	300 100	4 012 100	11	298 900	4 012 800
5	299 600	4 012 100	12	298 900	4 013 300
6	299 600	4 012 300	13	299 900	4 013 300
7	299 400	4 012 300	14	299 900	4 013 400

- ✓ Le gisement s'étend sur une superficie **164 hectares** ;

- ✓ Les côtes absolues du Gisement varient de **730 à 885 m** ;
- ✓ Statut du terrain : Domanial / forestier.



Figure III.2 : Situation géographique de la carrière (Google Earth 2020).

III.3 Habitations environnantes

Les vibrations sont certainement une nuisance pour les explosions les plus étudiées. En effet, ils se propagent sur tous les terrains et peuvent ainsi atteindre des endroits hors des limites de l'exploitation.

Ainsi, souvent les études sont menées a posteriori suite à des plaintes de quartier. L'étude et la maîtrise de ces vibrations sont devenues une préoccupation majeure des opérateurs de carrières notamment pour la carrière d'elkhroub .

Cette dernière située dans un milieu important. Aux alentours de la carrière, il a des habitations et des ouvrages plus proches étions : la route nationale n° 20 qui se trouve à 13 Km à vol d'oiseau, déposition de Carburant Nafta, qui se trouve à 12 km et Sarl N.A.P, et Sfdm Carbonate De Calcium, qui se trouve à 10

km

Vu l'emplacement important de la carrière, il faut étudier l'effet des vibrations de tir à l'explosif. Il est d'importance de déterminer un point de mesure. L'atténuation des vibrations est fonction de sa distance D et du point de tir et l'amplitude en fonction de la quantité d'explosif Q . Il est donc nécessaire pour déterminer la relation de Chapot permettant d'obtenir les valeurs Q et D correspondent au seuil de vitesse

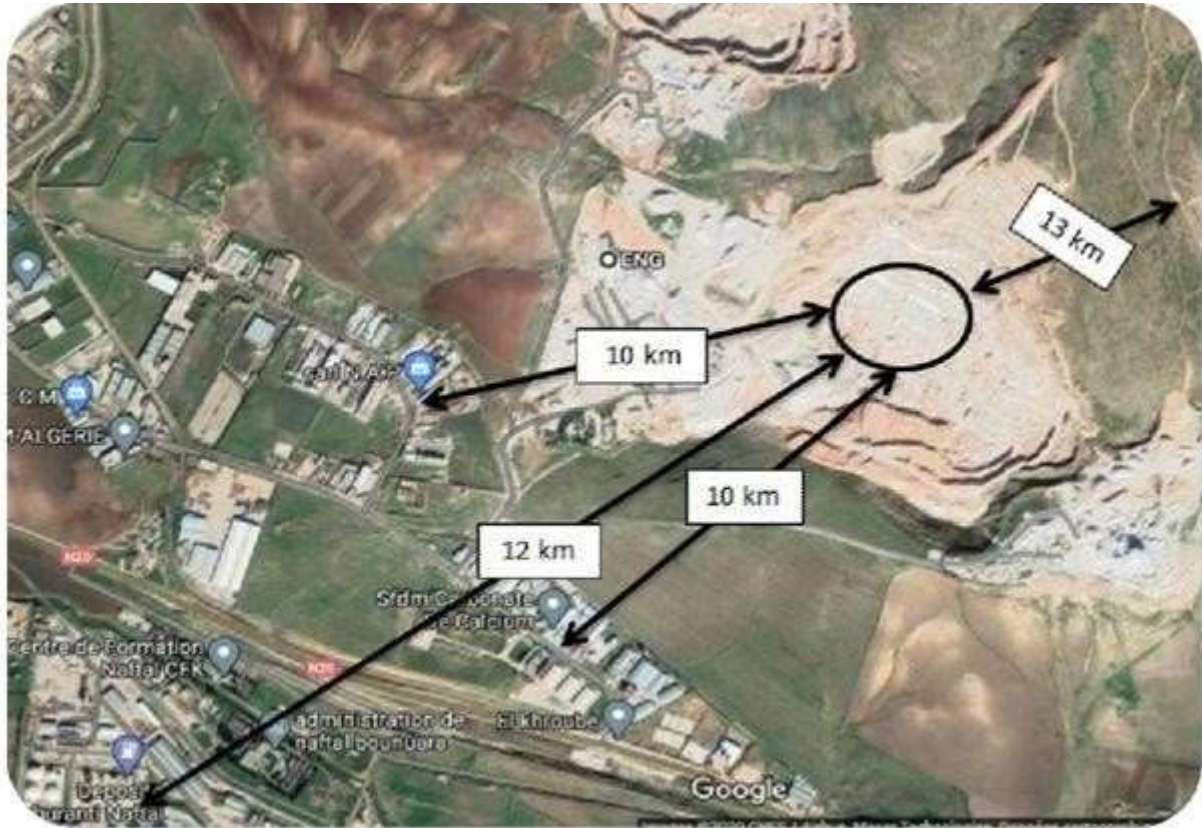


Figure III.3 : Localisation géographique du gisement de (Image Satellitaire extraite de Google Earth).

III.4 / Données géologiques :

III.4/ 1-Stratigraphie du gisement

Les massifs du constantinois appartiennent aux domaines externes de la chaîne des maghrébides. Il s'agit essentiellement de formations calcaires Jurassico-Crétacé et une couverture -calcaire d'âge Sénonien supérieur à Eocène.

La Jurassique : Il affleure en bordure des massifs du Djebel Kheneg., du Djebel Akhal, au nord de Constantine et dans les massifs d'Ain Mlila. [2].

Il s'agit en général de dolomie et de calcaire à silex, dont la puissance peut dépasser 600 m, ces formations sont localement associées à des calcaires massifs oolithiques et parfois à des marnes.

Crétacé: on distingue: Néocomien, Barrémien, L'Aptien, L'Albien-Vraconien. [2].

III.4 /2- Géologie du gisement :

Le gisement débute par une faible couverture de terre végétale ou dans certains endroits son épaisseur est négligeable. Il est composé essentiellement de roches calcaires dans la majeure partie. [2].

Le massif de l'Oum Settas est un anticlinal de direction NE-SW dont la tectonique est fortement manifestée par des failles sub verticales pour la majorité, La série stratigraphique est représentée par des formations Crétacées avec la prédominance de bancs de calcaires.

Le gisement d'ElKhroub forme une structure monoclinale assez simple à pendage incliné de 15 à 25° vers le S-W. [2].

III. 5 Vibrations consécutives aux tirs de la carrière d'Elkhroub :

Compte tenu de la résistance mécanique du gisement qui est, la seule méthode d'exploitation consiste à utiliser une technique d'abattage par explosifs. Les caractéristiques des tirs sont les suivantes :

- ✓ Charge par trou 26.55 kg
- ✓ Charge totale de 2 017,8 kg au maximum,
- ✓ 38 trous sur 2 rangées,
- ✓ Marmanit II et Anfomil
- ✓ Amorçage fond de trou avec détonateur **pyrotechnique**

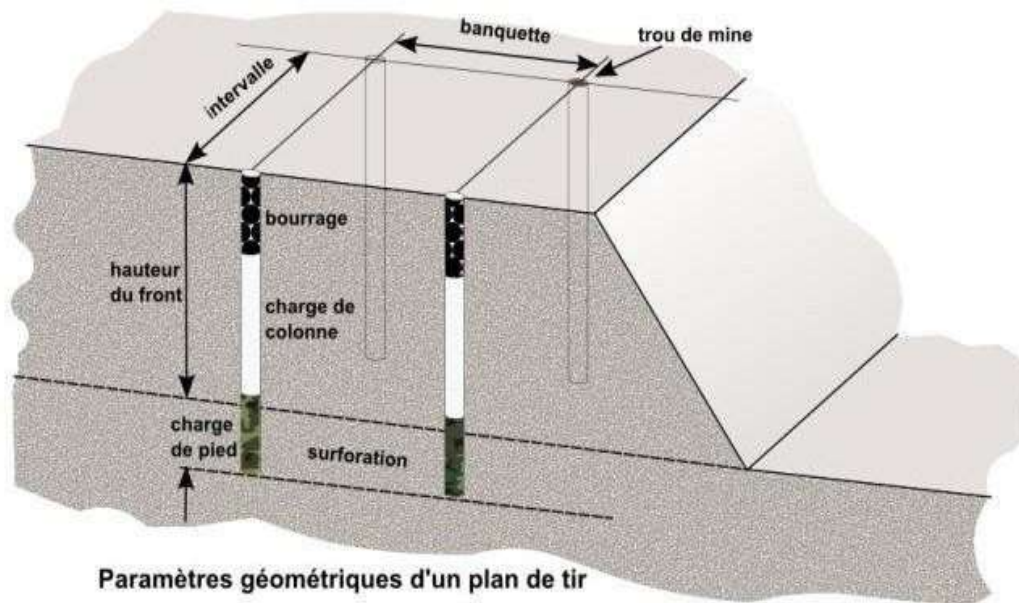
Les détails sont présentés au. Pour assurer la production de **1 200 000 tonnes**, **18 à 20 tirs** d'abattage du gisement sont nécessaires par an ce qui représente une

fréquence de l'ordre de 1 tir par semaines sur la base de la durée annuelle d'exploitation. Pour la production maximale, le nombre de tirs sera de **48 par an**

Tableau III 2 : paramètres de forage et de tir

Paramètres	Désignation	Valeur
Longueur de trou	Lt	16.15 m
Diamètre des trous	Dt	105 mm
L'inclinaison des trous	α	10
Longueur du bourrage	Lb	2.58m
Longueur de la charge	Lch	13.57 m
Longueur de sous forage	Ls	0.92 m

Volume abattu par volée	Ntc	3 T
Consommation spécifique	Qs	0.21 kg/m ³
Volume abattu par trou	Vbt	126.93 m ³
La charge linéaire	Lcl	4.48 kg/m



III.5.1 Coordonnées du Point de tir (PT)

Les coordonnées UTM Fuseau 31 de point de tir déterminées à l'aide d'un GPS Garmin 60 CSx de précision linéaire $\pm 4 \text{ mm}$ sont les suivantes :



Figure III.4 : Volée de tir (Z = 910 m). [Sur site]

Coordonnées du point central $X = 300\ 153$; $Y = 3\ 664\ 160$; $Z = 910 \text{ m}$.

Les projections de ce tir seront orientées dans la direction du point de mesure.

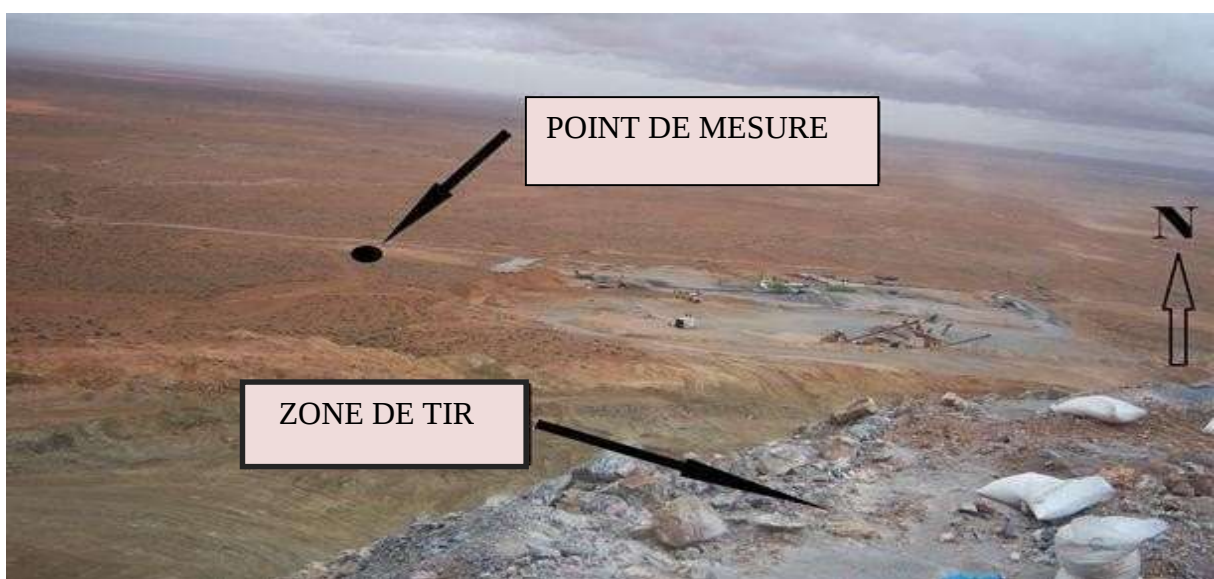


Figure II.5: Volée de tir (Z = 910 m). [Sur site]

III.5.2 Coordonnées des ouvrages à protéger

L'étude des vibrations se fait dans le but de protéger un ouvrage, ou bien plusieurs, dans les environnants de la source du tir -la carrière-. À partir de celle-ci et après mesures, on dégage un constat pour protéger ces ouvrages.

Dans la présente étude, il y a des ouvrages existents dans tout l'environnement de la carrière d'Oum Settas exploité par l'ENG, ce qui nous a conduit à prendre un point de mesure fictif supérieur de distance $d = 500$ (point de limite de vibration selon la loi de chapot) dans la direction du tir, autrement_ dit le point de mesure a une distance de 536 m par rapport au front de taille.



Figure III.6 : Point de mesure suivant la direction NNO. [Sur site]

III.6. Caractéristiques du matériel utilisé pour les mesures de vibrations

Le NOMIS SEISMOGRAPHS est un appareil de mesure de vibrations sismiques muni d'un capteur externe de mesure de vibrations type géophone tri directionnel 400 Hz corrigé électroniquement à 1 Hz et d'un capteur externe de mesure de surpression aérienne.

Le traitement des données s'est fait avec le logiciel Super Graphics Séismographes fourni avec le NOMIS SEISMOGRAPHS.



Figure III .7 : NOMIS SEISMOGRAPHS.

III.7. Normes à respecter en matière de vitesse de vibration

En l'absence de normes nationales en matière de vitesse de vibration ; on s'est référé aux limites fixées par les normes françaises et qui sont représentées dans l'abaque découlant de la **loi de Chapot**. [11]

Les normes en vigueur suivant la loi de Chapot permettent des vitesses de vibrations jusqu'à 10 mm/s (valeur de tolérance) dans le cas où le milieu est continu ; c.-à-d. lorsque le point de mesure est situé sur la continuité des formations géologiques objet du tir d'abattage.

Selon la loi de Chapot et en prenant en considération la norme Allemande **DIN 4 150** les ouvrages et constructions sont classés en trois catégories :

A = Constructions de bonne qualité mécanique (murs et fondations solides).

B = Construction de qualité moyenne ;

C = Catégorie de mauvaise qualité, murs déformés, mortiers sans adhérence ;

La vitesse de la vibration pour chacune des catégories d'ouvrages est donnée par le tableau suivant :

Tableau III.3 : Valeurs de références pour la vitesse de vibration selon les catégories d'ouvrages.[11]

Catégories d'ouvrages	Valeurs de références pour la vitesse de vibration V_i mm/s		
	Fréquence (Hz)		
	<10 Hz	10 – 50 Hz	>50 Hz
A	20	20 - 40	40 - 50
B	5	5 - 15	15 - 20
C	3	3 - 8	8 - 10

* V_i : vitesse particulaire maximale selon un des trois axes de l'espace (mm/s).

Grace à l'abaque résultant de la loi de Chapot qui est donné ci-dessous on peut déterminer la charge maximale tolérée qu'on peut utiliser en instantané sans aucun risque pour un **éventuel ouvrage se trouvant sur le point de mesure**

Abaque de prévision et suivi des vibrations

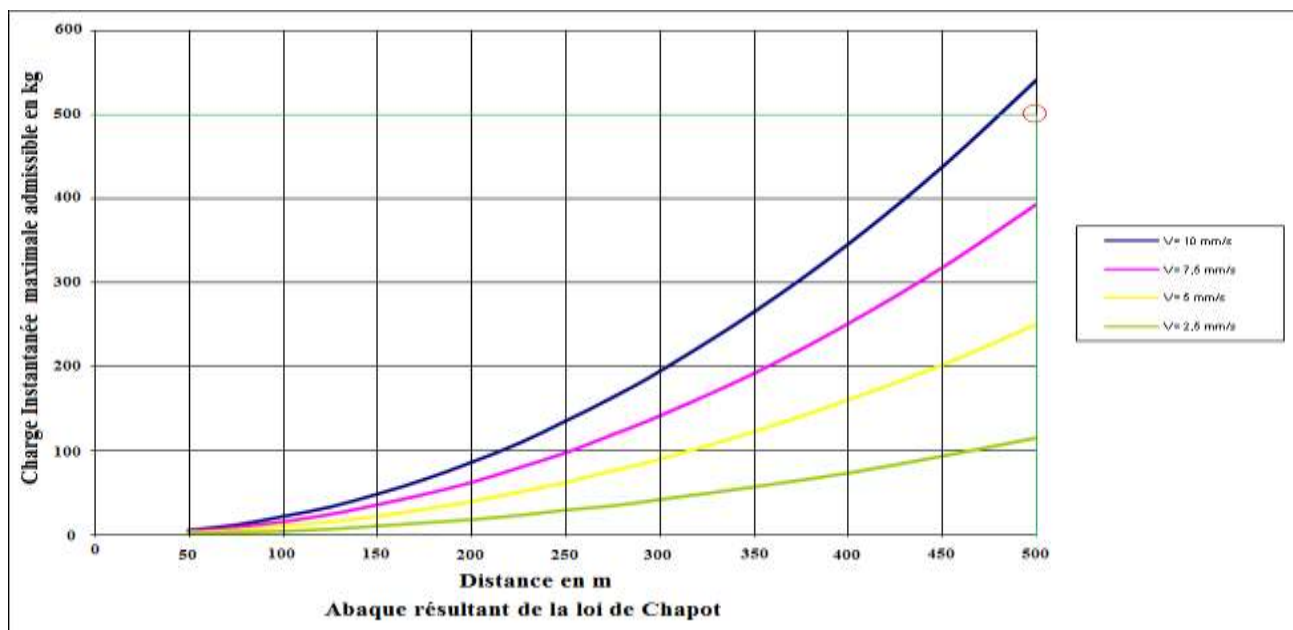


Figure. III .8 : Abaque résultant de la loi de Chapot. [11]

D'après cet abaque, la quantité d'explosifs qui peut être tiré en instantané dans un milieu homogène ; sans dommage pour d'éventuelles habitations ou d'autres ouvrages situées à plus de cinq cent mètres, dépasse les cinq cent kilogrammes (**500 kg**).

Il est clair que les vibrations occasionnées par les tirs de mines s'atténuent avec la distance.

Il est rappelé que déterminer un seuil de vibration, c'est de s'assurer que, tant que le seuil préconisé n'est pas dépassé, la pérennité des habitations n'est pas affectée. A l'inverse, le dépassement du seuil déterminé ne signifie pas systématiquement l'observation de l'apparition de dégâts.

La courbe ci- dessous est la courbe limite (fréquence-vitesse particulière) à ne pas dépasser.

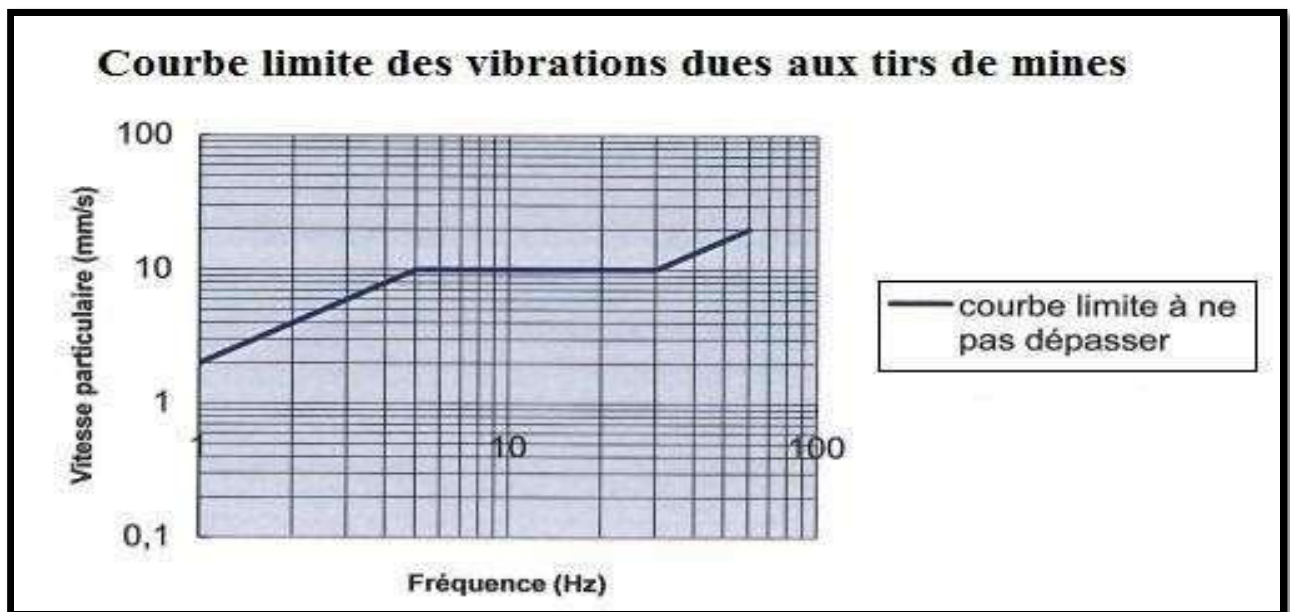


Figure III.9 : Courbe limite des vibrations dues aux tirs de mines. [10]

CHAPITRE IV : Mesures des vibrations par les tirs de Carrière

IV.1. Résultats de mesures :

Les résultats de mesures des vibrations due au tir effectué le 16 février 2020 recueillies par le dispositif de mesure utilisé sont portés ci-après :

- Onde acoustique = **148.0 dB**, $f = 5.68 \text{ Hz}$
- Onde radiale = **3.302 mm/s**, $f = 8.39 \text{ Hz}$
- Onde verticale = **5.969 mm/s**, $f = 10.55 \text{ Hz}$
- Onde transversale = **4.001 mm/s**, $f = 9.74 \text{ Hz}$
- Vecteur somme = **6.43 mm/s** à **9.85 Hz**

Vu que le paramètre de tir et mesuré été

Charge totale de la volée = 2 017.8 kg

Charge instantanée maximale= 2017.8 kg

Distance point de tir- point de mesure : 536 m

- Date de tir : 16 février 2020
- Heure : 14h 47

IV.2. Interprétation des résultats

IV.2.1. Les ondes vibratoires solides

Ces ondes correspondent à la partie de la perte d'énergie transmise dans le sol par le tir. Cette perte d'énergie est une NUISANCE, qui doit être limite.

En se référant aux normes en vigueur qui admettent des vitesses de vibrations jusqu'à 10 mm/s suivant la loi de Chapot, on peut prédire les niveaux des vibrations aux alentours des dynamitages à partir de la relation mathématique (1) qui est une loi de corrélation entre la vitesse particulière (v) exprimée en mm/s, la distance entre le point tir et le point de mesure, en m, et la charge instantanée(Q) utilisée, en kg. Celle-ci a la forme : [11]

$$V = K (D / Q^{0.5})^{-\beta} \quad (1)$$

- **V** : Vitesse particulaire (mm/s) ;
- **Q** : Charge maximale par délai (kg) ;
- **D** : distance (m) ;
- **K** et **β** : Constantes qui dépendent du site (du massif) et de la qualité du tir.
- **K** et **β** sont déterminés statiquement.

Dans les carrières de roches massives et pour une qualité de tir moyenne, elles sont de l'ordre de :

K = 2 500 en moyenne.

β = 1,8.

AN :

$$V = 2500 * (536 / (2017.8)^{0.5})^{-1.8}$$

$$V = 28.82 \text{ mm/s}$$

Interprétation :

L'analyse des spectres de mesures donne des valeurs maximales d'amplitudes selon les trois composantes principales des ondes vibratoires solides (radiales, transversales et verticales) entre **3,3** et **5,97 mm/s**. Ces valeurs sont très basses par rapport à ce que l'on peut prédire avec la loi de Chapot (**28.82mm/s**) pour une distance de 536 mètres et une charge instantanée de 2 017.8 Kg avec la supposition que le point de mesure se trouve sur la continuité du massif calcaire où a été effectué le tir.

Cette différence entre les données de la mesure et les résultats donnés par la loi de Chapot s'explique par le fait que :

✓ Le géophone du sismographe a été positionné sur des tufs tandis que le tir a été opéré sur un massif calcaire. Cela indique la présence d'une discontinuité entre le point de mesure et la zone de tir. Il est possible que les tufs ait ralenti la vitesse des ondes vibratoires solides.

L'état du sol où a été positionné le géophone qui été imbibé d'eau de pluie. L'eau joue un rôle d'écran, ce qui a dû absorber une partie des ondes de volume ; les ondes S plus particulièrement, qui sont des ondes de cisaillement.

Cela dit, les vitesses des ondes sismiques enregistrées sont en-dessous de la valeur limite admissible par la loi de Chapot qui est de 10 mm/s.

IV.2.2. L'onde acoustique (surpression d'air)

Cette onde correspond à la partie de la perte d'énergie transmise dans l'air par le tir. Cette perte d'énergie est aussi une NUISANCE, on va donc chercher à la limiter également.

On peut prédire les niveaux des ondes vibratoires aériennes (surpression d'air) aux alentours des dynamitages à partir de la relation mathématique (2). Elle a la forme suivante :

$$P = k (D / Q^{1/3})^{-\beta} \quad (2)$$

- **P** : Surpressions d'air (Pa) ;
- **Q** : Charge maximale par délai (kg) ;

- **D** : distance (m) ;
- **K** et **β** : Constantes qui dépendent du site et de la qualité du tir.

L'effet de l'onde acoustique provoquée par les tirs : le seuil limite tolérée pour une nuisance sonore instantanée est de **130 dB**.

AN :

$$P = 2500 * (536 / (2017.8)^{0.33})^{-1.8}$$

$$p = 294 \text{ dB}$$

Interprétations :

La valeur de la surpression d'air capté par le microphone du sismographe est $\geq$ **148 dB**. Cette valeur correspond à la limite maximale de sa gamme de mesure 294 dB (entre 92 et 148 dB). La limite tolérée est largement dépassée.

Ceci est dû principalement au fait de tirer toute la volée en instantané en utilisant un **détonateur pyrotechnique** (il n'est pas muni d'une substance retardatrice).

Il existe cependant des moyens pour diminuer les nuisances Sonores.

Il est recommandé de prendre les mesures suivantes :

- Utiliser un plan de tir qui favorise la répartition de la charge, avec une séquence de détonations acceptable en utilisant des détonateurs microretards.
- Respecter la maille de foration et la profondeur des trous de mine ;
- Le boute-feu et le chef de carrière doivent vérifier le chargement et le bourrage correct des trous de mines (la profondeur et type du bourrage) avant de procéder à la connexion du dispositif de mise à feu ;
- Limiter l'utilisation du cordeau détonant en surface, et l'enterrer en cas d'utilisation ; car il contribue conséquemment dans les nuisances sonores ;
- Avertir les personnes censées se trouver dans les limites du périmètre d'exploitation afin qu'ils ne soient pas surpris par l'onde sonore ;
- Equiper le personnel du chantier opérant le jour du tir par des moyens de protection individuels anti-bruits ;

- Le jour du tir et au moment de la mise à feu tous les accès menant à la carrière devront être fermés par l'équipe de sécurité ;
- Avant de procéder à la mise à feu s'assurer que tout le personnel se soit mis à l'abri pour éviter les risques de projection.

Le développement de l'amplitude des quatre types d'ondes, sonores, radiales, verticales et transversales se fait dans un intervalle de temps très court entre 0.5 et 3 secondes. Ceci réduit beaucoup le temps d'exposition aux nuisances surtout sonores pour le personnel travaillant en carrière et pour les riverains. Mais il est important de respecter les seuils admis.

IV.2.3. Les projections

La formation et la propulsion de fragments rocheux, par la détérioration des charges de mines, proviennent essentiellement des phénomènes liés à l'expansion des gaz.

Lors du tir, Les projections sont restées contenues dans les limites de l'exploitation, cependant le tir avait généré beaucoup de projectiles, les plus petits d'entre eux ont atteint des distances de 520 mètres environ de la zone de tir.

Afin de diminuer ces projectiles, nous recommandons de prendre en charge les mesures suivantes :

- Procéder au nettoyage du front de taille et la surface de tir constituant le gradin avant chaque tir ;
- Respecter la hauteur de bourrage des trous afin de ne pas avoir les effets arrière des tirs de mines ;
- Respecter l'homogénéité du bourrage, la diminution des projections et des ondes acoustiques est liée principalement à ce paramètre vu que la diminution de projection.

L'analyse des résultats montre que (III.1) :

- Aucun dépassement du seuil de 10 mm/s pour une distance de 536 m, ne la présence de tufs dans l'étendue jouée un rôle ralentisseur de la vitesse des ondes vibratoires solides.
- La surpression d'air générée lors du tir de mines doit être minimisée de manière à respecter la limite tolérée de 130 dB, en appliquant les

recommandations citées ci-dessus;

- La charge instantanée maximale limite qui peut être utilisée est de 500 kg comme le montre le tableau ci-après :

Tableau IV.1: Effet de la charge Instantané sur la vibration de projection 500 m

Distance (m)	Charge instantané (Kg)	Vitesse des vibrations (mm/s)	Distance de projection (m)
500	100	2,19	204
500	150	3,15	234
500	200	4,08	257
500	250	4,99	277
500	300	5,88	295
500	350	6,75	310
500	400	7,61	324
500	450	8,47	337
500	500	9,31	349
500	550	10,14	361
500	600	10,97	371
500	650	11,79	381
500	700	12,60	391

Conclusion

En conclusion et compte tenu des résultats obtenus, le tir du 16 février 2020 s'est déroulé dans de bonnes conditions en particulier par le respect de la procédure de sécurité liée à l'utilisation des substances explosives.

La charge totale de **2 017.8 kg** mise en œuvre a été répartie en une seule volée sans séquence de détonation.

Un point de mesure fictif a été positionné à **536 m** de la zone de tir, vu l'éloignement des habitations ou des ouvrages environnants.

- Les nuisances dues aux vibrations solides n'ont pas dépassé la limite fixée par la loi de Chapot (10 mm/s) sur le point de mesure distant de 536 m de la zone de tir. Le fait d'avoir des tufs sur le pont de mesure réduit la vitesse des ondes.
- Les nuisances des vibrations aériennes sont $\geq$ à **140 dB** .ce qui dépasse largement la limite admissible de 130 dB.
- Les projections ont atteint des distances de **520 mètres** environ de la zone de tir.

En réduisant la charge instantanée à **500 kg**. Toute éventuelle construction ou ouvrage situé à plus de **500 mètres** de la zone de tir sera sécurisé en termes de vibrations solides, de surpression aérienne et de projections. Dans ce cas l'emploi des détonateurs à microretards s'impose. L'utilisation des 12 numéros disponibles permettra d'employer une charge totale jusqu'à **3 000 kg par volée**.

Conclusion générale

Le travail à l'explosif lié aux activités minières et de construction peut avoir des impacts sur les personnes, la faune et les structures. L'expérience montre que la vitesse particulaire est le paramètre le plus significatif des effets vibratoires sur les constructions. La V P est l'indicateur le plus approprié et précis des dommages possibles à l'environnement et aux structures.

Les vibrations générées lors des tirs de mines répondent à des limites réglementaires précises : 10 mm/s pour les vibrations transmises par le sol. Les niveaux générés sont principalement liés à la charge explosive mise à feu par retard (charge unitaire) et à la distance entre le tir et le point de contrôle.

L'application de la loi chapot fondatrice pour la connaissance de la propagation des vibrations dans le sol se transmettant aux bâtiments ou aux ouvrages permet une première estimation du niveau vibratoire. Si l'on dispose d'un calage de cette loi sur le site considéré, on en déduit une estimation réaliste du niveau vibratoire. Sa valeur par rapport à un niveau de référence permet de situer les enjeux.

Après l'étude et l'analyse, nous pouvons le conclure d'une manière générale que Dépend les résultats de tir des mines à l'explosif qui sont effectués à la carrière d'elkhroub , les études de vibrations ont présentes des conséquences purement adéquates a la géologie de terrain et une élaboration d'un plan de tir réel pour éviter ce qui concernant une glissement de terrain ou un effondrement d'un ouvrage génie civil au site évidemment le plan de tir va mentionner une quantité d'explosif totale bien établir avec une charge instantanée va nous permettre de respecter l'aspect technique et judiciaire de ce mode d'étude .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : **Berdoudi Said** , étude de la mécanique de tirs des roches par utilisation des modèles réduits dans les conditions algérienne, thèse de doctorat en mine, Université Badji Mokhtar Annaba.
- [2] : **E.N.G**, L'Entreprise Nationale des Granulats, « documents internes ».
- [3] : **Ecole observatoire** des sciences de la terre(EOST), les ondes sismiques.
- [4]: **Founey et al**, fragmentation by blasting, the first international symposium on rock fragmentation august 1983, page (22-26).
- [5] : **Florent Delille** ; recherche d'une prédiction de fragmentation charge par charge pour les tirs à ciel ouvert, l'Ecole Nationale Supérieur Des Mines De Paris, 2012.
- [6] : **Gharbi kouider** sur l'adaptation du plan de tir à la blocométrie, mémoire de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique, 2007
- [7] : **Guintoli SAS**, « demande d'autorisation d'exploiter une carrière et une installation de traitement de matériaux lieu-dit (bois de Saint-Laurent) », commune de Saint-Laurent, la vemedé (30), étude d'impact.
- [8] : **Hadjadj Aoul Elias**, « prédiction et analyse de la fragmentation des roches dans les conditions Algérienne », thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba.
- [9]: **Jaeger, j.c.and cook.N.G.W**.fundamental of rock mechanics, chapter 2, 13 and 18 champan hall ltd., London 1975.
- [10] : **Mouloud Nefis**, « modèle d'un plan de tir », mémoire de magister, Université Badji Mokhtar Annaba, 2010
- [11] : **PIERRE Chapot**, « Etude des vibrations provoquées par les explosifs dans les massifs rocheux », ministère de l'urbanisme et du logement ministère des transports, 15 janvier 1981.
- [12] : **Saadoun Abderrezak** , la contribution à l'analyse des effets de tirs d'abattage, mémoire de magister, Université Badji Mokhtar Annaba, 2012.
- [13] : **S.C.A.Carriere** du Hainaut, Etude d'incidences sur l'environnement, « tirs de mines et vibrations ».