



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا والهندسة - عنابة

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE TECHNOLOGIE ET D'INGENIERIE - ANNABA

MEMOIRE

En vue d'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Contrôle de terrains avancé

Spécialité : Génie minier

Présenté par

Ahmed Abdelghaffar KADRI

Prévision des vibrations générées par des tirs de mines dans les conditions de la carrière à ciel ouvert d'Oggaz LCO (W) de Mascara.

Encadré par

Dr. Houda MAHTALI

Membres du jury :

- | | | |
|-----------------------|-----------|--------------|
| ▪ Dr. Toufik BATOUCHE | Président | ENSTI-ANNABA |
| ▪ Dr. Djamel NETTOUR | Examineur | ENSTI-ANNABA |
| ▪ Dr. Houda MAHTALI | Encadrant | ENSTI-ANNABA |



AUTORISATION DE SOUTENANCE

Nom et Prénom du candidat : KADRI AHMED ABDELGHAFAR

Département : Génie Minier, métallurgie et matériaux

Filière : Génie Minier

Spécialité : Génie Minier

Diplôme préparé : Master

Promotion : 2024

Nom et Prénom de l'encadreur : Mahtali Houda

Thème du projet de fin d'étude : Prévion des vibrations générées par des tirs de mines
dans les conditions de la carrière à ciel ouvert d'Oggaz LCO (W) de Mascara.

Appréciation de l'encadrant :

A la lumière des résultats obtenus et tous ce travail achevé. Je suis très favorable à ce que Mr KADRI Ahmed Abd Elghaffar présente son travail en vue d'obtenir le diplôme de Master en Contrôle de terrains avancé.

Date et visa de l'encadrant

Le 23.06.2024

Remerciements

Je remercie en premier lieu le Dieu qui a bien voulu me donner la force pour effectuer le présent travail.

En second lieu, je tiens à remercier l'encadrante Dr.Houda MAHTALI, pour ses conseils, sa compétence et ses orientations durant l'élaboration de ce projet.

Je remercie tous les enseignants de département Génie Minier pour leurs rôles importants dans ma formation.

Je tiens également à remercier tous les membres du jury qui ont bien voulu consacrer à notre mémoire une partie de leur temps. Mes remerciements s'adressent aussi, à tout le personnel de la société des ciments de Lafarge : Boumediene HADJ, Abdelkader HOMRANI, Houari AFFANE, Radouane BOUTAYARA, Hocine ZAHAF, tous les travailleurs de la carrière, laboratoire et usine.

Enfin, je remercie Sabah LAIB et Manel BELHADJ et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce projet de fin d'études.

Dédicaces

A MA TRÈS CHÈRE MÈRE QUI M'APPORTE TOUJOURS SON AMOUR
AFFECTIF.

À MON TRÈS CHER PÈRE QUI ME PRODIGUE TOUJOURS DES CONSEILS
DE GRANDES VALEURS

MES CHERS FRÈRES ET AMIS QUI ME SOUTIENNENT TOUT LE TEMPS.

ملخص

الاهتزاز يعني الحركة الدورية حول موضع التوازن. في قطاع المحاجر، يمكن أن تتولد الاهتزازات بواسطة المعدات الثقيلة مثل الكسارات والحفارات، وكذلك المتفجرات المستخدمة في تفتيت الصخور. يمكن أن تكون تأثيرات الاهتزازات في المحجر كبيرة، خاصة على الهياكل المحيطة وراحة السكان القريبين. يمكن أن تسبب هذه الاهتزازات أضرارًا للمباني والبنية التحتية، فضلاً عن تعطيل عمل السكان. غالبًا ما يُستعمل قانون شابو كحل لإدارة تأثير الاهتزازات. فهو يفرض حدودًا صارمة على مستويات الاهتزاز المقبولة ويضع بروتوكولات لقياس ومراقبة وإدارة الاهتزازات المنبعثة من الأنشطة الصناعية مثل المحاجر. تهدف هذه اللوائح إلى حماية البنية التحتية وتقليل التعطيل للمجتمعات المحلية. خلال فترة تدريبنا في محجر عود سما، لاحظنا أن نتائج التفجير كانت لها آثار زلزالية ومن أجل التحقق من امتثال المحجر للمعايير المفروضة، قمنا بدراسة وتطبيق قانون شابو على العديد من الانفجارات التي تم إجراؤها خلال فترة التدريب. **الكلمات المفتاحية:** محجر، كسارة، الاهتزازات، قانون شابو، الرمي.

Résumé

La vibration se réfère à un mouvement périodique autour d'une position d'équilibre. Dans le contexte d'une carrière, les vibrations peuvent être générées par des équipements lourds tels que les concasseurs et les excavatrices, ainsi que par les explosifs utilisés pour la fragmentation des roches.

Les effets des vibrations dans une carrière peuvent être significatifs, notamment en ce qui concerne les structures environnantes et le confort des habitants à proximité. Ces vibrations peuvent causer des dommages aux bâtiments et aux infrastructures, ainsi que des perturbations pour les résidents.

La loi de Chapot est souvent considérée comme une solution pour gérer les effets des vibrations. Elle impose des limites strictes sur les niveaux de vibration acceptables et définit des protocoles pour la mesure, la surveillance et la gestion des vibrations émises par les activités industrielles telles que l'exploitation en carrière. Cette réglementation vise à protéger les infrastructures et à minimiser les perturbations pour les communautés locales.

Pendant notre stage dans la carrière de Aoud Sma nous avons constaté que les résultats d'abattage ont des effets sismiques et dans le but de vérifier si la carrière respecte les normes, nous avons étudié et appliqué la loi de Chapot sur plusieurs tirs effectués durant le stage.

Mots-clés : carrière, concasseur, vibrations, loi de Chapot, tir.

Abstract

Vibration refers to periodic movement around an equilibrium position. In a quarry context, vibrations can be generated by heavy equipment such as crushers and excavators, as well as explosives used for rock breakup.

The effects of vibrations in a quarry can be significant, particularly with regard to surrounding structures and the comfort of nearby residents. These vibrations can cause damage to buildings and infrastructure, as well as disruption to residents.

Chapot's law is often considered as a solution to manage the effects of vibrations. It imposes strict limits on acceptable vibration levels and sets protocols for the measurement, monitoring and management of vibrations emitted by industrial activities such as quarrying. These regulations aim to protect infrastructure and minimize disruption to local communities.

During our internship in the Aoud Sma quarry we noted that the blasting results had seismic effects and in order to verify the quarry complied with the standards, we studied and applied Chapot's law on several blasts carried out during the internship.

Keywords: quarry, crusher, vibrations, Chapot's law, blasting.

Liste des tableaux

Tab I.1 : Localisation de la carrière de ‘Djbel Aoud-Sma’	3
Tab II.2 : Caractéristiques de quelques explosifs (O.N.E.X. Algérie).	7
Tab III.3 : La relation entre la vitesse de vibration et les dommages causés à des immeubles fondés sur les roches	13
Tab III.4 : Caractéristiques techniques de GEOSEIS et GEOSEIS +	17
Tab IV.5 : Exemple de mesure par le sismographe.....	20
Tab IV.6 : Tableau des calculs sismiques faits dans la carrière	23

Table des figures

Fig I.1 : Localisation géographique de la carrière ‘Djbel Aoud Sma’	3
Fig II.2 : Onde primaire P	8
Fig II.3 : Onde secondaire S.....	8
Fig III.4 : Organigramme d’énergie potentiel des nuisances de tir	9
Fig III.5 : Etude des nuisances lors d’un tir.....	10
Fig III.6 : Ecran de réglage des paramètres	15
Fig III.7 : Façade de logiciel d’analyse sismique	15
Fig III.8 : L’utilisation de logiciel après le tir	16
Fig IV.9 : Installation de sismographe sur site avant la procédure de tir	18
Fig IV.10 : Emplacement de sismographe par rapport au plus proche zone urbaine.....	18
Fig IV.11 : Volée avant le tir.....	19
Fig IV.12 :Volée après le tir.....	19
Fig IV.13 :Représentation graphique sismique après le tir	20
Fig IV.14 : Constitution d’un géophone.....	21
Fig IV. 15 : Le logiciel d’analyse sismique	22
Fig IV.17 : Histogramme montrant la relation entre la vitesse sismique calculée avec la loi de Chapot en fonction	24

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicaces	II
ملخص.....	III
Résumé	IV
Abstract.....	V
Liste des tableaux	VI
Table des figures.....	VI
Sommaire	VII
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Présentation de l'entreprise	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Cadre géographique local	3
I.3 Géologie du gisement	4
I.4 Travaux d'ouverture et les paramètres caractéristiques de la tranchée.....	4
I.5 Méthode d'exploitation et Principaux paramètres de l'exploitation.....	4
I.6 Motivation.....	4
I.7 Problématique	5
Conclusion.....	5
Chapitre II : Recherche bibliographique.....	6
II.1. Introduction.....	6
II.2. L'état de l'art.....	6
II.3. Recherche bibliographique	6
II.3.1. Caractéristiques	6
II.4. Les ondes sismiques	7
II.5. Conclusion	8
Chapitre III : Mesure in situ des vibrations	9
III.1. Introduction	9
III.2. Effets des vibrations	9
III.3. Introduction sur loi de Chapot.....	11
III.4. Evaluation de l'impact vibratoire des tirs de mines.....	11
III.4.1. Paramètres influents sur l'évaluation.....	11
III.4.2. L'impact des ondes sismiques sur l'environnement :.....	12

III.4.3. L'impact des ondes sismiques sur la sécurité des travailleurs dans les mines :....	12
III.4.4. L'impact des vibrations sur les structures	12
III.4.5. Dégâts possibles sur les structures :	13
III.5. Instrumentation de surveillance des vibrations	13
III.5.1. Le sismographe.....	14
III.5.2. GEOSEIS et GEOSEIS plus (Sismographes pour mesures des nuisances sismiques et acoustiques (tirs de mines, vibrations mécaniques))	14
Chapitre IV : Analyse et Discussion des résultats.....	18
IV.1. Introduction.....	18
IV.2. Données de la carrière.....	18
IV.3. Le mode opératoire	21
IV.4. L'interprétation des valeurs	22
IV.5. Application de la loi de Chapot.....	23
IV.6. Interprétation des résultats	24
IV.7. Conclusion	25
Conclusions générales	26
Références bibliographiques	27

Introduction générale

Introduction générale

L'exploitation minière constitue de deux types : l'exploitation minière à ciel ouvert, une méthode largement utilisée pour extraire des minéraux tels que le charbon, le cuivre, le fer et l'or, implique l'extraction de gisements minéraux situés près de la surface de la terre. Contrairement à l'exploitation souterraine qui nécessite des galeries et des puits, cette méthode nécessite l'ouverture de la terre pour accéder aux minéraux.

Dans l'exploitation minière à ciel ouvert, plusieurs méthodes d'abattage sont employées, notamment l'abattage par explosif, l'abattage mécanique et l'abattage à l'aide d'équipements spécifiques. L'abattage par explosif fragmente les roches à l'aide d'explosifs, tandis que l'abattage mécanique utilise des équipements lourds tels que des pelles mécaniques et des bulldozers pour enlever les couches de minéraux. L'abattage à l'aide d'équipements spécifiques utilise des machines spécialisées conçues pour des tâches spécifiques d'extraction et de transport des minéraux. Cependant, l'utilisation d'explosifs dans l'abattage minier peut générer des vibrations qui ont des répercussions néfastes sur l'environnement et les structures avoisinantes. Ces vibrations peuvent endommager les bâtiments, les infrastructures et les routes proches des sites miniers et même l'usine, tout en perturbant la faune locale et les habitats naturels.

Pour atténuer ces effets, des mesures d'atténuation et de gestion sont nécessaires, telles que la surveillance des vibrations pour évaluer leur impact, l'utilisation de techniques d'explosifs plus contrôlées pour réduire les vibrations, et la mise en œuvre de plans de gestion environnementale pour minimiser les dommages aux écosystèmes locaux. De plus, il est important de sensibiliser et d'impliquer les parties prenantes locales dans le processus pour garantir une exploitation minière responsable et durable.

Pour cela le sujet : ‘ ‘ Prévion des vibrations générées par les tirs de mine ‘ ‘ sera très utile dans la carrière "Aoud Sma".

Beaucoup des habitants des zones urbaines situé près de carrières de pays se plaint des vibrations et de haut bruit causées par les tirs de mine, alors le thème ‘ ‘ Prévion des vibrations générées par les tirs de mine ‘ ‘ sera un intéressant sujet pour vérifier si la carrière respect les normes ou pas dans notre carrière.

But du sujet

- Une comparaison entre les vibrations de déferents gradins causées par les tirs ;
- Vérifier si la carrière respecte les normes des vibrations obligées ;
- Vérifier si la carrière respecte les normes de bruit obligées ;

Méthodologie

Pour répondre aux besoins de cette étude, on a analysé les données qu'on a collectées durant le stage effectué au niveau de la carrière d'Aoud Sma, tout en appuyant sur les données de différentes sources bibliographiques.

Ce travail s'articule sur 4 chapitres :

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

Généralités sur le site et Géologie du gisement. Il offre une vue d'ensemble des caractéristiques générales de l'exploitation de la carrière Aoud Sma. Il explore cadre géographique local, géologie du gisement, travaux d'ouverture et les paramètres caractéristiques de la tranchée, méthode d'exploitation et principaux paramètres de l'exploitation, ainsi la motivation et la problématique.

Chapitre II : Recherche bibliographique

Dans ce chapitre on va parler sur les explosifs et les ondes sismiques.

Chapitre III : Mesure in situ des vibrations

Cette partie parle des différents impacts des vibrations et le sismographe et la loi de Chapot en détails.

Chapitre IV : Analyse et discussion des résultats

Durant ce chapitre, on va parler du mode opératoire et appliquer la loi de Chapot sur plusieurs essais de tir réalisé durant le stage et interpréter les résultats.

Chapitre I :

Présentation de

l'entreprise

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

I.1 Introduction

Cimenterie du Groupe Lafarge Algérie et membre du Groupe LafargeHolcim, leader mondial des matériaux de construction, la société Lafarge Ciment Oggaz est située dans la commune d'Oggaz, wilaya de Mascara. LCO est entrée en production en 2007 avec sa ligne de ciment blanc, suivie en 2008, par le démarrage de la ligne de ciment Gris. La capacité installée de de LCO est de 3.8 mi T/an dont 3,2 mi t/an (Gris) et 0,6 mi t/an (Blanc), avec la particularité d'être l'unique usine de ciment blanc en Algérie dont une partie de la production est exportée vers différents pays. LCO est la première cimenterie nationale à incinérer des déchets, elle participe ainsi à l'effort collectif pour la préservation des ressources naturelles. [1]

I.2 Cadre géographique local

Notre étude porte sur les calcaires messéniens d'Aoud-Sma, situés à 400 mètres d'altitude, à environ 1,5 kilomètre au sud-ouest du village d'Ahl el-Ouanane. Ces calcaires sont connus grâce au site de la cimenterie LCO, qui se trouve à 3,5 kilomètres au sud du village d'Oggaz. Oggaz est à environ 8 kilomètres à l'est-nord-est de la ville de Sig et à 50 kilomètres au nord-est de Mascara. Administrativement, le site fait partie de la commune de Oggaz, qui se trouve au nord-est du chef-lieu de la wilaya de Mascara. Il couvre une superficie de 159 hectares et est délimité par un polygone dont les coordonnées UTM sont indiquées dans le tableau : [2]

Tab I.1 : Localisation de la carrière de 'Djbel Aoud-Sma'

N°pt	X	Y	N°pt	X	Y	N°pt	X	Y	N°pt	X	Y
1	747700	3934900	5	747 800	3933800	9	746900	3934400	13	747 200	3934600
2	747700	3934400	6	747 800	3933400	10	746900	3934500	14	747 200	3934700
3	748200	3934400	7	746 700	3933400	11	747100	3934500	15	747 400	3934700
4	748200	3933 800	8	746 700	3934400	12	747100	3934600	16	747 400	3934900



Fig I.1 : Localisation géographique de la carrière 'Djbel Aoud Sma'

Les réserves géologiques en fin décembre 2013 sont réévaluées à 188 401 704 tonnes. Ces quantités peuvent donner une durée de vie de 54 ans pour le gisement d'Aoud-Sma ; et satisfaire les besoins de la cimenterie estimés à 3 800 000 t /an. [3]

I.3 Géologie du gisement

Le périmètre délimitant le gisement en exploitation montre des affleurements de formations géologiques composées de deux faciès datés d'âges Miocène et Quaternaire. La formation Miocène exploitable, occupe la quasi-totalité du périmètre et le quaternaire la mi-partie inférieure du flanc nord du gisement.

Le Quaternaire consiste en une couche de coquillage qui cache les roches en dessous. Le Miocène est composé de calcaire formé par des algues marines, de couleur blanche à parfois gris ou jaune, assez dense et poreux, devenant doux, crayeux et contenant des fossiles.

Le gisement ressemble à une bosse avec un relief doux, orienté sud-ouest à nord-est. La partie la plus haute, au sud-ouest, atteint 404m puis descend progressivement jusqu'à 181m au nord-est, créant une différence de hauteur d'environ 223m. Le côté nord de la colline est recouvert de sable brun, plus fragile, qui repose sur du calcaire. Le point où les deux types de roches se rencontrent semble être dû à des mouvements tectoniques. On peut facilement distinguer les deux types de roches sur le terrain à cause de leurs couleurs différentes. [4]

I.4 Travaux d'ouverture et les paramètres caractéristiques de la tranchée

Dans la carrière de Aoud-Sma, le gisement de calcaire à exploiter est situé dans un relief montagneux. L'accès au gisement suscité se fait à l'aide d'une demi-tranchée creusée de bas vers le haut. Ensuite pour réaliser le premier front de taille, il est nécessaire de creuser des tranchées de découpage en fonction du nombre de gradins dont la somme des hauteurs est égale à la profondeur finale de la carrière. [5]

Largeur de la demi-tranchée d'accès : $B=20\text{m}$ /Longueur: $L=2100\text{m}$. /Volume : $509911,08\text{m}^3$. [6]

I.5 Méthode d'exploitation et Principaux paramètres de l'exploitation

La méthode d'exploitation adoptée dans la carrière de Djbel Aoud Sma se fera en partant du bas à partir du niveau 380m jusqu'au sommet par des gradins de hauteur 15 m ; c'est une méthode d'exploitation simple selon les travaux de forage et de tir.

I.6 Motivation

Mes études en master génie minière ont éveillé ma passion pour ce domaine, une passion qui s'est intensifiée grâce à des cours et des stages. J'ai découvert la complexité et l'importance stratégique de cette industrie. Pour mon mémoire, j'ai choisi d'explorer le " Prévion des vibrations générées par les tirs de mine". Ce sujet me permettra estimer et prédire les vibrations résultant des opérations de dynamitage dans notre carrière de Aoud Sma.

Ces vibrations dues aux effets de l'explosion, et peuvent avoir des impacts négatifs sur l'infrastructure et l'environnement environnant, y compris des dommages structurels, des perturbations environnementales et des effets sur la santé humaine.

Je suis convaincu que cette recherche approfondie m'aidera à développer des compétences clés dans le domaine des mines à cause de besoin de techniques d'estimation précises des dommages potentiels dus aux vibrations, la nécessité de protéger les infrastructures importantes et de réduire les impacts environnementaux négatifs tout en préservant l'environnement. De plus, le désir d'améliorer la sécurité des travailleurs dans les mines et les sites de construction, de garantir la conformité aux législations environnementales et sanitaires, ainsi que de développer des techniques efficaces de prédiction et de gestion des vibrations.

I.7 Problématique

L'industrie minière joue un rôle essentiel dans l'approvisionnement en matières premières essentielles à notre société moderne. Cependant, les activités d'extraction minière, et notamment les tirs de mine, ne sont pas sans impact sur l'environnement et les populations riveraines.

La prédiction et la maîtrise des vibrations induites par les tirs de mine constituent un enjeu majeur pour l'industrie minière, tant sur le plan environnemental qu'économique et social. En effet, des vibrations excessives peuvent avoir des conséquences néfastes à plusieurs niveaux:

Impact environnemental : les vibrations peuvent fragiliser les structures avoisinantes, telles que les habitations, les infrastructures et les sites naturels, et entraîner leur dégradation à long terme. De plus, elles peuvent perturber la faune et la flore en modifiant leur habitat et en affectant leur comportement.

Risques pour la sécurité et contraintes réglementaires : des vibrations trop importantes peuvent menacer la stabilité des installations minières, compromettant la sécurité des travailleurs et augmentant le risque d'accidents. Des réglementations strictes encadrent les niveaux de vibrations admissibles sur les sites miniers, imposant aux exploitants de respecter des seuils stricts pour minimiser les nuisances et les risques. Le non-respect de ces réglementations peut exposer les entreprises à des sanctions et des poursuites judiciaires.

Optimisation des coûts : une meilleure maîtrise des vibrations permet d'optimiser les paramètres de tir, réduisant ainsi la consommation d'explosifs et les coûts d'exploitation.

Le défi principal réside dans le développement de méthodes précises et fiables pour prédire et maîtriser les vibrations engendrées par les tirs de mine, en tenant compte des caractéristiques géologiques du site, des paramètres de tir et des contraintes réglementaires.

Conclusion

Ce premier chapitre a présenté une étude superficielle du gisement. On a situé le gisement géographiquement et présenter des informations de travaux fait. Elles fournissent une base solide pour les prochaines étapes de notre étude et l'exploitation du gisement.

Chapitre II :

Recherche

bibliographique

Chapitre II : Recherche bibliographique

II.1. Introduction

La relation entre les explosifs et les vibrations repose sur des principes de dynamique des fluides et de propagation d'ondes. Les caractéristiques de l'explosif lui-même, telles que sa composition chimique, sa densité, sa vitesse de réaction et sa masse, influencent la nature et l'intensité des vibrations générées. De plus, les conditions environnementales telles que le type de sol, la distance par rapport à l'explosion et la présence d'obstacles peuvent également affecter la manière dont les vibrations se propagent et leur impact sur l'environnement.

II.2. L'état de l'art

La loi de Chapot a été formulée par Pierre Chapot et a été utilisée pour étudier les vibrations sismiques et acoustiques dans divers milieux. Elle est basée sur la compréhension des mouvements du sol lors de la propagation des ondes de compression et de cisaillement. Les ondes de compression sont les plus rapides et se propagent dans les milieux solides et rocheux, tandis que les ondes de cisaillement sont plus lentes et ne se propagent pas dans les milieux liquides. C'est une méthode fondamentale pour étudier la propagation des vibrations sismiques et acoustiques. Elle permet de comprendre les phénomènes de propagation des ondes de compression (P) et des ondes de cisaillement (S) dans les milieux solides et rocheux. Les vibrations sismiques sont des phénomènes naturels ou induits par des activités humaines, comme les tirs de mines, qui peuvent avoir des conséquences importantes sur la sécurité et la stabilité des structures. [7]

II.3. Recherche bibliographique

Les substances explosives tout agent chimique ou mélange de composants chimiques susceptibles, par réaction chimique et sous l'influence d'un amorçage convenable, de dégager des gaz à une température très élevée, à une haute pression et vitesse.

Ces substances consistent généralement en un mélange intime de corps combustibles renfermant une quantité d'oxygène insuffisante pour la combustion totale, avec des corps comburants qui apportent l'oxygène nécessaire à celle-ci.

II.3.1. Caractéristiques

La caractérisation en laboratoire des explosifs industriels est indispensable au développement et à l'agrément de formules nouvelles. Cependant, la plupart des mesures effectuées sur les explosifs présentent un caractère strictement comparatif, les conditions expérimentales étant assez éloignées des conditions réelles d'utilisation.

Les principales caractéristiques des explosifs industriels sont les suivantes : l'énergie, la densité, la sensibilité à l'amorce, la vitesse de détonation, le diamètre critique de détonation, l'aptitude à transmettre la détonation, la sensibilité aux chocs, à la friction, à la chaleur et à l'humidité. [8]

Tab II.2 : Caractéristiques de quelques explosifs (O.N.E.X. Algérie).

Désignation commerciale	Résistance à l'eau	Densité	Vitesse de détonation	Puissance C, U, P	C, S, E (cm)	Volume gaz (l/kg)
Gelanit I	Bonne	1,40	6300	1,33	8	865
Gelanit II	Bonne	1,45	6000	1,27	6	808
Marmanit I	Médiocre	0,95	4000	1,28	5	842
Marmanit II	Médiocre	0,98	4100	1,27	2	680
Marmanit III	Médiocre	0,95	3800	1,18	2	907
Milanit	Médiocre	0,90	4100	1,16	0	915
Anfomil	Médiocre	0,85	3000	1,15	0	975

Suivant le comportement de l'explosif lors de sa réaction, son confinement et sa vitesse de décomposition, on distingue deux types d'explosion : la déflagration et la détonation.

La déflagration : se produit lorsque le front de réaction se propage à une vitesse inférieure à celle de l'onde de pression à l'intérieur de l'explosif, avec une combustion relativement lente. Cela entraîne une libération progressive d'énergie et des effets modérés.

La détonation : est une réaction très rapide, avec une onde de choc se propageant à plus de 1000m/s, accompagnée d'un dégagement de gaz à très haute température et pression. [8]

II.4. Les ondes sismiques

Une vibration est définie comme un mouvement oscillatoire d'une particule ou d'un corps à partir de sa position de référence (équilibre ou une trajectoire moyenne), la vibration d'un système peut être libre ou forcée. Les vibrations se propagent sous formes de fronts d'ondes et constituent ce que l'on appelle "ondes de vibrations".

On nomme un front d'onde la surface d'égale phase d'une onde c'est-à-dire la surface de séparation entre les particules d'un matériau au repos et les particules en mouvement. Le concept est utilisé pour décrire la propagation des ondes, il 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. [9]

Les vibrations dans le sol sont des phénomènes mécaniques de décompression, traction ou cisaillement qui se propagent dans le matériau.

On peut y trouver en face de deux mouvements distincts :

- Le mouvement particulaire qui correspond au déplacement d'un point du milieu au moment du passage de l'onde (vitesse particulaire de quelques mm/s).
- Le front d'onde, qui est l'ensemble des points touchés simultanément par l'onde sismique, présentant un mouvement distinct de celui des particules. Ce mouvement dépend du milieu de propagation et de la position de la source, avec une vitesse typique allant de 2000 à 4500 m/s. L'augmentation ou la diminution de la vitesse des particules est proportionnelle à la charge unitaire. [10]

Les vibrations se propageant dans le sol sont composées de différents types d'ondes. Il distingue notamment les ondes de volume, qui se déplacent à travers le massif rocheux. Parmi ces ondes de volume, il y a les ondes de compression, également appelées ondes P, qui impliquent des compressions et des tractions successives dans le massif rocheux. Ces ondes se déplacent à une vitesse V_p et sont les plus rapides.

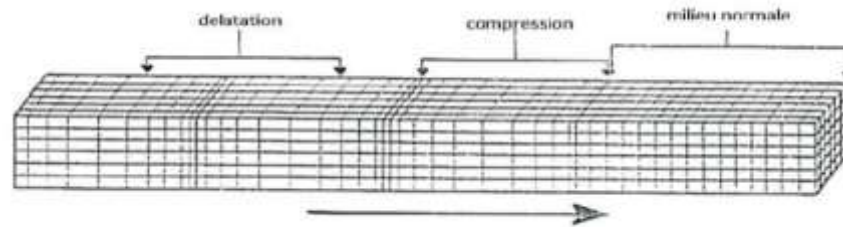


Fig II.2 : Onde primaire P

Sa vitesse s'exprime en fonction des paramètres d'élasticité : $V_p = \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \rho}$

Où :

ρ = densité [sans dimension] ;

λ = Coefficients de Lamé [Pa] ;

μ = module de rigidité ou de cisaillement [Pa] ;

Les ondes de cisaillement, ou ondes S, qui correspondent à une communication latérale du mouvement dans le massif rocheux. Elles se propagent à la vitesse V_s , qui vaut en général la moitié de la célérité des ondes P.

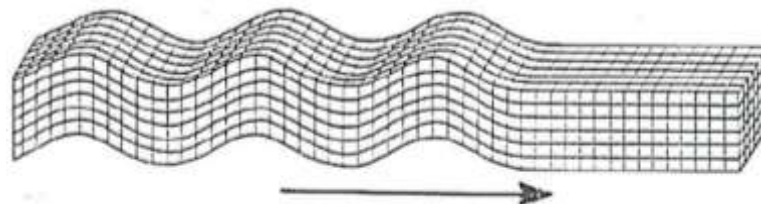


Fig II.3 : Onde secondaire S

La vitesse des ondes secondaires s'exprime elle aussi en fonction des paramètres d'élasticité :

$$V_s = \sqrt{\mu / \rho}$$

D'autre part les ondes de surface, qui se propagent dans la partie supérieure du sol et aux interfaces. Assez énergétiques, de fréquences basses, elles ont une vitesse de propagation inférieure à la célérité des ondes de cisaillement (de l'ordre de 1000 m/s), mais se propagent plus loin. [10]

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré les types d'explosifs. Nous avons examiné leurs mécanismes de détonation et leurs impacts sur les roches. Avec une compréhension des explosifs et les vibrations générées, nous sommes maintenant prêts à passer aux calculs de ces vibrations.

Chapitre III :

Mesure in situ des vibrations

Chapitre III : Mesure in situ des vibrations

III.1. Introduction

Le déroctage à l'explosif s'accompagne naturellement de l'émission de vibrations dans l'environnement. La maîtrise de cette émission, c'est à dire la limitation du niveau vibratoire à un seuil limite, s'impose à tout exploitant. L'impact des vibrations sur l'environnement concerne simultanément les structures avoisinantes et les riveraines qui risquent d'en ressentir une gêne, même pour des niveaux reconnus comme inférieurs aux seuils susceptibles d'induire des dégradations dans les structures, immeubles, zone d'habitation, ouvrages d'art... [10]

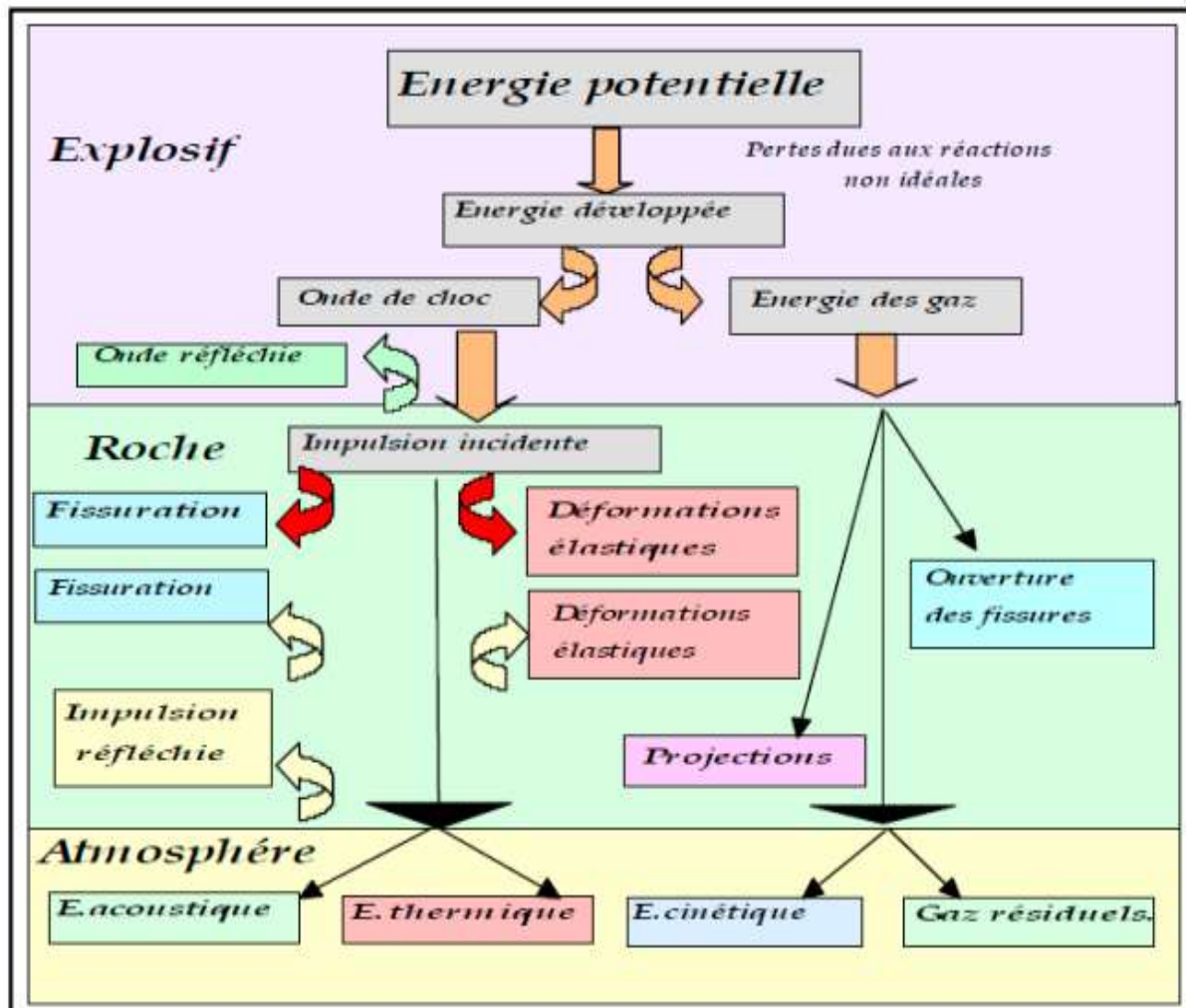


Fig III.4 : Organigramme d'énergie potentiel des nuisances de tir

III.2. Effets des vibrations

Entre 3 et 12 % de l'énergie explosive relâchée lors de la détonation sont perdus au sein de la masse rocheuse sous forme d'ondes sismiques. L'énergie sismique dégagée dans les tirs à l'explosif à ciel ouvert se propage dans le massif environnant sous forme d'ondes de volume et de surface. Si elle est négligée, elle peut être néfaste aux structures situées aux proches alentours du tir. Les ondes de volume (ondes P, de compression, et ondes S, de cisaillement), qui pourraient à priori inquiéter les structures souterraines à proximité, posent rarement de

problèmes en pratique. Les ondes de surface (ondes de Rayleigh et de Love) peuvent pour leur part endommager les bâtiments et incommoder les riverains.

La maîtrise de la sismicité produite par les tirs se résume donc essentiellement à limiter ce dernier type et indésirable. A 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. [11]

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. [12]

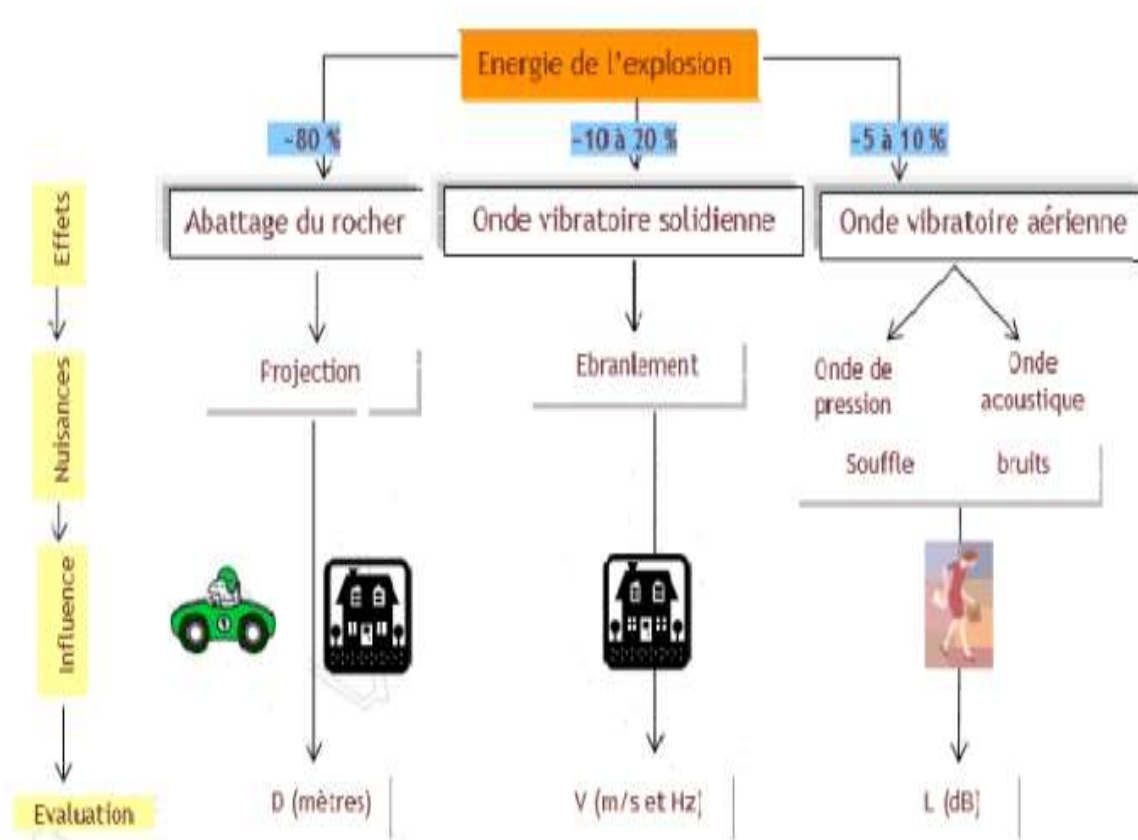


Fig III.5 : Etude des nuisances lors d'un tir

III.3. Introduction sur loi de Chapot

La loi de Chapot est une équation mathématique qui décrit la propagation des vibrations dans le sol en relation avec la charge unitaire d'explosif et la distance entre le lieu de l'explosion et le lieu de mesure.

C'est une loi expérimentale qui décrit la propagation des vibrations dues aux tirs d'explosifs. Elle a été développée par P. Chapot et a été présentée lors des 2^{ème} Journées Nationales Géotechniques. Cette loi vise à établir une relation utilisable pour apprécier à priori les difficultés susceptibles d'être rencontrées lors de l'exécution de travaux à l'explosif.

III.4. Evaluation de l'impact vibratoire des tirs de mines

III.4.1. Paramètres influents sur l'évaluation

Le niveau de vibration généré par un tir de mines est mesuré sur les fondations dépend de trois facteurs principaux qui peuvent globalement être résumés ainsi :

- La distance entre le tir et l'ouvrage ;
- La quantité d'explosif mis à feu simultanément ;
- Le rendement du tir.

En outre, en plus de ces trois facteurs, le niveau de vibration dépendra aussi de :

- La nature des terrains ;
- La structure géologique ;
- La géomorphologie du site.

Des théories empiriques ont été établies pour prévoir le niveau de vibrations créées par un tir. Sont en général retenues les lois, dites de Chapot qui permet de calculer ce niveau en l'occurrence la vitesse de vibrations, selon une formule reliant cette vitesse à la distance au point de tir et au poids de la charge. Cette loi est la suivante :

$$V_r = K \times D^{-\alpha} \times Q^{\beta}$$

V_r : désigne la vitesse résultante, obtenue par la somme vectorielle des enregistrements des vitesses sur les trois voies du capteur sismique

D : désigne la distance entre le tir et le capteur

Q : représente la charge unitaire maximale (on considère en général que deux détonations espacées de 8 ms génèrent des vibrations qui ne se superposent pas.) La charge unitaire est ainsi la charge qui détonne à un instant, compte tenu de ce seuil.

K : est un coefficient qui prend en compte tous les paramètres autres que D et Q . Il traduit à la fois la qualité du tir et la transmission des vibrations au sein du massif rocheux.

α et β : sont des coefficients positifs déterminés empiriquement par régression linéaire, qui dépendent des conditions locales du tir.

A partir de nombreuses expériences en différents sites, Chapot a proposé un couple de valeurs pour α et β . C'est aujourd'hui la loi que l'on utilise le plus fréquemment :

$$V = K \times \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,8}$$

Avec :

K= 1500 pour un très bon tir

K= 2500 pour un tir moyen

K= 6000 pour un très mauvais tir

La loi de Chapot permet de prédire l'intensité des vibrations à un endroit situé à une certaine distance de la source de vibration, en fonction de la puissance des charges d'explosifs utilisées ^[1].

Souvent proches de celles de la loi de Chapot. On observe ainsi parfois des lois du type :

$$V_r = K_s \times \left(\frac{D}{\sqrt{Q}}\right)^{-1.2} \quad : \text{loi des ondes de surfaces}$$

Ce sont des lois d'amortissement d'ondes de surface, généralement plus défavorables.

III.4.2. L'impact des ondes sismiques sur l'environnement :

Mettant en évidence les nuisances pour les individus et les structures. Les vibrations provenant des tirs peuvent affecter la stabilité des infrastructures, notamment les bâtiments et les maisons près des mines à ciel ouvert. Les effets sur les individus incluent la perception des vibrations du sol et du bruit, pouvant causer un sentiment de gêne. [13]

III.4.3. L'impact des ondes sismiques sur la sécurité des travailleurs dans les mines :

La loi de Chapot influence significativement la sécurité des travailleurs dans les mines en permettant de prédire et de gérer les vibrations générées par les tirs d'explosifs. Cette loi permet de déterminer la distance de sécurité convenable à chaque quantité explosive à tirer simultanément, ce qui réduit les risques de dommages aux constructions et aux travailleurs.

En utilisant la formule de la loi de Chapot, les ingénieurs peuvent calculer les distances de sécurité lors de l'action de l'onde de choc pour les constructions et déterminer les paramètres de tir pour minimiser les vibrations transmises par les tirs. Cela permet de réduire les risques de dommages aux constructions et aux travailleurs, ainsi que de minimiser les perturbations environnementales. [9]

III.4.4. L'impact des vibrations sur les structures

Les dommages observés sur les structures à une certaine distance du lieu de l'explosion dépendent des caractéristiques de la vibration incidente (vitesse particulaire, fréquence), de la qualité des constructions et du couplage sol-structure.

Les premières recherches relatives aux dommages causés par les vibrations de tir de mines, le critère retenu pour caractériser les vibrations est l'accélération particulaire et les recherches ultérieures ont confirmé que la vitesse particulaire constitue le paramètre le mieux corrélé avec l'apparition de dégâts aux constructions, tout au moins dans la gamme de fréquence de 1 Hz à quelques centaines de Hz : la probabilité d'apparition de dégâts augmente lorsque la vitesse de vibration croît.

Toutes les améliorations apportées dans les dernières années ont eu pour résultats :

- De différencier les constructions en fonction de leur plus ou moins bonne résistance aux vibrations ; De préciser la notion de dégâts de différencier les gammes de fréquence ;
- D'abandonner la notion de vitesse résultante pour celle de vitesse maximale sur des trois voies ;
- De préciser les conditions de mesure. [14]

III.4.5. Dégâts possibles sur les structures :

Pour les catégories de dégâts, on distingue

Un seuil d'apparition correspondant à l'écaillage de peinture, l'allongement de fissures existantes, la formation de très fines fissures dans les plâtres ;

Des dégâts légers qui figurent dans le détachement et la chute de morceaux de plâtre, apparition de fissures dans la maçonnerie, il s'agit de dégâts superficiels n'altérant pas la structure ;

Des dégâts importants provoquant un affaiblissement de la structure, avec apparition de lézardes et de fissures ouvertes, des chutes d'éléments de maçonnerie (cheminée).

Il faut noter que les dommages de la première catégorie sont identiques à ceux produits par le vieillissement naturel des constructions, par le charroi routier et par la vie courante. Les dommages de la deuxième catégorie peuvent apparaître spontanément dans des maisons ayant des fondations inappropriées, et ce d'autant plus que les conditions climatiques sont variables (les alternances de sécheresse et d'humidité sont particulièrement redoutables).

En pratique, il est extrêmement rare qu'un tir provoque des dégâts immédiatement visibles (il faudrait pour cela des vitesses particulières supérieures en général à 50 mm/s), un expert architecte d'un village du Nord de la France a dit "chaque cas pris isolément pourrait s'expliquer par un défaut de construction courant, mais en fait les vibrations jouent le rôle d'un révélateur des points faibles en apportant l'énergie supplémentaire qui va provoquer localement une rupture". [15]

Tab III.3 : La relation entre la vitesse de vibration et les dommages causés à des immeubles fondés sur les roches

V(mm /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 fissuration apparente
5	30	26,5	942	Fissuration visible
10	5	320	312,5	Fissuration importantes
≥ 10	1	1560	> 62,8	Chute des pierres

III.5. Instrumentation de surveillance des vibrations

La surveillance des vibrations consiste à mesurer et à enregistrer les mouvements de passage dans le sol ou dans une structure, à l'aide d'un sismographe, pour détecter et enregistrer

le mouvement. Il s'agit de la méthode la plus couramment utilisée pour identifier les problèmes potentiels de dommages dus aux vibrations.

III.5.1. Le sismographe

L'appareil le plus souvent utilisé pour mesurer les propriétés vibratoires du sol est le sismographe. Plusieurs fabricants fabriquent des sismographes de surveillance des vibrations du sol, principalement destinés à surveiller les vibrations causées par les tirs des mines à ciel ouvert. Pour cette raison, ces instruments sont généralement appelés « sismographes à dynamitage ». Ils sont également utilisés pour la surveillance des vibrations.

Comme les sismographes sismiques, les sismographes à dynamitage détectent et mesurent les vibrations du sol par le mouvement d'un aimant suspendu dans une bobine de fil environnante. Selon la loi physique de Lenz, un courant électrique est créé dans la bobine environnante proportionnellement à la vitesse de déplacement de l'aimant par rapport à la bobine (c'est-à-dire la vitesse de mouvement du sol, exprimée en pouces par seconde ou en millimètres par seconde). L'électronique du moniteur mesure ce courant, le convertit en vitesses de mouvement du sol et stocke les données brutes de vitesse dans la mémoire de l'instrument. Chacune des trois directions perpendiculaires les unes aux autres (longitudinale ou radiale, transversale et verticale) possède sa propre bobine de mesure distincte dans la tête du transducteur du sismographe, car les vibrations diffèrent souvent de manière importante selon les différentes directions de mesure. Pour obtenir des mesures précises, la tête de mesure du sismographe (« transducteur ») doit se déplacer lorsque le sol bouge, c'est-à-dire qu'elle doit avoir un « couplage au sol » complet grâce à un ancrage efficace au sol.

III.5.2. GEOSEIS et GEOSEIS plus (Sismographes pour mesures des nuisances sismiques et acoustiques (tirs de mines, vibrations mécaniques))

Développés par les sociétés SIMI et OXILEC, les enregistreurs GEOSEIS et GEOSEIS + sont des sismographes de dernière génération destinés au contrôle des nuisances sismiques et acoustiques de tirs de mines ou de vibrations mécaniques (BRH, compacteur, foration, battage de palplanches, ...).

Ces appareils sont conformes à la norme AFNOR NF E90 20-1 relatives aux caractéristiques des appareillages de mesures de ces phénomènes.

Les deux appareils sont dotés d'un écran graphique tactile permettant :

- Le réglage aisé des paramètres de déclenchement et d'informations sur les enregistrements effectués (emplacement du tir, distance, charge unitaire et totale du tir),
- L'affichage sur site des valeurs enregistrées.

Les mesures sont directement enregistrées sur une clef USB amovible : les données peuvent ensuite être analysées sur ordinateur avec un logiciel d'exploitation fourni avec l'appareil.

Un boîtier modem optionnel permet d'envoyer en temps réel des SMS à un numéro de téléphone paramétré dans l'enregistreur ou de récupérer les données à distance pour les

appareils installés à demeure.

Les **GEOSEIS** et **GEOSEIS +** sont dotés d'un capteur de type géophone tri-directionnel pour la mesure des vibrations sismiques et d'un microphone pour la mesure de la surpression aérienne.

Le **GEOSEIS +** est équipé en plus d'une imprimante permettant l'impression sur site des résultats. [13]



Fig III.6 : Ecran de réglage des paramètres

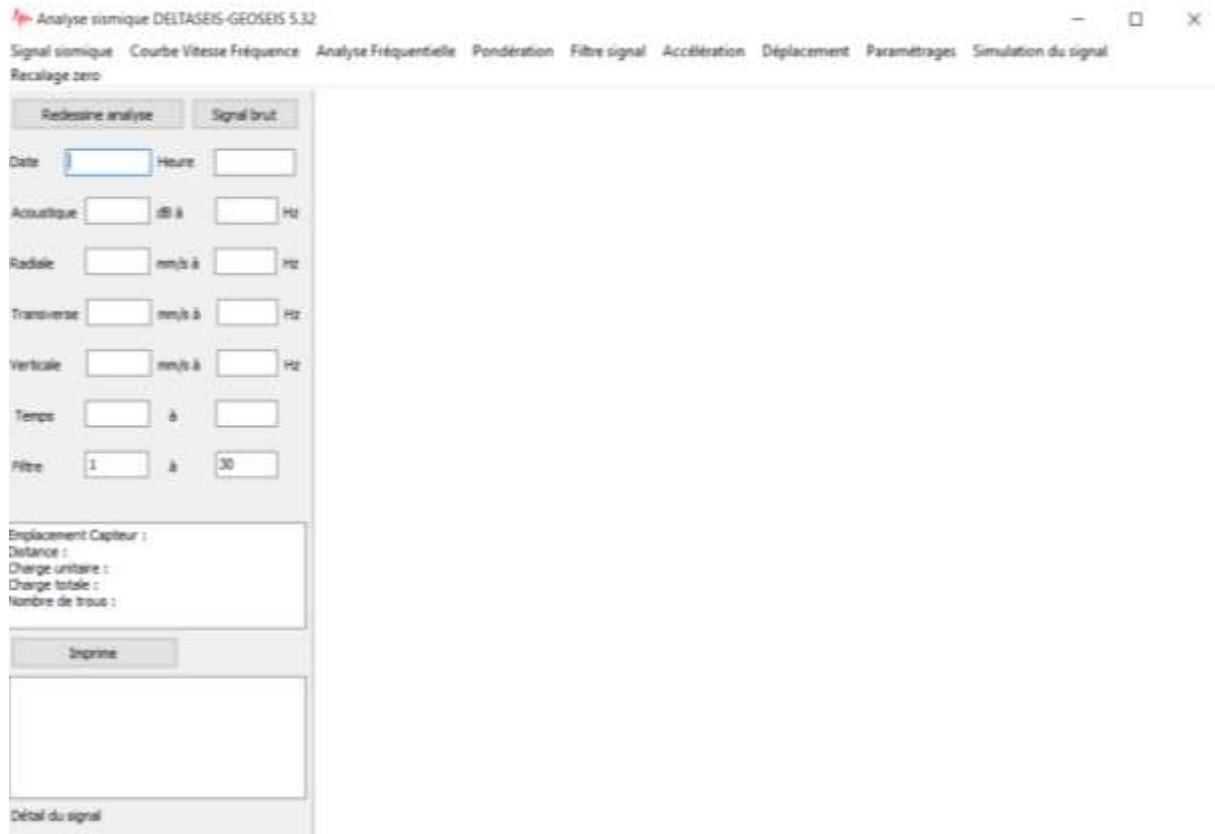


Fig III.7 : Façade de logiciel d'analyse sismique

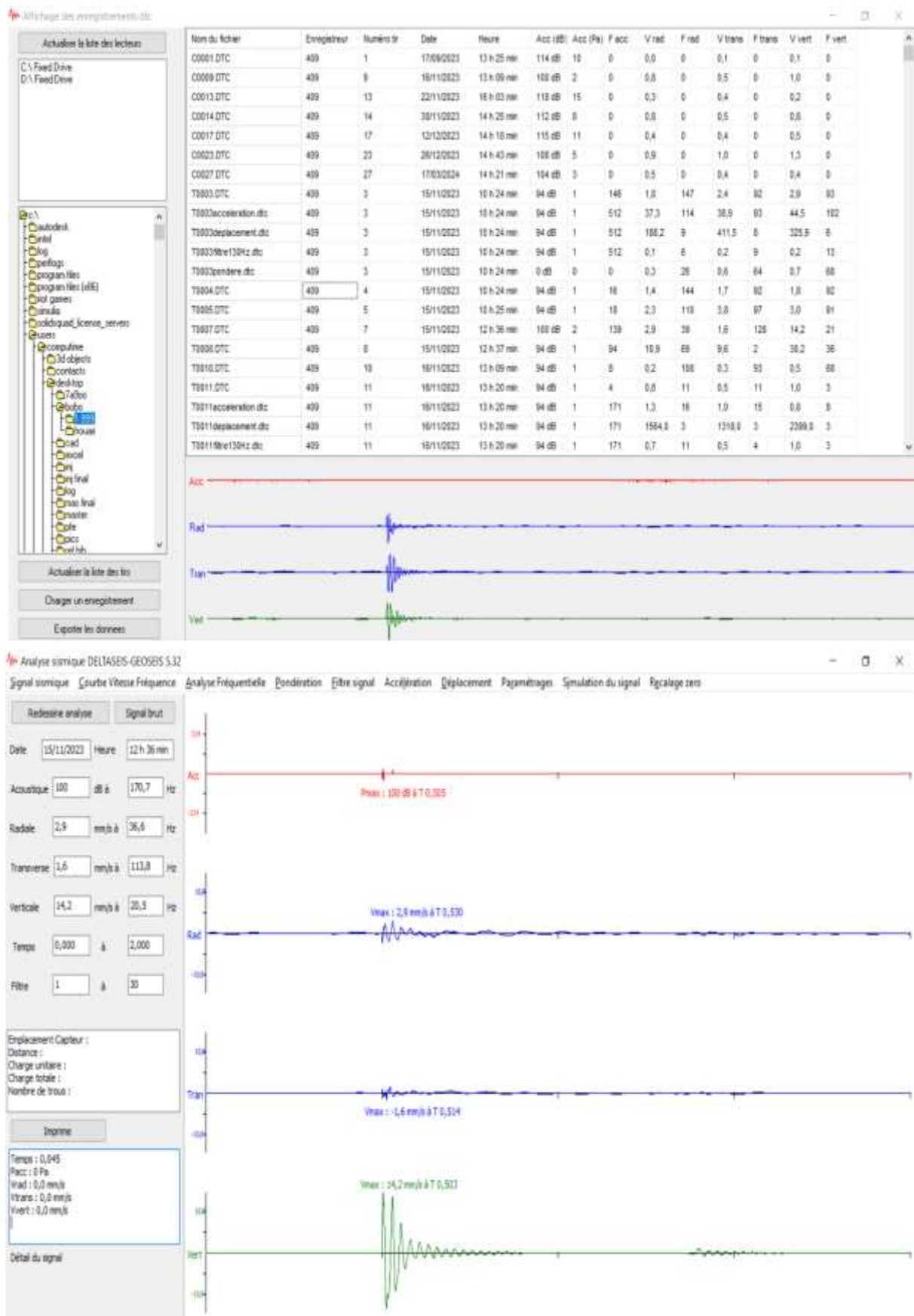


Fig III.8 : L'utilisation de logiciel après le tir

Les caractéristiques techniques des deux appareillages sont montrées dans le tableau ci-dessous

Tab III.4 : Caractéristiques techniques de GEOSEIS et GEOSEIS +

Gamme de mesure sismique	0-32 mm/s en standard ou 0-128 mm/s
Seuil de déclenchement	Réglable par pas de 0.1 mm/s à partir de 0.2 mm/s
Capteur sismique	En standard géophone tridirectionnel 4.5 Hz corrigé électroniquement à 2 Hz. Tout type de géophone peut être envisagé sur moyennant un réglage complémentaire.
Gamme de mesure acoustique	0.06 à 10 mbar 110 à 154 dB brut
Seuil de déclenchement acoustique	Réglable par pas de 1 dB à partir de 115 dB (10 Pascal)
Capteur acoustique	Capteur piézorésistif en silicium très basse pression (10 mBar pleine échelle, 1000 Pascal).
Déclenchement manuel	Par appui sur la touche Trigger.
Temps d'acquisition	Réglable de 2 à 30 s par pas de 1 s en mode standard Durée fixe de 12 heures en mode continu
Echantillonnage	2048 Hz mode standard 1 Hz mode continu (une mesure par seconde)
Dynamique	90 dB
Capacité maximale	En fonction de la mémoire disponible sur la clef USB 1000 enregistrements de 4 s sur clef USB 250 Mo
Alimentation	Par chargeur externe (alimentation 9.0 Volts continu)
Autonomie	7 jours en mode acquisition sans recharge 5 heures en mode consultation des données
Température d'utilisation	-10° à + 40° C
Dimensions	Les GEOSEIS et GEOSEIS + sont conditionnés dans une valisette de transport de 43 x 33 x16 cm
Poids	GEOSEIS : 5 Kg GEOSEIS + : 6 Kg
Logiciel d'exploitation des données	Logiciel AnalyseGEOSEIS 5.32 ou White2003 (affichage des signaux, calcul de pondération selon l'arrêté du 22/09/94, FFT, filtrage, ...) ou tout autre logiciel d'exploitation pouvant lire des fichiers ascii au format dtc.
Garantie	Les appareils sont garantis pièces et main d'œuvre pendant 1 an (hors frais de retour du matériel dans nos locaux, à la charge du client).

III.6. Conclusion

La prise en compte des nuisances sismiques et acoustiques sont de plus en plus nécessaires. En utilisant la méthode de la charge unitaire: loi de Chapot, on peut estimer les vibrations engendré par le tir avec des distances et charge instantanée différentes.

Chapitre IV

Analyse et Discussion des résultats

Chapitre IV : Analyse et Discussion des résultats

IV.1. Introduction

Nous avons collecté toutes les données nécessaires et effectué les mesures essentielles pour évaluer précisément les vibrations. Cette étape a permis d'identifier et de quantifier les différentes sources de vibrations, ainsi que leurs amplitudes et fréquences respectives. Grâce à cette analyse approfondie, nous avons pu appliquer avec la loi de Chapot, qui est reconnue pour son efficacité dans le contrôle et la maîtrise des vibrations.

IV.2. Données de la carrière

Lors de chaque tir réalisé dans la carrière, l'ingénieur d'exploitation doit veiller sur la mise en place de l'outil de mesure de vibration. Un rapport sismique est réalisé.



Fig IV.9 : Installation de sismographe sur site avant la procédure de tir

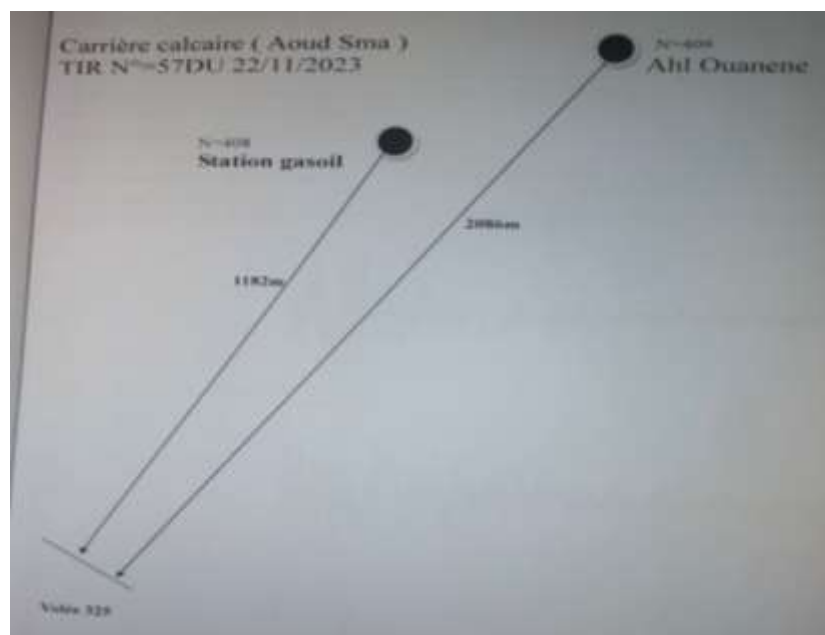


Fig IV.10 : Emplacement de sismographe par rapport au plus proche zone urbaine



Fig IV.11 : Volée avant le tir



Fig IV.12 : Volée après le tir

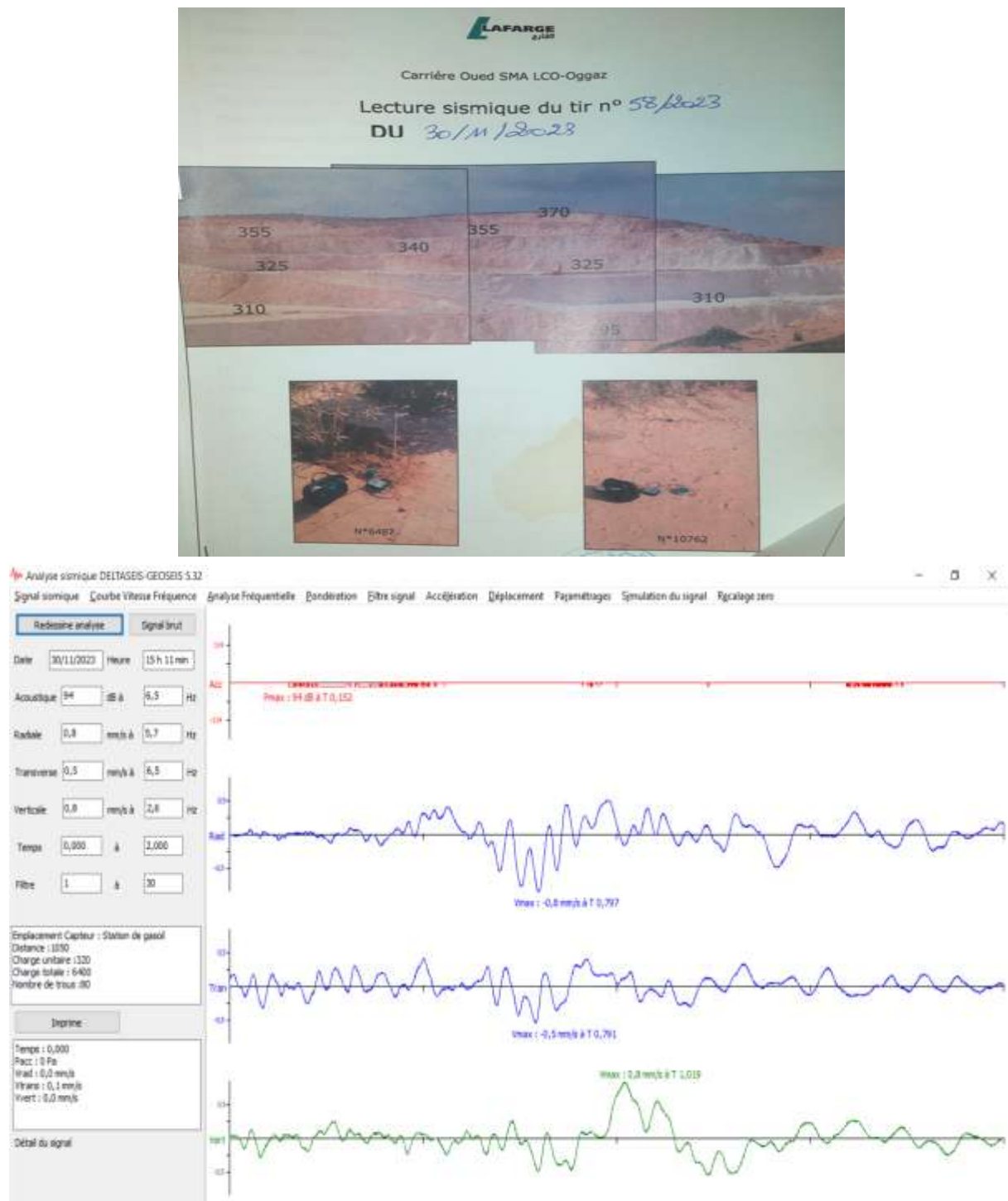


Fig IV.13 :Représentation graphique sismique après le tir

Tab IV.5 : Exemple de mesure par le sismographe

Site d'enregistrement	Distance du site (m)	Charge unitaire (Kg)	Vitesse sismique (mm/s)			Surpression aérienne (db)
			Transversale	Verticale	Radial	
Station de gasoil	1050	320	0,5	0,8	0,8	94

IV.3. Le mode opératoire

La partie concernant le mode opératoire permet d'aborder plus en détail la méthodologie de mesure, telle qu'elle figure dans la réglementation. Cependant nous pouvons déjà dire que la mesure consiste à poser un sismographe sur la surface d'un élément à contrôler à une proximité relative au volé de tir de gradin. L'onde vibratoire se diffuse dans le sol et « atteint » le capteur qui vibre en même temps que son support. On dit que le sismographe enregistre et mesure sa propre vibration.

Pour analyser les vibrations du sol et vérifier leur conformité aux normes, le sismographe utilise des capteurs tri-directionnels appelés géophones. Ces cylindres équipés d'un aimant sur ressorts et d'une bobine convertissent les mouvements du sol en signaux électriques lors du passage d'une onde sismique. L'analyse de ces données permet de déterminer la vitesse particulière des vibrations et ainsi de s'assurer du respect de la réglementation en vigueur.

Le courant ainsi créé est transmis au processeur du sismographe qui le traduit en vitesse et en fréquence. L'évènement enregistré peut-être consulté par l'utilisateur. [16]

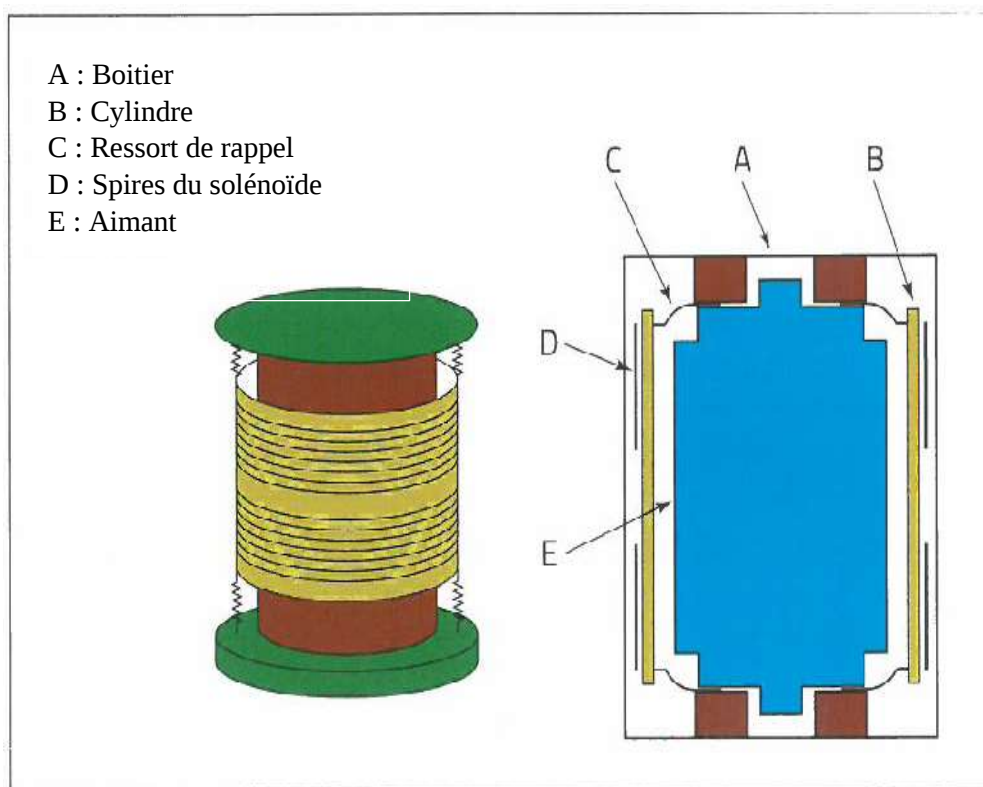


Fig IV.14 : Constitution d'un géophone

IV.4. L'interprétation des valeurs

Selon les modèles de sismographes, il existe plusieurs façons de visualiser le résultat de l'enregistrement :

Le sismographe imprime un ticket après avoir enregistré un évènement sismique ou sur demande. Ce ticket, plus petit qu'un A5, fournit les valeurs maximales captées selon chaque direction (verticale, transversale, radiale) mais n'affiche pas la forme du signal sismique lui-même.

Sous forme de représentation graphique du signal :

Suit à l'enregistrement d'un évènement par le capteur, les données sont transférées par câble, modem (ligne téléphonique ou GSM) ou comme utilisé dans notre carrière par un clé USB intégrée à l'appareil, vers un ordinateur. L'utilisateur peut alors, via un logiciel de traitement spécifique (analyse sismique Deltasei-geoseis) comme montré dans la figure (FigIV.12), visualiser le signal et, la plupart du temps, effectuer des analyses complémentaires. Cette méthode est la seule permettant de confirmer l'imputabilité du signal à un tir de mines.

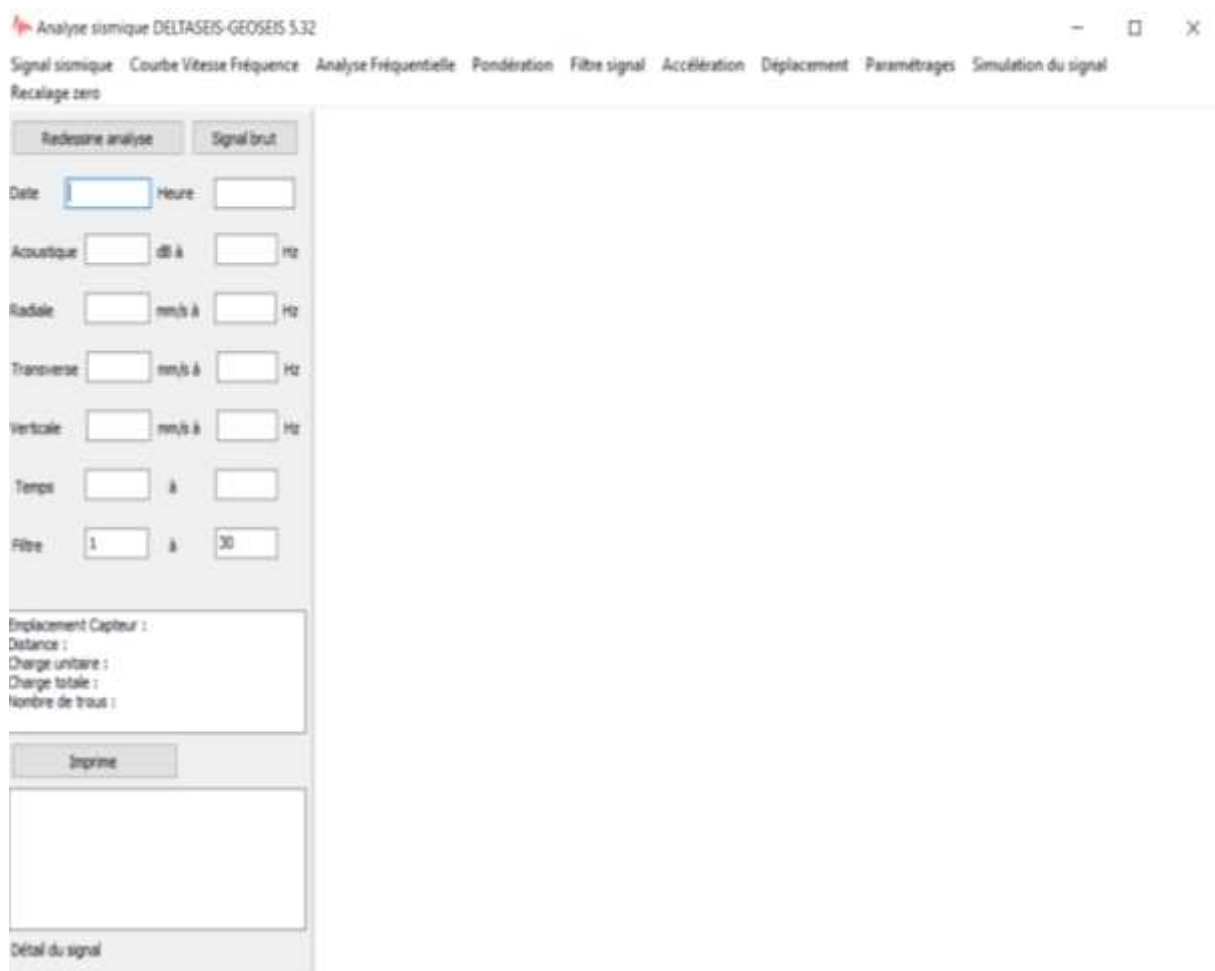


Fig IV. 15 : Le logiciel d'analyse sismique

IV.5. Application de la loi de Chapot

La formule : $V = K \times \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,8}$ ou :

V = vitesse particulière en mm/s ;

D = distance horizontale (en m) entre le point de mesure et le tir ;

Q = charge unitaire instantanée (en kg) ;

K = constantes dépendantes du site.

Statistiquement dans les carrières de roches massives $k = 2500$ en moyenne

$\alpha = 1,8$

Cette loi permet d'établir un tableau des vitesses particulières en fonction de la charge unitaire et de la distance.

N.B : La formule générale pour le calcul de l'onde sismique en fonction des vitesses sismique verticale, transversale, radiale dont les directions X, Y et Z est la suivante :

$$V = \sqrt{V_{x\max}^2 + V_{y\max}^2 + V_{z\max}^2}$$

Tab IV.6 : Tableau des calculs sismiques fais dans la carrière

Essais N°	Volée N°	Distance (m)	Charge instantanée (Kg)	Voie acoustique (db)	Vitesse sismique (mm/s)			Formule de Chapot
					Voie Radiale	Voie Transverse	Voie vertical	
1	325	1182	325	98,8	0,5	0,5	0,5	1,34
2	325	1182	240	100,4	0,8	0,4	0,4	1,02
3	310	1116	320	100,2	0,6	0,3	0,4	1,47
4	310	1050	320	98,5	0,8	0,5	0,8	1,64
5	340	1340	255	94	0,4	0,5	0,5	0,861
6	370	1588	350	117,6	0,317	0,571	0,238	0,843
7	310	700	425	115,6	1,22	1,71	1,37	4,39
8	310	1063	425	114	0,857	0,937	0,46	2,07
9	310	854	350	117,1	0,683	0,825	0,619	2,58
10	280	325	155	133,6	0,746	0,714	0,921	7,04
11	355	1411	437,5	119,9	1,33	1,06	1,14	1,28
12	370	1475	350	122,8	0,571	0,667	0,635	0,963

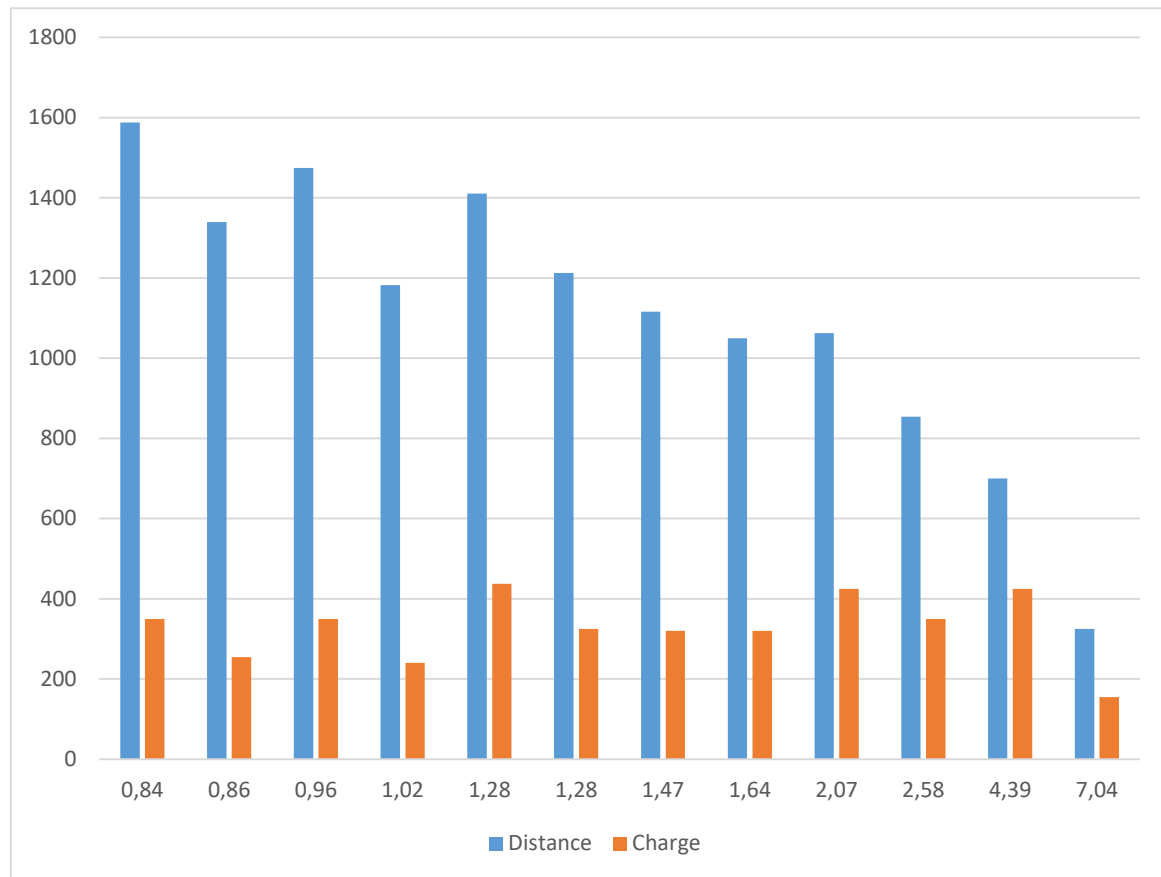


Fig IV.16 : Histogramme montrant la relation entre la vitesse sismique calculée avec la loi de Chapot en fonction de la distance et la charge instantanée

D'après le graphique on remarque que :

- La plus grande vitesse (7.04 mm/s) est atteinte dans le volet N° 280 avec une charge instantanée de 155Kg et à une distance de 325 m.
- La plus petite vitesse (0.843 mm/s) a été enregistrée dans le volet N° 370 avec une charge instantanée de 350 Kg et à une distance de 1588 m.
- Et la plus grande charge instantané (437.5 Kg) a donné une vitesse de 1.28 mm/s à une distance de 1411 m dans le volet N° 355.

Donc, les vitesses sismiques engendré par des tirs dont la charge instantanée peut atteindre 437.5 kg ne dépasse pas 10 mm/s. et, on peut conclure que l'augmentation des vitesses est liée fortement avec l'augmentation de la charge instantanée ainsi que la diminution de la distance.

IV.6. Interprétation des résultats

En mesurant la vitesse particulière pour la comparer avec les normes réglementaires, on répond à la question de nuisance vibratoire et risque de dégâts des habitations riveraines.

A l'inverse, en utilisant la relation de Chapot, connaissant D, connaissant la charge Q, et ayant calculé le coefficient K (après plusieurs tirs antérieurs), on peut prévoir une vitesse particulière par calcul et anticiper les chargements maximums.

On prend la station de gasoil comme un repère de mesure par rapport au point de tir, on obtient les résultats qui sont montrés dans le tableau au-dessus (Tab IV.5).

La distance varie en fonction du gradin choisi à tirer qui dépend des différentes charges de la qualité de calcaire demandé par l'usine qui lui-même dépend de la qualité de ciment demandé par le marché.

On remarque que la vitesse maximale mesurée ne dépasse jamais les valeurs réglementaires 10 mm/s (Lafarge a son propre valeur réglementaire est de 8mm/s pour bien limiter ces vibration), le maximum est 7.04 mm/s mesuré dans le plus proche gradin à l'usine (l'usine est plus proche de tir que la zone urbaine) et pour le bruit la carrière est limitée de 125 db et la valeur maximum atteint par les tirs est 120.6 db.

IV.7. Conclusion

Les résultats que nous avons présentés permettent de conclure que les caractéristiques des charges utilisées dans l'exploitation de la carrière Aoud Sma n'occasionnent pas des dégâts sur les habitations au-delà de plus de 1500 m des points de tir de et même pour les autres stations même si le tir est effectué au gradin le plus proche.

Conclusions générales

Conclusions générales

Au cours de notre campagne de mesure de vibrations acoustiques et sismiques au niveau de la carrière Aoud-Sma, Nous avons constaté que l'enregistrement des ondes sismique et sonores dépend principalement du rapprochement du point de tir ainsi que la quantité d'explosifs utilisés.

Après avoir réalisé des tirs et quantifier leurs impacts en matière des ondes sismiques et sonores il nous a été permis de constater ce qui suit :

- L'ensemble des enregistrements ont permis de constater l'absence totale des risques sismique, la valeur maximale des vitesses est de 7.04 mm/s, cette valeur reste largement au-dessous des valeurs classées dangereuses.

- L'activité sonores est jugée de non nocives, les résultats prouvent qu'elles n'atteignent pas le seuil de danger, les plus grandes mesures étaient de 120.6 dB.

Toutefois, la carrière d'Aoud-Sma est placée dans une zone classée de non risquée, cela est dû aux raisons suivantes :

- L'éloignement des habitations par rapport au site de la carrière (le plus proche habitant est à 2086 m) ;
- L'utilisation des DMR jouant le rôle d'un retardataire d'explosion ;
- le respect des charges réglementées ;
- L'espacement des tirs entre eux.

La loi Chapot va au-delà de la simple conformité aux lois environnementales et de la protection des populations locales contre les effets nocifs des vibrations. Elle vise à réaliser un équilibre durable entre l'activité industrielle, l'environnement et les communautés locales. En examinant le cas de la carrière de Aoud Sma, le respect des lois environnementales constitue une étape positive et n'a pas un impact négatif sur les populations environnantes. Malgré que les normes sont strictes en matière de réduction des vibrations, elles ne causent pas des coûts supplémentaires pour l'entreprise.

La loi de Chapot est un outil utile pour la prédiction et la gestion des vibrations générées par les tirs de mine, mais elle présente des limitations et des inconvénients qui doivent être pris en compte lors de son utilisation.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : Documentation de l'entreprise : LCO - Présentation LCO - Février 2020.
- [2] : Documentation de la carrière : Essais mémoire complet.
- [3] : Rapport géologique actualisé gisement de calcaire Aoud Sma Wilaya de Mascara.
- [4] : Documentation de la carrière : Analyses de stabilité des fronts carrière «Aoud Sma» Oggaz - w. Mascara.
- [5] : Documentation de la carrière : Travaux d'ouverture de carrière «Aoud Sma» Oggaz – Wilaya de Mascara.
- [6] : Documentation de la carrière : Rapport de stage : Cas de Cimenterie Lafarge Holcim, Gadeb Roufaïda 2021-2022.
- [7] : Chapot, P. (1981). loi expérimentale de propagation des vibrations dues aux tirs d'explosifs. Revue française de Géotechnique, (14 bis), 109-113.
- [8] : Elias, H. A. (2014). Prédiction et analyse de la fragmentation des roches dans les conditions Algériennes (Doctoral dissertation, thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba).
- [9] : DJABALLAH, A. (2020). Effet des vibrations liées au tir sur les installations cas d'application carrière de calcaire de Djebel MOHAR–BISKRA (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie. Amar Laskri. Annaba).
- [10] : Société de l'industrie minérale, [juin 2005], "ciel ouvert mines et carrières (élaboration des projets), les techniques de l'industrie minérale Issn 1296-9281", volume 118 page.)
- [11] : Florent Delille, [11/09/2012], "Recherche d'une prédiction de fragmentation"
- [12] : Fredj Mohamed, [2012], "Etude du régime de forage dans les conditions de la carrière de calcaire Chouf Amar M'sila", mémoire magister, Université Badji Mokhtar Annaba.
- [13]. BERDOUDI SAID, “Etude de la mécanique de tir des roches par utilisation des modèles réduits dans les conditions algériennes” thèse doctorat, 2014, Université BADJI MOKHTAR Annaba, pp 118.
- [14] : Kamli, O. Influence du tir à l'explosif sur la stabilité des terrains, Cas de la mine de Fer de Boukhadra (Tébessa).
- [15] : Documentation de la carrière : Documentation-technique-GEOSEIS-et-GEOSEIS-PLUS-2023

[16] : Boustas.S, Kendricha.S (2015). Les effets sismiques de tir et détermination de rayon de la zone dangereuse (Diplôme de Master en Mines et Géologie. UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA-BEJAIA FACULTE DE TECHNOLOGIE)