



Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté de Technologie
Département des Mines et géologie

Memoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Mines

Option : Exploitation Minière

Présenté par

RAHMAOUI Lakhdar

SAIDANI Amine

Thème

*Etude Des Ondes Sismiques Et Sonores Dues
Aux Tirs Des Mines
(Enregistrement In-Situ)*

Soutenu le 23 / 06 /2016 devant le jury composé de:

Président :	MAZA. M	Professeur	U.A.M.B
Promoteur :	AKDIM. A	M.A.A	U.A.M.B
Co- Promoteur :	AISSAOUI. DJ	Docteur	Expert minier
Examineur :	MAZARI.M	M.A.B	U.A.M.B

Année Universitaire: 2015-2016

Remerciements

On rend grâce au dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr AISSAOUI Djelloul, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, son rigueur et sa disponibilité et la mise de son bureau d'étude et de son appareillage a notre disposition durant notre préparation de ce mémoire.

On remercie aussi Mr AKDIM Abdelghani, pour son soutien et sa disponibilité, pour son aide précieuse pour son support dans l'étude.

On remercie aussi les membres de jury ; Le président Mr MAZA Mustapha et L'examineur Mr MAZARI Massoud.

Nous ne pouvons passer sous silence sans remercier chaleureusement nos familles et nos collègues pour leurs soutien moral qu'ils nous auront fournissent tout au long de la réalisation de ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenue de près ou de loin principalement Les encadreurs BOU NAADJA Touffik et HAOUASSINE Lakhdar au niveau des deux carrières (Bouandas et Adrar Oufarnou) qui malgré leurs multiples responsabilités ont été très disponibles pour nous expliquer et nous renseigner, qu'ils trouvent en ces mots nos sentiments de profonde gratitude.

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail à :

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, celle qui m'a donné le symbole de tendresse, ma vie et mon bonheur ; **maman** que j'adore.*

*A l'homme qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger, à toi **mon père***

.

*A Mes chers frères : **Oualid et Abderrazak.***

*A mes sœurs : **Siham et Ahlam***

A chaque cousins et cousines.

*A mon collègue avec qui j'ai partagé ce travail **Amine** et sa famille.*

*A tout mes **collègues** de la promotion 2^{ème} année master exploitation minière (2016).*

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin a la réalisation de ce travail.

A tous mes amis(es).

A tous ceux qui me sont chères.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

Lakhdar

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail à :

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, celle qui m'a donné le symbole de tendresse, ma vie et mon bonheur ; **maman** que j'adore.*

*A l'homme qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger, à toi **mon père***

*A Mes chers frères : **Faouzi, Mouloud et Ouail.***

*A ma sœur : **Lydia***

*A ma chère fiancée **Nina***

A chaque cousins et cousines.

*A mon cousin **Boualem***

*A Mr **Makhloufi Laid***

*A mon collègue avec qui j'ai partagé ce travail **Lakhdar** et sa famille.*

*A tout mes **collègues** de la promotion 2^{ème} année master exploitation minière (2016).*

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin a la réalisation de ce travail.

A tous mes amis(es).

A tous ceux qui me sont chères.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

Amine

Table des matières

Remerciement	
Dédicaces	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	

Chapitre I: Ondes sismiques et sonores dues aux tirs des mines.

Introduction.....	03
I.1. Généralités sur l'exploitation à ciel ouvert.....	03
I.1.1. Notion d'une carrière	04
I.1.1.1. Eléments du gradin.....	04
I.1.2. Paramètres et techniques d'exploitation d'une carrière	05
I.1.2.1. Hauteur du gradin.....	05
I.1.2.2. Largeur de la plateforme.....	06
I.1.2.3. Longueur du bloc.....	06
I.1.3. Les étapes de l'exploitation à ciel ouvert.....	06
I.2. L'abattage à l'explosif.....	07
I.2.1. L'objectif de l'abattage.....	08
I.2.2. Massif rocheux	09
I.2.2.1. La matrice rocheuse.....	09
I.2.2.2. La discontinuité.....	10
I.2.3. les explosifs.....	10
a) La déflagration.....	10
b) La détonation.....	11
I.2.3.1. Caractéristiques des explosifs utilisés dans le domaine minier.....	12
I.2.3.2. Explosifs produits en Algérie « Office National des substances Explosive » (ONEX).....	13
1) Gelanit.....	13
2) Marmanit.....	14
3) Temex.....	15
4) Anfomil	15
5) Accessoires de tir.....	16

I.2.4. Paramètres du tir	18
I.2.4.1. Paramètres pratiques.....	18
I.2.5. Géométrie du plan de tir et du chargement.....	19
I.2.6. Effet général des ondes de choc dans le massif rocheux.....	20
I.2.6.1. La zone de broyage.....	21
I.2.6.2 La zone de fissuration radiale (zone transitoire).....	21
I.2.6.3. La zone sismique.....	21
I.3.les ondes sismiques et les ondes sonores.....	22
I.3.1. Notions vibratoires générales.....	22
I.3.1.1. Analyse est mesure des vibrations.....	25
a) Détection.....	25
b) Transmission.....	26
c) Stockage des signaux.....	27
d) Traitement des signaux	27
I.3.1.2. Evaluation de l'impact vibratoire des tirs de mines	28
a) Paramètres influents sur l'évaluation.....	28
I.3.1.3. Impact des ondes sismiques sur l'environnement.....	30
a) Impact des vibrations sur les individus.....	30
b) Effet des vibrations sur la santé.....	30
c) Impact des vibrations sur les structures.....	30
I.3.1.4. Dégâts possibles sur les structures.....	31
I.3.2. Généralités sur les ondes sonores.....	33
I.3.2.1. Appareils de mesure.....	34
I.3.2.2. L'onde sonore lors de tir de mines.....	35
I.3.2.3. L'origine et la description physique du phénomène.....	35
I.3.2.4. Caractérisation de l'onde sonore générée par un tir de mine.....	36
a) Propagation.....	36
b) Directivité.....	37
c) Interférences.....	38
d) Puissance.....	38
I.3.2.5. Mesure d'une onde sonore du au tir de mine.....	38
I.3.2.4. L'impact des ondes sonores sur l'environnement.....	40
I.3.3. La sécurité du tir.....	40
II.3.3.1. Les principes généraux la prévention.....	40

I.4. Réglementation concernant les vibrations sismiques et acoustiques.....	41
I.4.1. Réglementation concernant les vibrations.....	41
I.4.2. Réglementation concernant la surpression aérienne.....	42
Conclusion.....	43

Chapitre II: Présentation des sites expérimentaux.

II.1. Présentation du premier site.....	44
II.1.1. Fiche technique.....	44
II.1.2. Situation géographique.....	44
II.1.3. Situation administrative.....	45
II.1.4. Superficie du gisement, de la zone d'exploitation.....	45
II.1.5. Historique des travaux.....	45
II.1.6. Résumé sur les résultats des travaux de recherche.....	46
II.1.7. Géologie du gisement.....	47
II.1.7.1. Structure du gisement.....	47
II.1.7.2. Stratigraphie.....	47
II.1.7.3. Etude pétrographique.....	47
II.1.7.4. Tectonique.....	47
II.1.8. Les réserves du gisement.....	48
II.1.8.1. Etat des réserves exploitables et leurs classifications.....	48
II.1.8.2. Réserves et méthode de calcul utilisée.....	49
II.1.9. Travaux d'abattage et de tir.....	49
II.2. Présentation du deuxième site.....	50
II.2.1: Fiche technique.....	50
II.2.2. Localisation du site.....	50
II.2.3. Géologie du gisement.....	51
II.2.4. Les réserves.....	52
II.2.5. Travaux d'abattage.....	52
II.2.6. Travaux de tir.....	54
II.2.6.1. Schéma générale de chargement d'un trou de mine.....	54
II.2.6.2. L'amorçage.....	55
II.2.7. les mesure de sécurité la stabilité des sols.....	55
II.3. Appareillage utilisés (DELTA SEIS 1).....	56
II.3.1. Présentation.....	56

II.3.2. Caractéristiques techniques.....	56
II.3.3. Mode d'emploi.....	57
II.3.3.1. Généralités.....	57
II.3.3.2. Branchement des captures.....	58
II.3.3.3. Mise en marche.....	58

Chapitre III:Présentation et discussion des résultats.

Introduction.....	61
III.1. Enregistrement des tirs de la carrière d'Adrar Oufarnou.....	61
III.1.1 Première classe d'enregistrement.....	61
III.1.1.1. Résultats obtenus pour la première classe d'enregistrement.....	62
III.1.1.2. interprétation des résultats.....	62
III.1.2 Deuxième classe d'enregistrement.....	63
III.1.2.1. Résultats obtenus pour la deuxième classe d'enregistrement.....	63
III.1.2.2. interprétation des résultats.....	66
III.1.3. Troisième classe d'enregistrement.....	66
III.1.3.1. Résultats obtenus pour la troisième classe d'enregistrement.....	66
III.1.3.2. interprétation des résultats.....	71
III.1.4. Quatrième classe d'enregistrement.....	71
III.1.4.1. Résultats obtenus pour la quatrième classe d'enregistrement.....	71
III.1.4.2. interprétation des résultats.....	77
II.1.5. Evaluation des risque sur la zone voisine a la carrière d'Adrar Oufarnou.....	77
III.2. Enregistrement des tirs de la carrière de Bouandas.....	77
III.1.1. Présentation des enregistrements.....	78
III.1.1.1. Résultats obtenus.....	78
III.2.1.2. interprétation des résultats.....	85
III.2.2. Evaluation des risque sur la zone voisine a la carrière de Bouandas.....	85
Conclusion.....	86
Conclusion générale.....	87
Bibliographie.....	89
Annexe	
Résumé	

Liste des Abréviations

ONEX : Explosifs produits en Algérie « Office National des substances Explosive

DER : Détonateurs à retard demi-seconde

DMR : Détonateurs microretard

DEI : Détonateurs Electrique Instantané

UTM : Transverse universelle de Mercator

Vr : Voie Radiale

Vv : Voie Verticale

Vt : Voie Transverse

Acc : Voie acoustique

ENOF : L'Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles

EURL : Entreprise Unipersonnelle a Responsabilité limitée

La liste des figures

Chapitre I: ondes sismiques et sonores dues aux tirs des mines.

Figure I.01: Les éléments du gradin.....	05
Figure I.02: Photos d'un abattage à l'explosif.....	08
Figure I.03: Propagation d'onde de détonation.....	11
Figure I.04: Diamètre critique de détonation.....	12
Figure I.05: Les types d'explosif selon leur vitesse de détonation.....	12
Figure I.06: Représentation des paramètres pratiques d'un tir de mines.....	19
Figure I.07: Principaux paramètres de plan de chargement.....	20
Figure I.08: Développement de la fissuration et de la fracturation.....	22
Figure I.09: Onde primaire P.....	23
Figure I.10: Onde secondaire S.....	24
Figure I.11: Onde de love L.....	24
Figure I.12: Onde de Rayleigh R.....	25
Figure I.13: Construction d'un géophone.....	26
Figure I.14: Exemple de résultat de vibrations en champs libre.....	28
Figure I.15.A: Courbe de mesure de bruit de choc.....	34
Figure I.15.B: Courbe de mesure de bruit d'explosion.....	34
Figure I.16: la propagation des ondes sonores et les ondes sismiques dans un milieu.....	37
Figure I.17: Vibration de tir de mine norme française.....	42

Chapitre II: Présentation des sites expérimentaux.

Figure II.01. Situation géographique de la carrière Adrar Oufarnou.....	44
Figure II.02: Coupe géologique NS.....	48
Figure II.03: Situation géographique du gisement djebel Bouandas.....	52
Figure II.04: Enregistreur DELTA SEIS 1.....	56
Figure II.05: Branchement des captures sismique et acoustique.....	58
Figure II.06: Mise à marche de l'appareil DeltaSeis 1.....	59
Figure II.07: Les menus affichés après démarrage.....	59
Figure II.08: Menu paramétrage qui permet de modifier les différents paramètres.....	60

Chapitre III: présentation et discussion des résultats.

Figure III.01: Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°: 104.....	64
Figure III.02: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°: 104.....	65
Figure III.03: Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°:109.....	67
Figure III.04: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°: 109.....	68
Figure III.05: Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°: 112.....	69
Figure III.06: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°: 112.....	70
Figure III.07: Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°: 108.....	73
Figure III.08: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n° :108.....	74
Figure III.09: Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°: 111.....	75
Figure III.10: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°: 111.....	76
Figure III.11: Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°: 105.....	79
Figure III.12: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°: 105.....	80
Figure III.13: Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°: 106.....	81
Figure III.14: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°: 106.....	82
Figure III.15: Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°: 107.....	83
Figure III.16: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°: 107.....	84

La liste des tableaux

Chapitre I: ondes sismiques et sonores dues aux tirs des mines.

Tableau I.01: Caractéristiques techniques de la Gelanit.....	13
Tableau I.02: Dimensions et conditionnement de Gelanit.....	13
Tableau I.03: Caractéristiques techniques de la Marmanit.....	14
Tableau I.04: Dimensions et conditionnement de Marmanit.....	14
Tableau I.05: Caractéristiques techniques de la Temex.....	15
Tableau I.06: Dimensions et conditionnement de Temex.....	15
Tableau I.07: Caractéristique de l'anfomil.....	16
Tableau I.08: Caractéristiques techniques des cordeaux détonants.....	17
Tableau I.09: la relation entre les vitesses de vibrations et les dommages causés à des immeubles fondés.....	32
Tableau I.10: Influences de la fréquence sur les structures.....	32
Tableau I.11: Valeurs maximales admissibles pour des canalisations enterrées.....	41

Chapitre II: Présentation des sites expérimentaux.

Tableau II.01: Périmètre et superficie du gisement.....	45
Tableau II.02: Caractéristiques techniques de produits.....	46
Tableau II.03: Réserves géologique et exploitables.....	49
Tableau II.04: Cordonnée topographique du périmètre.....	50
Tableau II.05: Classification des fronts suivant la fissuration.....	53
Tableau II.06: Destructibilité à l'explosif en fonction de la consommation étalon.....	53
Tableau II.07: Epaisseur à abattre en tant que fonction de la consommation spécifique en explosif.....	54
Tableau II.08: Caractéristiques techniques de l'appareil.....	57

Chapitre III: présentation et discussion des résultats.

Tableau III.1: Les tentatives d'enregistrement échoué.....	62
Tableau III.2: Les tentatives d'enregistrement non significatif.....	63
Tableau III.3: Indices des tirs de la troisième classe.....	66
Tableau III.4: Indices des tirs de la quatrième classe.....	72

Tableau III.5: Les enregistrements du carriere de Bouandas..... 78

Introduction générale

Dans le monde, la consommation des matières premières minérales ne cesse de croître, pour cela il nous faut toujours des nouvelles ressources en matières naturelles en continuant de procéder à la recherche des nouveaux gîtes.

L'Algérie est l'un des pays riches en matières premières. Les bases minières nationales de grande envergure constituent nos gisements de fer, de cuivre, de plomb, de zinc, etc. ... et d'autres substances à partir desquelles s'est développée notre compétence en exploitation.

L'exploitation de n'importe quel gisement exige des investissements très importants ce qui nécessite une étude très particulière de l'opération d'abattage des roches, car c'est le premier maillon de toute la chaîne technologique suivant lequel la réussite des travaux d'extraction y dépend énormément.

Le tir à l'explosif joue un rôle important pour parvenir à un rendement optimum du point de vue technique et économique. Dans tous les cas, il est souhaitable d'obtenir une granulométrie optimale compte tenu de la chaîne chargement - transport et éventuellement concassage en aval. Cependant, la multiplicité des paramètres mis en jeu rend difficile la maîtrise de cette opération.

Parmi l'énergie libérée lors de l'abattage à l'explosif, une partie est consacrée à la fragmentation de la roche, et un autre est dissipée sous forme d'onde sismique qui se propage dans le massif et d'onde sonore qui se propage dans l'air. La part de ces ondes qui ne participe pas à la fragmentation peut donc être considérée comme perte d'énergie, c'est à-dire comme nuisance. On va donc chercher à les limiter.

Ce phénomène a des impacts distingués sur l'environnement qui sont la projection des débris, les vibrations solidiennes et les surpressions aériennes, ces deux dernières sont les plus nuisances.

Un stage au niveau de deux carrières nous a permis de voir le fonctionnement de l'exploitation ainsi que de nous initier à la pratique des tirs. Là où on a effectué plusieurs séries de mesures des vibrations dues aux tirs de mines,

Une étude bibliographique relative aux explosifs ainsi qu'aux vibrations liées aux tirs de mines et leurs impacts sur l'environnement été nécessaire. Celle-ci est présentée dans le premier chapitre.

Dans le deuxième chapitre on a présenté les deux carrières (ISSAADI Mustapha Bouandas et celle de ENOF Adrar Oufarnou) et ainsi l'appareillage de mesure utilisés.

Et en fin dans le troisième chapitre, on a présenté et interprété nos résultats dans chaque carrière avec une discussion sur le danger au niveau des deux zones (Bouandas et Béjaia).

Chapitre I :
Ondes sismiques et sonores dues aux
tirs des mines

Introduction

L'abattage des roches représente le maillon le plus important des processus technologiques de l'exploitation des gisements. Il consiste à modifier l'état naturel des roches dans le but d'améliorer le processus de leur extraction et à la destruction des roches au niveau du massif et leur obtenir sous-forme de morceaux abattus de grosseurs et de volumes différents.

En pratique minière, Les travaux de tir sont largement utilisés dans les exploitations des roches dures. La qualité de ce dernier prédétermine en grande partie le rendement des engins miniers, la sécurité de travail, et d'une manière générale l'efficacité des travaux.

L'explosion d'une charge crée une onde de choc dans les terrains avoisinants qui s'atténue rapidement et se transforme en ondes élastiques. Les nuisances dues à l'onde de sol sur les constructions comprennent :

- Effets directes comme la fissuration proviennent à des sources impulsionnelles intenses.
- Effets indirectes par la densification du sol à vibrations.

L'étude des vibrations, ses propagations et ses méthodes de mesure, ces conséquences de l'explosion ont un effet indésirable ce qui nous a conduit à rechercher leur origine et la manière adéquate afin de les minimiser. Ces ondes sismiques sont dû aux effets arrières du tir de mine .c'est cet aspect qui va être développé dans la suite de cette partie. [1]

I.1. Généralités sur l'exploitation à ciel ouvert

L'exploitation à ciel ouvert consiste à enlever les stériles de recouvrement et à accéder au gisement à partir du jour. On l'appelle également découvertes. Selon le pendage ; les gisements en découvertes se classent de la façon suivante :

- Gisements plats de 0 à 10°,
- Gisements inclinés de 10 à 30°,
- Gisements dressants plus de 30°. [2]

I.1.1. Notion d'une carrière

La carrière est l'ensemble des ouvrages destinés à l'exploitation des gisements en découvertes. Une carrière à ciel ouvert est exploitée à l'air libre, soit à flanc de colline, soit dans une fosse qui va en s'approfondissant et en s'élargissant. Le profil d'une telle carrière montre des gradins constituant le front de taille et progressant horizontalement dans le matériau. La hauteur des gradins va de 10 m à 20 m, la pente du talus limitant un gradin est de 60° à 80° , elle est dépendante de la tenue des terrains. Entre chaque gradin, il existe des banquettes horizontales réunies entre elles par des rampes, assurant ainsi la circulation des camions qui évacuent les matériaux. Avant d'ouvrir une telle carrière, il faut vérifier si le volume de stériles ou morts terrains à extraire n'est pas trop important par rapport au volume de matériaux. De plus, ce type de carrière montre quelques avantages par rapport à l'exploitation souterraine : le gisement peut être exploité à son maximum, il n'y a pas d'espaces semi-abandonnés, comme pour les exploitations souterraines. [2]

I.1.1.1. Eléments du gradin

Le gradin est une tranche du minerai ou du stérile ayant la surface de travail sous forme d'une marche d'escalier. On distingue les éléments des gradins suivants (fig1) :

a = plate-forme inférieure ;

b = plate-forme supérieure ;

c = arête supérieure ;

d = arête inférieure ;

e = talus ;

β = angle de talus ;

h = hauteur de gradin.

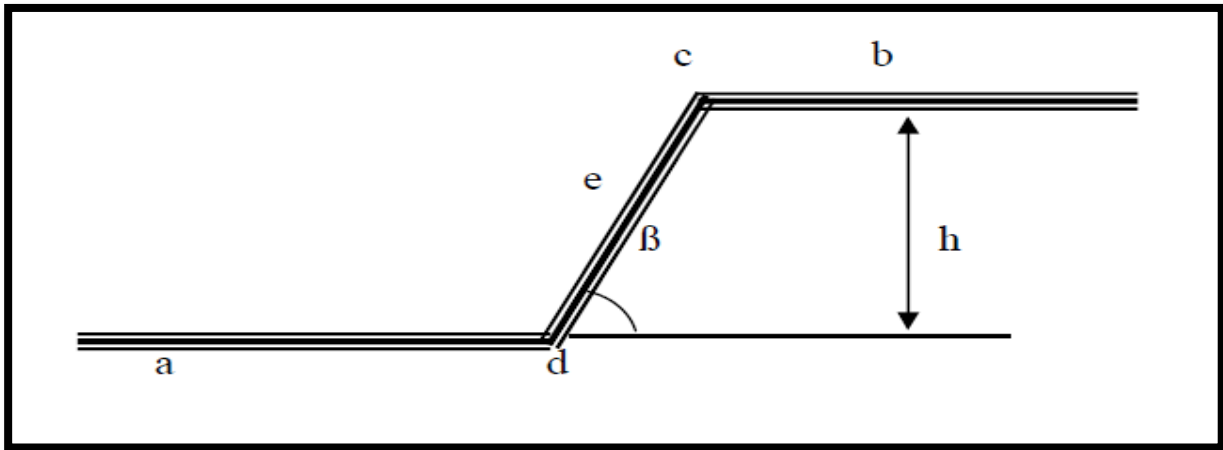


Figure I.01: Les éléments du gradin.[1]

I.1.2. Paramètres et techniques d'exploitation d'une carrière

Les paramètres principaux de l'exploitation de la carrière sont :

- Hauteur du gradin,
- Largeur de la plate-forme de travail,
- Longueur du bloc,
- Longueur et sens de marche du front de travail.

Ils sont commandés par la nature du gisement et dans une très large mesure, par des engins de déblayement et de transport. [2]

I.1.2.1. Hauteur du gradin

Elle est choisie en fonction des paramètres de travail d'excavateur, de l'organisation des travaux de forage et de tir, de la sécurité de travail et d'autres facteurs. Dans les roches tendres exploitées sans foisonnement préalable, la hauteur du gradin ne doit pas dépasser la hauteur du creusement maximal de l'excavateur. Dans les terrains meubles ou dans les roches dures, mais bien fragmentées par tir à explosif, la hauteur du gradin ne doit pas être supérieure à 1,5 la hauteur du creusement maximal. [2]

I.1.2.2. Largeur de la plateforme

La largeur de la plateforme est ordonnée selon les dimensions des engins de déblayement, de transport et par la technique de tir. Lorsque l'abattage se fait à l'explosif, la largeur minimale de la plate-forme de travail est appréciée par la formule suivante :

$$L_{p.t.} = \sum Z + T + C + X + A, [m].$$

Où :

Z : la largeur du prisme éventuel d'éboulement, [m].

Elle est donnée par : $Z = h (\text{ctg } \alpha - \text{ctg } \delta)$, [m].

h : la hauteur du gradin, [m].

α : l'angle de talus de gradin en exploitation ($60^\circ - 80^\circ$).

δ : l'angle de talus de liquidation ($35^\circ - 60^\circ$).

T : la largeur de la voie de transport, [m].

C : la distance entre l'arête inférieure du tas et la voie de transport (2 - 2,5), [m].

X : la largeur du tas des roches abattues en dehors de l'enlevure, [m].

A : la largeur de l'enlevure en massif, [m].

I.1.2.3. Longueur du bloc

Suivant la longueur, un gradin peut être divisé en blocs qui s'exploitent par des moyens d'abattage et de chargement indépendants. La longueur du bloc est de 200 à 400 m lors du transport par wagons et locomotives et de 100 m à 250 m lorsque le transport se fait par camions. [2]

I.1.3. Les étapes de l'exploitation à ciel ouvert

L'exploitation à ciel ouvert se fasse en plusieurs étapes qui sont les suivantes :

- Préparation de la surface à l'emplacement du gisement qui comprend le défrichage, l'assèchement des marécages, le déplacement des roches, la démolition des différentes constructions,

- Assèchement du champ de carrière et prise de mesures contre l'afflux d'eau qui consiste à protéger la carrière contre l'inondation par des eaux de pluies ou par celles souterraines. On le fait par creusement des fossés d'évacuation ou d'un réseau des voies de drainages souterraines ou encore par sondages équipés de pompes,
- Ouverture du champ de carrière qui a pour but de réaliser l'accès aux moyens de transport à partir de la surface jusqu'au niveau de travail,
- Enlèvement des stériles de recouvrement qui est destiné à dégager la substance à exploiter,
- Enlèvement de la substance utile en conformité de la production prévue de la carrière et des exigences émises à la qualité des produits extraits. [2]

I.2. L'abattage à l'explosif

L'abattage à l'explosif est aujourd'hui la technique la plus simple et la plus répandue dans les carrières de roches massives. Elle permet de fragmenter des volumes importants de roche pour la reprise et le traitement du matériel abattu.

La première étape du processus, l'abattage à l'explosif constitue un élément clé de la chaîne, c'est le premier élément du processus industriel, et en particulier le premier élément de la chaîne de réduction granulométrique. L'abattage joue donc un rôle important sur une carrière : la maîtrise du tir va permettre de garantir la sécurité lors de l'opération, de limiter les coûts engendrés par l'opération en elle-même, de réduire les nuisances et satisfaire les contraintes réglementaires, et enfin d'obtenir une granulométrie adaptée aux installations et à ce que l'on veut faire du produit. Cependant, les agrégats ayant une valeur unitaire faible, les marges dans l'industrie du granulat sont peu importantes. Par conséquent, les carriers ont souvent tendance à se concentrer sur l'aval du processus industriel, le produit fini, et peu sur l'amont, et les études techniques en recherche et développement dans le domaine de l'abattage souffrent quelque peu d'un manque de visibilité et d'enthousiasme quant à la mise en pratique chez les exploitants. Il existe toutefois différentes méthodes et divers outils qui permettent de mieux maîtriser l'abattage, pour améliorer son résultat. [3]



Figure I.02:Photos d'un abattage à l'explosif.[15]

I.2.1. L'objectif de l'abattage

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. De plus, l'étendue actuelle des possibilités en termes d'explosifs et les compétences qui existent aujourd'hui dans le domaine ont contribué à l'habitude avec ce procédé.

A partir d'une succession d'opérations a priori simples, implantation et foration de trous, chargement et amorçage des explosifs, l'abattage à l'explosif va avoir différents objectifs :

- assurer la sécurité, c'est à dire pas de projections et pas de tirs bloqués ou pans non abattus ;
- 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 la carrière avec :
 - une bonne sortie du pied ;
 - un bon alignement des fronts et de la plateforme ;
 - des effets arrière réduits. [3]

I.2.2. Massif rocheux

Les massifs rocheux sont des structures très complexes, formé d'une juxtaposition de matériaux hétérogènes. Ils sont assimilés à un assemblage de blocs appelés matrice rocheuse lesquels sont délimités par des discontinuités constituées de fissures, de fractures, ou de failles ou encore de limites stratigraphique qui affectent fortement leur stabilité et plus généralement leur comportement mécanique.

Le comportement mécanique d'un massif rocheux dépend d'une part du matériau rocheux qui le constitue, d'autre part, des discontinuités qui le découpent.

I.2.2.1. La matrice rocheuse

Le Comité Français de Mécanique des Roches (CFMR-MMR [2000]) définit la roche comme étant un assemblage de minéraux qui ont acquis des liaisons plus ou moins fortes au cours de leur histoire géologique.

Trois catégories principales sont à l'origine de la classification des roches :

1. Roches magmatiques : elles résultent du refroidissement du magma (granite, basaltes, etc). [3]
2. Roches sédimentaires : elles résultent de la décomposition des roches d'origine magmatiques ou métamorphiques et couvrent plus de trois quarts de la surface des continents et presque la totalité des fonds des océans. Elles sont caractérisées par leur épaisseur limitée (calcaires, grés, roches argileuses, etc).

3. Roches métamorphiques : leur formation est due à un phénomène de transformation à l'état solide des roches sédimentaires ou magmatiques sous l'effet de hautes pressions et/ou augmentation de la température (marbre, schistes, micaschistes, gneiss...). [3]

I.2.2.2. La discontinuité

Le terme de discontinuité désigne toute interruption physique de la roche qui résulte de la genèse et de l'histoire géologique du massif rocheux. Elle peut être donc d'origine sédimentaire, magmatique ou métamorphique : plan de stratification, diaclase, prismation de basaltes, failles, plan de foliation, ou d'origine tectonique : fractures, failles, schistosité.

Paramètres géométriques des discontinuités sont :

- a) Orientation : position du plan de la discontinuité dans l'espace. Les orientations des discontinuités déterminent la forme de blocs individuels existant dans un massif rocheux et par suite elles sont responsables de leur anisotropie.
- b) Espacement : c'est la distance moyenne entre deux discontinuités les plus proches d'une même famille mesurée perpendiculairement à celles-ci.
- c) Etendu : l'extension ou taille des discontinuités correspond à la surface totale de la discontinuité dans l'espace.
- d) Ouverture : distance entre épontes ; ce paramètre affecte largement la perméabilité des discontinuités et par suite leur comportement hydromécanique. Il est défini comme étant la distance entre les deux épontes d'une discontinuité mesurée perpendiculairement.
- e) Remplissage : matériau remplissant totalement ou partiellement la discontinuité.[3]

I.2.3. les explosifs

Un explosif est une substance ou un mélange de substances susceptible de se décomposer très rapidement, par réaction chimique, en libérant brutalement une grande quantité d'énergie.

On distingue deux types de décomposition des explosifs chimiques :

a) La déflagration

La déflagration est une combustion explosive se propageant par conductivité thermique. En brûlant, une particule de substance explosive chauffe les particules voisines. Une fois la

température d'auto inflammation atteinte, ces particules brûlent à leur tour et échauffent d'autres particules.

Les vitesses de propagation de la déflagration s'établissent de quelques centimètres à plusieurs dizaines de mètres par seconde. Les vitesses dépendent de nombreux facteurs comme la nature de la substance, le mode d'amorçage, le confinement, les conditions ambiantes, etc.

Les substances explosives solides dont le régime normal de décomposition est la déflagration sont appelées des poudres. [2]

b) La détonation

La détonation est une réaction chimique extrêmement rapide, exothermique et auto entretenue. Cette réaction s'accompagne d'un dégagement en un temps très court d'un grand volume de gaz chaud couplé à une onde de choc (discontinuité brusque de pression). C'est cette onde de choc qui assure la propagation de la réaction chimique par effet "points chauds, les vitesses de détonation vont de 2000 à 6000 m/s, et varient selon la nature de la substance et les conditions de mise en œuvre.

Une substance explosive dont le régime normal de décomposition est la détonation est appelée : explosif.

On dit que l'explosif est brisant lorsque l'effet de l'onde de choc est prépondérant.

On parle d'explosif poussant (ou lent), lorsque l'effet de la détente des gaz est prépondérant. [2]

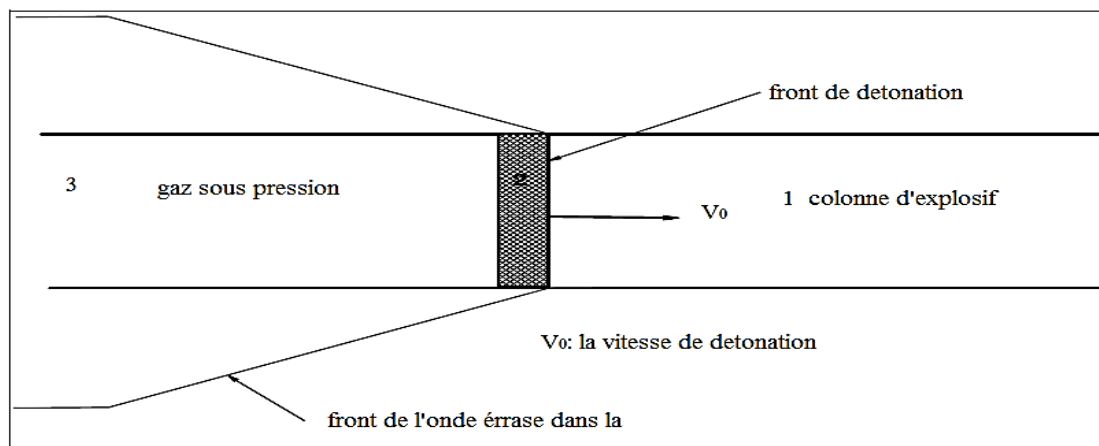


Figure I.03: Propagation d'onde de détonation.[4]

Zone 1: l'explosif avant réaction.

Zone 2 : zone de réaction chimique.

Zone 3 : zone des produits de réaction.

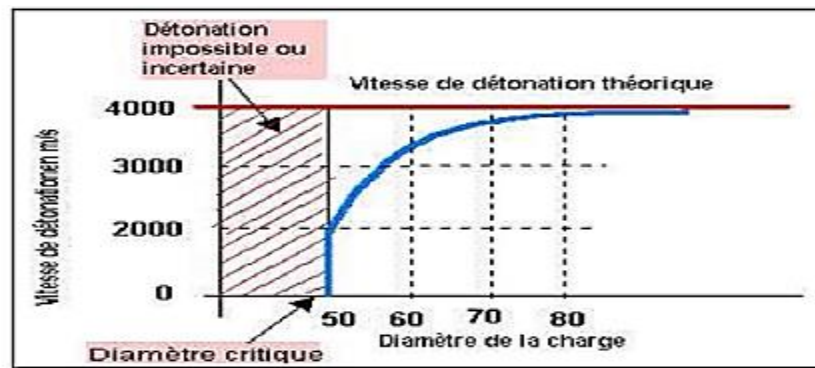


Figure I.04: Diamètre critique de détonation.[4]

I.2.3.1. Caractéristiques des explosifs utilisés dans le domaine minier

La puissance d'un explosif est proportionnelle à la vitesse de détonation, dans laquelle cette décomposition se produit. Elle détermine le régime normal de la décomposition de l'explosif, ce qui permet de classer les explosifs en deux catégories :

- Explosifs déflagrants, appelés aussi « poudres », se décomposant à une vitesse inférieure à 100 m/s.
- Les explosifs détonants conventionnellement appelés « explosifs », dont la vitesse de décomposition est supérieure à 1000 m/s. Ce sont les dynamites, les explosifs nitrates... etc.[5]

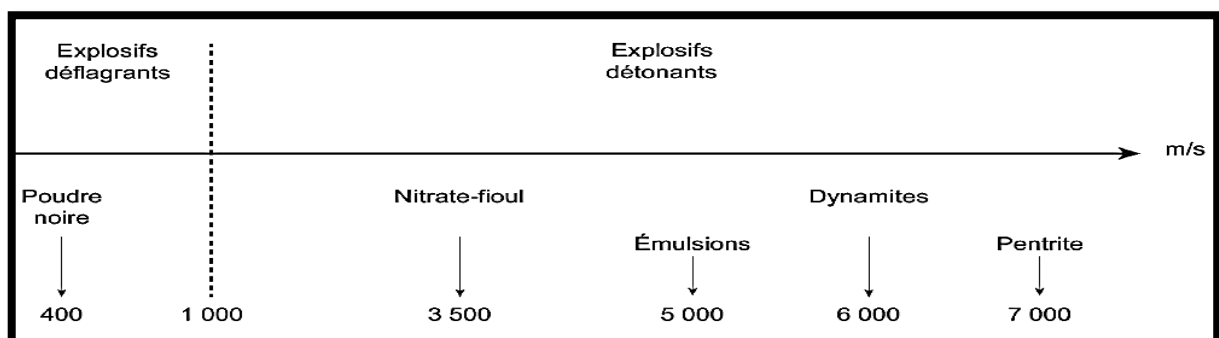


Figure I.05: Les types d'explosif selon leur vitesse de détonation.[5]

I.2.3.2. Explosifs produits en Algérie « Office National des substances Explosive » (ONEX)

1) Gelanit

La gélanite est un explosif nitré d'une consistance gélatineuse dont la couleur varie du jaune au marron clair. Ce type d'explosif est caractérisé par une densité élevée traduit par une vitesse de détonation important.

➤ Utilisation

Utilisée dans des terrains à roches dures à semi dures, pour des travaux d'abattage à ciel ouvert ou en souterrain.

➤ Avantages

- Consistance gélatineuse très résistante à l'eau ;
- Explosif dense traduit par une vitesse de détonation élevée ;
- Capacité d'abattage des roches très dures même en présence d'eau.[5]

Tableau I.01:Caractéristiques techniques de la Gelanit.[5]

Gamme d'explosifs	GELANIT I	GELANIT II
Densité d'encartouchage (g/cm ³)	1,45	1,50
Vitesse de détonation (m/s)	5800	5500
Essais au bloc de plomb (TRAUZL) 10g /cm ³	400	360

➤ Dimensions et conditionnement

Tableau I.02:Dimensions et conditionnement de Gelanit.[5]

Diamètre (mm)	25	30		50	65	80
Longueur (mm)	130	120	240	360	500	340
Poids (g)	100	125	250	860	2150	2150

2) Marmanit

La marmanit est un explosif pulvérulent de couleur grise, constituée de nitrate d'ammonium et d'un explosif brisant comme le TNT.

➤ Utilisation

- Utilisable dans les terrains secs ou faiblement humides
- Elle est adaptée aux terrains à roche tendre à mi-dures.

➤ Avantages

- Explosif de sureté, peu sensible aux actions mécaniques ;
- Explosif caractérisé par une charge linéaire réduit qui favorise son utilisation pour les terrains mi-durs.[5]

Tableau I.03:Caractéristiques techniques de la Marmanit.[5]

Gamme d'explosifs	MARMANIT 1	MARMANIT 2	MARMANIT 3
Densité d'encartouchage (g/cm ³)	0,95	1.05	1,00
Vitesse de détonation (m/s)	4400	4500	4200
Essais au bloc de plomb (TRAUZL) 10g /cm ³	405	370	360

➤ Dimensions et conditionnement

Tableau I.04. Dimensions et conditionnement de Marmanit.[5]

Diamètre (mm)	30	50	65	80
Longueur (mm)	135	610	750	500
Poids (g)	100	1250	2500	2500

3) Temex

Le temex fait partie de la famille des explosifs en émulsions. Ce type d'explosif fabriqué par l'ONEX par rapport aux explosifs classiques des avantages substantiels à savoir :

- Produit hydrofuge, utilisé à ciel ouvert et en souterrain, même en milieu subaquatique.
- Produit plus sécurisant lors du transport, du stockage et de l'utilisation.[5]

Tableau I.05:Caractéristiques techniques de la Temex.

Gamme d'explosifs	TEMEX 1	TEMEX 2
Densité d'encartouchage (g/cm ³)	1.22	1.22
Vitesse de détonation (m/s)	4500-5500	4000-5000
Essais au bloc de plomb (TRAUZL) 10g /cm ³	≥ 320	≥ 260

- Dimensions et conditionnement

Tableau I.06:Dimensions et conditionnement de Temex.[5]

Diamètre (mm)	30	50	65	80
Longueur (mm)	300	400	500	400
Poids (g)	250	1 000	2 000	2 500

4) Anfomil

Les nitrates fuels ou l'anfomil sont constitués de nitrate d'ammonium et d'huiles minérales, en général du fuel domestique, dans une proportion voisine de 5 à 6%. Dans certains cas, les nitrates fuels peuvent contenir une quantité plus ou moins importante de poudre d'aluminium.

➤ Caractéristique

Tableau I.07:Caractéristique de l'anfomil.[11]

Masse volumique	0,9 g/cm ³ .
Nature	Poudre
Résistance à l'eau	Faible
Vitesse de détonation	4500 m/s
Poids	25 kg

5) Accessoires de tir

Pour la mise à feu des différentes charges explosives, il est nécessaire de recourir à des moyens d'inflammation spécialement conçus pour les travaux de mine tels que : mèche lente, détonateur pyrotechnique, amorce électrique, cordeau détonant etc...

Le succès d'une volée dépend dans beaucoup de cas de ces dispositifs de mise à feu, de leur mise en œuvre et de l'emploi judicieux qu'on en fait. Leur choix joue un rôle aussi important que celui de l'explosif.

- ❖ Le cordeau détonant :Le cordeau détonant est flexible, il est composé d'une âme en penthrite. C'est un explosif très puissant, il est enveloppé de fils tressés recouverts d'une matière plastique. Cela lui confère une étanchéité et une résistance élevées à l'eau. Sa vitesse de détonation est supérieure à 6500 m/s.

Il sert essentiellement à transmettre la détonation à plusieurs charges lors des tirs simultanés. Il peut remplacer, dans certains cas, la charge explosive pour certains types de travaux tels que pré fissuration, découpage et post-découpage de la roche. Il peut amorcer

par tous les types de détonateurs électriques et pyrotechniques.[5]

Tableau I.08: Caractéristiques techniques des cordons détonants.[5]

Diamètre (mm)	MILACORD 1	ONACORD	MILACORD 2
Poids de la penthrite (g)	12	20	40
Diamètre du cordon (mm)	5,3	6,9	9
Vitesse de détonation (m/s)	6500	6500	6500
Résistance à la rupture (kg/24h)	40	40	40

❖ Les Détonateurs pyrotechnique :Pour l'amorçage des charges d'explosifs, ces détonateurs peuvent être classés au vu de leur sensibilité à l'électricité selon trois catégories.

i. Détonateurs instantanés :Avec l'emploi de détonateurs instantanés, l'amorçage des charges explosives sont parfaitement simultanés. Il n'y a pas de retard (le numéro de retard est égal à zéro).

ii. Détonateurs sismiques : L'ONEX produit pour la recherche géophysique des détonateurs instantanés dits sismiques spécialement adaptés pour les tirs de sondage (régularité d'allumage, étanchéité, bonne protection).

iii. Détonateurs à retard

a) Détonateurs à retard demi-seconde « DER » :L'emploi des détonateurs à retard de demi-seconde (DER), l'amorçage de la charge explosive se fait après la combustion de la composition retardatrice. Les temps de retard varient de 0,5 seconde pour le n°1 jusqu'à 6 secondes pour le n°12 ; il existe 12 numéros de retard, soit 13 avec le numéro zéro (détonateur instantané).

b) Détonateurs microretard « DMR » :Ces détonateurs diffèrent des détonateurs à retard par les temps de retard beaucoup plus court de l'ordre de 20 ms.

L'ONEX fabrique des détonateurs à microretard avec 12 degrés de retard. La durée du retard en ms varie entre 0 à 240 ms. [5]

I.2.4. Paramètres du tir

Pour satisfaire un tir de mine, il faut y trouver en face des paramètres différents qui se distinguent eux-mêmes en deux catégories : l'une liée à la pratique et l'autre c'est par rapport à ses objectifs.[6]

Ces paramètres sont les suivants :

I.2.4.1. Paramètres pratiques

Chacun de ces paramètres est défini par des critères spécifiques (fig6) :

- a) Diamètre de foration : Généralement, le diamètre de foration est choisi en fonction de la capacité du matériel disponible qui nécessite une fragmentation et un foisonnement pour bien fonctionner, la nature d'explosif (la charge spécifique, diamètre des explosifs en cartouches disponibles...) qui peut avoir par exemple une vitesse de détonation plus élevée lorsque le diamètre augmente, la structure du massif qui a un effet sur la granulométrie et par conséquent sur le diamètre.
- b) Choix de l'explosif : L'explosif est choisi essentiellement en fonction :
 - ❖ Du massif rocheux à abattre : le critère le plus important qui intervient dans ceci c'est bien l'humidité qui impose des limites d'emploi aux explosifs.
 - ❖ Des objectifs technico-économiques recherchés.
- c) Géométrie du front et nombre de rangées : Ces deux paramètres sont liés entre eux et dépendent de :
 - L'objectif de production : le volume de production par tir
 - De l'environnement qui limite la charge du trou donc la hauteur du front pour respecter les normes des vibrations.
- d) Inclinaison du trou : L'inclinaison du trou est liée au mode de foration et à la qualité du foreur.
- e) Banquette : La banquette est l'épaisseur de la tranche à abattre qui constitue un élément fondamental dans le mécanisme de l'abattage et elle dépend de l'explosif et la hauteur du front. [6]
- f) Amorçage : Est l'ensemble des dispositifs entraînant l'explosion de la charge .il dépend de l'explosif, du diamètre de trou de mine, de l'environnement et des objectifs du chantier (la forme de tas et la qualité de la plateforme).
- g) La maille : Le rapport de maille égale au rapport de l'espacement des trous et la banquette.

- h) sur-foration : La Sur-foration a pour but de favoriser nettement la sortie du pied.
- i) Bourrage : Son objectif est d'éviter les projections, amoindrir le bruit ainsi que améliorer l'effet des gaz de la charge explosive.

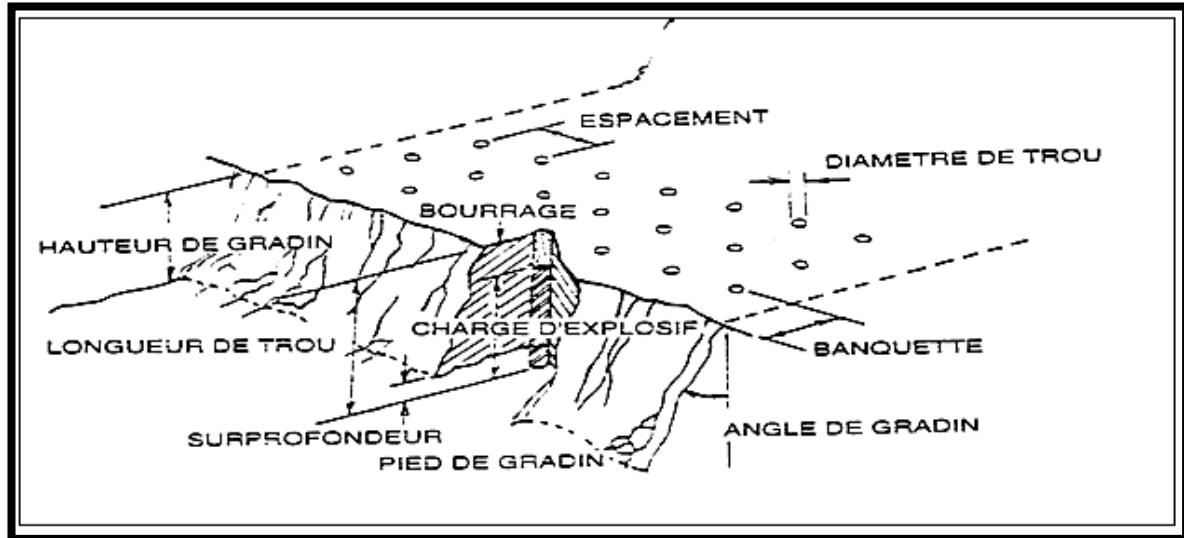


Figure I.06:Représentation des paramètres pratiques d'un tir de mines.[6]

I.2.5. Géométrie du plan de tir et du chargement

Pour abattre la roche, les trous de mine sont disposés en plusieurs lignes selon une géométrie théoriquement définie, dictée majoritairement par le diamètre de foration utilisé. L'épaisseur de roche entre lignes, appelée banquette, doit être proportionnelle au diamètre de trou.

$$C = KB * Dt$$

Où

Dt : le diamètre des charges.

KB : est une constante influencée par le mode d'interaction entre roche et explosif,

La détermination de cette constante relève encore à ce jour de l'expérience pratique et aucune méthodologie générale ne peut être appliquée. Elle peut varier entre 20 et 40, voire plus

En fonction de la banquette choisie, plusieurs paramètres sont déduits :

- . La hauteur de bourrage des trous Hb ;
- . La profondeur de surforation Psf ;
- . L'espacement entre trous d'une même ligne a.[6]

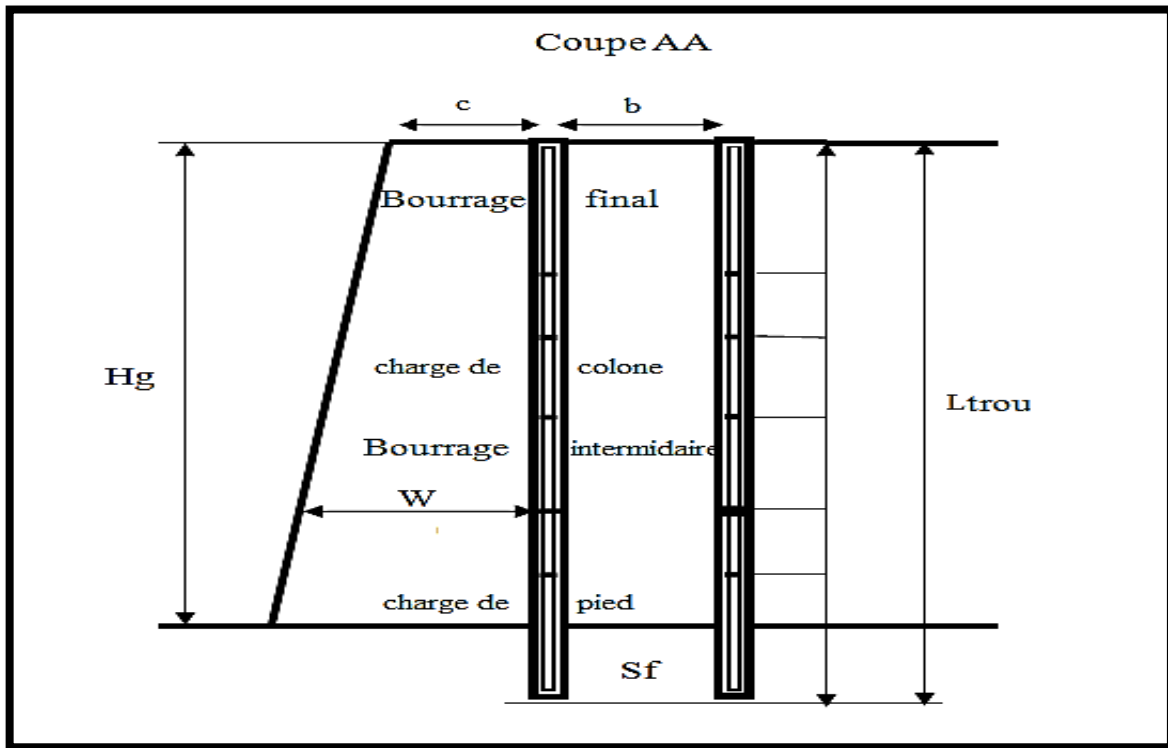


Figure I.07: Principaux paramètres de plan de chargement.[6]

I.2.6. Effet général des ondes de choc dans le massif rocheux

Le mécanisme général de fragmentation des roches à l'aide d'explosifs peut se résumer à l'enchaînement des phénomènes suivants : décomposition de la matière explosive en gaz à haute pression et hautes températures, propagation d'ondes de contrainte dans le massif, rupture ou endommagement de la roche, détente des gaz à travers les zones de fragilité créées, ouvrant de manière franche des fissures et finalement, la mise en mouvement et l'éjection des fragments de matériaux.

Lors de la détonation d'une charge dans un massif rocheux, la propagation de cette onde s'accompagne de phénomènes irréversibles qui permettent de définir trois zones (figure7) :

- la zone de broyage,
- la zone de fissuration radiale,
- la zone sismique.[8]

I.2.6.1. La zone de broyage

Dans les premiers temps de la propagation, les contraintes subies par la roche sont très élevées de 5 à 75 Kbars de pression « d'explosion » (c'est-à-dire la pression latérale sur les parois sensiblement égale à 50% de la pression de détonation dans le cas du remplissage complet du trou).

Le niveau des contraintes est en général suffisant pour que l'on suppose un régime hydrodynamique.

Elles excèdent en général la résistance à la compression de la roche R_c qu'elles broient en fines particules.

Du point de vue de la mécanique des milieux fissurés les microfissures existantes dans le massif (joints de grains...) se développent et se ramifient fortement.

L'onde émise n'est pas la seule responsable de l'état de contrainte, les gaz qui s'engouffrent dans les fissures y participent.

La décroissance des contraintes est toutefois très rapide. A courte distance, 3 à 5 r_c (r_c : rayon de la charge) elles sont revenues au deçà de la résistance à la compression de la roche.[8]

I.2.6.2 La zone de fissuration radiale (zone transitoire)

La roche subit en plus de la contrainte de compression radiale une contrainte tangentielle détraction. Celle-ci, malgré une décroissance en $1/r^3$ dans la zone de broyage en $1/r^2$ par la suite, demeure néanmoins supérieure à la résistance à la traction sur une distance importante.

La contrainte tangentielle est responsable de la rupture (en traction). Des fissures radiales se développent alors autour de la cavité jusqu'à ce que la contrainte tangentielle devienne inférieure à la résistance en traction (R_t de 20 à 150 bars).[8]

I.2.6.3. La zone sismique

Au-delà, aucune fissuration microscopique marquante n'apparaît. Les variations de masse volumique au cours de la déformation sont négligeables. Un modèle classique de comportement classique est alors utilisable (par exemple le comportement élastique).

Il ne faudrait pourtant pas conclure que l'onde de contrainte n'a aucun effet sur le milieu de propagation. Elle continue à affaiblir le massif mais sans mettre pour autant en cause sa structure globale (pré - fissuration).[8]

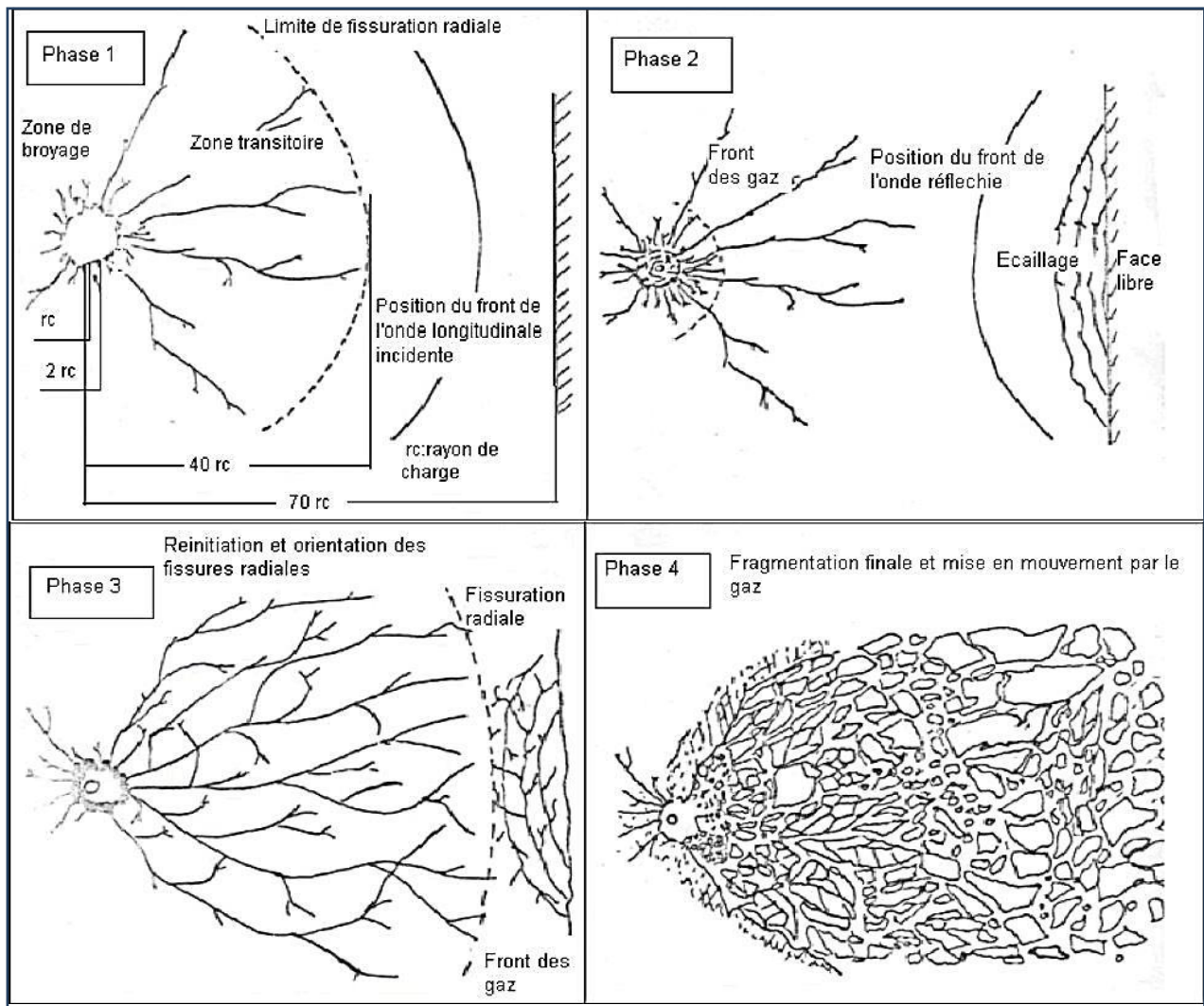


Figure I.08: Développement de la fissuration et de la fracturation.[8]

I.3.les ondes sismiques et les ondes sonores

I.3.1. Notions vibratoires générales

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. [10]

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 :

- 1) 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).
- 2) le front d'onde constitué par l'ensemble des points atteints au même moment par l'onde, possédant un mouvement particulier distinct de celui des particules, qui dépend du milieu de propagation et de la position de la source (vitesse de 2000 à 4500 m/s)

L'augmentation ou la diminution de la vitesse particulaire est proportionnelle à la charge unitaire.

La vibration qui se propage dans le sol comporte des types d'ondes physiquement différentes :

- a) d'une part, les ondes de 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 qui sont les plus rapides

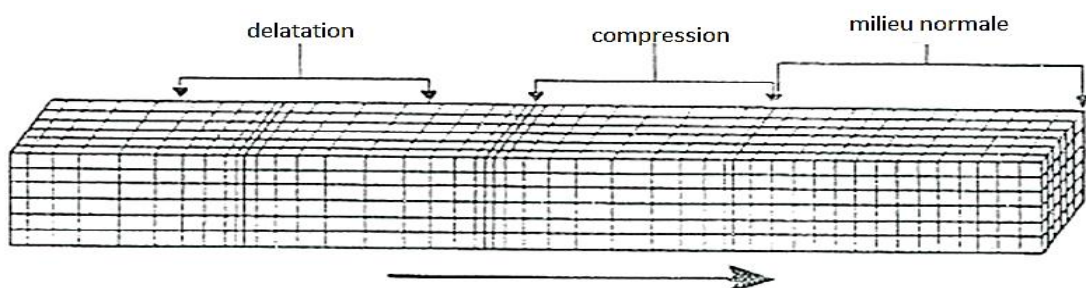


Figure I.09: Onde primaire P.

- 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.

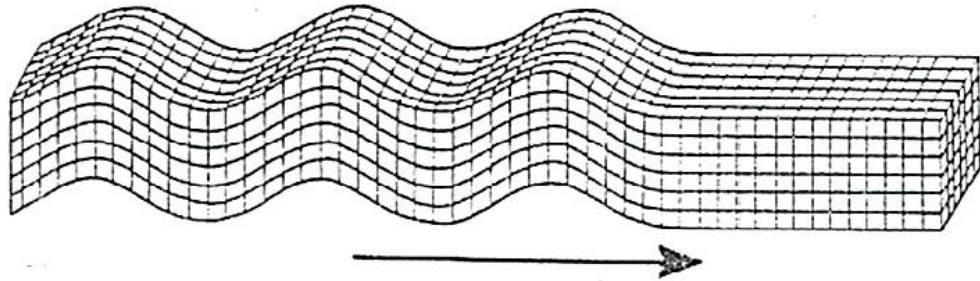


Figure I.10: Onde secondaire S.

- b) 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. [6]

On peut distinguer :

- L'onde de love (L) : c'est un anglais Augustus Edward Haugh Love qui découvrit son existence en 1911, son déplacement est comparable à celui des ondes S sans le mouvement verticale, les ondes de love provoquant un ébranlement horizontal qui la cause de nombreux dégâts aux fondations d'un édifice qui n'est pas une construction parasismique, les ondes de love se propagent à environ de $4\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$.

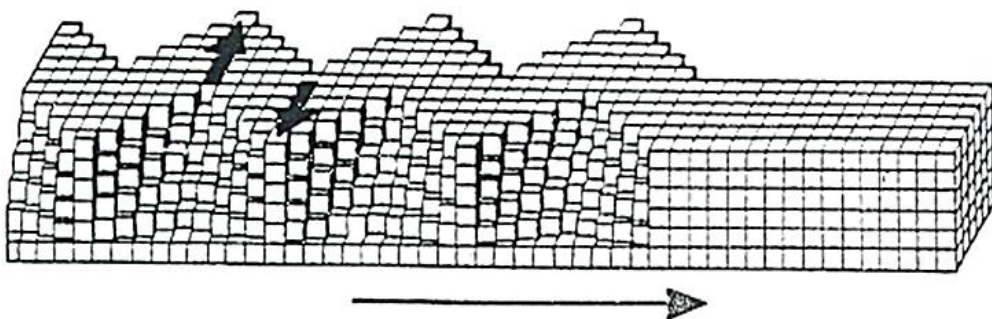


Figure I.11: Onde de love L.

- L'onde de Rayleigh (R) : elle a été découverte par John William Rayleigh en 1885, son déplacement est complexe, assez semblable à celui d'une poussière portée par une vague, constituant un mouvement à la fois horizontal et verticale.[11]

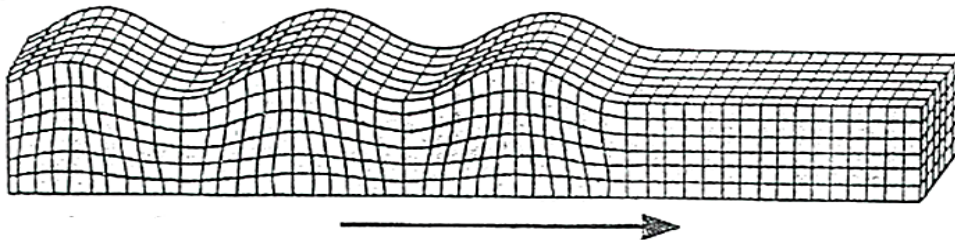


Figure I.12:Onde de Rayleigh R.[11]

I.3.1.1. Analyse et mesure des vibrations

Le but de la mesure est d'acquérir une image représentative des mouvements mécaniques transmis par le sol et leur transformation en signal électrique. L'analyse et la mesure des vibrations supposent l'utilisation d'une chaîne de mesure adaptée. Cette chaîne comprend les fonctionnalités suivantes :

La détection, la transmission, le stockage, le traitement des signaux et l'impression des résultats.[11]

a) Détection

Cette fonction est réalisée par un capteur soit de vitesse particulière qui est le géophone soit d'accélération qui est l'accéléromètre (il permet l'obtention d'une meilleure mesure en champ proche où les hautes fréquences dominent et où les amplitudes peuvent être trop élevées pour un géophone standard). Parmi ces deux, le géophone est le plus utilisé.

Ces derniers ne sont sensibles que dans une direction horizontale ou verticale et ils sont aussi associés par groupe de 3 suivant 3 directions orthogonales de manière à reconstituer le signal vibratoire dans toute son intégralité : capteur tri-directionnel (deux directions horizontales et une verticale).[11]

Les géophones doivent fournir une réponse quasi linéaire sur une plage de fréquences données. Ces appareils se caractérisent par des paramètres propres à eux qui sont la fréquence

propre, la courbe de réponse variable selon l'amortissement, le déplacement maximum et la direction de mesure.[11]

Le signal émis par le géophone peut être corrigé de manière à améliorer sa réponse aux basses fréquences.

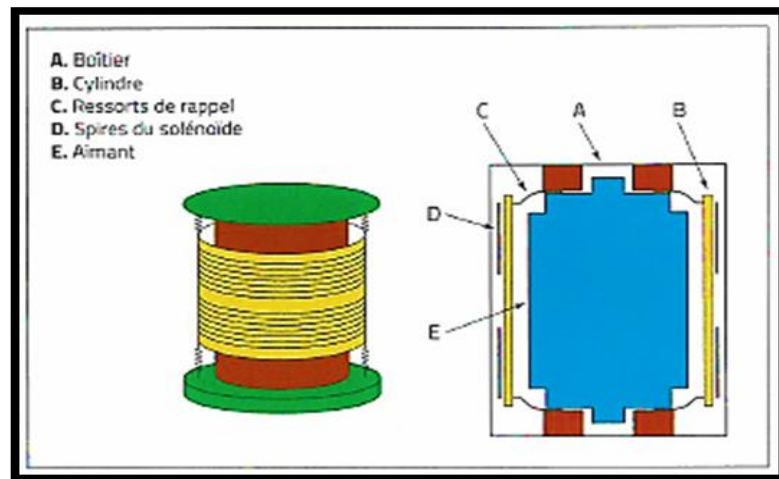


Figure I.13:Construction d'un géophone.[11]

b) Transmission

Le géophone transmet un signal en tension c'est -à-dire il convertit les mouvements (déplacements) ou micromouvements (vibrations) du sol en tension. Ce courant électrique peut alors être utilisé pour déplacer ce qui se passe sur un rouleau de papier, ou être enregistré dans la mémoire d'un ordinateur pour une analyse (immédiate ou ultérieure). La déviation de cette mesure de la tension est dite réponse sismique.[11]

Il peut y avoir des risques du signal comme l'altération ou la perturbation de celui-ci dans le cas où la longueur de câble est importante entre le capteur et l'appareil de mesure, afin de se libérer de ce problème il y a des précautions qui interviennent par exemple la transmission du signal en intensité qu'en tension. [11]

c) Stockage des signaux

Les informations qui proviennent des capteurs peuvent être stockées soit totalement soit partiellement sous différentes formes. On déduit ces formes selon l'enregistreur utilisé (graphique, magnétique, numérique...) qui est caractérisé d'une part par sa dynamique, le nombre de bits du convertisseur A/N (A : signal électrique analogique provenant du capteur, N : numérique caractérisant la résolution en amplitude du signal), d'autre part par sa fréquence d'échantillonnage du signal en Hertz ou nombre de points de mesure par seconde et par voie traduisant la résolution en temps.

- le signal est représenté sur un papier en fonction du temps (sismogramme) avec les enregistreurs graphiques qui permettent une visualisation immédiate mais ils rendent difficile tout traitement complémentaire ultérieur.
- les enregistreurs magnétiques reproduisent le signal temporel sous forme analogique sur un support magnétique. Ce signal peut être visualisé sur un oscilloscope ou restitué sur une table traçante ou traité sous forme de filtrage, intégration...La numérisation de ce signal analogique permette le traitement mathématique.
- le signal est convertit puis conservé sous forme numérique avec les enregistreurs numériques qui contiennent un processeur intégré avec lequel le traitement sera facile à réaliser. Pour des traitements plus complexes les informations issues peuvent être transférées sous forme numérisée directement à un ordinateur.

Ce type d'enregistreurs couplés à un ordinateur tend à supplanter les acquisitions graphiques et analogiques.[12]

d) Traitement des signaux

Le traitement du signal de la chaîne de mesure peut être parachevé par un traitement de laboratoire complémentaire selon que l'appareil de mesure est capable ou non de transférer l'information vers un appareil d'analyse.

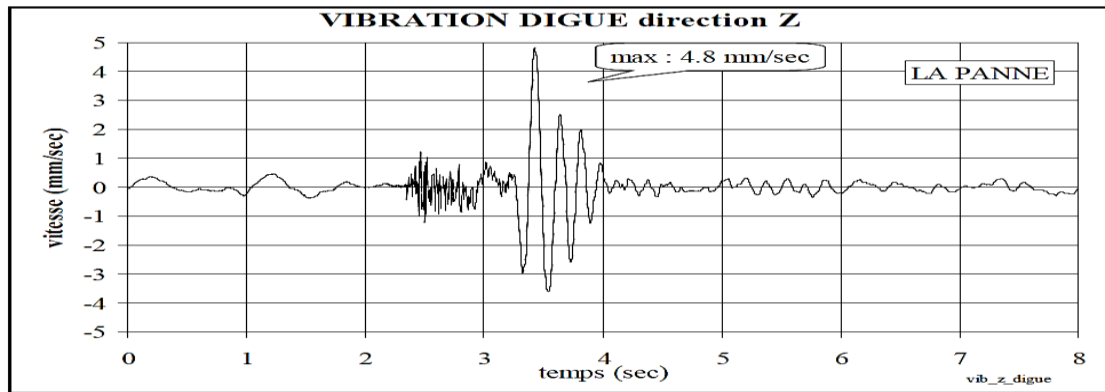


Figure I.14:Exemple de résultat de vibrations en champs libre.[12]

I.3.1.2. Evaluation de l'impact vibratoire des tirs de mines

a) 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 Chapôt 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 :

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

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, Chapôt a proposé un couple de valeurs pour α et β . C'est aujourd'hui la loi que l'on utilise le plus fréquemment :

$$V_r = K * (D / Q^{1/2})^{-1.8}$$

Avec : $K = 1500$ pour un très bon tir

$K = 2500$ pour un tir moyen

$K = 6000$ pour un très mauvais tir

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

$$V_r = K_s * (D/Q^{1/3})^{-1.2} \quad : \text{loi des ondes de surfaces}$$

Ce sont des lois d'amortissement d'ondes de surface, généralement plus défavorables.[12]

I.3.1.3. Impact des ondes sismiques sur l'environnement

Les vibrations peuvent provoquer des nuisances à la fois pour les individus et pour les structures.

Les nuisances dues aux vibrations du tir sont comparables à d'autres nuisances subies par les individus et les structures

La vibration affecte la stabilité des infrastructures, les bâtiments et les maisons des personnes vivant à proximité des opérations des grandes mines à ciel ouvert.[13]

a) Impact des vibrations sur les individus

Les effets sur les personnes situées à une certaine distance du lieu de tir sont liés à la perception des vibrations du sol, à la perception de l'onde aérienne (bruit) et à la notion de gêne qui en résulte. [12]

b) Effet des vibrations sur la santé

Aucun effet physiologique n'est attribuable aux vibrations dues aux tirs et il ne faut en retenir que la gêne ressentie par les personnes. Cette gêne n'est pas supérieure à celle des événements de la vie courante (circulation routière, claquement de porte...), mais la tolérance des individus peut être réduite par leurs réactions psychologiques.[12]

c) 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 particulière, 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 particulière et les recherches ultérieures ont confirmé que la vitesse particulière 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 .[13]

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...[13]

I.3.1.4. 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 ".[13]

Tableau I.08: la relation entre les vitesses de vibrations et les dommages causés à des immeubles fondés.[13]

<i>V (mm / s)</i>	<i>Description des dégâts</i>
50	Pas de fissuration
70	Pas de fissures apparentes
100	Fissures insignifiante
150	Fissures
225	Fissures larges
300	Chutes de pierres dans les galeries

Tableau I.10: Influences de la fréquence sur les structures.

<i>Gamme de fréquence</i>	<i>Eléments et structures sollicités</i>	<i>Caractéristiques du signal</i>
< 5 Hz	<p>-Le sol de fondation (surtout s'il est peu consolidé).</p> <p>-la structure suite au tassement accéléré du sol s'il est de nature hétérogène ou en pente, et/ou que les fondations ne redistribuent pas correctement les contraintes.</p>	
De 5 à 15 Hz	-les structures porteuses des habitations.	Déplacements différentiels importants.

	-les cloisons des habitations.	
> 15 Hz	<p>-les matériaux de construction.</p> <p>-les matériaux de revêtement (peintures, papier peints, enduits ...)</p> <p>Sont les éléments les plus sensibles et le sont d'autant plus qu'ils sont dégradés et que leur liaison à la structure est défectueuse.</p>	
> 80 Hz	Aucune	Signal souvent négligeable

I.3.2. Généralités sur les ondes sonores

Par définition, une onde est une perturbation d'un milieu où elle se propage, éventuellement en se déformant avec une vitesse mesurable ; alors qu'une onde sonore est définie comme étant des variations de pression produite par la perturbation mécanique d'un fluide. Les ondes sonores font partie de la famille des ondes de vibrations mécaniques qui se propagent dans les milieux élastiques (cordes, solides, liquides, gaz) son image bien connue est celle des rides à la surface de l'eau. [9]

Les ondes sonores sont réparties en deux catégories selon les forces agissant sur le milieu dépassant ou non sa limite d'élasticité :

- Les ondes acoustiques et vibrationnelles : dont l'intensité de la force exercée est suffisamment faible et par conséquent les limites élastiques ne soient pas dépassés.
- Les ondes de choc et les autres sons impulsionnels qui dépassent les limites élastiques[15]

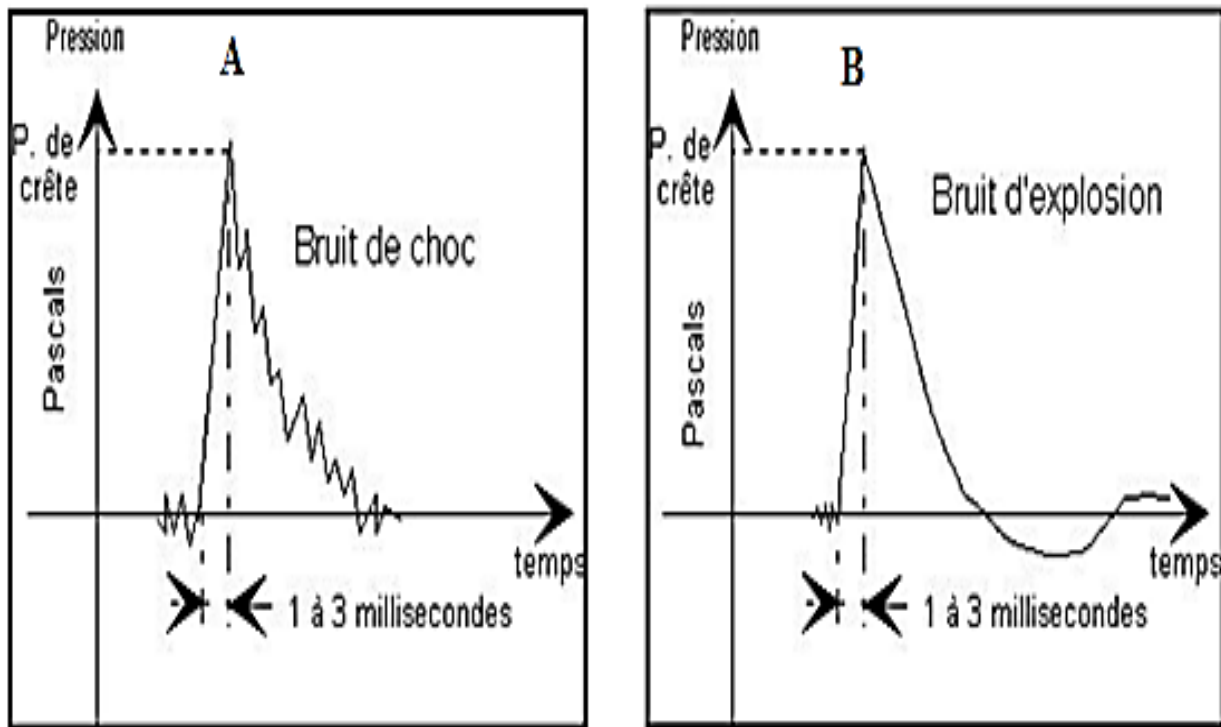


Figure I.15: [A. Courbe de mesure de bruit de choc.
B. Courbe de mesure de bruit d'explosion. [9]

I.3.2.1. Appareils de mesure

De toutes les grandeurs qui caractérisent les sons dans l'air, c'est leur pression acoustique qui est la plus facile à mesurer avec de nombreux appareils, on cite :

- Microphones ;
- Enregistreurs ;
- Sonomètres ;
- Sismographes ;
- PC+Carte son.[17]

I.3.2.2. L'onde sonore lors de tir de mines

Lors des tirs de mines, une partie de l'énergie mécanique fournie par les explosifs se présente sous forme d'une onde de pression dans l'air " onde aérienne" .il s'agit d'une onde mécanique de compression et de détente de l'air.

Les nuisances dues aux vibrations aériennes sont de deux types :

- le bruit qui représente la nuisance auditive directe vis-à-vis des riverains.
- Le 'souffle' qui représente la nuisance mécanique vis-à-vis des structures.

Ce phénomène acoustique est caractérisé par une crête de surpression très brève suivie d'une série d'oscillation de la pression.[17]

I.3.2.3. L'origine et la description physique du phénomène

Une onde sonore générée par un tir de mine a pour origine l'onde de choc qui va conduire au mouvement du front de taille qui se comporte, au cours du tir, comme la surface d'une immense enceinte acoustique. Cette source de surpression qui représente une grande part d'énergie, conduit à un signal de très basse fréquence comprise généralement entre 1 Hz et 10Hz, c'est le domaine inaudible.

Une deuxième origine des ondes sonores au niveau des mines ou carrières, celle qu'est constituée par une détente de gaz dans l'atmosphère, que ce soit le fait de charges explosives, par exemple du cordeau détenant, ou dégazage à travers des discontinuités du massif rocheux. Cette source est moins énergétique conduit à des signaux de fréquence plus élevées comprise entre 50Hz et 200HZ, c'est dans le domaine audible.

Enfin, la dernière origine est constituée par la chute des matériaux et blocs rocheux, elle est moins énergétique conduit à des signaux dans le domaine audible.

Cette onde sonore "pression aérienne" affecte d'abord les parois de forage puis le matériau à fragmenter et émerge dans l'atmosphère avec ses caractéristiques propres de vitesse de propagation et de pression dépendant de son trajet dans le massif rocheux à abattre suivant une chronologie qui dépend de la séquence de mise à feu des charges d'explosifs. [17]

I.3.2.4. Caractérisation de l'onde sonore générée par un tir de mine

La caractérisation des ondes sonores émises par les tirs des mines est fortement liée à des paramètres fondamentaux qui distinguent parallèlement de façon identique l'évolution des surpressions :

- L'orientation et le nombre de surface libres qui définissent des directions privilégiées d'émission des ondes aériennes.
- Le volume du tir et les charges d'explosifs mise en œuvre qui fixent le volume de gaz émis et de matériaux mis en mouvement.
- Le confinement des charges qui va agir sur le mode d'émission de surpression et même les vibrations et de fréquence.

On note que la combinaison de ces trois facteurs permet de définir une hiérarchie dans la nocivité des ondes sonores émises par les différentes techniques de tir, ainsi que dans l'influence des différents paramètres de dimensionnement sur les caractéristiques de l'onde sonore et on cite :

a) Propagation : L'aspect le plus curieux du son provenant d'un tir de mine est peut être sa variabilité qui tend à s'accroître selon la distance ; l'amplitude de cette variabilité est fréquemment sous-estimée mais il faut tenir compte dans l'examen des effets du son sur l'environnement, les facteurs de cette variabilité sont comme pour les vibrations :

- La charge unitaire par intervalle de temps.
- La nature de la roche et les caractéristiques structurales du massif à abattre.
- Les techniques de tir employées et en particulier l'amorçage.
- Le confinement des charges (le bruit est d'autant plus fort que le confinement est faible).
- La distance entre la source et le récepteur.

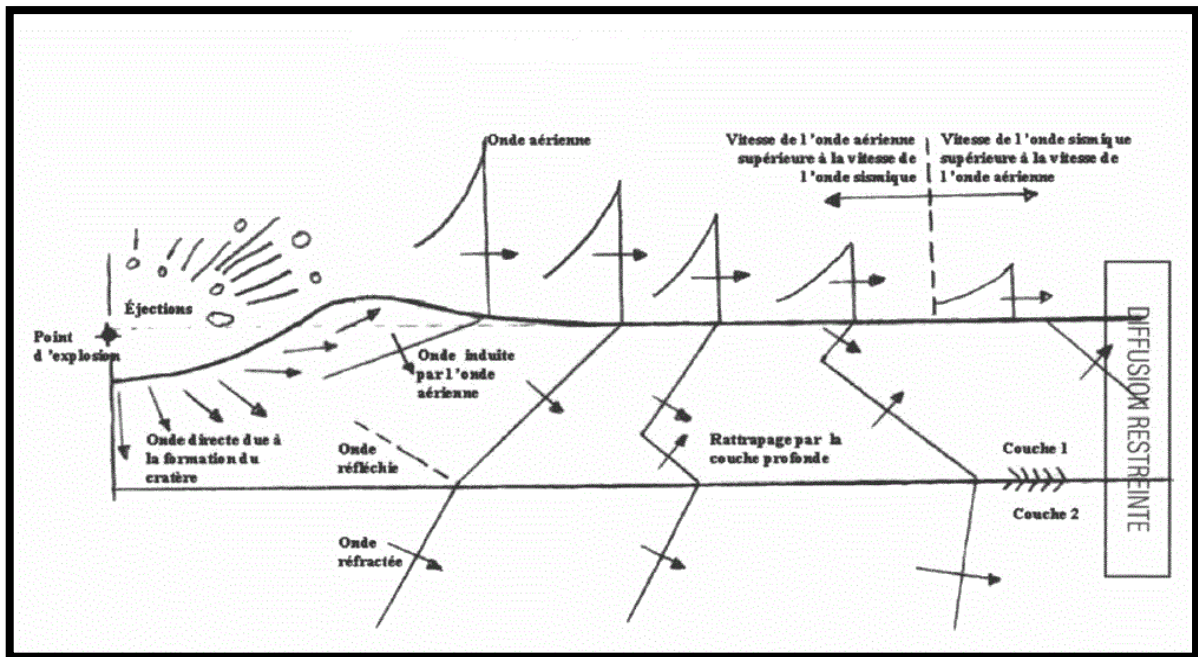


Figure I.16: la propagation des ondes sonores et les ondes sismiques dans un milieu.[12]

Les vibrations sonores se propagent dans l'atmosphère suivant des facteurs atmosphériques qui fortement influencé par les conditions météorologiques et ce sont la direction du vent, la vitesse du vent et la température de l'aire ainsi que leur variation selon l'altitude, ces facteurs modifient la vitesse relativement du son à l'observateur et provoquent une réfraction du son c'est-à-dire une modification de l'orientation des rayons sonores.[12]

- ❖ Les vibrations sont plus élevées sous le vent.
- ❖ La pluie et la neige voire même le brouillard atténuent les niveaux sonores.
- ❖ Les inversions thermiques avec l'altitude (ex : temps d'orage) constituent des réflecteurs pour les ondes sonores et modifient donc leur propagation.

Ces facteurs peuvent causer des zones d'ombres(en général dans le vent), des zones de renforcement(en vent arrière) et des zones focales qui peuvent se situer en vent arrière, en vent de côté ou dans le vent.

- b) Directivité :** Bien que les ondes sonores se propagent uniformément dans toutes les directions de l'espace en champ libre et dégagé lorsqu'il existe des obstacles ceux-ci peuvent canaliser ou disperser les ondes.

Dans le cas de tirs des mines effectués sur zone présentant des fronts de tailles, la zone face au front est une zone privilégiée pour la propagation. Cependant la présence d'autres fronts de tailles voisins ou de tout d'autre type d'obstacle peut réfléchir l'onde sonore et la renvoyer dans directions complètement différentes.

- c) **Interférences** : Un tir de mine étant constitué d'une succession de charges d'explosifs détonant selon une séquence de mise à feu précise, l'onde sonore enregistrée en un point est la superposition de l'ensemble des ondes sonores émises par le tir. Ce phénomène appelé *interférence*, se traduit dans le pratique qui du fait la disposition des charges dans l'espace et de la séquence de mise à feu par des zones géographiques autour du tir ou la surpression aérienne est renforcée -interférence constructive.
- d) **Puissance** : Les tirs de mines mettant en œuvre, selon l'objectif à atteindre, des quantités d'explosif variables qui peuvent de quelques kilogrammes à plusieurs tonnes selon le cas. Le niveau de surpression aérienne serait en fonction de cette quantité si ces charges explosaient à l'air libre. Or, fort heureusement, ce n'est pas le cas.[16]

I.3.2.5. Mesure d'une onde sonore du au tir de mine

Les mesures des ondes sonores générées par un tir de mines, ont pour but de caractériser acoustiquement le bruit à la source. En plus de ces mesures de puissance, il est utile de déterminer d'autres caractéristiques :

- Indice de directivité ou les axes prépondérants d'émission qui permettent de connaitre les directions les plus bruyantes.
- La composition spectrale du bruit émis par une analyse en fréquence.

A partir de la connaissance de ces paramètres, on dispose des éléments qui doivent permettre d'évaluer le bruit produit sans obstacle à une distance déterminé, de prévoir et de calculer des systèmes de protection visant à abaisser le niveau sonore émis.

Les mesures s'effectuent soit en champ proche, soit en champ lointain ; le terme « champ proche » est pris ici sens dans un particulier en considérant des distances de mesures variant de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Par contre, la mesure par champ lointain s'agit de mesure réalisée à quelques centaines mètres de la source. Le choix de la voie de mesure, on peut le considère comme un facteur influe sur la mesure, ce dernier, il dépend également d'autres paramètres qui vont intervenir de façon très importante :

- Les conditions météorologiques : en particulier la vitesse et la direction du vent et l'allure du gradient verticale de température.
- L'effet de sol du au pouvoir plus ou moins absorbant de la surface du terrain comprise entre l'émission et la réception.
- La topographie du terrain.

Dans la zone de réception du bruit, on installe un appareil permettant d'obtenir à intervalles régulières, ces prélèvements régulières sont appelés « échantillon », ce point de mesure appelé « point de référence » doit rester en fonctionnement une durée suffisante pour que le résultat global soit représentatif du niveau équivalent obtenu pendant la période de référence considéré ; ce temps de prélèvement est appelé durée de prélèvement du « point de référence ».

Par ailleurs, on réalise, à partir de points mobiles et sur des durées très courtes, des prélèvements dits « prélèvement de points mobiles » sur plusieurs « échantillon », ces prélèvements sont faits en différents points de l'espace de la zone de réception où l'on souhaite connaître les niveaux sonores. Les échantillons des points de références et des points mobiles sont synchrones, mais ces points mobiles peuvent être réalisés à des moments quelconques à condition d'en repérer le départ, à condition que les points mobiles soient soumis aux mêmes sources du bruit que les points de références car il est possible connaissant les résultats des points de références et les points mobiles pendant le même intervalle de temps et de les extrapoler aux points mobiles à la totalité de prélèvement de point de référence.

La réalisation des mesures avec cette manière a deux avantages :

1. L'utilisation d'un nombre relativement restreint d'appareils de mesure : un appareil automatique pour le point de référence et un enregistreur pour l'ensemble des points mobiles.
2. Le découpage en échantillon permet de viser les buts suivant :
 - Des corrélations effectuées entre les échantillons du point de références et des points mobiles permettent d'apprécier la liaison statistique entre ces échantillons et par conséquence garantir la validité de la méthode d'extrapolation.
 - La sélection des échantillons correspondant à des modes de fonctionnement particulières de l'installation permettent de déterminer la contribution de diverses sources sonores.

- La présence de phénomènes sonores indésirables peut être éliminée en rejetant les échantillons non conformes. [16]

En outre, du fait de caractère fortement impulsionnel de l'émission sonores des tirs de mines, la mesure est difficile à réaliser dans le sens où il faut saisir l'information au moment opportun et que celui-ci n'est pas répétitif. Il faut donc disposer les appareils de la mesure possédant un seuil de déclenchement pour ne pas rater la mesure et qui permettent de la réaliser systématiquement.

L'unité de pression dans le système international SI est le pascal (Pa) correspondant à 1 Newton par mètre-carré. S'agissant d'un phénomène proche de l'acoustique, les résultats obtenus s'expriment par le décibel linéaire noté dBL- l'unité la plus fréquemment utilisée-.

I.3.2.4. L'impact des ondes sonores sur l'environnement

Les émergences sonores, qui peuvent être observées à l'occasion des tirs de mines entour le périmètre du site, ne se limitent pas au simple bruit facilement identifiable mais prouvant qu'une part de l'énergie transmise en infrasons qui sollicite les structures urbanismes et leurs occupants. Pour des pressions très élevées, les surpressions aériennes sont susceptibles de provoquer des effets destructeurs qui se manifestent sous formes des déformations élastiques des structures et de la gêne que les riverains n'identifient pas comme des bruits comme des vibrations.

Pour chacun de type de nuisance (bruit et souffle), des paramètres caractéristiques de l'onde aérienne et du récepteur (individu ou structure) ont été définis de manière à quantifier leur impact.[17]

I.3.3. La sécurité du tir

Dire que 'la prévention des risques professionnels est l'affaire de tous', la définition de chacun des acteurs revêt une importance particulière en raison de la nature du risque et les conséquences d'un accident éventuel sur le périmètre du site et l'environnement.

II.3.3.1. Les principes généraux la prévention

Les principes généraux définis par les réglementations fixent des objectifs pour la mise en œuvre des mesures de sécurité et de prévention qui doivent être prises par l'employeur. Elles s'appliquant intégralement dans le cas d'utilisation des explosifs pour réduire les risques induits :

- Combattre les risques à la source, dans le cas du tir de mine cela sous-entend une application stricte de la réglementation spécifique.

- Adapter le travail à l'homme.
- Tenir compte de l'évolution technique.
- Remplacer ce qui est dangereux par ce qui l'est moins ou pas du tout.
- Planifier la prévention en y intégrant, dans un ensemble cohérent, la technique, l'organisation et les conditions de travail, les relations sociales et l'influence des facteurs ambiants.
- Prendre des mesures de protection collectives en leur donnant la priorité sur les mesures individuelles.
- Donner des instructions appropriées aux travailleurs. [21]

I.4. Réglementation concernant les vibrations sismiques et acoustiques

Les mines et les carrières sont soumises à une réglementation sur les vibrations sismiques et acoustiques produit par les tirs de mine, cette réglementation comprend des textes réglementaires comme l'arrêt du 22 septembre 1994, des recommandations et des normes.[19]

I.4.1. Réglementation concernant les vibrations

Pour les valeurs de nuisances sismiques, nous avons retenu, les valeurs de vibrations données par la réglementation internationale, et en particulier celles plus sévères de la circulaire française de l'arrêt du 22/09/1994 relatif aux exploitations des carrières et mines qui dans son annexe II précise la méthode de mesure des vibrations dues aux tirs de mine et l'utilisation d'un abaque de fonction de pondération et comparaison à la limite de 10mm/s.

Dans sa version la plus récente (février 1999), la norme DIN 4150 donne desvaleurs maximales admissibles pour des canalisations enterrées en acier et en béton,s'il s'agit de vibrations de courte durée. Ces valeurs sont reproduites au tableau

Tableau I.11: Valeurs maximales admissibles pour des canalisations enterrées.[19]

X	<i>matériau constituant la canalisation</i>	<i>valeur maximale admissible de la vitesse sur la canalisation en mm/sec</i>
1	acier soudé	100
2	pierre, béton, béton armé, béton précontraint	80

3	maçonnerie matériau synthétique	50
---	------------------------------------	----

La vitesse particulière pondérée des vibrations dues aux tirs mesurées selon les lois axes de la construction, ne doivent pas dépasser 10 millimètres par seconde dans les constructions avoisinantes.

L'application des seuils doit se faire sur le signale probablement pondéré, ceci est généralement réalisé par des logiciels de traitement des signaux fournis avec les appareils de mesure.[19]

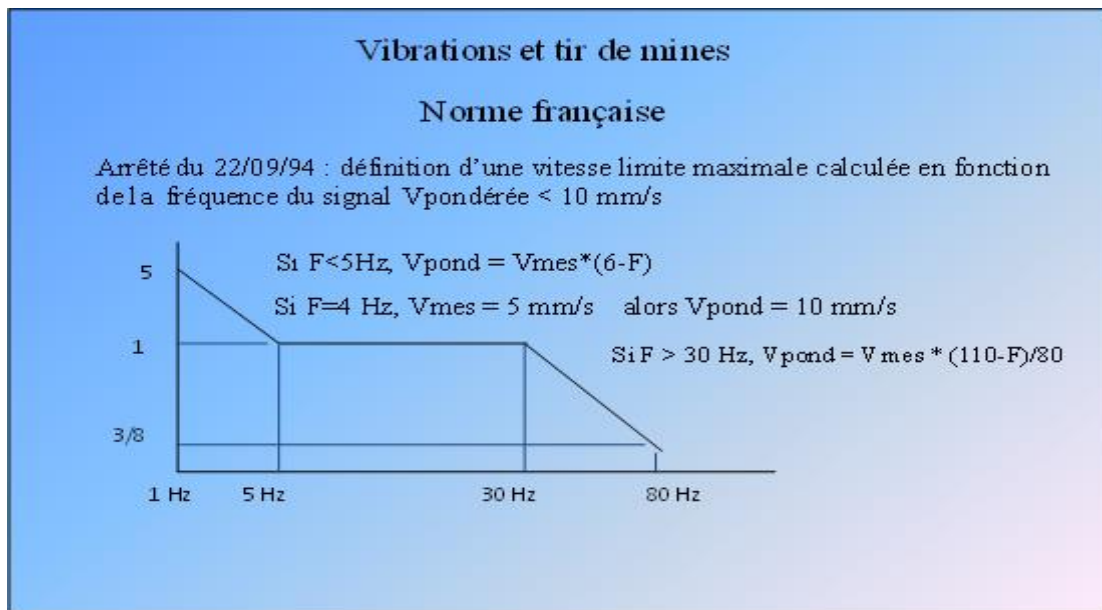


Figure I.17: Vibration de tir de mine norme française.[19]

I.4.2. Réglementation concernant la surpression aérienne

D'après le texte réglementaire Algérienne spécifique, et après consultation puis recommandation des divers organismes de tutelle, nous avons retenu les valeurs limites communément admises dans la réglementation internationales, et en particulier, celles prises en compte dans les documents techniques de références tels que le fascicule du CETU << Environnement du dossier pilote des tunnels >>, et le GFEE, gestion des plaintes de riverains lors de tir de mine. [19]

Ces valeurs sont rappelées dans la circulaire de juillet 1996 pour les carrières, qui préconise un seuil de surpression de 125 dB pour les habitations et de 145 dB pour les personnes, valeurs retenues également dans le guide technique CFRT de 2002 (terrassément à l'explosif dans les travaux rentières).

Il est recommandé de respecter un niveau limité de pression acoustique crête de 125 dB.

En règle générale, ce seuil est une amplitude de vitesse de vibration V (mm/s) associée d'une gamme de fréquence d'auscultation f (Hz).

- ❖ Pour une galerie sans soutènement $V < 50$ mm/s et $f > 150$ Hz.
- ❖ Pour une galerie avec soutènement $V < 15$ mm/s et $20 \text{ Hz} \leq f \leq 50 \text{ Hz}$.

Il peut s'exprimer également accélération (m/s^2) pour les équipements fixes ou en première analyse, on s'inspirera des recommandations de l'AFTES qu'intéressent essentiellement les constructions courantes à usage d'habitation :

- ❖ $V < 10$ mm/s faible probabilité de dommage.
- ❖ $10 \text{ mm/s} < V < 30 \text{ mm/s}$ nécessité d'un bon contrôle probabilité accrue de réclamations.
- ❖ $V > 30$ mm/s non recommandé en zone habitée.

Ces seuils peuvent être modulés en fréquence si la gamme en fréquence de coupure usuelle est de 10 Hz et 100 Hz.[19]

Conclusion

Dans cette étude bibliographique relative aux tirs de mines on peut conclure que la fragmentation des roches est une notion complexe dans le contexte de l'exploitation des carrières.

Elle dépend de plusieurs facteurs tels que :

- Les propriétés mécaniques du massif rocheux ;
- La consommation spécifique de l'explosif ;
- les paramètres de forage et de tir.

Pour s'assurer que la majorité de l'énergie de tir a été utilisé pour fragmenter la roche, le reste se propage dans le massif sous forme des ondes sismique et dans l'air sous forme des ondes sonores, qui sont considérés comme des pertes qui nuisent à l'environnement.



Chapitre II :
Présentation des sites expérimentaux

II.1. Présentation du premier site

II.1.1. Fiche technique

La société : ENOF.

Elisant domicile à : Béjaia.

Lieu-dit : Adrar Oufarnou.

Gisement : en exploitation.

Minerai : calcaire.

Superficie : 46 hectares.

II.1.2. Situation géographique

Le gisement d'Adrar Oufarnou est situé à une distance de 06 km au Nord de la ville de Bejaia.

Il est limité au Nord et au Nord-est par la mer méditerranéenne, au Sud par la RN24, à l'Est par Djebel Gouraya et Adrar Tabourt à l'Ouest.

La carrière est accessible à partir de la route nationale **RN24** par un accès de 02 km passant par le village d'Adrar Oufarnou.

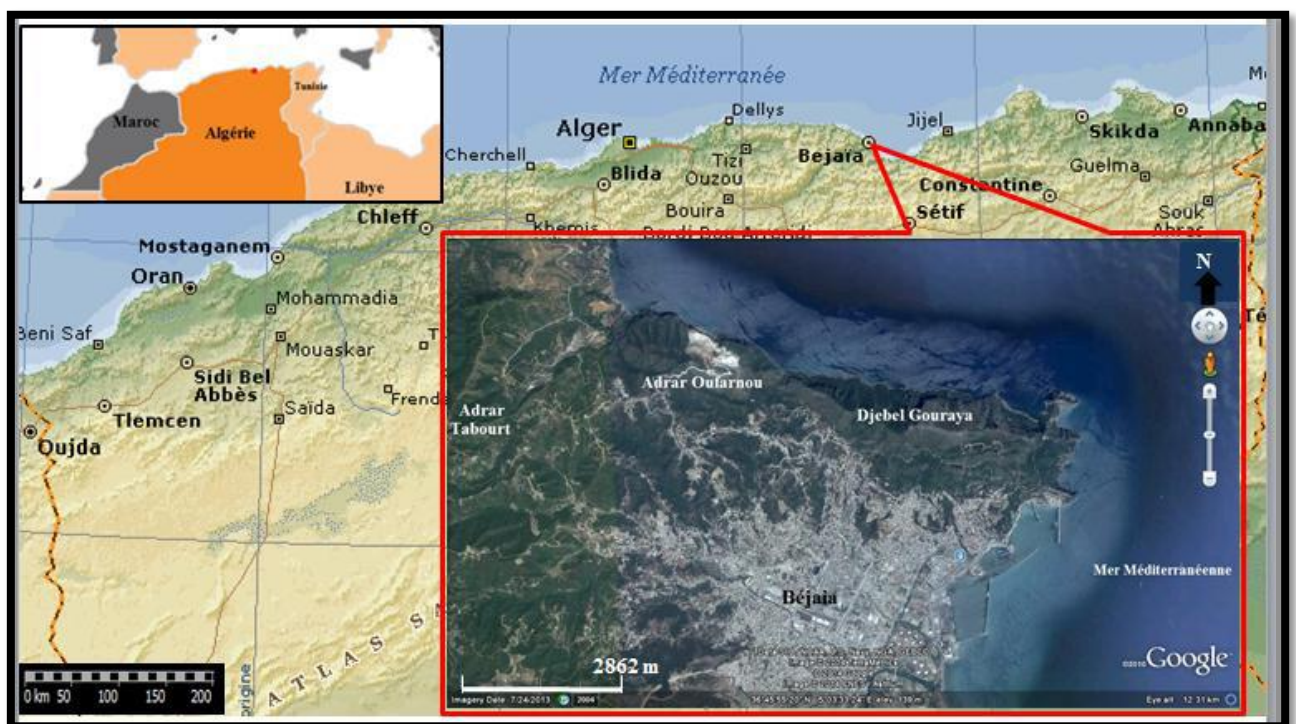


Figure II.01. Situation géographique de la carrière Adrar Oufarnou.[22]

II.1.3. Situation administrative

Administrativement, le gisement fait partie du territoire de la commune, daïra et wilaya de Béjaïa. La carrière s'étend sur 46 hectares comportant une zone en exploitation, une zone occupée par les installations fixes et une zone regroupant les blocs administratifs, laboratoire, ateliers et magasin.

Pour des exigences réglementaires et dans le but d'atteindre l'exploitation rationnelle des ressources du gisement aboutissant à une forme hectométrique on respectant l'art minier une reconversion des coordonnées au système UTM Nord Sahara a été effectuée dont le périmètre est défini comme suit :

Tableau II.01 : Périmètre et superficie du gisement.[22]

<i>Coordonnées UTM</i>					
<i>Point</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Point</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>
1	681 200	4073100	7	681700	4072800
2	681500	4073100	8	682000	4072800
3	381500	4073000	9	682000	4072300
4	681600	4073000	10	681400	4072300
5	681600	4072900	11	681400	4072600
6	681700	4072900	12	681200	4072600
La superficie du gisement est de 46 ha/Titre minier N° 1056 PM du 25/12/2013.					

II.1.4. Superficie du gisement, de la zone d'exploitation

- ❖ La superficie du gisement est de : 46h.
- ❖ Le contour de la zone renferment les réserves en exploitation est de : 28 h
- ❖ Le contour du gisement épuisé ou non susceptible d'être mis en exploitation est de 18 ha.

II.1.5. Historique des travaux

Dans le cadre de la reconnaissance de ce gisement, l'EREMa réalisé des travaux de recherche et de prospection durant la période de 1974 à 1977. Ces travaux se résument en :

- ❖ 04 sondages carottant de différentes profondeurs, dont le volume total est de 395,3 ml,
- ❖ des travaux géophysiques.
- ❖ des levés topographiques.

- ❖ des prélèvements d'échantillons en surface et aux différentes profondeurs.
- ❖ des essais chimiques et physico-mécaniques au laboratoire.
- ❖ Etude géologique.
- ❖ Le calcul de réserves.

Actuellement, des essais périodiques sont réalisés pour le suivi de qualité des granulats et des mise à jours topographique et des calculs de réserves sont réalisés annuellement.

II.1.6. Résumé sur les résultats des travaux de recherche

Le gisement d'Adrar Oufarnou présente une structure, qualité et puissance homogènes ce qui a permis de le classer parmi les gisements du premier groupe C1 (1er Groupe) avec des réserves de l'ordre de 27 400 000 tonnes.

La moyenne des résultats des analyses physico-mécaniques effectuées sur des échantillons prélevés aux différentes profondeurs au niveau des sondages carottés sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.02:Caractéristiques techniques de produits [22]

<i>Echantillons (une moyenne de 9essais)</i>	<i>Résistance en compression (kg/cm²)</i>		<i>Masse volumique absolue (t/m³)</i>	<i>Porosité (%)</i>
	Sec	humide		
Moy1	480	434	2.65	1.45
Moy2	501	466	2.7	0.72
Moy3	802	611	2.64	2.28
Moy4	591	511	2.69	1.02
Moy5	303	264	2.59	4.19
Moy6	252	/	2.48	8.34
Moy7	493	/	2.59	4.79
Moy8	696	621	2.67	1.86
Moy9	700	455	2.63	2.04
Moy10	732	665	2.68	1.15
Moy11	824	690	2.68	0.82
Moy12	1038	914	2.67	1.04

II.1.7. Géologie du gisement

II.1.7.1. Structure du gisement

Le Djebel Adrar Oufarnou forme un anticlinal de direction E-W à flanc nord érodé. Il est formé de terrains d'âge Jurassique inférieur et moyen (Fig.1). Il est constitué essentiellement de calcaire massif du lias inférieur. Il est limité par deux accidents tectoniques ; un à l'Est qui le sépare du Djebel Gouraya et l'accident de Aghbalou (N70°) à l'Ouest qui le sépare de Adar Imoula.

II.1.7.2. Stratigraphie

Les formations du territoire sont constituées essentiellement de roches sédimentaires stratifiées. Elles sont formées à la base par des calcaires massifs et dolomies du lias inférieur et par des marnes et marno-calcaires du dogger vers le sommet.

Le gisement de calcaire d'Adrar Oufarnou est caractérisé par deux structures distinctes : une structure massive à la base et une structure stratifiée vers le sommet.

- a) A la base : Le niveau massif est formé de roches micritiques de couleur gris clair, caractérisé par des passages fossilifères riches en pseudo oolithes et débris de fossiles (brachiopodes, foraminifères, et lamellibranches).
- b) Au sommet : Le niveau stratifié est caractérisé par des bancs de calcaires gris bleuâtre renfermant des nodules du silex de taille millimétriques à centimétriques, vers le sommet, les bancs de calcaires sont parfois soulignés par des interfaces marneuses.

II.1.7.3. Etude pétrographique

L'étude microscopique et macroscopique des échantillons prélevés sur toute la surface du gisement ont permis de distinguer trois variétés de calcaires :

1. Calcaire organogène (calcaire mudstone).
2. Calcaire détritique à débris fossilifères.
3. Pseudo-brèche à carbonates : cette dernière est prédominante.

II.1.7.4. Tectonique

Le gisement de Adrar Oufarnou représente la partie Est du grand synclinal de direction subméridionale. Il est limité à l'Ouest par l'accident d'Aghbalou (N070) qui le sépare d'Adrar Imoula d'âge Crétacé. Dans la partie Est, une faille importante d'orientation NE le sépare du massif calcaireux de Djebel Gouraya.

Les calcaires du gisement ont un pendage monoclinal vers SW. Les roches sont régulières suivant la direction et le pendage. L'étude géophysique a mis en évidence deux petites failles dans la partie centrale et Est du gisement. Deux types de fissures sont observés :

- a- Fissure parallèle à la stratification.

b- Fissure perpendiculaires au premier type et remplies par des filonnets de calcite ayant une puissance moyenne de 1m.

Le gisement est caractérisé aussi par la présence du phénomène karstique qui est observé sur toute l'assise exploitable. Il est plus développé dans sa partie Ouest.

L'exploitation des niveaux inférieurs(240m, 230m et 220m) a mis en évidence la présence d'une poche importante à remplissage de calcite.

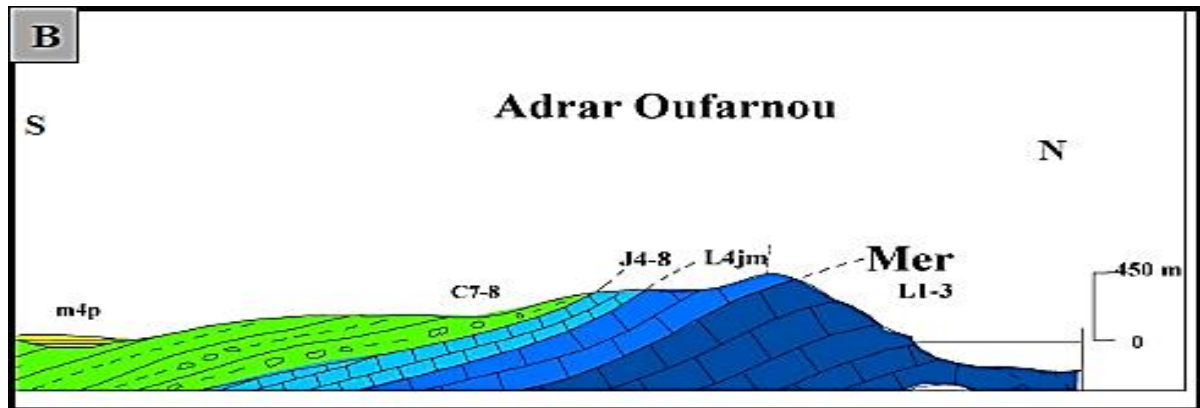


Figure II.02: Coupe géologique NS.

II.1.8. Les réserves du gisement

II.1.8.1. Etat des réserves exploitables et leurs classifications

Le gisement d'Adrar Oufarnou présente une structure, qualité et puissance homogènes ce qui permet de le classer parmi les gisements du premier groupe.

La zone d'exploitation couvre une surface de 28 hectares. Elle est constituée de 15 gradins, du niveau 360m jusqu'au niveau 210m :

- les gradins 360m, 350m et 340m sont en fin d'exploitation.
- Les gradins compris entre les niveaux 310m et 250m sont inaccessibles (gradins accidentés et couverts d'argile).
- Seuls les gradins 320m, 250m, 240m et 230m et 220 m sont en activité.
- Le gradin 210 m est prêt pour l'exploitation de l'exercice 2015.
- Le gradin 310 sera prêt pour l'exploitation de l'exercice 2015, dont l'avancement des travaux de réouverture de ce dernier est à 90%.

Les réserves exploitables à fin décembre 2013 sont évaluées à 10 475 568 Tonnes.

Les réserves exploitables à fin Août 2014 sont évaluées à 10 253 390 tonnes. (Voir plan).

Malgré l'augmentation de la superficie de la carrière de 42H à 46H suite la régularisation de la carrière avec un titre minier du 25/12/2013 , la délimitation de la zone

d'exploitation reste la même par rapport à l'ancien périmètre pour les arguments suivants (Voir le plan de délimitation de la carrière ci-dessous):

La zone d'exploitation est limitée au :

La zone d'exploitation est limitée au :

- Nord par une falaise abrupte et la mer méditerranée.
- Est par la zone fissurée, altérée et traversée par un talweg de direction NS.
- Sud par la limite de fin d'exploitation des niveaux épuisés 360m-350m.
- Ouest par un talweg et les limites finales du gisement.

II.1.8.2. Réserves et méthode de calcul utilisée

Tableau II.03 :Réserves géologique et exploitables.

<i>Niveaux des gradins</i>	<i>Réserves</i>	
	<i>Géologiques (m³)</i>	<i>Exploitables (m³)</i>
340	8 182	3 670
330	49 392	23 280
320	162 384	107 088
310	270 336	190 560
300	314 400	210 096
290	358 272	229 440
280	401 184	247 824
270	441 456	263 520
260	482 208	280 128
250	526 224	299 424
240	646 128	394 704
230	681 754	391 834
220	798 432	493 344
210	987 360	662 640
Total	6 127 712	3 797 552

II.1.9. Travaux d'abattage et de tir

Les suggestions que nous faisons pour le chargement des trous des mines ne sont que des aperçus de chargement que le proposé au tir doit améliorer en fonction du résultat de

l'abattage. Le responsable chargé au suivi de la foration doit veiller à ce que les fronts soient parallèles aux diaclases de réduire la consommation en explosif.

En vue d'utiliser au mieux d'énergie explosive des charges il faut veiller au meilleur couplage explosif/massif rocheux en utilisant le diamètre des cartouches le plus proche au diamètre du trou du sondage. En règle générale pour un diamètre de 89 mm, il à lieu d'utiliser des cartouches de diamètre 65 mm ceci permet de nous donner un degré de remplissage au fond du trou qui avoisine les 73%. Cette valeur peut-être encore amélioré si le proposé au chargement fendille légèrement le cartouche avant de la lâcher dans le trou de mine, l'impact du choc fera tasser la cartouche augmentant ainsi le degré de remplissage qui avoisinera les 90%. [22]

II.2. Présentation du deuxième site

II.2.1: Fiche technique

La société : EURL ISSAADI MUSTAPHA.

Elisant domicile à : BOUANDAS.

Représenté par monsieur : ISSAADI MUSTAPHA.

Agissent en qualité de : gérant.

Lieu-dit : TAKERKART.

Gisement : en exploitation.

Minerai : calcaire.

Permis minier : N°2279 PM. Du 22 mai 2012. Durée de validité : 10 ans.

Superficie : 27 hectares.

II.2.2. Localisation du site.

Le site est localisé dans la commune de BOUANDAS à environ 6 km de la route nationale N° 75 et à 90 km du chef-lieu de la wilaya ; on y accède à la nationale N°75 par une piste aménagée par le promoteur, une route communale de la wilaya de Bejaia Dessert le gisement.

Tableau II.04:Cordonnée topographique du périmètre.[23]

<i>U-T-M fuseau 31</i>		
1	688 100	4 042 900
2	688 400	4 042 900
3	688 400	4 042 600
4	688 500	4 042 600

5	688 500	4 042 400
6	688 400	4 042 400
7	688 400	4 042 300
8	688 000	4 042 300
9	688 000	4 042 500
10	688 900	4 042 500
11	688 900	4 042 700
12	688 000	4 042 700
13	688 000	4 042 800
14	688000	4042 800

II.2.3. Géologie du gisement

Le gisement fait partie du massif de djebel Bouandas, il est localisé dans un brachyantoclinal métamorphique à prédominance de gneiss ceinturé par une formation de micaschiste avec des intrusions et des extrusions de roche éruptive qui ont traversés les terrains de découverte calcaire, ces terrains appartiennent aux flysch sénoniens et ou grés numidiens. Localement la série cristallophyllienne constitue le substratum.

Dans la série stratigraphique, on trouve le gneiss à tourmaline avec des lentilles de cipolin et des intercalations de micaschiste, des calcaires massifs à grains fins de couleur claire avec des incrustations de module siliceux et des calcaires à échinodermes cristallisés

La série numidienne se présente comme suit :

- Argile numidienne de couleur verte ou violacé à bancs gréseux avec une de présence TUBOTOMACULUM.
- Grés numidiens à passe épaisses à cassure jaunâtre et à quartz roulés très hétérogène.
- Argile marneuses de couleur clair

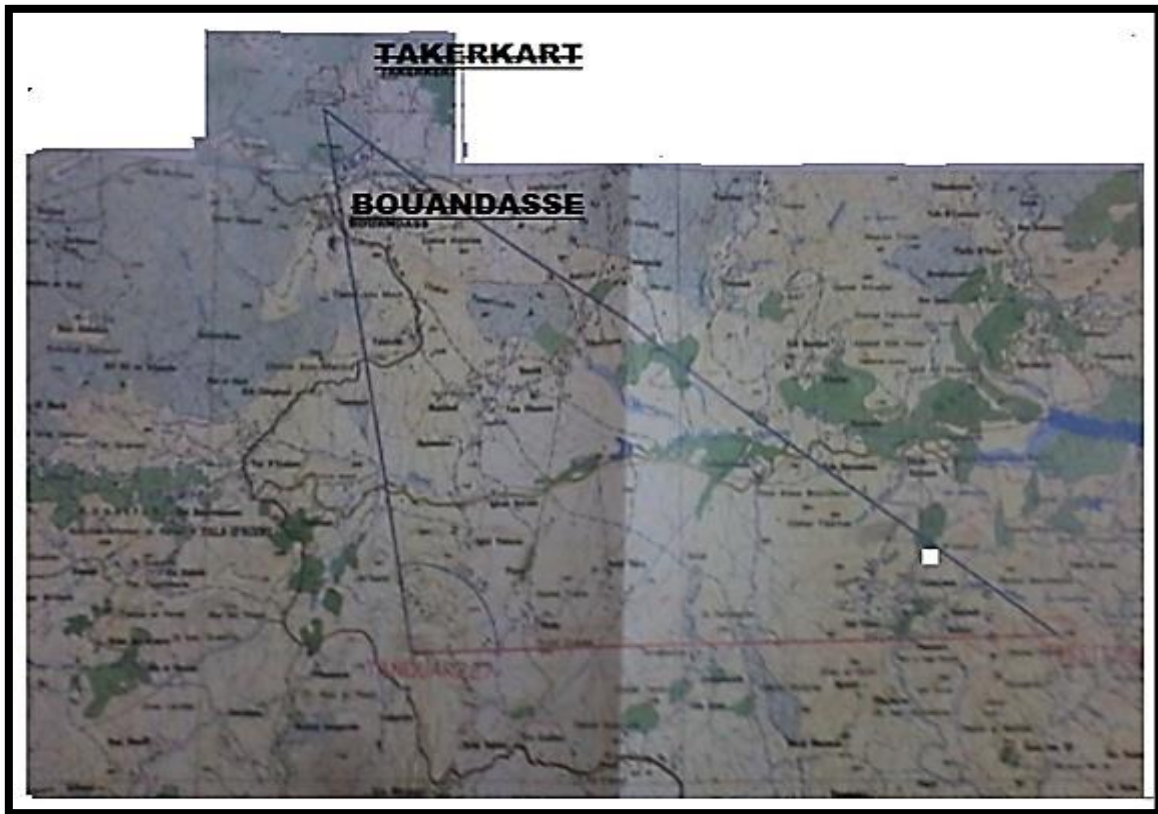


Figure II.03: Situation géographique du gisement djebel Bouandas.

II.2.4. Les réserves

L'estimation des réserves géologique prend pour baser le calcul de niveau 1380 et tout ce qui inférieur à cette cote dans le coteur du périmètre a été exclus du calcul, l'estimation s'est basé sur les surfaces des profils topographique verticaux et les plans horizontaux.

II.2.5. Travaux d'abattage

L'observation in –situ des bancs en exploitation met en évidence une structure fissurée ou les dimensions des blocs en massif varient de 200- 500 mm ceci nous met devant une carrière qui exploite des fronts « fissurés à petit blocs » que par identification au tableau par lequel la commission de l'art de tir qui classe les fronts en 05 catégorie pour l'estimation de la consommation spécifique étalant en explosif nécessaire à la destruction de 1 m³ de roche en place, nous permet par identification de classer ce tipe de front dans la catégorie II.

Tableau II.05: Classification des fronts suivant la fissuration.[23]

<i>Catégories des fissures des roches</i>	<i>Degrés de fissurer du massif</i>	<i>Distance moyen entre les fissures (m)</i>	<i>Dimension (mm) des blocs en massif (taux)</i>					
			300	500	700	1000	1500	2000
II	Roche exclusivement	Jusqu'à 0,1	10	5	0	0	0	0
	Fissurés							

Des essais menés dans diverse carrière dont la structures des fronts est similaires à la carrière objet de notre étude donnent la valeur maximum de q étalon = 400 g/m³

Tableau II.06: Destructibilité à l'explosif en fonction de la consommation étalon.[23]

<i>Destructibilité à l'explosif</i>	<i>q_c(g/m³)</i>
Facile (I)	≤200
Moyenne (II)	201-400
Difficile (III)	401-600
Très difficile (IV)	601-800
Excrément difficile (V)	801-1000

Sur la base de cette valeur sera dimensionnée la maille du tir qui tiendra pour compte :

- du diamètre de sondage.
- La nature de l'explosif que l'ONEX commercialise pour l'extraction des roches massives.
- Le facteur économique.
- Les exigences technologiques du processus du chargement jusqu'à la transformation du produit brut au produit fini.
- La vraisemblable résistance au tir du matériau concours à l'utilisation d'un outil de forage compris entre 80mm jusqu'à 102mm pour maintenir au plus bas le taux des hors gabarit dans le tas abattus comme le donne le graphe de l'influence du diamètre de sondage sur le résultat du tir, diamètre qui évitera à coup sur taux élevé de bloc hors

gabarit nécessitant des travaux de débitage secondaire d'où des surcoût sur l'opération d'abattage. [23]

II.2.6. Travaux de tir

La carrière doit couvrir une demande de 108 000 m³/ans, soit \approx 9000 m³/mois.

Le diamètre du sondage que nous proposons pour l'exploitation de cette carrière est le 102 mm diamètre qui à notre sens est le plus approprié pour ce type de formation et le plus couramment utilisé de plus il donne au responsable chargé des tirs la possibilité de faire varier la maille de foration en fonction des résultats obtenus.

Variation de l'épaisseur à abattre en fonction de la consommation spécifique de l'explosif pour un diamètre de sondage de 102 mm. [24]

Tableau II.08: Épaisseur à abattre en tant que fonction de la consommation spécifique en explosif. [24]

Chargement du trou de mine Ø 102mm					
Consommation spécifique Kg /t	Cubage m ³	Hauteur m	Épaisseur m	Distance m	Sous forage m
0,35	264	15	3,75	4,70	1,25
0,4	229	15	3,50	4,35	1,10
0,45	203	15	3,30	4,10	1,10
0,5	160	15	3,10	3,85	1,05
0,55	166	15	3	3,75	1
0,6	152	15	2,85	3,55	0,95
0,65	142	15	2,75	3,45	0,92

La carrière est tenue de faire sauter 40 trous de mines par mois pour couvrir la production requise.

II.2.6.1. Schéma générale de chargement d'un trou de mine

Les suggestions que nous faisons pour le chargement des trous des mines ne sont que des aperçus de chargement que le proposé au tir doit améliorer en fonction du résultat de l'abattage. Le responsable chargé au suivi de la foration doit veiller à ce que les fronts soient parallèles aux diaclases de réduire la consommation en explosif.

En vue d'utiliser au mieux d'énergie explosive des charges il faut veiller au meilleur couplage explosif/massif rocheux en utilisant le diamètre des cartouches le plus proche au diamètre du trou du sondage. En règle générale pour un diamètre de 102 mm, il à lieu d'utiliser des cartouches de diamètre 82 mm ceci permet de nous donner un degré de remplissage au fond du trou qui avoisine les 80%. Cette valeur peut être encore amélioré si le proposé au chargement fendille légèrement le cartouche avant de la lâcher dans le trou de mine, l'impact du choc fera tasser la cartouche augmentant ainsi le degré de remplissage qui avoisinera les 90%.

II.2.6.2. L'amorçage

Comme le chargement les schémas d'amorçage que nous proposons ne sont que les indices, le responsable chargé des travaux de carrière doit continuellement chercher le mode d'amorçage qui convient le mieux à ces tirs. Ce que nous lui conseillons en premier est la mise la mise à feu par le centre (schéma D) par des détonateurs microretard multi phases.

II.2.7. les mesure de sécurité la stabilité des sols

Dans le cas du gisement TAKARKET les risque qui peuvent découler si la stabilité venait à être rompue est un écroulement soudain au un fluage de la masse rocheuse car on est en présence d'une succession de couche calcaire massif compact et relativement dur qui repose sur la mince couche de marne (roche meuble).

La stabilité un ouvrage minier dépend en partie des propriétés physico-mécaniques des matériaux mais surtout les conditions géologiques du gisement et de son voisinage immédiat, ou entre autre la stratigraphie et la tectonique à l'échèle local jouent un rôle prépondérant, viennent s'ajouter les faille et les fissures naturelles qui feront qu'un ouvrage minier peut s'avérer plus stables par rapport à un autres situe à proximité et dans la même formation géologique, cette situation peut être aggraver par les forme et le volume des travaux minier et mis en œuvre, ou par exemple le mode d'abatage et le degré de fissuration qui en résulte peut rendre nue zone du gisement moins stable qu'une autre.[24]

II.3. Appareillage utilisés (DELTA SEIS 1)

II.3.1. Présentation

L'enregistreur DELTA SEIS 1 est un Sismographe pour mesures des nuisances sismiques et acoustiques des tirs de mines de dernière génération, cet appareil est conforme à la norme AFNOR NF E90 20 relatives aux caractéristiques des appareillages de mesures de ces phénomènes.



Figure II.04: Enregistreur DELTA SEIS 1.[25]

Doté d'un écran graphique tactile permet :

- 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 signaux enregistrés

Les mesures sont enregistrées sous clef USB amovible : les données peuvent ensuite être directement analysées sur ordinateur avec un logiciel d'exploitation type white2003.

Le Deltaseis1 est doté d'un capteur interne (géophone tri-directionnel) pour la mesure de vibrations sismiques et d'un microphone externe pour la mesure de surpression acoustique.

II.3.2. Caractéristiques techniques

Toutes les caractéristiques techniques de Deltaseis 1 sont récapitulées dans le tableau II.09

Tableau II.09: Caractéristiques techniques de l'appareil. [25]

Gamme de mesure sismique	0-32 mm/s standard 0-127 mm/s en option (réglage usine)
Seuil de déclenchement	Réglable par de 0.1mm/s a partir de 0.5 mm/s
Capteur sismique	En standard géophone tri-directionnel 4.5 Hz
Gamme de mesure acoustique	Capteur piésorésistif à basse sensibilité (10 mBar pleine échelle, 1000 pascal)
Temps d'acquisition	Réglable de 2 à 14 s par pas de 2 s
Echantillonnage	2048 Hz
Dynamique	66 dB
Capacité maximale	En fonction de la mémoire disponible sur la clef USB 1000 enregistrements de 4 s sur clef de 250 Mo
Alimentation	Par chargeur externe pour le deltaseis1
Autonomie	7 jours en mode acquisition sans charge 5 heures en mode consultation des données
Température d'utilisation	-10° à +40° C
Limite d'emploi	Le deltaseis doit être conservés dans un local sec et tempéré. Si l'appareil est utilisé en milieu humide, les mettre à sécher couvercle ouvert à une température comprise entre 15 et 25°C.
Dimensions	Conditionné dans une valisette de transport de 23x19x11 cm
Poids	Deltaseis1 :3 Kg
Logiciel d'exploitation des données	Logiciel 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	Garantis pièces et main d'œuvre pendant 1 an.
Support technique et service après vente	Pour tout problème technique sur le fonctionnement des appareils, contacter les sociétés SIMI ou Air-Systems.

II.3.3. Mode d'emploi

II.3.3.1. Généralités

Le DELTASEIS 1 est équipé d'un écran tactile qui permet de régler les différents paramètres de fonctionnement par appui sur l'écran. Pour un fonctionnement optimal, l'écran doit être propre et en bon état.

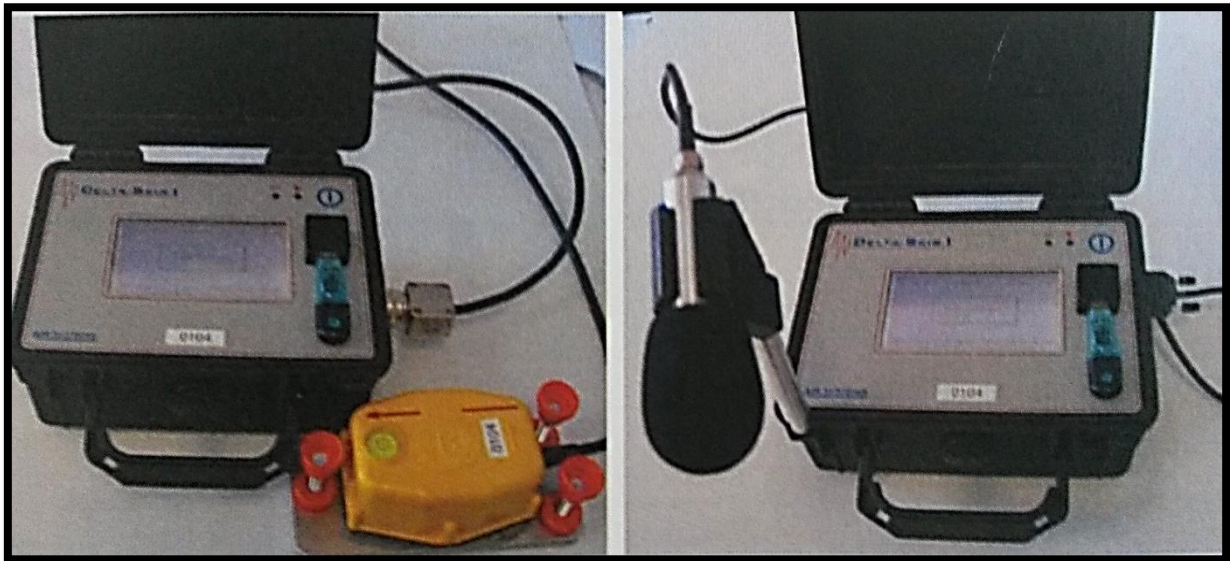
Les mesures sont enregistrées sous clef USB fournie avec l'appareil. Le formatage de la clef est spécifique à l'appareil (format FAT32).

La charge de la batterie s'effectue en 12 heures. En fin de charge, la diode de charge située la plus gauche s'éteint : L'appareil est chargé complètement. L'autonomie de l'appareil est de 15 jours mode mesure, écran éteint.

Lorsque l'appareil est chargé complètement, nous vous conseillons d'arrêter la charge pour éviter un endommagement prématuré des batteries.

II.3.3.2. Branchement des captures

Avant la mise en marche, brancher les capteurs dans les prises situées à droite de l'appareil. La prise ronde est destinée au capteur sismique (géophone). La prise rectangulaire (RS232) est destinée au capteur de surpression acoustique.



FigureII.05:Branchement des captures sismique et acoustique.

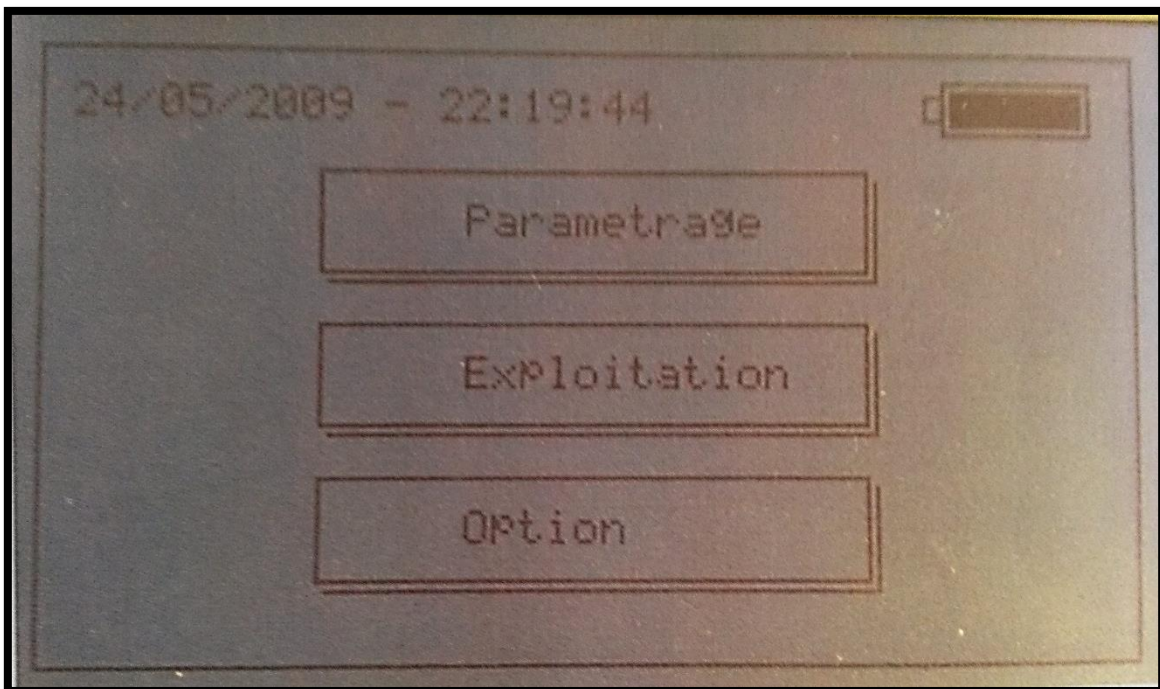
II.3.3.3. Mise en marche

La mise en marche des appareils s'effectue en appuyant sur la touche M/A située en haut à droite de la face avant de l'appareil. Après appui sur la touche, le témoin de mise en route s'affiche quelques secondes (diode rouge) et l'écran s'allume.



FigureII.06: Mise à marche de l'appareil DeltaSeis 1.

Après la mise en marche de l'appareil; trois menus sont affichés :



FigureII.07: Les menus affichés après démarrage.

- Menu paramétrage : menu qui permet de définir les paramètres de déclenchement de l'appareil (seuil sismique, acoustique, durée d'enregistrement) et d'enregistrement (clef USB, impression).

- Menu exploitation : menu qui permet de consulter les données enregistrées et d'afficher les signaux.
- Menu option : menu qui permet de définir les paramètres d'information sur le tir effectué : emplacement du tir, distance, charge unitaire, charge totale. Ces données seront ensuite imprimées via l'imprimante présente sur le DeltaSeis 2.

La date et l'heure sont affichées en haut de l'écran.

Le témoin de charge batterie est affichée en haut à droite de l'écran. Lorsque la pile est totalement grisée, la charge de l'appareil est complète.

1) Menu Paramétrage

Appuyer sur la touche paramétrage pour entrer dans ce menu. L'écran suivant est affiché :

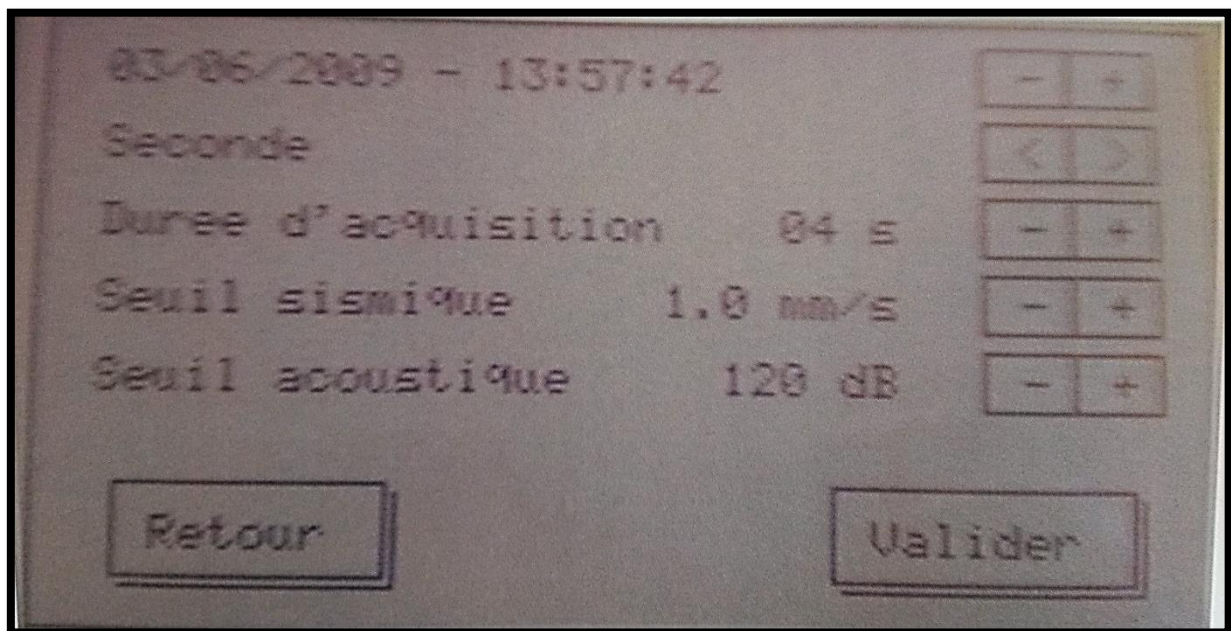
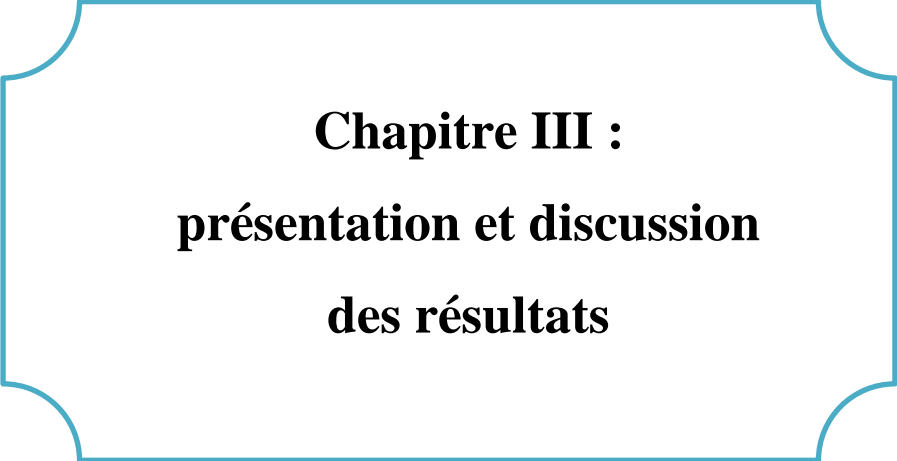


Figure II.08: Menu paramétrage qui permet de modifier les différents paramètres.

Puis en appuyant sur la touche valider l'appareil affiche les différentes informations qui concernent l'acquisition. Puis on appuie sur la touche acquisition pour permettre d'accéder au mode acquisition ou l'appareil s'éteint et la diode située à côté du bouton M/A clignote.

L'écran principale s'allume lorsqu'un événement a été détecté. [25]



Chapitre III :
présentation et discussion
des résultats

Introduction

Dans le but de bien mener notre étude d'impact sur l'environnement due aux tirs, nous avons pris le soin de choisir deux des paramètres influençant ce dernier. En effet la distance et la charge instantanée d'explosif utilisées, restent les paramètres ayant le plus d'impacts sur la propagation des ondes sismiques et sonores [19].

La distance a pour but de nous renseigner sur la longueur de propagation des ondes, cette dernière permet de déclencher l'appareil de mesure, ayant pour seuil de sensibilité la valeur de vitesse de 0.5 mm/s, tandis que la charge instantanée de l'explosif conditionne la puissance du tir transmettant ainsi des ondes sonores (acoustique) déclenchant le capteur sonore de l'appareil au-delà de 115 dB [25].

Au cours des enregistrements nous avons procédé par l'élaboration du couple charge / distance (C/D), dont la charge représente la quantité des explosifs utilisés lors du tir, cette quantité est fixée par les autorités compétentes, par contre la distance représente la séparation entre le lieu de tir et celui de l'emplacement de l'appareil d'enregistrement des vibrations.

Il est à préciser que nous avons procédé par l'enregistrement sur le terrain simultanément pour les deux zones d'études retenues, à savoir la carrière d'Adrar Oufarnou dans la wilaya de Bejaia et celle de Bouandas dans la wilaya de Sétif. Nous procéderons dans ce qui suit par la présentation des résultats, leur interprétation et une timide étude comparative.

III.1. Enregistrement des tirs de la carrière d'Adrar Oufarnou

Les sorties de terrain pour la première zone nous ont permis d'effectuer plusieurs campagnes d'enregistrements, dans leur ensemble nous les avons réparties en quatre classes en fonction du couple charge / distance :

1. Non détectable ;
2. Détectable non significatives ;
3. Détectable significatives non dangereuse ;
4. Détectable significatives dangereuse

III.1.1 Première classe d'enregistrement

Cette classe regroupe les tentatives d'enregistrements effectués à une distance supérieure à 600 m ($D > 600$ m), les tirs ont été réalisés suite à des charges instantanées de 175 et/ou 80 kg ($C_1 = 175$ Kg; $C_2 = 80$ kg).

III.1.1.1. Résultats obtenus pour la première classe d'enregistrement

Pour cette classe l'appareil d'enregistrement n'a rien enregistré (le seuil de détection est supérieur aux vibrations émises par l'explosion), néanmoins nous avons récapitulé les informations des tirs de cette classe dans le tableau III.1.

Tableau III.1: Les tentatives d'enregistrement échoué.

<i>Date du tir</i>	<i>Réf. Mesure</i>	<i>Réf. Appareil</i>	<i>Charge instantané (kg)</i>	<i>Dist. (m)</i>	<i>Vr (mm/s)</i>	<i>Vv (mm/s)</i>	<i>Vt (mm/s)</i>	<i>Surpression Acousrique (dB)</i>
28-03-2016	***	112	170	700	***	***	***	***
28-03-2016	***	112	80	620	***	***	***	***
04-04-2016	***	112	170	650	***	***	***	***
04-04-2016	***	112	80	620	***	***	***	***

*** : rien n'a été enregistré.

III.1.1.2. interprétation des résultats

Les tirs réalisés sont qualifiés de non détectables, cela est dû aux raisons suivantes :

- distance très grande rendant la sensibilité inférieure à celle de l'équipement de mesure. La distance est inversement proportionnelle à la vitesse de propagation des ondes ce qui fait qu'elle est d'autant plus grande que la vitesse est minimale, par conséquent l'enregistrement devient impossible [21].
- En terme de géomorphologie, il est à signaler que l'appareil de mesure était installé sur un point d'enregistrement situé à une altitude voisinant les 730 m, essayant ainsi de capter des vibrations venant d'une altitude inférieure (le point d'explosion) ne dépassant pas les 300 m.
- Le site de l'explosion est sous forme de gouffre, emprisonnant les bruits qui se déciment facilement, entre les versants montagneux et l'ouverture vers la mer [22]

Les enregistrements des tirs de la première classe nous ont permis de conclure qu'il y a une absence totale des risques sonores et vibratoires.

III.1.2 Deuxième classe d'enregistrement

Cette classe regroupe les tentatives d'enregistrements effectués à une distance compromise entre 600 et 400 m ($600 > D > 400$), le tir a été réalisé suite à une charge instantanée de 175 kg ($C=175$ kg).

III. 1.2.1. Résultats obtenus de la deuxième classe d'enregistrement

Pour cette classe l'appareil d'enregistrement a détecté des vibrations non significatives, néanmoins nous avons récapitulé les informations du tir de cette classe dans le tableau III.2.

Tableau III.2: Les tentatives d'enregistrement non significatives.

<i>Date du tir</i>	<i>Réf. Mesure</i>	<i>Réf. Appareil</i>	<i>Charge instantané (kg)</i>	<i>Dist. (m)</i>	<i>Vr (mm/s)</i>	<i>Vv (mm/s)</i>	<i>Vt (mm/s)</i>	<i>Suppression Acoustique (dB)</i>
28-03-2016	104	112	170	450	2.0	1.8	1.7	154

Le traitement de cet enregistrement par le logiciel Analyse sismique DeltaSeis 4.4 nous a permis d'établir les fiches techniques et fréquentielles figure III.1 et figure III.2.

Celles qui se traduisent par une absence totale du signe sinusoïdal témoin d'une vibration ondulatoire, cela se traduit par la courte durée de l'onde. Tandis que l'analyse fréquentielle démontre que la fréquence des ondes reste au-dessous du niveau critique.

Il en résulte que la distance de départ choisie, n'était pas incluse dans le périmètre de détection des ondes.

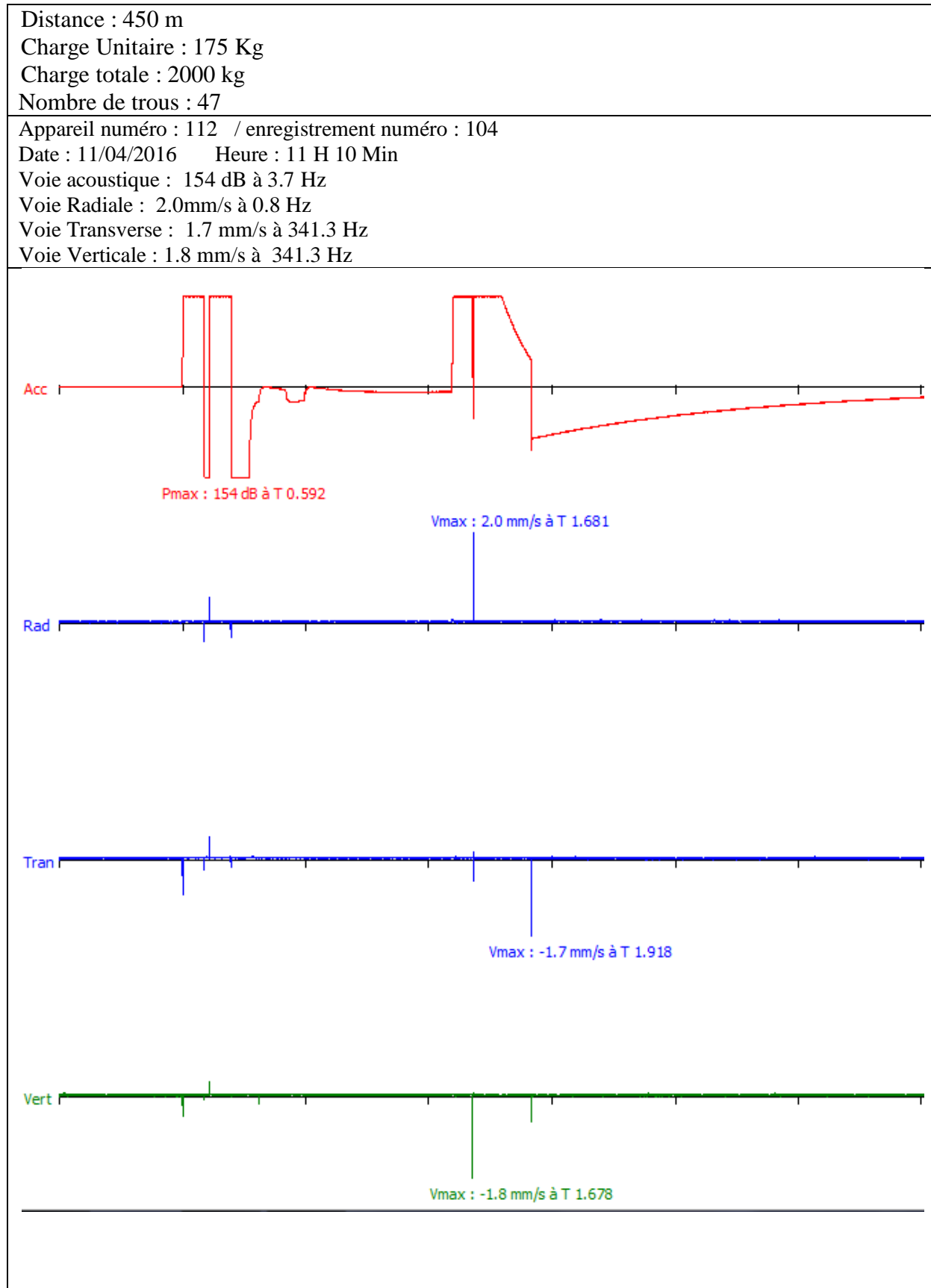


Figure III.01: Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°: 104.

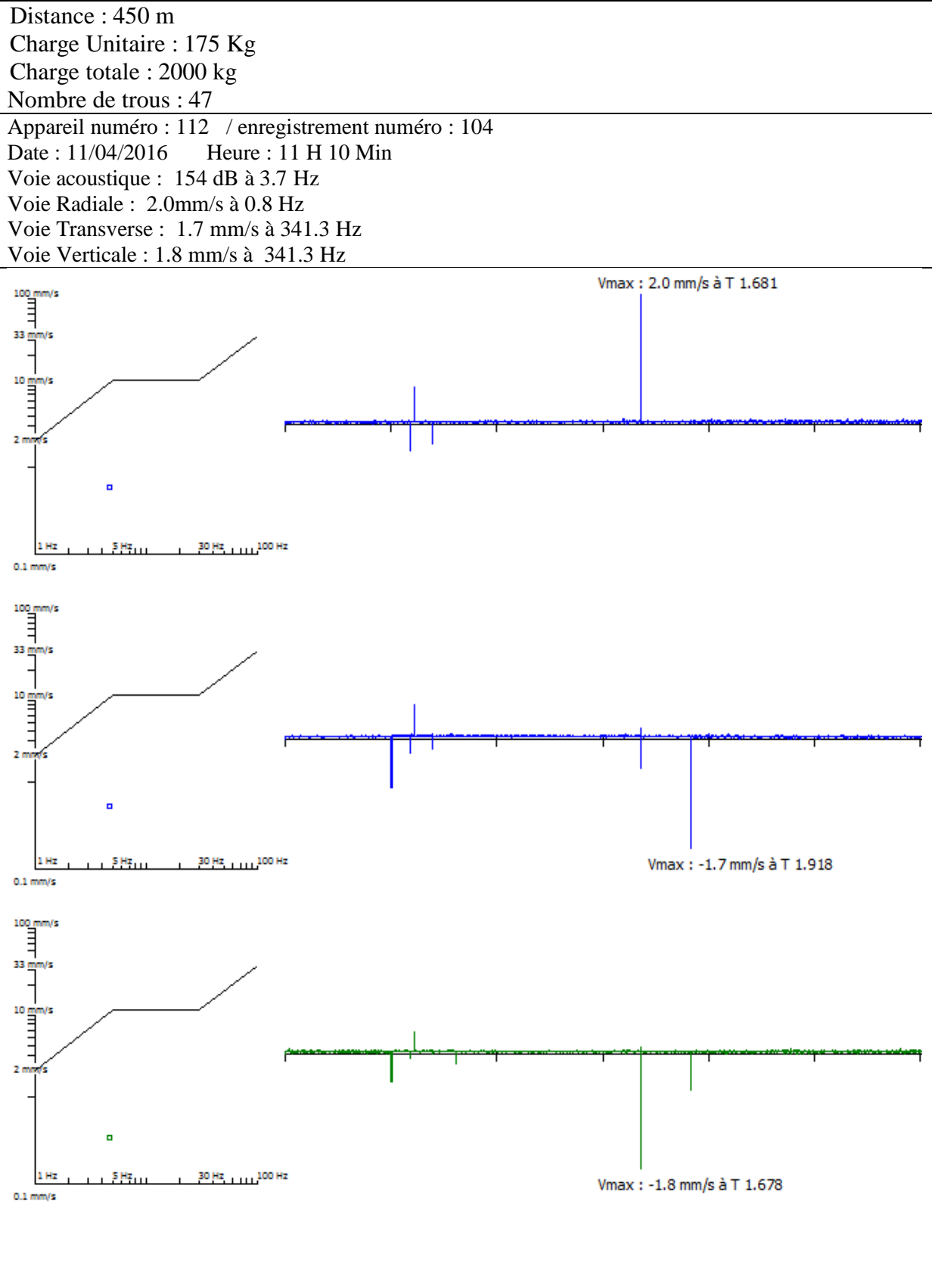


Figure III.02:Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°: 104.

III.1.2.2. Interprétation des résultats

La non signification des vibrations est expliquée par le fait que les charge instantanée étaient pas assez importantes pour générer des vibrations détectables, tandis que la distance d'enregistrement n'est pas assez bien calculée pour permettre une quantification du phénomène. En effet l'emplacement de l'appareil était sur la limite du périmètre de détection du fait qu'il a enregistré une vibration instantanée due à une seule charge instantanée.

On remarque que:

- La non homogénéité des quantités d'explosifs retenues pour les différents tirs qui permet de quantifier tirs et non pas d'autre ;
- Contrairement aux ondes sismiques, les ondes sonores ont été capté a fréquence remarquables dépassant la limite de sécurité, d'après la fiche technique l'onde sonore et d'une valeur de: $Acc = 154 \text{ dB}$.

Il on résulte de ces tirs un danger sonore et non pas sismique.

III.1.3. Troisième classe d'enregistrement

Cette classe regroupe les tentatives d'enregistrements effectués à une distance compromise entre 400 et 300 m ($400 > D > 300$), les tirs ont été réalisés suite à une charge instantanée de 80 kg ($C=80 \text{ kg}$).

III. 1.3.1. Résultats obtenus pour la troisième classe d'enregistrement

Pour cette classe l'appareil d'enregistrement a détecté des enregistrements significatifs, non dangereux, les détails de ces enregistrements sont donnés par le tableau III.3.

Tableau III.3: Indices des tirs de la troisième classe.

<i>Date du tir</i>	<i>Réf. Mesure</i>	<i>Réf. Appareil</i>	<i>Charge instantané (kg)</i>	<i>Dist. (m)</i>	<i>Vr (mm/s)</i>	<i>Vv (mm/s)</i>	<i>Vt (mm/s)</i>	<i>Surpression Acousrique (dB)</i>
25-04-2016	109	112	80	350	1.8	1.1	2.4	122
19-04-2016	112	112	80	300	0.8	0.9	1.1	124

Les fiches techniques obtenues après l'analyse par le logiciel, sont présentées ci-dessous

Distance : 350 m
Charge Unitaire : 80 Kg
Charge totale : 800 Kg
Nombre de trous : 20

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 109
Date : 25/04/2016 Heure : 11 H 39 Min
Voie acoustique : 122dB à 204.8Hz
Voie Radiale : 1.8 mm/s à 11.4 Hz
Voie Transverse : 2.4 mm/s à 10.7 Hz
Voie Verticale : 1.1 mm/s à 13.6 Hz

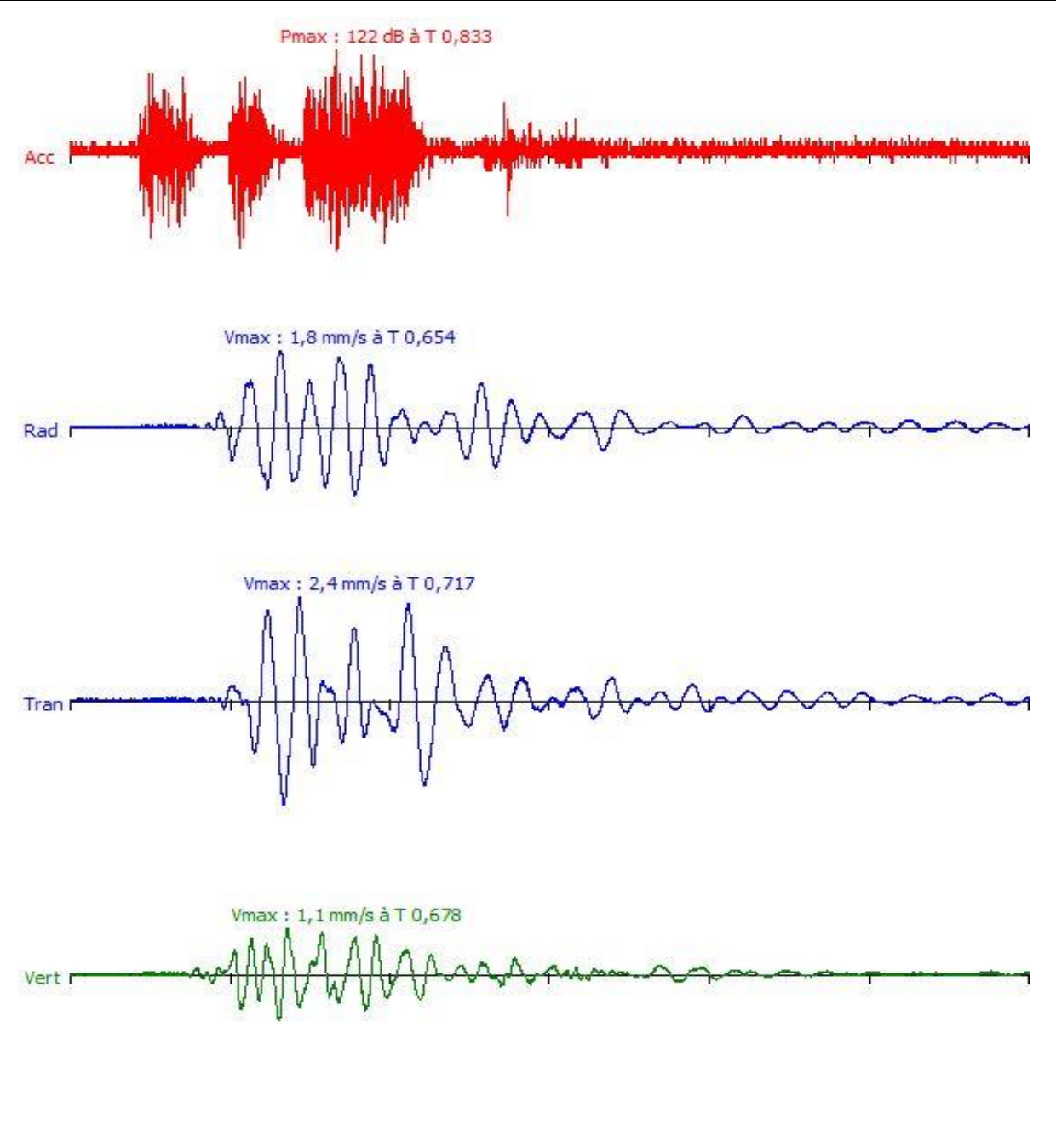


Figure III.03: Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n° :109.

Distance : 350 m
Charge Unitaire : 80 Kg
Charge totale : 800 Kg
Nombre de trous : 20

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 109

Date : 25/04/2016 Heure : 11 H 39 Min

Voie acoustique : 122dB à 204.8Hz

Voie Radiale : 1.8 mm/s à 11.4 Hz

Voie Transverse : 2.4 mm/s à 10.7 Hz

Voie Verticale : 1.1 mm/s à 13.6 Hz

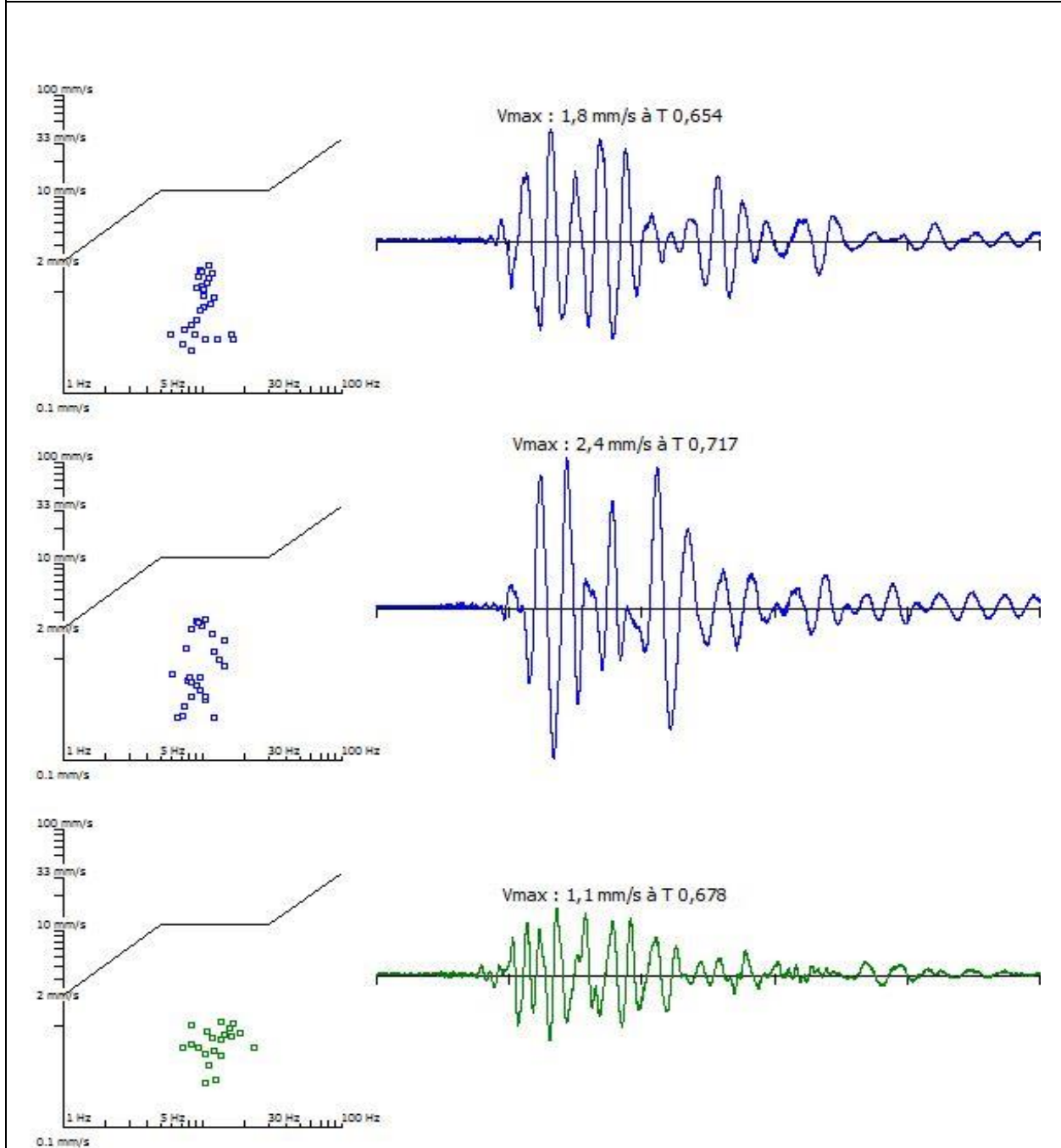


Figure III.04: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°:109.

Distance : 300 m
Charge Unitaire : 80 Kg
Charge totale : 500 Kg
Nombre de trous : 15

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 112
Date : 19 /05/2016 Heure : 10 H 51 Min
Voie acoustique : 124 dB à 204.8 Hz
Voie Radiale : 0.8 mm/s à 19.0 Hz
Voie Transverse : 11.1 mm/s à 15.3 Hz
Voie Verticale : 0.9 mm/s à 18. Hz

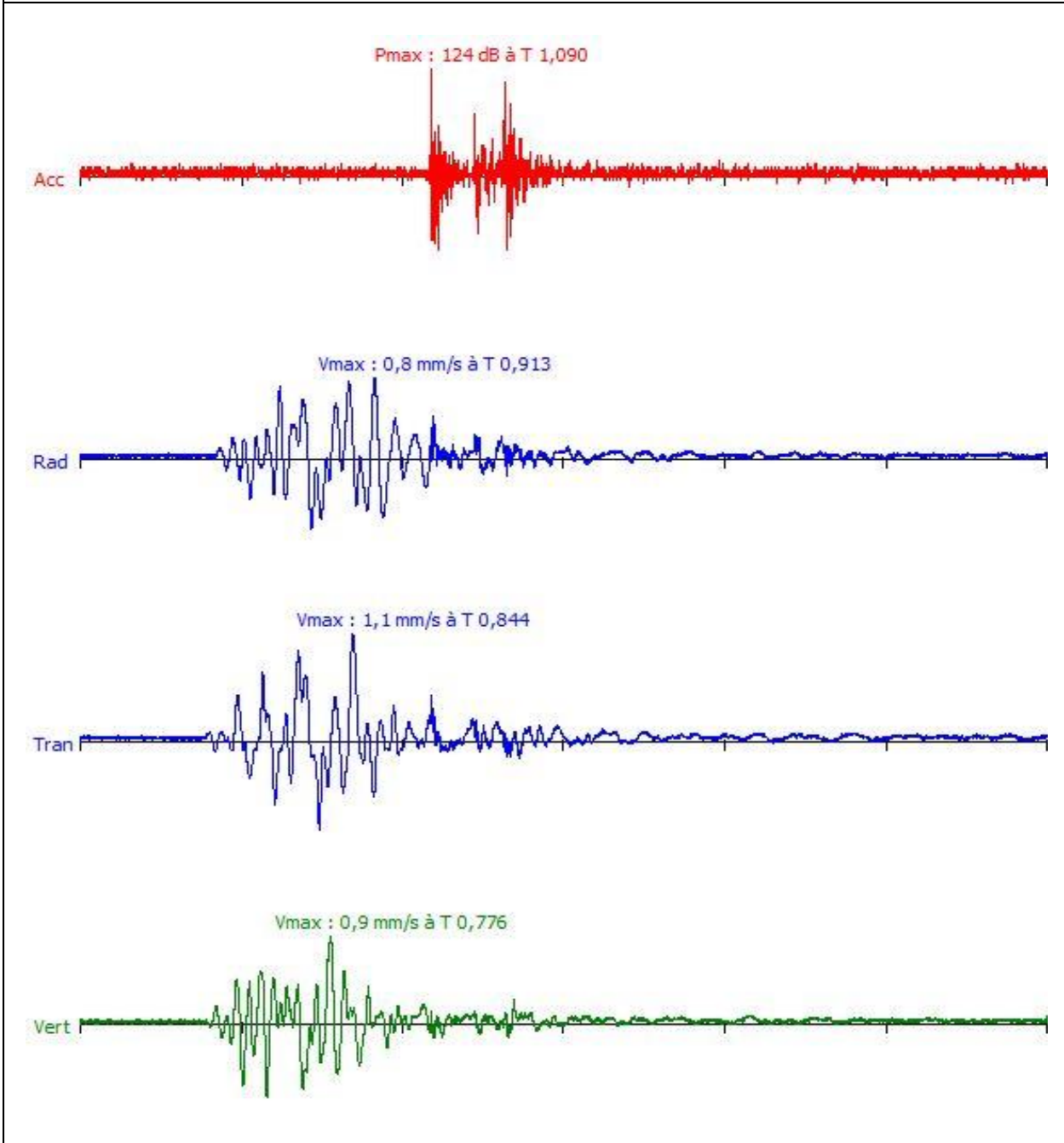


Figure III.05: Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°:112.

Distance : 300 m
 Charge Unitaire : 80 Kg
 Charge totale : 500 Kg
 Nombre de trous : 15

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 112
 Date : 19 /05/2016 Heure : 10 H 51 Min
 Voie acoustique : 124 dB à 204.8 Hz
 Voie Radiale : 0.8 mm/s à 19.0 Hz
 Voie Transverse : 11.1 mm/s à 15.3 Hz
 Voie Verticale : 0.9 mm/s à 18. Hz

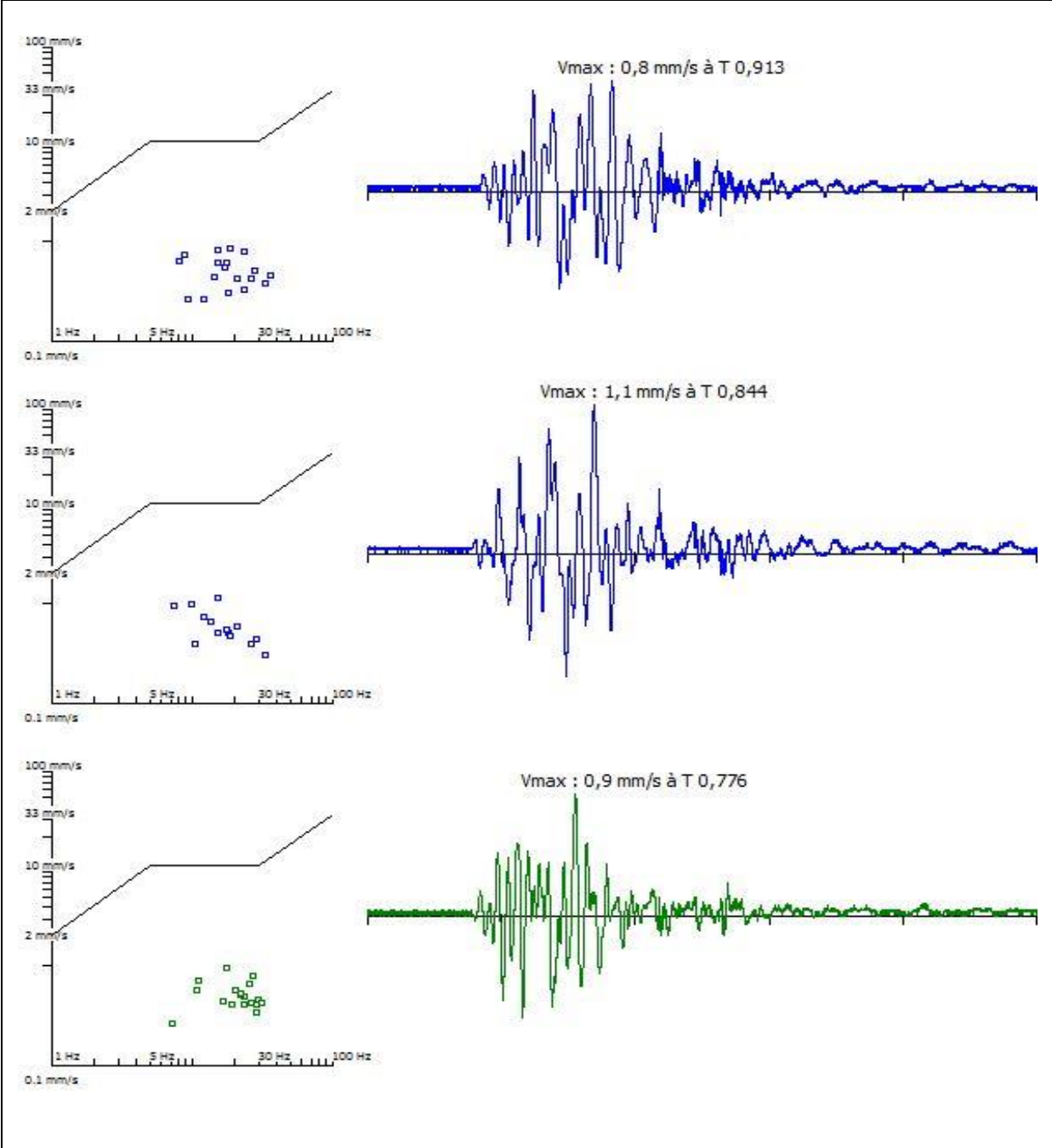


Figure III.06: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°:112.

L'analyse des fiches techniques des deux tirs de cette classe, affichent un comportement sinusoïdal dû aux mouvements vibratoires des ondes, les vitesses obtenues étaient suffisantes pour déclencher le seuil de détection de l'appareil mais pas assez pour être classer comme ondes dangereuses.

L'analyse fréquentielle traduit une intensité faible et négligeable, du fait qu'elles n'atteignent pas les valeurs à risques.

La courbe sinusoïdale de la vibration sonore est représentée sous forme d'un bouquet d'ondes, cela s'explique par le déclenchement à micro retard (DMR), le regroupement des pics résulte des réplique sonore obtenues.

III.1.3.2. Interprétation des résultats

Pour cette campagne d'enregistrement nous avons pu mettre en évidence des ondes sismiques et sonores, ces dernières ont été obtenues du fait que l'appareil était placé en zone de détection ou la vitesse des ondes étaient supérieures au seuil de détection cela est exprimé par la vitesse transversale V_t , la vitesse radiale V_r et la vitesse verticale V_v données par le tableau III.3.

La détection des ondes traduit l'intensité du tir, ce dernier était suffisant pour pouvoir fragmenter la roche, néanmoins il est à signaler que le risque était minime, donc les vibrations perceptibles sont inoffensives en les comparant aux normes de la loi en vigueur [21].

Le point de référence a été sur le même niveau d'altitude qui est de 540 m du point de tir, ce qui explique les ondes transversales ayant marqué la valeur de $V_t=2.4$ m/s.

Tandis que les ondes sonores étaient enregistrées à des valeurs inférieures au seuil de danger, à savoir $Acc=124$ dB.

III.1.4. Quatrième classe d'enregistrement

Cette classe regroupe les tentatives d'enregistrements effectués à une distance de 250m ($D=250$), les tirs ont été réalisés suite à des charges instantanées de 200 et 250 kg ($C_1=250$ kg ; $C_2=200$ kg).

III. 1.4.1. Résultats obtenus pour la quatrième classe d'enregistrement

Pour cette classe l'appareil d'enregistrement a détecté des enregistrements significatifs, dangereux. Nous avons récapitulé les informations des tirs de cette classe dans le tableau III.4.

Tableau III.4: Indices des tirs de la quatrième classe.

<i>Date du tir</i>	<i>Réf. Mesure</i>	<i>Réf. Appareil</i>	<i>Charge instantané (kg)</i>	<i>Dist. (m)</i>	<i>V_r (mm/s)</i>	<i>V_v (mm/s)</i>	<i>V_t (mm/s)</i>	<i>Suppression Acoustique (dB)</i>
25-04-2016	108	112	250	250	19.0	19.7	27.1	129
19-04-2016	111	112	200	250	6.2	6.0	11.5	125

Le traitement de cet enregistrement avec le logiciel Analyse sismique DeltaSeis 4.4 nous a permis d'établir les fiches techniques suivantes :

Distance : 250 m
Charge Unitaire : 250 Kg
Charge totale : 1900 Kg
Nombre de trous : 38

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 108
Date : 25 /04/2016 Heure : 11H 21 Min
Voie acoustique : 129 dB à 102.4 Hz
Voie Radiale : 19.0 mm/s à 9.8 Hz
Voie Transverse : 27.1 mm/s à 9.1 Hz
Voie Verticale : 19.7 mm/s à 12.5 Hz

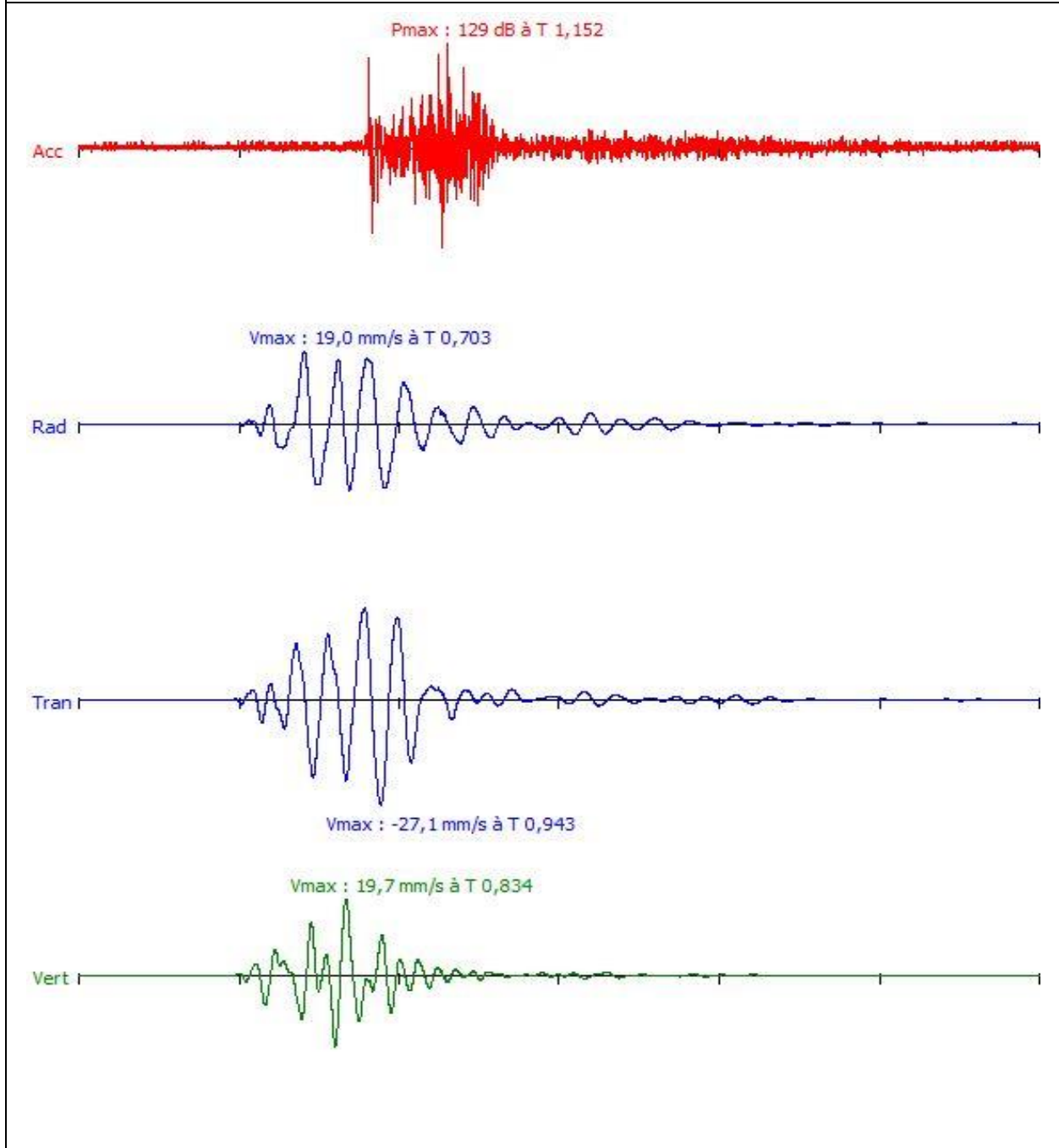


Figure III.07:Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°:108.

Distance : 250 m
 Charge Unitaire : 250 Kg
 Charge totale : 1900 Kg
 Nombre de trous : 38

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 108
 Date : 25 /04/2016 Heure : 11H 21 Min
 Voie acoustique : 129 dB à 102.4 Hz
 Voie Radiale : 19.0 mm/s à 9.8 Hz
 Voie Transverse : 27.1 mm/s à 9.1 Hz
 Voie Verticale : 19.7 mm/s à 12.5 Hz

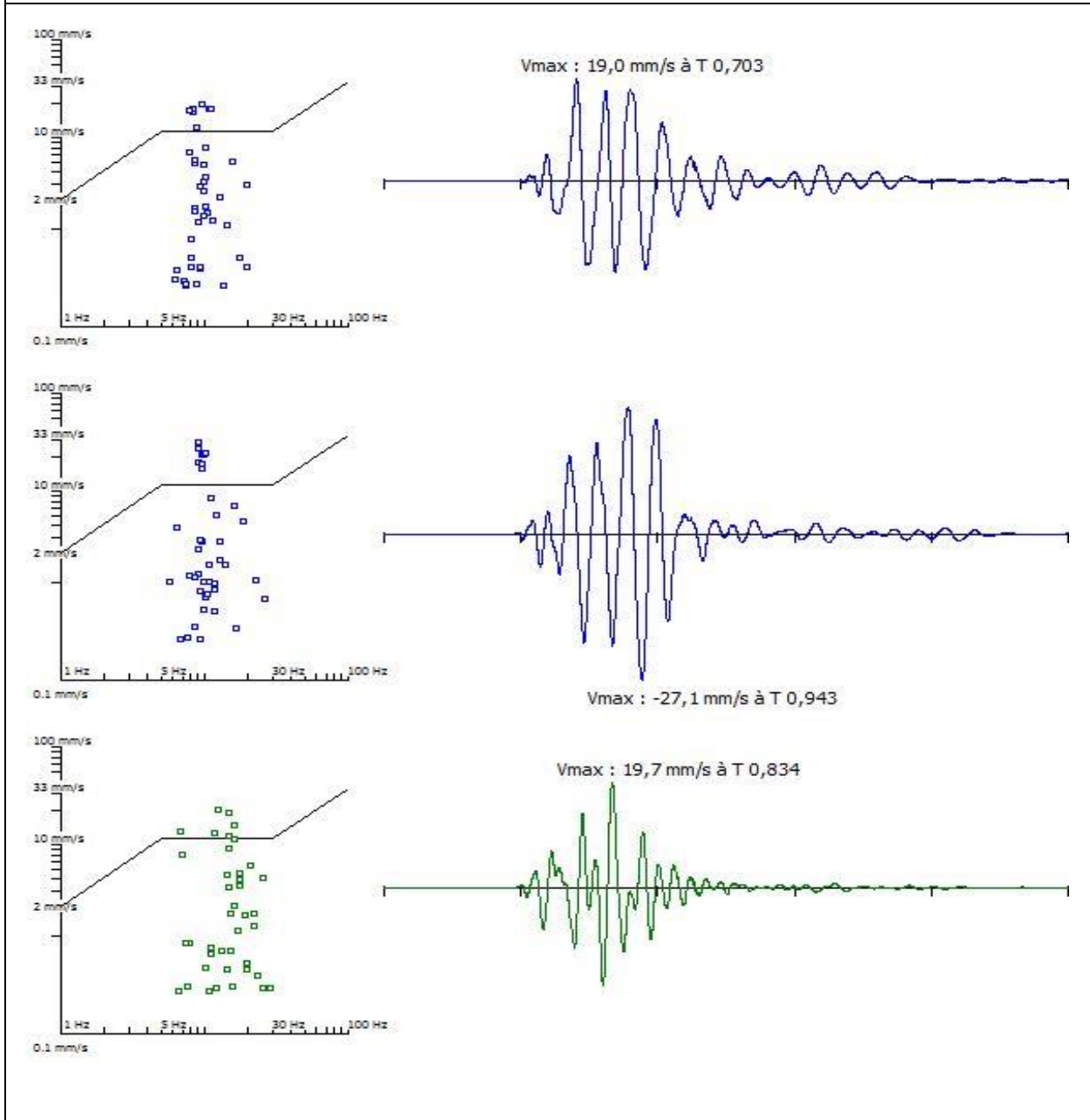


Figure III.08: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n° :108.

Distance : 250m
Charge Unitaire : 200 Kg
Charge totale : 2000 Kg
Nombre de trous : 40

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 111
Date : 19/05/2016 Heure : 10 H 35 Min
Voie acoustique : 125 dB à 85.3 Hz
Voie Radiale : 6.2 mm/s à 16.0 Hz
Voie Transverse : 11.5 mm/s à 10.2 Hz
Voie Verticale : 6.0 mm/s à 15.3 Hz

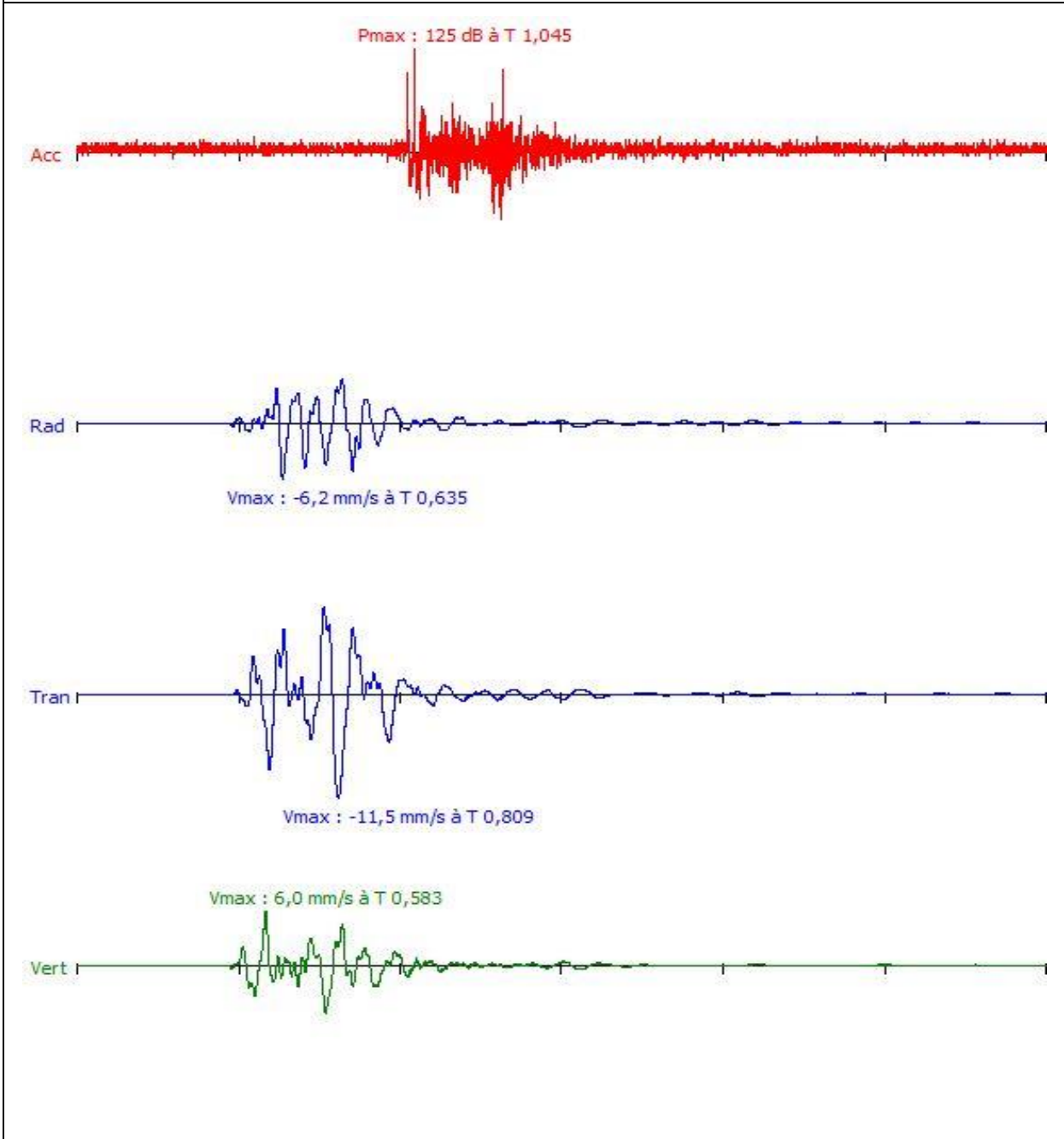


Figure III.09:Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°:111.

Distance : 250 m
 Charge Unitaire : 200 Kg
 Charge totale : 2000 Kg
 Nombre de trous : 40

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 111
 Date : 19/05/2016 Heure : 10 H 35 Min
 Voie acoustique : 125 dB à 85.3 Hz
 Voie Radiale : 6.2 mm/s à 16.0 Hz
 Voie Transverse : 11.5 mm/s à 10.2 Hz
 Voie Verticale : 6.0 mm/s à 15.3 Hz

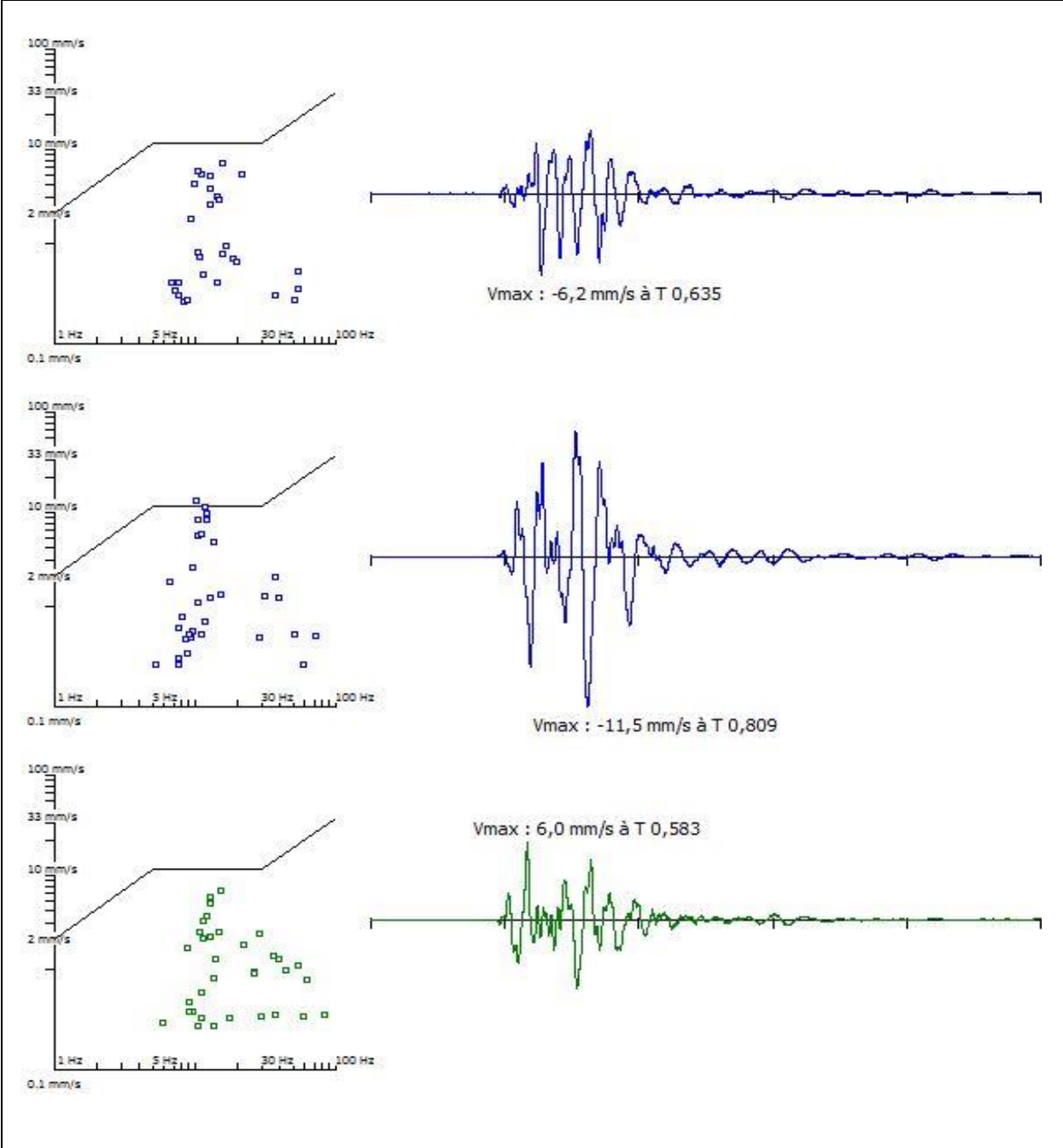


Figure III.10: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°:111.

La vibration des ondes est donnée sous forme ondulatoire, traduisant un comportement sinusoïdal, la fréquence des ondes est cependant très perceptible par l'appareil.

L'analyse fréquentielle est donnée par un nuage de point dépassant la limite de danger figure III.8, ou se rapprochant d'elle figure III.10

Les vitesses enregistrées sont assez fortes, elles ont été générées par des charges instantanées très importantes est perçue après l'installation de l'appareil dans une zone faisant partie du périmètre classé à haut risque sismique.

III.1.4.2. Interprétation des résultats

La dernière série de tirs pour la zone d'Adrar Oufarnou, nous a permis de constater que l'influence était générée par la charge instantanée beaucoup plus que la distance, il est à signaler que :

- L'augmentation de la charge instantanée de 200Kg à 250 Kg a fait passer la vitesse transversale V_t , la vitesse radiale V_r , la vitesse verticale V_v , à des valeurs dépassant le seuil de danger, à savoir $V_t=27.1\text{m/s}$, $V_r=19.0\text{m/s}$, $V_v=19.7\text{m/s}$.

La surpression acoustique (ondes sonores) reste toujours non dangereuse même à une distance de 250 m, cela pourra être expliqué par le fait de diminuer le cordeau détonant utilisé en surface.

II.1.5. Evaluation des risques sur la zone voisine de la carrière d'Adrar Oufarnou

Au terme de cette première zone expérimentale nous constatons ce qui suit :

- L'utilisation d'une quantité de moins de 4000 kg par semaine, et le partage de cette dernière en plusieurs volées a diminué le risque des vibrations sismiques et la surpression acoustique causés par les charges explosives importantes.
- La limitation de l'avancement en foration entre 1 et 2 rangés a amélioré le rendement de tir, et a minimisé l'effet de la charge.
- L'utilisation des DMR a réduit les vibrations dues aux tirs de mines dans la carrière d'une façon non nuisible sur les structures riveraines.
- Absence des dommages remarquables sur les structures voisines de la carrière d'Adrar Oufarnou.

III.2. Enregistrement des tirs de la carrière de Bouandas

Après avoir terminé la campagne d'enregistrement dans la première zone, nous nous sommes intéressés à un autre site, à savoir la carrière de ISSAADI Mustapha dans la wilaya de Sétif.

Contrairement à la première zone, au niveau de la carrière d'Adrar Oufarnou les enregistrements font partie d'une seule classe, du fait que nous avons fixé le paramètre distance, or on s'est intéressé à la variation du paramètre charge instantanée.

III.2.1 Présentation des enregistrements

Cette zone regroupe les tentatives d'enregistrements effectués à une distance de 400 m ($D=400$), les tirs ont été réalisés suite aux charges instantanées de 150, 120 et 200 kg ($C_1=150$ Kg; $C_2=120$ kg $C_3=200$ kg).

III. 2.1.1. Résultats obtenus

Cette campagne d'enregistrement nous a fourni des résultats qui traduisent une détection des ondes non dangereuses (ne dépassant pas le seuil critique) les caractéristiques de ces tirs sont données pas le tableau III.5.

Tableau III.5: Les enregistrements de la carrière de Bouandas.

<i>Date du tir</i>	<i>Réf. Mesure</i>	<i>Réf. Appareil</i>	<i>Charge instantané (kg)</i>	<i>Dist. (m)</i>	<i>Vr (mm/s)</i>	<i>Vv (mm/s)</i>	<i>Vt (mm/s)</i>	<i>Surpression Acoustique (dB)</i>
17-04-2016	105	112	150	400	1.9	0.6	1.3	119
17-04-2016	106	112	120	400	0.7	0.3	0.4	108
17-04-2016	107	112	200	400	1.3	0.5	1.2	115

Le traitement de cet enregistrement avec le logiciel Analyse sismique DeltaSeis 4.4 nous a permis d'établir les fiche techniques suivantes :

Distance : 400 m
Charge Unitaire : 150 Kg
Charge totale : 1800 kg
Nombre de trous : 60

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 105
Date : 17/04/2016 Heure : 18 H 33 Min
Voie acoustique : 119 dB à 113.8 Hz
Voie Radiale : 1.9 mm/s à 9.8 Hz
Voie Transverse : 1.3 mm/s à 10.0 Hz
Voie Verticale : 0.6 mm/s à 9.9 Hz

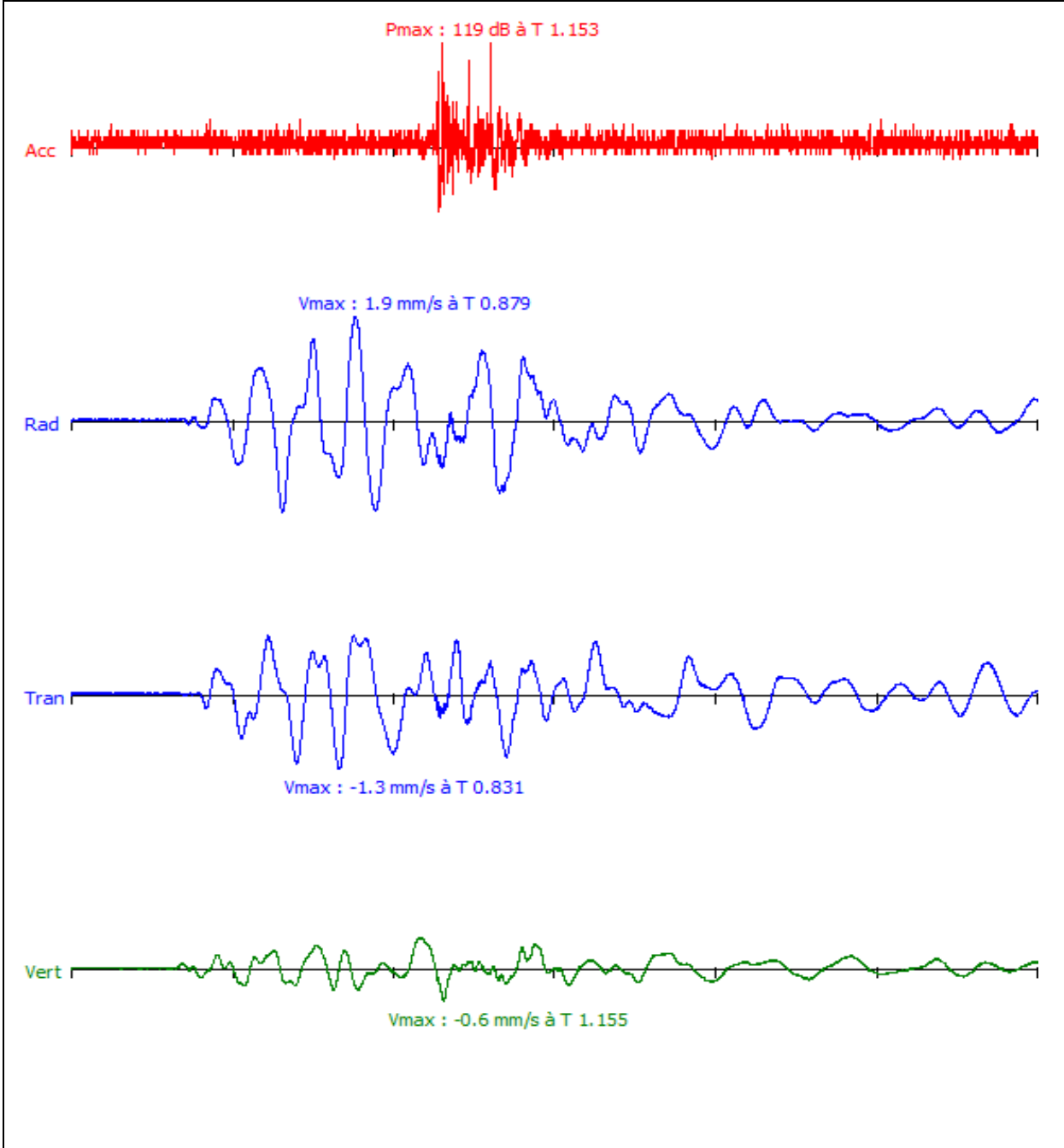


Figure III.11: Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°:105.

Distance : 400 m
 Charge Unitaire : 150 Kg
 Charge totale : 1800 kg
 Nombre de trous : 60

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 105
 Date : 17/04/2016 Heure : 18 H 33 Min
 Voie acoustique : 119 dB à 113.8 Hz
 Voie Radiale : 1.9 mm/s à 9.8 Hz
 Voie Transverse : 1.3 mm/s à 10.0 Hz
 Voie Verticale : 0.6 mm/s à 9.9 Hz

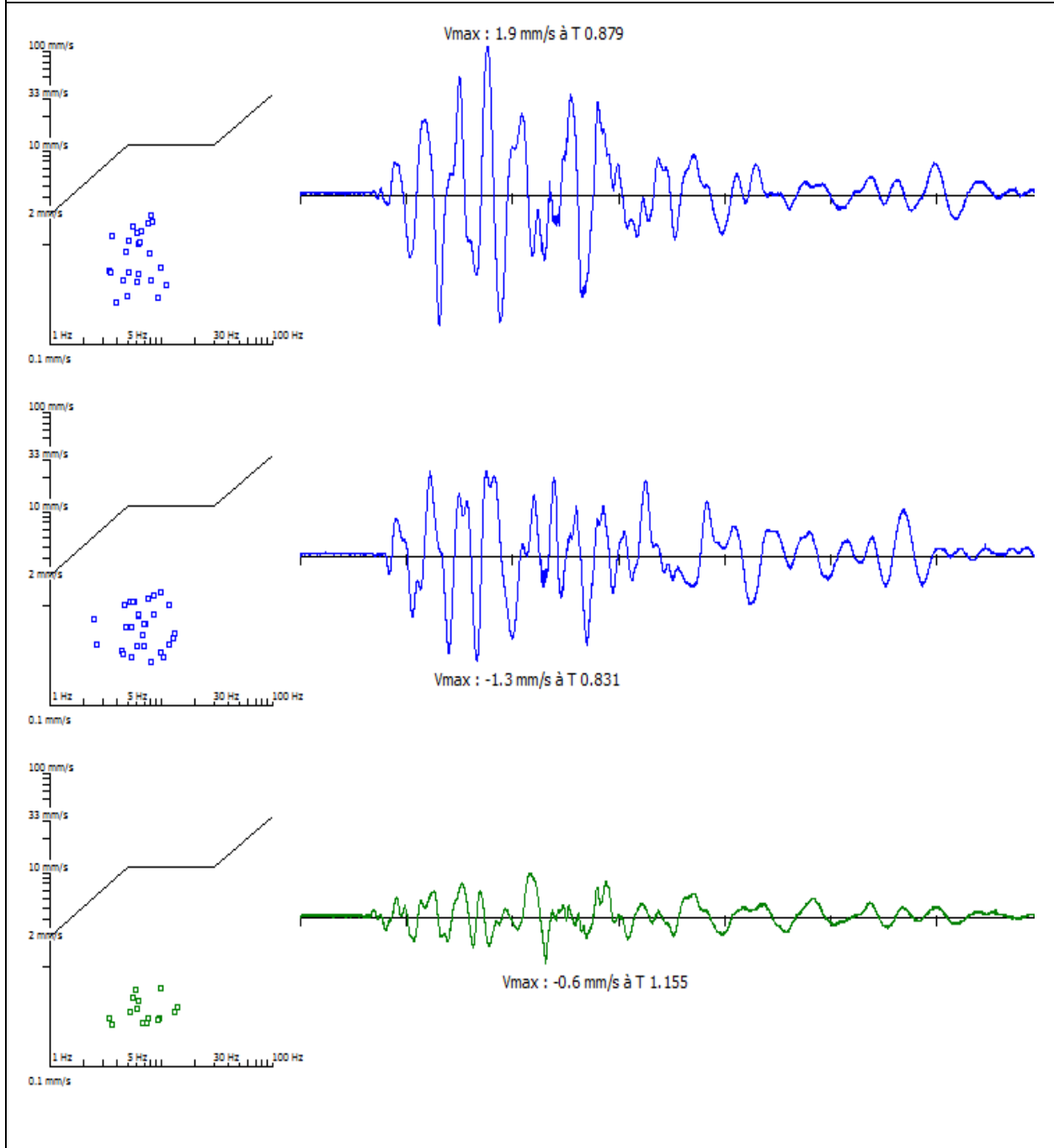


Figure III.12: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°:105.

Distance : 400m

Charge Unitaire : 120 Kg

Charge totale : 1200 kg

Nombre de trous : 40

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 106

Date : 17/04/2016 Heure : 18 H 37 Min

Voie acoustique : 108 dB à 256.0 Hz

Voie Radiale : 0.7 mm/s à 128.0 Hz

Voie Transverse : 0.4 mm/s à 204.8 Hz

Voie Verticale : 0.3 mm/s à 48.8 Hz

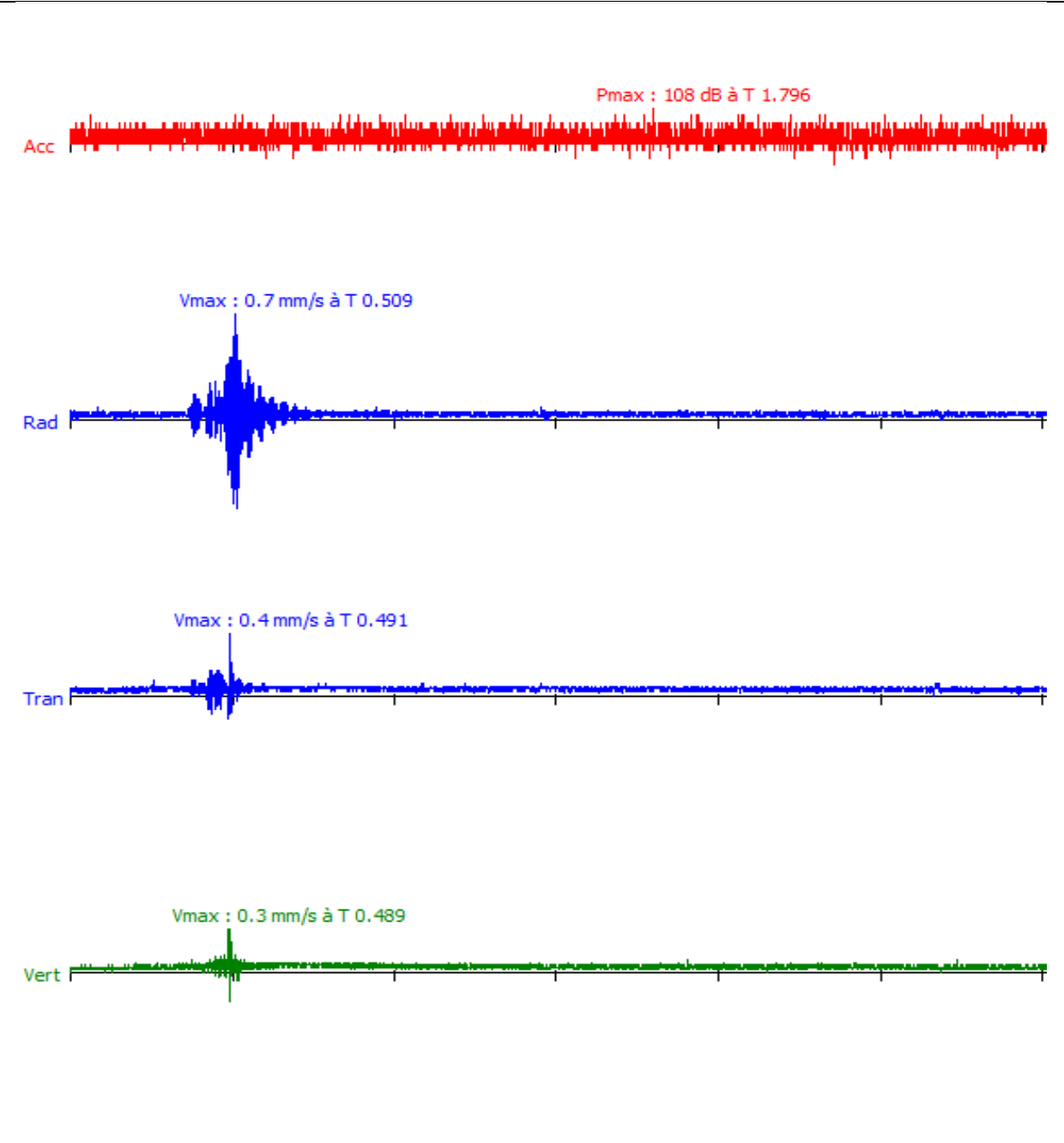


Figure III.13:Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°:106.

Distance : 400 m
 Charge Unitaire : 120 Kg
 Charge totale : 1200 kg
 Nombre de trous : 40

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 106
 Date : 17/04/2016 Heure : 18 H 37 Min
 Voie acoustique : 108 dB à 256.0 Hz
 Voie Radiale : 0.7 mm/s à 128.0 Hz
 Voie Transverse : 0.4 mm/s à 204.8 Hz
 Voie Verticale : 0.3 mm/s à 48.8 Hz

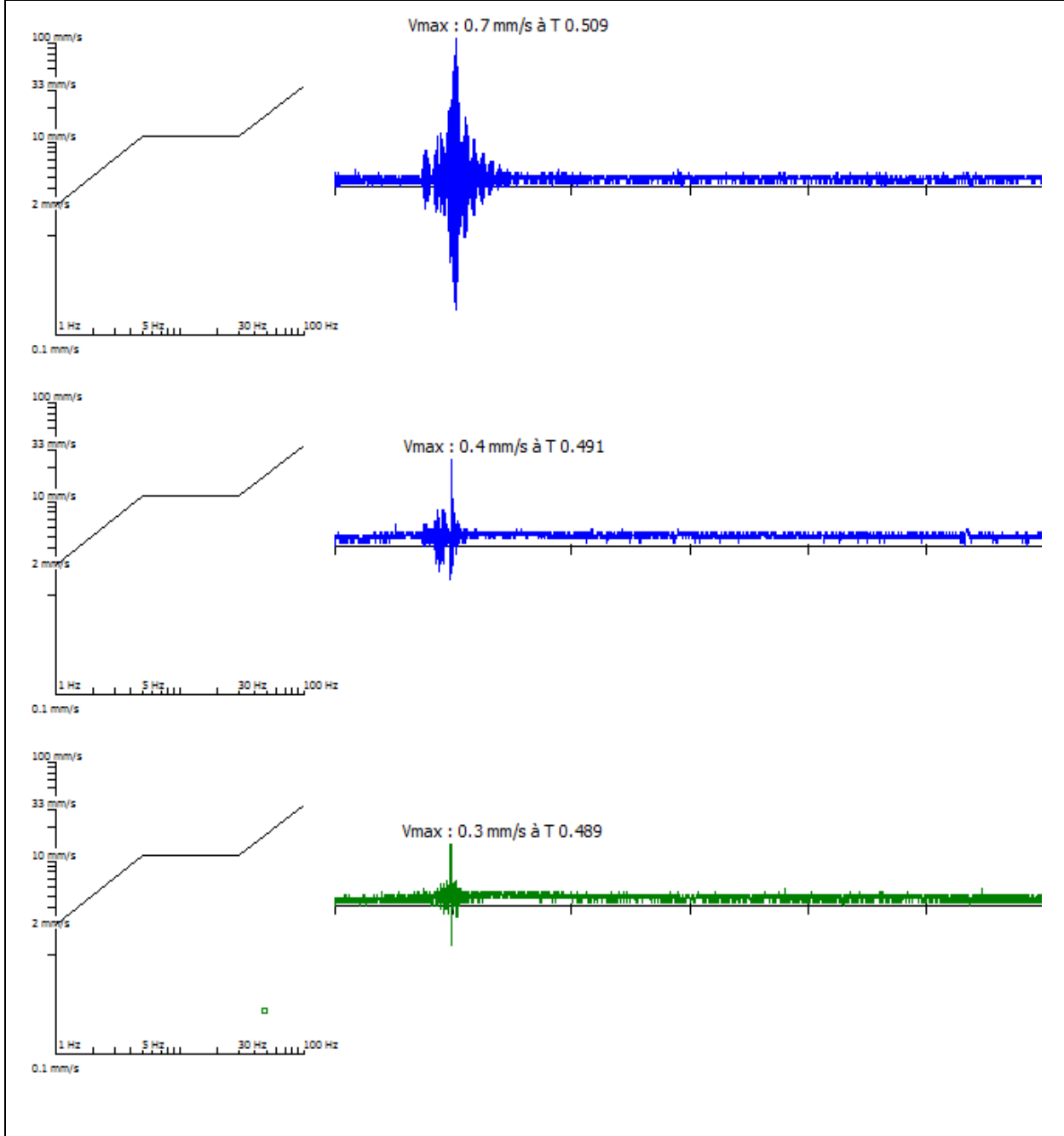


Figure III.14: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°: 106.

Distance : 400 m

Charge Unitaire : 200 Kg

Charge totale : 2400 kg

Nombre de trous : 60

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 107

Date : 17/04/2016 Heure : 18 H 59 Min

Voie acoustique : 115 dB à 170.7 Hz

Voie Radiale : 1.3 mm/s à 3.8 Hz

Voie Transverse : 1.2 mm/s à 4.3 Hz

Voie Verticale : 0.5 mm/s à 4.5 Hz

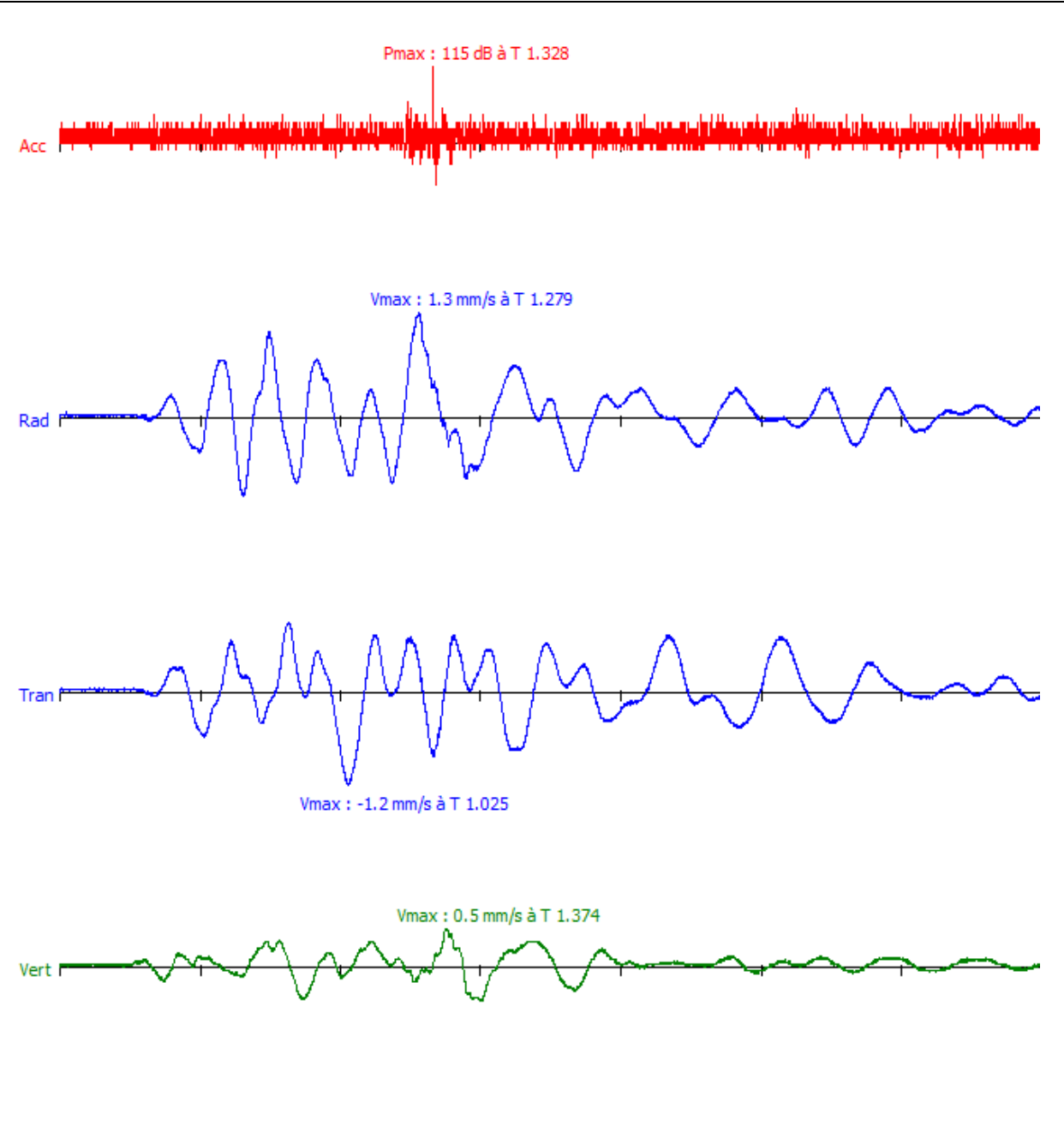


Figure III.15:Fiche technique qui représente l'analyse de l'enregistrement n°:107.

Distance : 400 m
 Charge Unitaire : 200 Kg
 Charge totale : 2400 kg
 Nombre de trous : 60

Appareil numéro : 112 / enregistrement numéro : 107
 Date : 17/04/2016 Heure : 18 H 59 Min
 Voie acoustique : 115 dB à 170.7 Hz
 Voie Radiale : 1.3 mm/s à 3.8 Hz
 Voie Transverse : 1.2 mm/s à 4.3 Hz
 Voie Verticale : 0.5 mm/s à 4.5 Hz

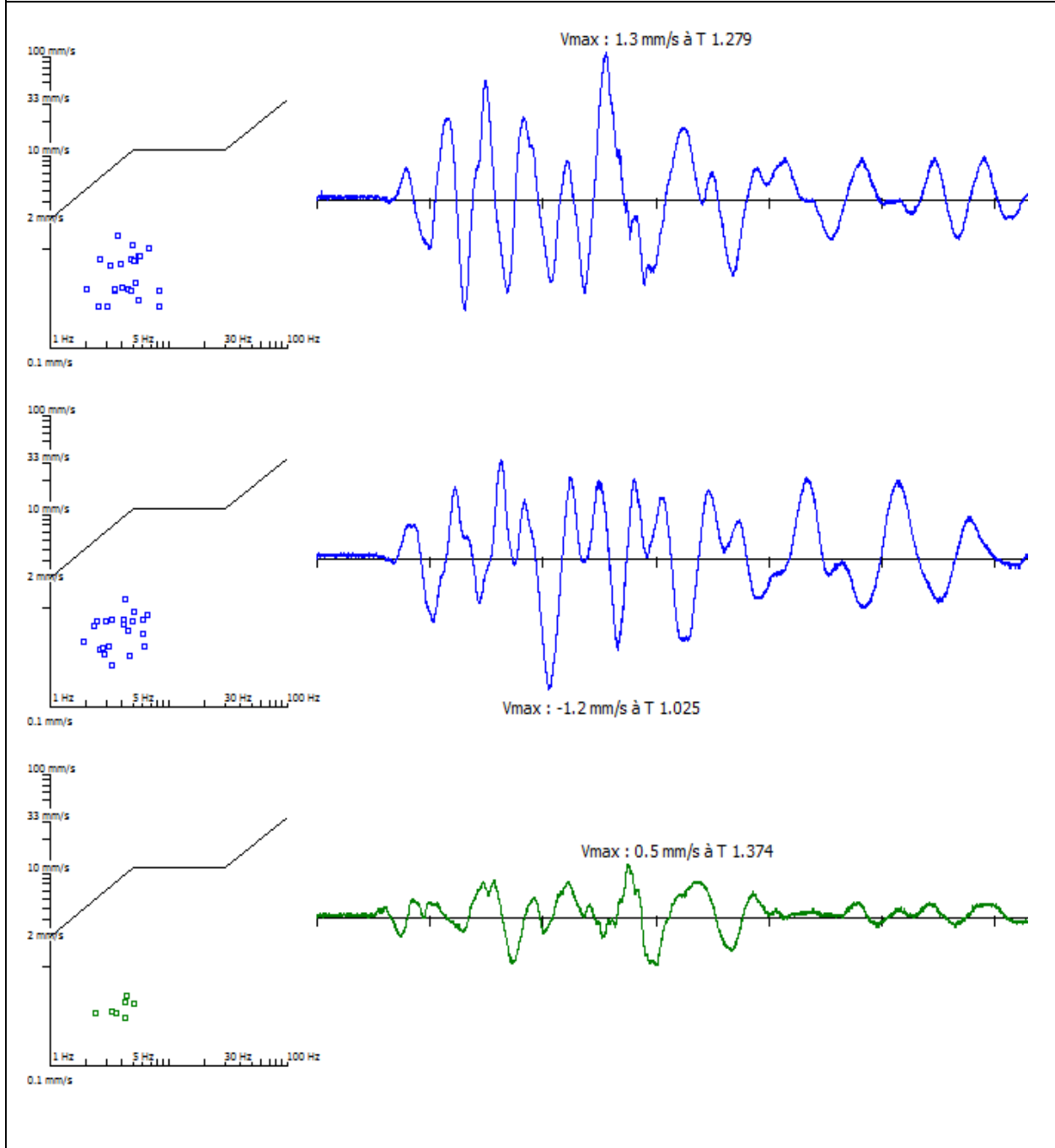


Figure III.16: Représentation graphique de l'analyse fréquentielle du tir n°:107.

Pour les fiches techniques on observe une totale absence de risque l'ondulation restent faible sans aucune signification dangereuses, les vibrations étaient perceptible du fait que l'appareil était moyennement proche de la zone du tir. Néanmoins la longueur d'onde est très faible ce qui s'explique par la présence des fissurations et des ouvertures faisant objet d'interruption de la propagation de ces dernières.

Il est à signaler que le deuxième tir marque une très faible ondulation voir absente, cet enregistrement est obtenu suite à un tir manqué (tir à canon).

Les ondes sonores restent sans grande importance.

III.2.1.2. Interprétation des résultats

Les résultats déterminent une influence remarquable de la qualité du tir sur la propagation des ondes, l'absence ou la présence des ondes est dépendante du bourrage, de la foration et de la qualité du travail, nous avons remarqué durant les enregistrements dans la deuxième zone ce qui suit :

- En augmentant la charge instantanée, la vitesse de propagation des ondes sismiques augmente,
- La vitesse radiale est très importante comparée à la vitesse transversale et verticale, ce qui est expliqué par le manque de bourrage. Cette réaction est dû au fait que l'explosion s'est exprimé en tir à canon résultant d'un mauvais chargement et/ou une mauvaise foration.
- La vitesse de propagation des ondes est très faible à cause de la grande fissuration du massif, l'existence de failles chargées généralement par des marnes joue le rôle d'amortisseur de vibrations [23].

III.2.2. Evaluation des risques sur la zone voisine à la carrière de Bouandas

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 sismiques, les valeurs maximales des vitesses transversale, radiale et verticale sont respectivement $V_t=1.3\text{m/s}$, $V_r= 1.9\text{m/s}$, $V_v= 0.6\text{m/s}$, ces valeurs restent largement au-dessous des valeurs classées dangereuses.

- L'activité sonore est jugée de non nocive, les résultats prouvent qu'elles n'atteignent pas le seuil de danger, les plus grandes mesures étaient de $Acc=119dB$.

Toutefois, la carrière de Bouandas est placée dans une zone classée de non risquée, cela est dû aux raisons suivantes :

- L'éloignement des riverains par rapport au site de la carrière (le plus proche habitant est à 1500m à vol d'oiseau) ;
- L'utilisation des DMR jouant le rôle d'un retardateur d'explosion ;
- le respect des charges réglementées ;
- L'espacement des tirs entre eux.

Conclusion

Au cours de notre campagne de mesure de vibrations acoustiques et sismiques au niveau des deux carrières, EURL carrière ISSAADI Mustapha de Bouandas de la wilaya de Sétif, et celle de Algran Bejaia, la filiale de l'entreprise ENOF, Nous avons constaté que l'enregistrement des ondes sismique et sonore dépend principalement du rapprochement du point de tir ainsi que la quantité d'explosifs utilisés.

On signale aussi que certains paramètres peuvent influencer le tir d'une manière ou d'une autre dont :

- La qualité de travail influence directement sur la fragmentation des roches.
- L'utilisation des DMR a minimisé les risques sismiques et sonore des tirs des mines.
- La diminution de la quantité du cordeau détonant a diminué le bruit de tir.
- La fissuration de massif augmente les pertes d'énergie.

Conclusion générale

L'étude entreprise dans ce mémoire, nous a permis d'éclaircir certains points liés principalement aux tirs de mines. Les ondes sismiques, les ondes sonores et leurs effets sur l'environnement a été toujours la préoccupation majeure des recherches, car c'est la principale opération dans une chaîne technologique à partir de laquelle dépend la réussite de la technologie d'extraction et l'exploitation en générale. L'approche théorique, la propagation de ces ondes et leur puissance permettent d'expliquer le déroulement environnant de ces précédentes.

Donc, cette étude nous a permis de déduire et d'avancer les points suivants :

- 1) 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.
- 2) La surpression aérienne est une variation de la pression de l'air autour de la pression atmosphérique moyenne.
- 3) Outre la distance, le facteur de réduction principale du ressenti des ondes sonores et sismiques, d'autres causes coexistent à la marge. Pour l'onde sonore, le facteur météorologique avec notamment un vent contraire qui peut induire son atténuation, par contre les ondes sismiques se propagent selon la structuration du massif ; en privilégiant des tirs perpendiculaires à celle-ci.
- 4) Les effets des surpressions aériennes provoquées par un tir de mine ne se limitent pas au simple bruit facilement identifiable mais ne représentant qu'une part minime de l'énergie transmise. La part prépondérante d'énergie transmise en infrasons sollicite les structures et leurs occupants sans être associable au bruit du tir, ni identifié comme un phénomène
- 5) Les paramètres du tir ont une relation avec les ondes sismiques ce qui influence par la suite sur les nuisances.
- 6) Les vibrations émises par le tir de mines sont de même nature que celles qui proviennent d'évènement naturel (séismes).
- 7) La mesure de vibration est considérée comme un véritable outil d'évaluation du rendement d'un tir.
- 8) Les vibrations provoquées par le tir sont toujours associées au bruit et à la surpression aérienne, elles n'ont pas d'effet nocif direct sur les personnes mais peuvent provoquer une gêne temporaire.

- 9) L'étude des impacts sur l'environnement vise à déterminer l'insertion d'une exploitation en identifiant les effets directs et indirects des carrières et vérifie la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement. L'évaluation des impacts est imposée aux différentes exploitations par voie réglementaire pour permettre aux autorités compétentes de porter une appréciation sur l'impact et les conséquences dues aux activités projetées sur l'environnement. Cette procédure s'inscrit dans le cadre du développement de la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelle.
- 10) A la lumière de cette étude, il ressort que l'activité de l'extraction du minerai ne semble pas produire des éléments perturbateurs de l'environnement hors les vibration qui traverse le milieu entourant pour créer une barrière devant tout échange avec le milieu extérieur obligeant les riverains à s'adapter à cette situation .Le contrôle et la réduction de l'émission de vibrations et surpressions aériennes semble l'unique manière de protéger l'environnement dans cette région.

Références Bibliographiques

- [1] The environmental Law Alliance Worldwide “Généralités sur l’exploitation minière et ses impacts” Etats Unis 2010.pp 115.
- [2] ALIOUCHE Mohamed “Exploitation des substances utiles à ciel ouvert et impact sur l’environnement : Etude de cas dans l’Est Algérien Les gisements de Djebel Salah, Région de Constantine”, Mémoire de magister en géologie, Université Mentouri de Constantine, 2008. Pp 110.
- [3] DELILLE Florent “ Recherche d’une prédiction de fragmentation charge par charge pour les tirs à ciel ouvert” thèse doctorat, École nationale supérieure des mines de Paris, 2012.pp 277.
- [4] BLEUZEN Yanick “Abattage a l’explosif ” Ecole des mines de Nancy,2011.pp 47.
- [5] Office Nationale des Substances Explosifs “fiches techniques des explosifs produit en Algérie”.
- [6] BERDOUDI SAID, “Etude de la mécanique de tir des roches par utilisation des modèles réduits dans les conditions algériennes” thèse doctorat, 2014, Universite BADJI MOKHTAR Annaba,pp 118.
- [7] HADJADJ Aoul Elias “Prédiction et analyse de la fragmentation des roches dans les conditions algeriennes” Thèse doctorat, Université de Badji mokhtar Annaba. 2013. pp 85.
- [8]GHARBI Kouider “L’adaptation du plan de tir à la blocométrie :Un enjeu capital pour un haut rendement minier”.Mémoire fin d’études, Ecole nationale polytechnique, Alger.2006/2007 pp 77.
- [9] SAADOUN Abdelrezzak “Contribution à l’analyse des effets des tirs d’abattage dans les conditions de la carrière de calcaire Chouf-Amar à M’sila” Mémoire de magister.Université d’Annaba.2012. pp 90.
- [10] P.Fayolle, S.Rivière, L.Simonin “guide pratique de minage” France. 2014. Pp 29.
- [11] KERKEBANE Hana “Etudes des vibrations dues aux tirs de mines.Apport de la modélisation” Mémoire fin d’études, Ecole nationale polytechnique, Alger, 2008. pp 87.
- [12] Ménad CHENAF “Rapport d’étude : Guide PPR complément technique relatif à l’effet de surpression. Recommandations et précautions en vue de réduire les risques” France.2008. pp 115.
- [13] M. PANET, J. CARACILLI “les vibrations produites par les tirs d’explosifs » Département des Sols, Département des Structures et Ouvrages d’Art” Laboratoire centrale France. pp 12.

- [14] Société de l'industrie Minérale "Mémento des mines et carrières" livre, 1998 nouvelle série numéro 4. pp
- [15] Jean-François Augoyard, Henry Torgue "A l'écoute de l'environnement : répertoire des effets sonores" Edition Parenthèses. 1995. pp 57.
- [16] Patrick Herment "Demande d'autorisation d'exploitation d'installation classée". France 2011. Pp 32.
- [17] Laurent Duchesne "Bruits et nuisances acoustiques des tirs de mines" France. 1998 pp16.
- [18] S.C.A.Carrière du Hainaut "Etude d'incidences sur l'environnement, (tir des mines et vibrations" Canada. Pp 20.
- [19] MEEUWS A "Vibrations et contraintes dynamiques provoquées par les tirs d'explosifs sur les conduites souterraines dont celles du réseau gazier et sur l'environnement" France.
- [20] GUINTOLI SAS "Demande d'autorisation (installation classées) exploitation carrière de (LAMOUREUX)" France 2011. Pp 90.
- [21] BLEUZEN Yannick "Nuisances sismiques et acoustiques des tirs de Mines" Ecole des Mines de Nancy, France 2010. Pp 17.
- [22] Groupe ENOF "Rapport Géologique de la carrière Adrar oufarnou Béjaia" 2010.pp 42
- [23] Agoune Mouhamed "Plan d'exploitation de la carrière ISSAADI Mustapha de Bouandas" 2012 Sétif. Pp 30.
- [24] Agoune Mouhamed "Travaux de forage et de tir de la carrière ISSAADI MUSTAPHA Bouandas" 2011. Pp 8.
- [25] Air systems "Notice d'utilisation de DELTA SEIS 1 et 2". France. pp 16.
- [26] AISSAOUI Djelloul "Mesure des vibrations générés par les tirs d'abattage en carrières de ISSAADI Mustapha Bouandas" 2016. Pp 16.

Annexes A

Tableau: tableau qui récapitule les indices de tous les tirs enregistrés avec calcul de K.

<i>Numéro tir</i>	<i>Date</i>	<i>Heure</i>	<i>Acc (dB)</i>	<i>Acc (Pa)</i>	<i>F acc</i>	<i>V rad</i>	<i>F rad</i>	<i>V trans</i>	<i>F trans</i>	<i>V vert</i>	<i>F vert</i>	<i>calcul de K</i>
104	04/11/2016	11 h 10 min	154 dB	1024	12	2	1	1.7	256	1.8	256	1173
105	17/04/2016	18 h 33 min	119 dB	18	102	1.9	0	1.3	10	0.6	10	1009
106	17/04/2016	18 h 37 min	108 dB	5	256	0.7	128	0.4	205	0.3	49	455
107	17/04/2016	18 h 59 min	115 dB	11	85	1.3	4	1.2	4	0.5	5	533
108	25/04/2016	11 h 21 min	129 dB	55	51	19	10	27.1	9	19.7	12	3900
109	25/04/2016	11 h 39 min	122 dB	26	102	1.8	11	2.4	11	1.1	14	1765
111	19/05/2016	10 h 35 min	125 dB	34	43	6.2	16	11.5	10	6	15	2023
112	19/05/2016	10 h 51 min	124 dB	31	102	0.8	19	1.1	15	0.9	18	613

Annexes B

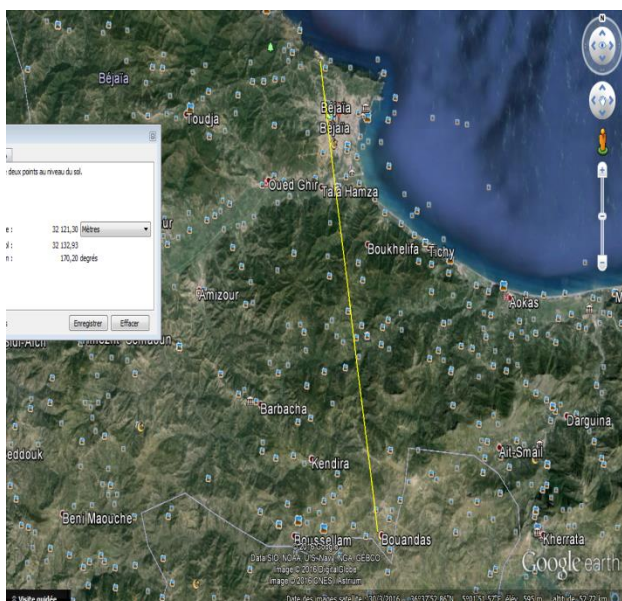


Photo.01. photo aérienne par Google earth de qui représente la distance entre la région de Bouandas.

les deux carrières.

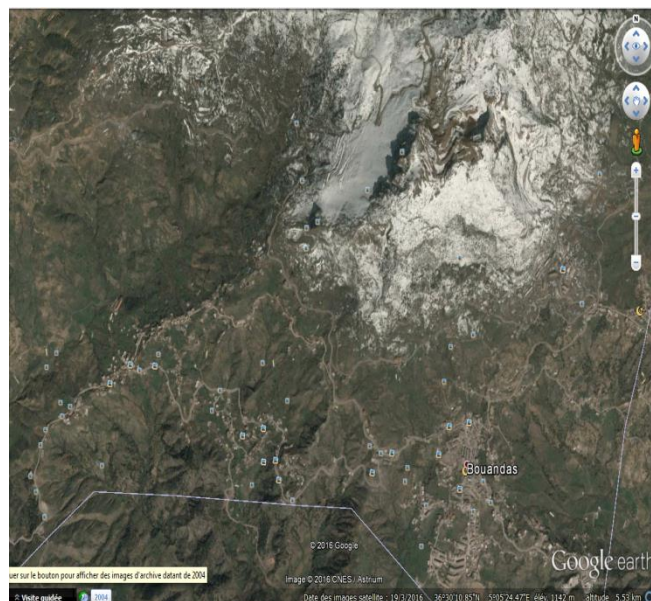


Photo.01. Photo aérienne par Google

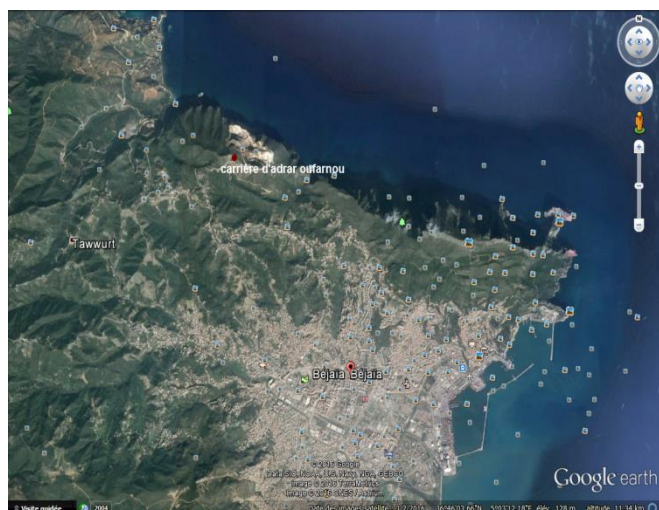


Photo.03. Photo aérienne par Google earth de situation de la carrière adraroufarnou par rapport à la ville de Béjaia.



Photo.04. Photo d'une plate forme de tir lors de l'opération de chargement à adraroufarnou



Photo.05. le tas abattu a la carrière Adrar Oufarnou.



Photo.06. photos de la mise en place de l'appareil



Photo.07. Photo d'une plate forme de tir lors de L'opération de foration a la carrière de Bouandas



Photo.08.Emplacement de capteur sismique sur une plate forme

Résumé

Les travaux liés aux chantiers de génie civil ou aux exploitations minières ont souvent recours à l'utilisation des explosifs. Ces derniers engendrent des problèmes environnementaux à travers les vibrations sismiques et acoustiques qu'ils provoquent.

Une étude bibliographique nous a montré que le paramètre généralement utilisé pour l'estimation de la vibration maximale est la vitesse particulière.

Cependant, le spectre de fréquence doit être également pris en compte dans l'estimation du risque.

Par ailleurs, les mesures in-situ dans les deux carrières (Adrar Oufarnou et ISSAADI Mustapha Bouandas) nous en permet d'estimer les vibrations engendrées par les tirs des mines dans ces dernières, et les classer comme des zones à faible risque sismique.

Mots clés : carrière, tir de mines, explosif, onde sismique, onde sonores.

Abstract

Work related to civil engineering projects or mining operations often resort to the use of explosives. These generate environmental problems through seismic and sound vibrations they cause.

A literature review has shown that the commonly used to estimate the maximum vibration parameter is the particular speed.

However, the frequency spectrum also needs to be considered in risk estimation.

Moreover, in-situ measurements in both careers (Adrar and Oufarnou ISSAADI Mustapha Bouandas) for estimating the vibration generated by the firing of mines in the past, and classify them as areas of low seismic risk.

Key-Words: career, shooting mines, explosive, seismic wave, sound wave.