



**UNIVERSITE ABDE RAHMANE MIRA-BEJAIA  
FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DES MINES ET GEOLOGIE**

*Mémoire de Master*

*Présenté par*

**Bousta Safia  
Kendricha Sarah**

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

**Géologie**

**Option : Exploitation Minière**

**Thème**

**Les effets sismiques de tir et détermination de rayon de la  
zone dangereuse**

Soutenu le 23/06 /2015 devant le jury composé de :

Président : Mr Z. Ait Habib  
Encadreur : Mr. A. Guelmami  
Examineur : Mr .M. Mazari

*Année Universitaire : 2014-2015*

## **Remerciement**

*En achevant ce modeste travail grâce à dieu le tout puissant.*

*Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans l'aide inestimable de notre encadreur Mr Z. Ait Habib, qui a attribué son soutien et qui a consacré son temps précieux à nous, et aussi pour Mr Rahmouni Samir, on est également reconnaissant pour les conseils qu'il nous a toujours prodigué et aussi pour son temps précieux,*

*On voudra remercier les membres de jury, Mr. Gulemami Ali Pour le grand honneur qu'il nous a fait en présidant le jury de notre soutenance, Mr M. Mazari, Pour l'honneur qu'ils nous 'ont fait d'avoir acceptés l'examen de ce Travail.*

*Nous remercions également nos enseignants de notre département mines et géologie.*

*Nous remercions le Directeur de la Société COSIDER qui nous a donné l'autorisation pour faire un stage au sein de la carrière.*

*Enfin On tient vivement à remercier nos collègues de travail et nos amis pour leurs soutiens moraux qu'ils n'ont cessé de nous apporter durant la réalisation de ce présent travail.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail en premier lieu à mes chers parents qui m'ont notablement encouragé à poursuivre mes études.*

*Et à mes chers frères Khaled et Ali, mes sœurs Aicha, Arbia, Karima, Hadjira, Asma et Imen et ma tante Aicha et Rachida et à toute la famille Bousta et Sahel.*

*Sans oublier toutes mes amies surtout Imen et Halima et mes amis surtout Samir et Ilyes.*

*Bousta Safia*





## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail en premier lieu à mon père que dieu ill'accueille dans son vaste paradis.*

*A ma chère mère et mes sœurs Fatima, Asma, Djahida, Hanaa, Yosra et Chahra notablement encouragé à poursuivre mes études.*

*A mon cher frère Abdel Kader.*

*Et a toute la famille Kendricha surtout les enfants Hadjidjou, Doaa et Sidou.*

*A toute la famille Belhadj surtout Barhouma  
Sans oublier toutes mes amies et mes amis qui m'ont encouragé  
durant mon parcours.*

*Sarah*





## Liste des figures

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Fig. I.1 Situation géographique de M'sila	<b>04</b>
<b>02</b>	Fig. I.2 La situation géographique du gisement de Chouf-Amar	<b>06</b>
<b>03</b>	Fig. I.3 Extrait de la carte géologique n°140	<b>08</b>
<b>04</b>	Fig. II.1 Schéma du mode d'ouverture du gisement de Chouf-Amar	<b>12</b>
<b>05</b>	Fig. II.2 Hauteur du gradin du gisement	<b>15</b>
<b>06</b>	Fig. II.3 Paramètres des éléments de la méthode d'exploitation	<b>17</b>
<b>07</b>	Fig. II.4 Sondeuse ATLAS COOP (source : lieu de stage Chouf Amar)	<b>18</b>
<b>08</b>	Fig. II.5 Chargeuse CARTER PILAR 990	<b>23</b>
<b>09</b>	Fig. II.6 Camion CATERPILLAR 775 <sup>E</sup>	<b>24</b>
<b>10</b>	Fig. III.1 Propagation de l'onde de choc issue d'une détonation	<b>25</b>
<b>11</b>	Fig. III.2 Une cartouche d'une poudre noire comprimé	<b>26</b>
<b>12</b>	Fig. III.3 Deux types de nitrate fioul	<b>27</b>
<b>13</b>	Fig. III.4 Vitesse de réaction/décomposition	<b>27</b>
<b>14</b>	Fig. III.5 : Foration d'un trou de mines	<b>30</b>
<b>15</b>	Fig. III.6 Schéma du dispositif géométrique d'un tir	<b>33</b>
<b>16</b>	Fig. III.7 Propagation d'onde de choc et formation des fissures radiales	<b>34</b>
<b>17</b>	Fig. III.8 Réflexion d'onde de choc et leur effet	<b>34</b>
<b>18</b>	Fig. III.9 Propulsion des matériaux	<b>35</b>
<b>19</b>	Fig. III.10 Organigramme d'énergie potentiel des nuisances de tir	<b>36</b>

<b>20</b>	Fig. III.11L'arrosage des voies de transport	<b>39</b>
<b>21</b>	Fig. III.12Les émissions de poussière	<b>40</b>
<b>22</b>	Fig. III.13 Secteur affectes par les projections issues du front d'un tir	<b>41</b>
<b>23</b>	Fig. IV.1Les vibrations et surpressions induites par un tir	<b>43</b>
<b>24</b>	Fig. IV.2Vibration de tir de mines norme française	<b>46</b>
<b>25</b>	Fig. IV.3Enregistreur de vibrations (sismographe)	<b>49</b>
<b>26</b>	Fig. IV.4Constitution d'un géophone	<b>50</b>
<b>27</b>	Fig. IV.5Logiciel d'analyse sismique Délitasses 4.2	<b>51</b>
<b>28</b>	Fig. IV.6Schéma de plan de tir	<b>52</b>
<b>29</b>	Fig. IV.7changement de la charge en fonction de distance.	<b>57</b>

## Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
<b>01</b>	Tableau I.1 Les coordonnées topographiques de l'ACC	<b>05</b>
<b>02</b>	Tableau I.2 Les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations en mm	<b>09</b>
<b>03</b>	Tableau I.3 Les moyennes mensuelles et annuelles de la vitesse des vents	<b>10</b>
<b>04</b>	Tableau II.1 Les valeurs des paramètres de tranchée de découpage et demi-tranchée d'accès	<b>14</b>
<b>05</b>	Tableau II .2 Coefficient de foisonnement	<b>16</b>
<b>06</b>	Tableau II .3 Paramètres des éléments de la plateforme de travail	<b>17</b>
<b>07</b>	Tableau II .4 Caractéristiques techniques de la sondeuse ATLAS COPCO ROC L6.	<b>19</b>
<b>08</b>	Tableau II .5 Caractéristiques techniques des explosifs d'après l'ONEX	<b>20</b>
<b>09</b>	Tableau II .6 Tableau récapitulatif des paramètres des travaux de forage et de tir	<b>22</b>
<b>10</b>	Tableau II .7 Caractéristiques techniques de la chargeuse	<b>23</b>
<b>11</b>	Tableau III .1 Paramètres de tir de mines	<b>32</b>
<b>12</b>	Tableau III .2 La relation entre la vitesse de vibration	<b>37</b>
<b>13</b>	Tableau IV.1 Station de concassage : D=500 m par rapport au point de tir	<b>53</b>
<b>14</b>	Tableau IV.2 Station de Zeghaghda:D=1000 m par rapport au point de tir	<b>54</b>
<b>15</b>	Tableau IV.3 Station de point de tir:D=1500 m par rapport au point de tir	<b>54</b>
<b>16</b>	Tableau IV.4 Les vitesses particulières acceptables	<b>56</b>
<b>17</b>	Tableau IV.5 Calcul du rayon de la zone dangereuse	<b>56</b>



# SOMMAIRE

REMERCIEMENT

DEDICACE

RESUME

Introduction générale .....1

## Chapitre I : Généralités sur le gisement de Chouf Amar

I.1 Généralités sur la région d'étude ..... 3

I.1.1 Historique ..... 3

I.1.2 La situation géographique et morphologie ..... 4

I.1.3 Situation, morphologie et infrastructure de gisement Chouf Amar .....5

I.1.4 Litho stratigraphie du Site ..... 6

I.1.5 Géologie du gisement ..... 7

I.1.6 Hydrogéologie..... 8

I.1.7 Hydrographie ..... 9

I.2 Milieu physique de l'environnement ..... 9

I.2.1 Climat (Source : Office national de météorologie / Algérie) ..... 9

I.2.2 Pluviométrie..... 9

I.2.3Vents.....10

Conclusion .....10

## Chapitre II : Plan d'exploitation a ciel ouvert du gisement Chouf Amar

Introduction ..... 11

II.1 Mode d'ouverture du champ de la carrière..... 11

II.1.1 Le Mode d'ouverture..... 11

II.1.2 Le choix de mode d'ouverture.....	11
II.1.3 paramètres de la demi –tranchée d'accès .....	12
II.2. Méthode d'exploitation.....	14
II.2.1 détermination des paramètres d'exploitation .....	14
II.3Travaux de forage et de tir .....	17
II.3.1 Généralités sur les méthodes de préparation des roches à l'abattage.....	17
II.3.2 Plans de forage .....	17
II.3.3 Plan de minage .....	19
II.3.4 Détermination des paramètres principaux des travaux de forage et de tir .....	21
II.4Travaux de chargement et de transport .....	22
II.4.1Travaux de chargement .....	22
II.4.2Travaux de Transport .....	23
Conclusion .....	24

### Chapitre III : paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets

Introduction .....	25
III.1 Généralités sur le tir .....	25
III.1.1 Définition d'explosif .....	25
III.1.2Les processus de formation des explosifs .....	26
III.1.3L'effet de l'explosif .....	27
III.2 Objectif du tir à l'explosif .....	28
III.3 Procédure de Tir .....	28
III.3.1 Mode opératoire.....	29
III.3.2 Dimensionnement d'un schéma de tir.....	29



III.3.3 Le paramètre lié aux tirs.....	32
III.4 Mécanisme de fragmentation à l'explosif.....	33
III.5 Les nuisances dues au tir.....	35
III.5.1 Introduction.....	35
III.5.2 Les principales nuisances liées au tir de mines.....	35
III.5.3 Vibration.....	36
III.5.4 Les ondes acoustiques.....	37
III.5.5 Poussières.....	38
III.5.6 Projection excessives.....	40
Conclusion.....	41

**Chapitre IV : Effets sismiques de tir et détermination de rayon de la zone dangereuse.**

Introduction.....	43
IV.1 Les vibrations et surpressions induites par un tir.....	43
IV.1.1 La vibration.....	44
IV.1.2 La surpression aérienne.....	45
IV.2 Les ouvrages sensibles aux vibrations.....	45
IV.3 Règlementation concernant les vibrations.....	46
IV.3.1 Pour les vibrations.....	46
IV.3.2 Pour la surpression aérienne.....	46
IV.4 Loi de Chapot.....	47
IV.4.1 Formule de la loi de Chapot.....	47
IV.5. Evaluation de l'impact vibratoire des tirs de mines.....	48

<b>IV.6 Matériel de mesure de vibrations .....</b>	<b>48</b>
<b>IV.6.1 Le mode opératoire.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.6.2 L'interprétation des valeurs.....</b>	<b>50</b>
<b>IV.7 Partie expérimentale.....</b>	<b>51</b>
<b>IV.7.1 Exemple de plan de tir réalisé au niveau de l'ACC.....</b>	<b>52</b>
<b>IV.7.2 Calcule des vitesses des ondes de choc .....</b>	<b>53</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>57</b>
<b>Conclusion et recommandation.....</b>	<b>59</b>

**ANNEXES**

**BIBLIOGRAPHIE**

## Abstract

The vibrations are certainly a nuisance to most studied blasting. Indeed, they propagate in all terrains and can thus reach places outside the limits of exploitation.

Thus, often the studies are carried out a posteriori result of neighborhood complaints.

The study and control of these vibrations have become a major concern for operators of quarries especially for career Chouf Amar.

In a measuring point, the attenuation of vibration is a function of its distance  $D$  from the point of firing and amplitude depending on the quantity of explosive  $Q$ , it is therefore necessary to determine the relationship of Chapot allowing obtaining the  $Q$  and  $D$  values corresponds to the speed-threshold.

Seismographs recorders placed on houses and surrounding buildings record all blasting achieved career.

The location seismographs involves three stations:

- crushing -station;
- the neighboring dwellings (Zeghaghda);
- the water point.

Our goal is to measure the vibration velocity and determine the radius of the danger zone.

The measured results provide speeds lower than 3 mm / s while the regulation tolerates up to 10mm / s.

Therefore, to minimize the effects of seismic shooting requires action on certain parameters such as the explosive charge, distance and speed of a regulatory way.

## المخلص

الاهتزازات هي بالتأكيد مصدر إزعاج ناتج عن التفجيرات المنجمية الأكثر دراسة في الواقع فهي تنتشر في جميع التضاريس وبالتالي يمكن الوصول إلى أماكن خارج حدود الاستغلال. وهكذا، فإنه في كثير من الأحيان الدراسات التي تتم نتيجة البعيدة الشكاوى حيث أصبحت الدراسة والسيطرة على هذه الاهتزازات مصدر قلق كبير بالنسبة للمشغلين من المحاجر وخاصة بالنسبة لمحجره شوف عمار. توهين الاهتزاز هو وظيفة من المسافة (د) لها من وجهة إطلاق النار والسعة اعتمادا على كمية من المتفجرات (ك)، ولذلك فمن الضروري تحديد علاقة شابوالتي تسمح بالحصول على (ك) و(د) المتعلقة بالسرعة الحدية.

كل التفجيرات المحققة سجلت عن طريق أجهزة قياس الزلازل مسجلات وضعت على المنازل والمباني المحيطة بها أجهزة رصد الزلازل الموقع يتضمن ثلاث محطات:

- محطة السحق

- المساكن المجاورة الزغاغة

نقطة المياه ؛

هدفنا هو قياس سرعة الاهتزاز وتحديد نصف قطر منطقة الخطر.

توفر نتائج قياس سرعات أقل من 3 ملم / ثانية في حين أن القانون يسمح بسرعة تصل إلى 10 مم/ ثانية.

لذلك، للحد من آثار إطلاق النار يجب العمل على معايير معينة مثل المتفجرة، المسافة وسرعة بطريقة قانونية

# Introduction générale

## **Introduction générale**

L'exploitation des mines et des carrières peut être une source potentielle de richesse dans les pays en développement, par contre elle a des effets très visibles sur l'environnement. [2]

L'exploitation des carrières de roche massive et les chantiers de travaux publics font souvent appel à l'énergie délivrée par l'explosif, à fin d'extraire et de fragmenter la roche ou les matériaux. [3]

L'utilisation de l'énergie explosive pour l'abattage des roches en carrières ou en mines, est une technique très largement employée. On sait, toutefois, que seule une partie libérée par la charge explosive est utilisée effectivement dans le processus de fragmentation ; le reste représentant diverses nuisances ressenties tant que sur le site qu'en dehors de ses limites. [4]

Parmi ces nuisances, les effets sismiques, des gaz et de la poussière qui peuvent provoquer des effets indésirables sur des sites et des agglomérations avoisinantes. Donc, il est primordiale, qu'avant commencement de toute opération technologique, de prévoir, d'avance, des solutions adéquates pour remédier aux influences néfastes.

L'abattage à l'explosif en carrière, doit permettre d'atteindre les objectifs de production tout en garantissant la protection de l'environnement immédiat de la carrière. Les vibrations ainsi que le bruit généré par les tirs constituent un point particulièrement sensible pour les populations avoisinantes.

Des précautions particulières doivent être prises compte tenu des vibrations engendrées par les tirs à l'explosif et se propageant sous forme d'ébranlements vers les structures avoisinantes. [2]

La maîtrise de cette émission, c'est à dire la limitation du niveau vibratoire à un seuil limite, s'impose à tout exploitant. L'impact des vibrations sur l'environnement concerne simultanément les structures avoisinantes et les riveraines qui risquent d'en ressentir une gêne, même pour des niveaux reconnus comme inférieurs aux seuils susceptibles d'induire des dégradations dans les structures ,immeubles, zone d'habitation, ouvrages d'art ....[5]

## ***Introduction générale***

Dans notre travail, nous avons mené une expérimentation in situ afin de déterminer l'importance de l'influence des effets de tir (effets arrière, vibration, et projection des roches) sur le résultat final de l'abattage des roches appliquée au cas particulier de la cimenterie de Hammam Dalaa la Farge à M'sila.

Dans le premier chapitre, les généralités sur le gisement du calcaire Chouf Amar à Hammam Dalaa ;

Le deuxième, porte sur l'étude de la méthode d'exploitation et les travaux de forage réalisés à la carrière ;

Le troisième exprime une étude sur les explosifs et leurs effets ;

Le quatrième chapitre traite les nuisances sismiques dues au tir (vibration, surpression aérienne), et enfin on termine par une conclusion générale.

# CHAPITRE I



## **Introduction**

Le gisement de calcaire de Chouf Amarest situé à 08 km au sud-est de Hammam Dalaa, au lieu-dit Chouf Amar, soit à 2.5 km de la route, asphaltée en partie, menant vers la localité d'El Euch (BBA).

Morphologiquement, le gisement fait partie d'un vaste massif étiré dans une direction longitudinale sur plus de 150 km. Il couvre une superficie de 159 ha cernée de corniches bien visibles.

### **I.1 Généralités sur la région d'étude**

#### **I.1.1 Historique**

L'exploitation de calcaires à la carrière Chouf Amar, ces calcaires sont considérés de matières premières sous-dosé débuté en 2003, avec une capacité de production annuelle réalisée est 4.200.000 de tonnes par an.

L'évaluation de réserve totale avant le début d'exploitation est estimée de 232 millions de tonnes avec une durée de vie 50 ans, l'évaluation des réserves restantes de la carrière Chouf Amar étant une tâche absolument nécessaire pour l'avenir de cimenterie Hammam Dalaa, la planification de cette cimenterie basé essentiellement sur les prévisions d'amélioration des techniques d'exploitation et d'optimisation la qualité des produits pour satisfaire les besoins de marché.

En plus du fait que certaines parties de dépôts calcaires étant incluses dans le gisement aient été exploitées, la production a varié d'année en année selon les objectifs de société et les besoins des clients.

On a trois méthodes différentes ont été utilisées pour l'estimation des réserves exploitables et restantes (Méthode des Blocs, Par Couches, Méthode des coupes).

Les réserves de calcaires estimées par la méthode des coupes géologiques sont évaluées à **247 807 692** tonnes. Le surplus ainsi un surplus de matières est dû principalement à l'extrapolation obtenue sur les blocs résiduels situés aux extrémités Est et Ouest du gisement.

Parmi ces outils, l'étude d'impact sur l'environnement adopté par l'Algérie par le décret n° 90 - 78 du 27/02/1990 (en application de la loi n° 83 - 03 du 05/02/1983, relative à la protection de l'environnement), fournit un cadre privilégié d'intégration des préoccupations d'environnement lors de la réalisation des projets.

## Chapitre I. Etude géologique et hydrogéologique

Conformément à l'article 5 du décret exécutif n°90-78 du 27/02/1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement, le contenu de cette étude porte sur l'exploitation du gisement de calcaire de Chouf Amar et sur des effets prévisibles sur l'environnement ; parmi la remise en l'état des lieux particulier relatif à l'exploitation de la carrière, du calcaire est à considérer selon l'article 46 de la loi 91-24, qui exige de tout exploitant de carrière de remettre en l'état des lieux. Cette remise en l'état des lieux peut se faire selon l'une ou l'autre de ces deux démarches :

1/ Opération à réaliser en fin d'exploitation.

2/ Réaménagement coordonné au fur et à mesure de l'avancement de l'extraction de matériaux.

### I.1.2 La situation géographique et morphologie

La wilaya de M'sila est située dans la partie Centre-Est du pays, soit à 250 km au sud-est de la capitale Alger ; elle est limitrophe avec les wilayas de Bouira et Bordj BouArreridj au nord, Batna à l'est, Biskra au sud-est, Djelfa et Médéa à l'ouest.

S'étendant sur une superficie de 20 000 km<sup>2</sup>, elle comprend des aires géographiques variés : massif des Bibans et monts du Hodhna au nord, dépression du chott El -Hodhna au centre et l'Atlas saharien dans sa partie méridionale ; la localité de Hammam Delaa, lieu d'implantation du projet, est une daïra relevant de la wilaya de M'sila, située aux confins nord celle -ci, à la lisière occidentale de la chaîne du Hodhna, plus précisément à 50 km au sud de la localité d'El M'hir et 25 km au nord-ouest du chef-lieu.[7]

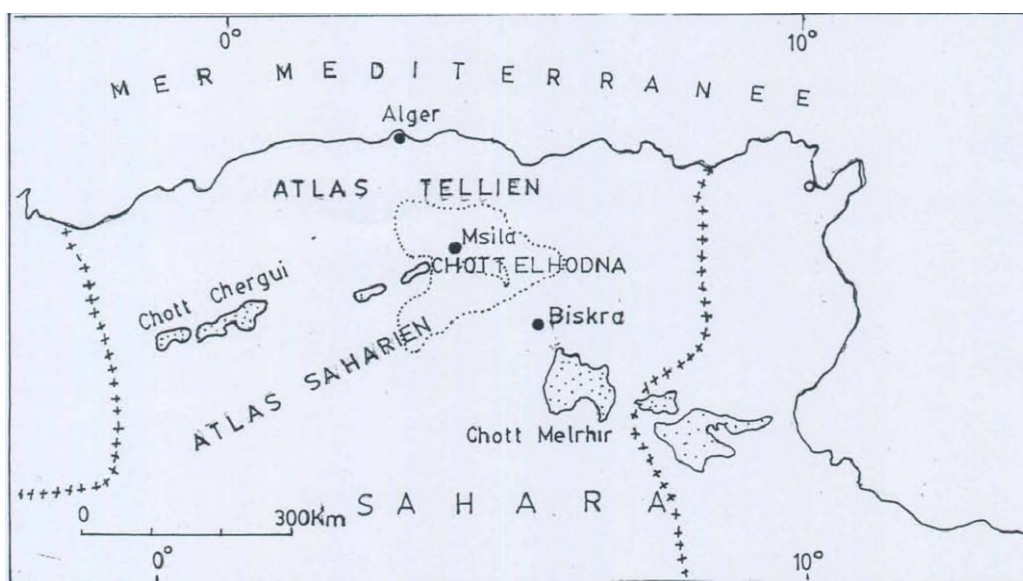


Figure I.1 : Situation géographique de M'sila.[7]

**I.1.3 Situation, morphologie et infrastructure de gisement Chouf Amar :**

**I.1.3.1 Situation**

Il est situé à 08 km au sud-est de Hammam Dalaa, au lieu-dit Chouf Amar, soit à 2.5 km de la route, asphaltée en partie, menant vers la localité d'El Euch (BBA). Il est circonscrit dans un protéiforme de 12 points dont les coordonnées UTM, d'après la feuille n°140 et 141 au 1/50.000, sont les suivantes :

**Tableau I.1** les coordonnées topographiques de l'ACC (km). [8]

<b>Coordonnées</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>X</b>	658.435	659.220	659.650	659.725	658.500
<b>Y</b>	290.485	290.290	289.965	289.000	288.955
Superficie Totale : 159 h					

**I.1.3.2 Morphologie**

Morphologiquement, le gisement de calcaire de Chouf Amar fait partie d'un vaste massif étiré dans une direction longitudinale sur plus de 150 km. Localement, il se présente sous forme de deux compartiments monoclinaux bien distincts, d'une dénivelée moyenne de 250m, étirés dans une direction SNE-NSW (N 75°) sous un angle de pendage de 10 à 15° vers le SSE (N 170°) séparés par un talweg relativement profond et délimités par deux butes qui en constituent le limite méridionale.

Il couvre une superficie de 159 ha cernée de corniches bien visibles dans le paysage et recouverte en grande partie par une nappe alfatière parsemée de quelques conifères, vestiges d'un forêt autrefois certainement plus dense qu'elle ne l'est à l'heure actuelle.



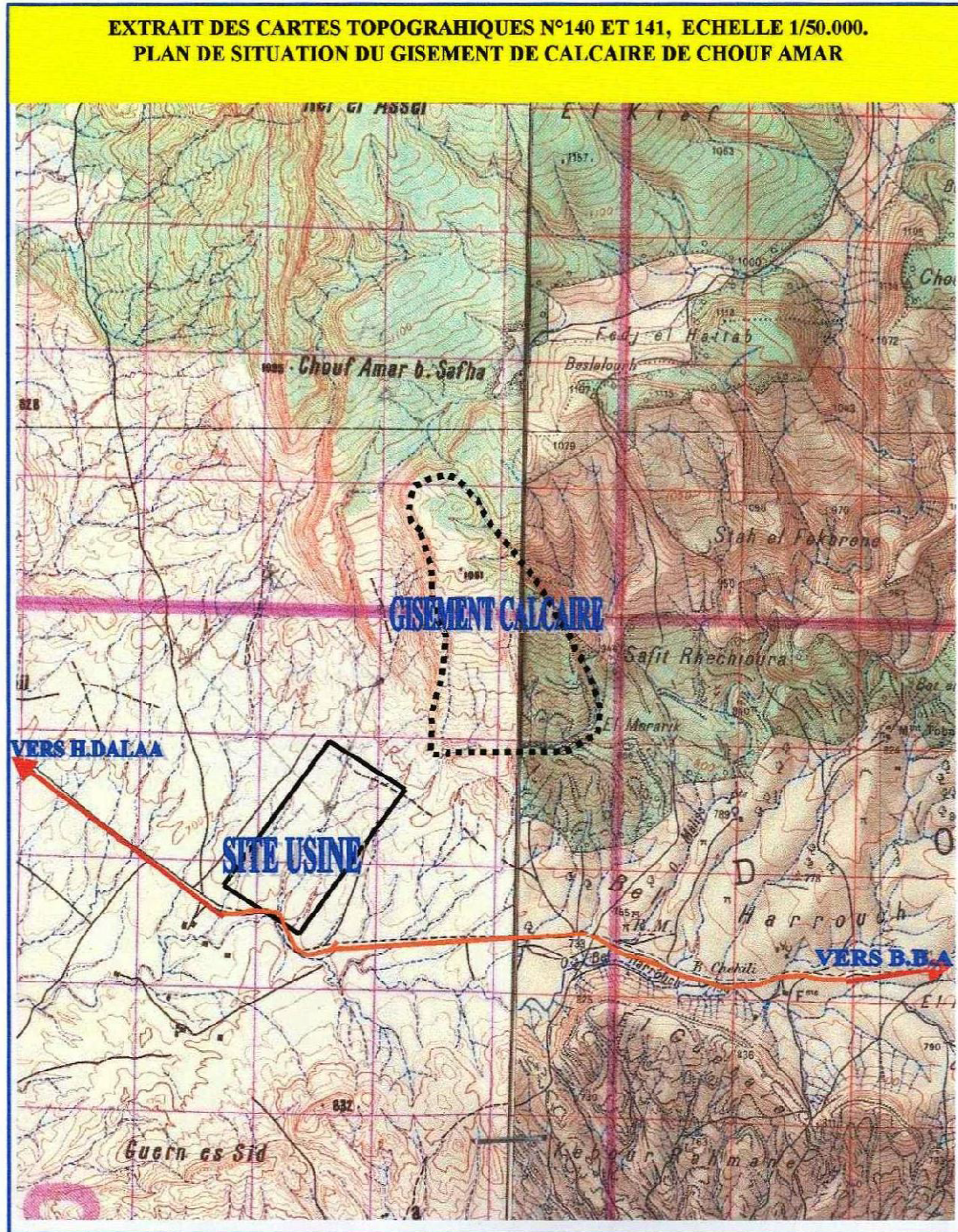


Figure I.2 : la situation géographique du gisement de Chouf-Amar. [8]

#### I.1.4 Litho stratigraphie du Site

**A. Le trias :** représenté par du gypse et argiles bariolées, cargneules, roches éruptives ; On le distingue dans le Sud et l'Est.

**B. Le Jurassique :** constitué par des masses dolomitiques et calcaro-dolomitiques que surmontent des calcaires, des marnes ou calcaires marneux.

## *Chapitre I. Etude géologique et hydrogéologique*

**C. Le crétacé :** Représenté par le valanginien, l'Hauterivien, le Barrémien, l'Aptien, l'Albien, le Cénomaniens, le Turonien, le Sénonien.

**D. L'éocène :** On distingue de façon classique :

- L'Eocène inférieur « calcaire » (Yprésien).
- Le Lutétien supérieur lagunaire (marne, argiles, gypse).
- Les grès rouges (série continentale Lutétien supérieur à Oligocène).

**E. Le Miocène :** Il est représenté par des grès calcaires, puis par une série très épaisse marneuse à petites intercalations gréseuses.

**F. Le tertiaire continental de la région de Boussaâda :** Il s'agit d'une alternance de niveaux conglomératiques, de sables et d'argiles rouges dont l'épaisseur variable peut dépasser 200 m.

**G. Le Plio-quadernaire de la plaine du Hodna :** Il débute par des niveaux continus de conglomérats grossiers et des calcaires lacustres puis d'une façon très hétérogène des lentilles conglomératiques gréseuses ou sableuses.

### **I.1.5 Géologie du gisement**

Les affleurements participant à la couverture sédimentaire du gisement de calcaire de Chouf Amar sont attribués, d'après les observations recueillies sur terrain et les résultats des études antérieures élaborées par différents auteurs sur la région, au crétacé supérieur plus précisément à l'émshérien. Celui-ci comprend trois termes principaux cumulant 200m d'épaisseur et qui se superposent selon la chronologie suivante :

A la base, juste au-dessus des calcaires dolomitiques du turonien, repose une assise essentiellement marneuse d'une épaisseur de 70m environ, constituée de marnes grisâtres avec des intercalations de marno- calcaires gris et noduleux, de calcaires gris souvent marneux, et de lumachelles d'huîtres.

Ce terme, daté du coniacien inférieur d'après son contenu faunistique, est surmonté sur une puissance variant de 60 à 80 m par une formation constituée de calcaires gris sombre, bleuâtres et blanchâtres, bioclastiques, en bancs bien lités ou massifs, compacts, localement parcourus de fissures tapissées de matière organique pigmentée de pyrite avec intercalations de minces niveaux de marnes grisâtres localement verdâtres ou blanchâtres.

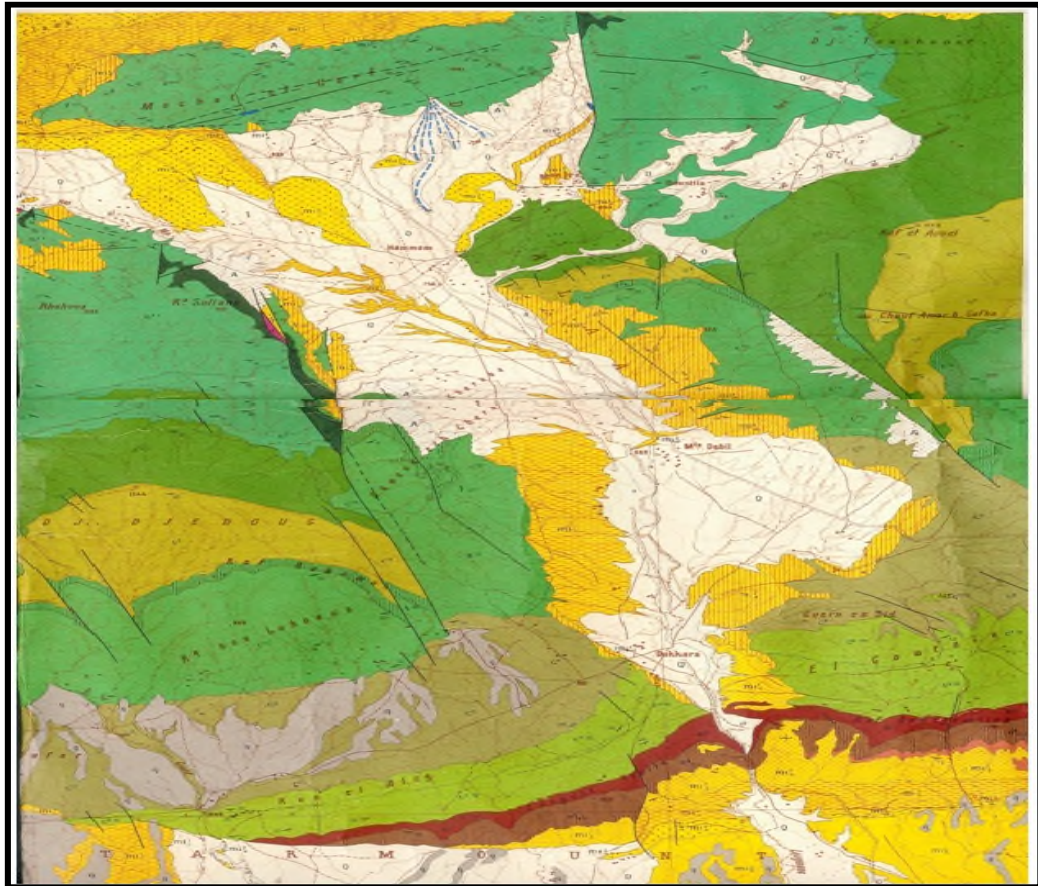
Au-dessus de cette formation essentiellement calcaire, qui pourrait être attribuée à la majeure partie du coniacien supérieur et constituant l'assise utile du gisement de Chouf Amar, repose une série marno-calcaire de 100 m d'épaisseur. Elle



## Chapitre I. Etude géologique et hydrogéologique

comprend une alternance régulière, généralement en bancs peu puissants de marnes grisâtres, marno-calcaires gris et noduleux, calcaires marneux organogènes, calcaires organogènes spathiques parfois micro conglomératiques ou oolithiques et de lumachelles à huîtres.

Dans cette alternance cantonnée à la lisière sud du gisement et correspondant probablement au coniacien terminal, il a été impossible de différencier l'antonine du coniacien. [8]



**Figure I.3 :**Extrait de la carte géologique n° 140 échelle 1/50.000 plan de situation du gisement de Chouf Amar et du site usine. [8]

### I.1.6 Hydrogéologie

Compte tenu de leur position topographique sur les parties sommitales des reliefs, leur inclinaison vers le Sud, les calcaires du gisement de Chouf Amar ne peuvent pas constituer un réservoir propice à accueillir un aquifère, ceci et étayé par l'absence du moindre suintement d'eau à la base des calcaires, notamment le long des falaises, et les pertes totales d'eau enregistrées au cours de la réalisation des sondages de prospection.

## Chapitre I. Etude géologique et hydrogéologique

Le prolongement des calcaires vers le sud, en profondeur sous la couverture mameuse du campanien. Présente des conditions similaires et peut constituer un aquifère pouvant donner un débit équivalent. [8]

### I.1.7 Hydrographie

Il est a noté que la région de Hammam Dalaa est bien pourvue en bassins versants et d'autres oueds et talwegs faisant en sorte que les précipitations atmosphériques ruissellent à travers ceux-ci pour aller s'emmagasiner dans les nappes du sous-sol.

Ces bassins versants occupent même des superficies considérables et les oueds et les Tawlegs sillonnant la région sont nombreux. Pour cela nous pouvons dire que la région de Hammam Dalaa est caractérisée par une hydrographie assez riche. [9]

## I.2 Milieu physique de l'environnement

### I.2.1 Climat (Source : Office national de météorologie / Algérie)

Sur recommandation de l'office national de météorologie, il a été pris en considération les données de la station d'observation météorologique de M'Sila située à 25km de la zone d'étude Les coordonnées de la station d'observation météorologique de M'Sila sont les suivantes : [6]

Longitude: <b>04°30' E</b> - Latitude: <b>35°40'</b> - Altitude: <b>441 m</b>
---

### I.2.2 Pluviométrie

Les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations en mm sont données dans le tableau I.2 suivant :

**Tableau I.2:** Les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations en mm.[10]

Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
23,8	15,5	22,3	20,5	34,2	11,4	4,6	8,8	28	28	32	28,3	21,4

La moyenne annuelle de 21,4 mm calculée pour les années allant de 1989 à 1999, traduit la faiblesse des précipitations atmosphériques sur la région de M'Sila. En effet les pluies débutent en automne(Sept-Oct.-Nov.) avec une moyenne de 29,3 mm, baissent en hiver (Déc.- Jan-Fév.) pour atteindre une moyenne de 22,5 mm, se relèvent légèrement au printemps (Mars-Avril-Mai) avec une moyenne de 25,6 mm et atteignent une moyenne de 8,2 mm en été (Juin-Juillet- Août).[10]

### **I.2.3 Vents**

Les moyennes mensuelles et annuelles de la vitesse des vents en mètres par seconde, ils sont donnés dans le tableau I.3 suivant :

**Tableau I.3 :** Les moyennes mensuelles et annuelles de la vitesse des vents. [10]

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	AN
Vitesse Moyenne	3,3	3,7	3,8	4,7	4,3	4,7	4,2	4,3	3,7	3,5	3,2	3,7	3,9
Direction	NW	NW	NW	NW	NW	NE	SE	NE	NW	NW	NW	NW	NW

D'après la répartition fréquentielle des vents et les roses des vents mensuelles et annuelle correspondantes (voir figures ci-après), on peut déduire

.2 que les vents les plus fréquents sont de direction dominante (Nord-Est / NE) durant la période estivale (juin, juillet, août) et de direction dominante (Nord-Ouest / NW) durant le reste des périodes de l'année. Les vents sont généralement calmes et soufflent avec une intensité moyenne annuelle enregistrée de **3,9 m/s**. [6]

### **Conclusion**

La région du Chouf Amar est reconnue par les sédiments de Crétacé, Tertiaire, et les dépôts du Quaternaire qui recouvrent la majorité de la partie des terrains, la structure est simple, sous forme d'une table monoclinale à pendage subhorizontale au niveau de (12° à 14°).

Cette région est caractérisée par les plus grands gisements dans le monde à cause de la qualité de calcaire élevé.



## *Chapitre I. Etude géologique et hydrogéologique*

# CHAPITRE II

## **Introduction**

Le choix d'une méthode d'exploitation et d'un plan d'exploitation pour un gisement à ciel ouvert dépend d'un certain nombre de contraintes techniques, économiques et environnementales. Il s'agit de définir les conditions et les modalités d'exploitation (découverte, extraction, transport et réaménagement) qu'il importe d'étudier soigneusement dans le cadre du projet de façon à réduire, autant que possible, les coûts d'exploitation et les incertitudes qui pèsent sur eux.

### **II.1 Mode d'ouverture du champ de la carrière**

#### **II.1.1 Mode d'ouverture**

L'ouverture des gisements à relief montagneux s'effectue de haut vers le bas par des demi-tranchées. [25]

Dans le cas de la carrière de Chouf-Amar, le gisement de calcaire à exploiter est situé dans un relief montagneux. L'accès au gisement suscité se fait à l'aide d'une demi-tranchée creusée de bas vers le haut. Ensuite pour réaliser le premier front de taille, il est nécessaire de creuser des tranchées de découpage en fonction du nombre de gradins dont la somme des hauteurs est égale à la profondeur finale de la carrière. [13]

#### **II.1.2 Le choix du mode d'ouverture**

Généralement, l'ouverture d'un gisement exploitable à ciel ouvert dépend des facteurs dont les principaux sont :

##### **II.1.2.1 Les facteurs géologiques**

- Relief de terrain.
- Forme et dimensions du gisement.
- Puissance, profondeur et pendage de gîte.

##### **II.1.2.2 Les facteurs technico-miniers**

- Productivité de la carrière.
- Durée de service de la carrière.
- Moyen de mécanisation et sécurité de travail.

##### **II.1.2.3 Les facteurs économiques**

- Dépenses capitales de la construction de la carrière
- Rendement. [11]

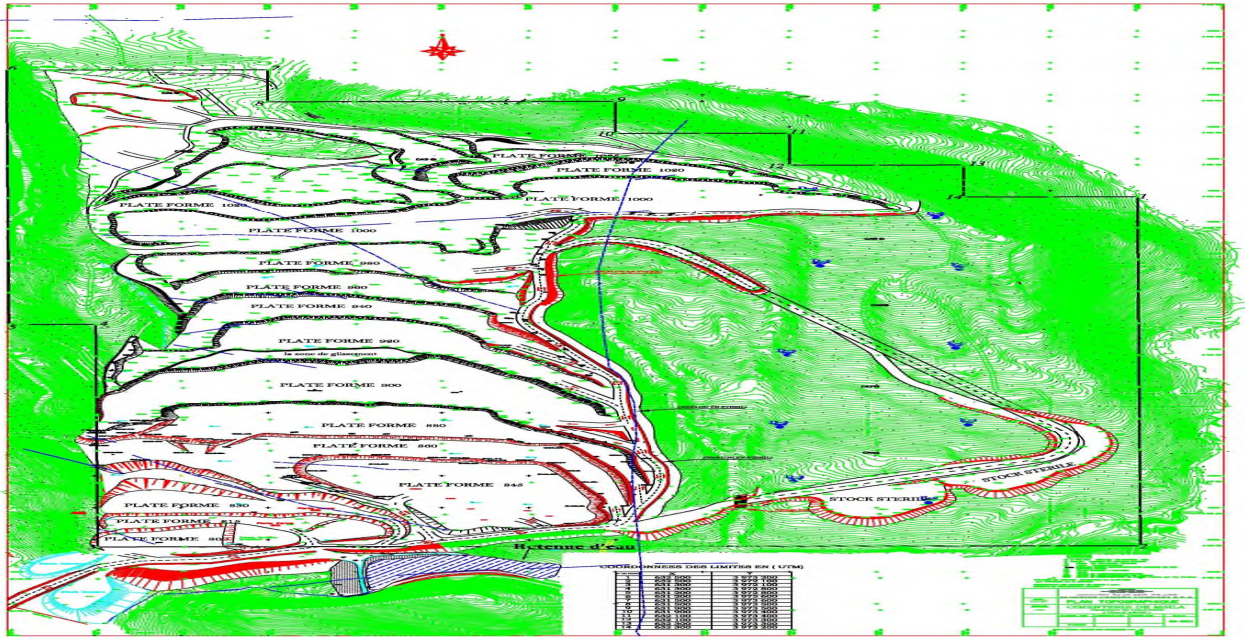


Figure II.1 Schéma du mode d'ouverture du gisement de Chouf-Amar [8].

### II.1.3 paramètres de la demi-tranchée d'accès

#### A. Caractéristiques de la demi-tranchée

- Longueur :  $L = 2500$  m
- Largeur :  $b = (10 \div 20)$  m.
- La pente :  $i = (10^\circ \div 12^\circ)$

#### B. Largeur des fonds de la demi-tranchée d'accès

Largeur de la demi-tranchée d'accès est déterminée en fonction du nombre des voies du transport et des dimensions de types de transport à utiliser, dans notre cas, il existe deux voies de transport.

$$b = 2n + 2B + m ; (m) \quad (II.1)$$

Ou :

$n$  : l'accotement,  $n = 1$  m

$B$  : largeur du camion,  $B = 4,73$  m

$m$  : distance de croisement,  $m = 1.5$  m. Donc  $b = 13$  m

#### C. Pente longitudinal de la demi-tranchée d'accès

La pente longitudinale de la demi-tranchée d'accès est généralement déterminée en fonction de type de transport utilise, dans le cas de transport par camion la pente de 6 à 10%.

Dans le cas de la carrière de Chouf -Amar la pente est de l'ordre  $12^\circ$ .

**D. Angle de bord de la demi-tranchée d'accès**

L'angle de bord de la demi tranchée d'accès dépend des propriétés physiques et mécaniques des roches dont la principalement la dureté et la durée de service de cette ternie. Dans notre cas, le calcaire de la carrière de Chouf-Amar est de dureté de  $f=10$  dont l'égale de bord de la demi tranchée d'accès appropriée est égale à  $\alpha_d=70^\circ$ .

**E. L'angle de bord de la demi-tranchée de découpage**

L'angle de bord de la demi –tranchée de découpage est égale de talus de gradin de la carrière :  $\alpha_{dec}=72^\circ$ .

**F. Volume total de la demi-tranchée**

Il est déterminé par la formule (II.2) suivante ;

$$V_d = \frac{b^2 \sin \alpha_d \cdot \sin \beta f \cdot L}{2 \cdot \sin(\alpha_d - \beta f)} \quad ;(m^3) \quad (II.2)$$

Ou :

$b$  : Largeur de la demi-tranchées d'accès  $b=13m$ ,

$\alpha_d$  : Angle du bord de la demi-tranchée d'accès égale à  $70^\circ$ ,

$\beta f$ : L'angle du flanc de coteau est égal à  $12^\circ$ ,

$L$  : Longueur de la demi tranchée d'accès  $L=2500 m$ .

Donc :  $V_d=48843,26 m^3$

**G. Volume de la demi-tranchée de découpage**

Il est déterminé par la formule (II.3) suivante ;

$$V_{dec} = \frac{b_{dec}^2 \sin \alpha_{dec} \cdot \sin \beta f \cdot L}{2 \cdot \sin(\alpha_{dec} - \beta f)} \quad ;(m^3) \quad (II.3)$$

Ou :

$b_{dec}$  : largeur de la tranchée de découpage,

$$b_{dec} = 2(R_b + 0.5B + m) \quad (II.4)$$

$R_b$  : rayon de braquage du camion,  $R_b=9.2m$ .

$B$  : largeur du camion,  $B=4.73 m$ .

$m$  : l'accotement,  $m=1m$ .

Ainsi :

$$b_{dec} = 2(9.2 + 0.5 \cdot 4.73) = 25.13 m.$$

$\alpha_{dec}$  = angle de bord de la tranchée de découpage,  $\alpha_{dec}=72^\circ$ .

$L$  : longueur de tranchée de découpage,  $L=400 m$ .

Ainsi :  $V_{dec}=28838.3m^3$  [11]

**Tableau II.1** Les valeurs des paramètres de tranchée de découpage et demi-tranchée d'accès.  
[11]

<b>Paramètre de la demi –tranchée</b>	<b>Symbole</b>	<b>Valeurs</b>	<b>Unités</b>
Largeur de la demi-tranchée d'accès	$b_d$	13	m
Longueur de la demi-tranchée d'accès	$L_d$	2500	m
angle de bord de la demi –tranchée d'accès	$\alpha_d$	70	Degré
Largeur de tranchée de découpage	$L_{déc}$	25.13	m
Angle de bord de tranchée de découpage	$\beta_d$	72	Degré
Volume de tranchée de découpage	$V_{déc}$	28838.3	$m^3$

## **II.2 Méthode d'exploitation**

La méthode d'exploitation adoptée dans la carrière de Chouf Amar se fera en partant du bas à partir du niveau 800m jusqu'au sommet (niveau 1060m) par des gradins de hauteur varie de 15 jusqu'à 20m, c'est une méthode d'exploitation simple selon les travaux de forage et de tir a deux bord exploitables, la première est dans la partie EST de la carrière et la deuxième dans la partie OUEST, le développement des travaux d'extraction oriente vers le NORD .

### **II.2.1 détermination des paramètres d'exploitation**

Vu la longueur des fronts (400-480m) et les hauteurs des gradins de 15 à 20 m la disposition des trous se fait selon une rangée tout au long du front et rarement en deux rangées en quinconces.

#### **II.2.1.1 Hauteur du gradin**

Le choix de la hauteur du gradin se fait en dépendance de la production de la carrière et la sécurité des travaux, ainsi que les moyens de la mécanisation des travaux miniers.

Dans la carrière de Chouf Amar la hauteur de gradin est 13,5 à 20m.



**Figure II.2** Hauteur du gradin du gisement.

### **II.2.1.2 Largeur d'enlevure**

Lors de l'exploitation des roches dures avec l'abattage à l'explosif la largeur d'enlevure se détermine par la formule (II.5) suivante :

$$A=W+(n-1) \times b, \text{ m.} \quad (\text{II.5})$$

Ou :

W : la ligne de moindre résistance  $w=3.75$  m ;(paramètre existant dans la carrière)

n : nombre de rangées ;  $n=1$  rangées.

b : distance entre 2 rangées successives ;

Dans le cas d'une seule rangée, on a  $A=W$  ;(m).

Donc  $A=3,75$ m.

### **II.2.1.3 La largeur de plate-forme du travail**

La largeur de la plate-forme de travail est déterminée en fonction des propriétés physiques et mécaniques des roches, des dimensions des tas des roches abattues, des paramètres techniques des engins de chargement et de transport. Lors de l'abattage des roches par explosif, et transport par camion la largeur de plate-forme de travail est déterminée par la formule (II.6) suivante :

$$B=A+X+C+T+Ba+Z ;(\text{m}) \quad (\text{II.6})$$

Ou :

A : est la largeur d'enlevure ;  $A=3,75$  m

X=largeur réduit du tas des roches abattus

$$X=A \left( 2K_f \frac{Hg}{Ht} - 1 \right); (\text{m}) \quad (\text{II.7})$$

## Chapitre II. Plan d'exploitation à ciel ouvert du gisement Chouf Amar

Ou :

$K_f$ : coefficient de foisonnement des roches.

Le tableau (II.2) suivant représente le coefficient de foisonnement selon le type des roches.

**Tableau II.2** Coefficient de foisonnement. [11]

Type des roches	Coefficient de foisonnement $K_f$
Roches de résistance difficile	$K_f=3\div 3,5$
Roches de résistance moyenne	$K_f=2,5\div 3$
Roches d'une faible résistance	$K_f=2\div 2,5$

On ne prend que  $K_f=3$  (pour les roches de dureté égale 10).

Hg, Ht : sont respectivement la hauteur de gradin et du tas des roches abattus.

$$H_t = (0,5 \div 0,6) H_g ; (m) \quad (II.8)$$

$$H_t = 0,6 * 13,5 = 8,1 \text{ m}$$

$$H_g = 13,5 \text{ m}$$

$$X = 33,75 \text{ m}$$

C: distance de sécurité comprise entre le tas et la bande de transport, ( $C=1\div 3$ m).

B : largeur de la bande de transport (chaussée) ;  $B=13$ m.

Ba : largeur de la bande auxiliaire destinée à l'emplacement des engins ou installations axillaires; (m),  $B_a=8$ m.

Z : largeur de prisme d'éboulement ;(m),  $Z=4$ m(en fonction de la durée des roches et la hauteur de gradin).

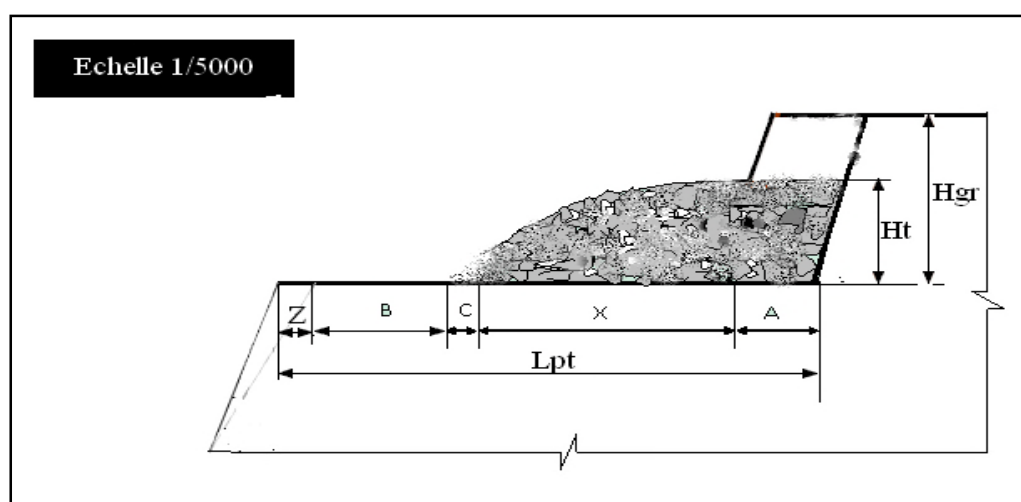
Donc la largeur de plate-forme de travail est égale :

$$L_T = 3,75 + 33,75 + 3 + 13 + 8 + 4 = 65,5 \text{ m.}$$



**Tableau II.3** Paramètres des éléments de la plateforme de travail. [11]

Les éléments de la plateforme de travail	symbole	Valeur
La largeur d'enlevure (m)	A	3,75
La largeur réduite du tas des roches abattus(m)	X	33,75
La distance de sécurité entre le tas et la bande de transport (m)	C	03
Largeur de la bande de transport (chaussée) (m)	B	13
Largeur de la bande auxiliaire(m)	Ba	08
Largeur de prisme d'éboulement (m)	Z	04



**Figure II.3** Paramètres des éléments de la méthode d'exploitation.

## II.3 Travaux de forage et de tir

### II.3.1 Généralités sur les méthodes de préparation des roches à l'abattage

Avant d'opérer un tir de mines, des plans de forage et de minage sont dressés comportant :

- l'emplacement précis des trous de mines(ou fourneaux),
- leurs dimensions (longueur et diamètre),
- les caractéristiques de charge (explosif et quantités),
- le mode d'amorçage (détonateur, routard). [14]

### II.3.2 Plans de forage

Le mode de forage dépend de

- Les propriétés physiques et mécaniques des roches,
- Le diamètre des trous à forer,
- La hauteur du gradin,
- La longueur (profondeur) du trou à réaliser. [15]

## Chapitre II. Plan d'exploitation à ciel ouvert du gisement Chouf Amar

Actuellement, la carrière dispose de deux (02) sondeuses de type ATLAS COOP de (110mm) de diamètre avec un rendement de 280m/poste par machine. Selon la 1<sup>ère</sup> variante de tir, la foration concernera 2 852 mètres linéaires sur les 5 600m prévus pour les deux machines



Figure II.4 Sondeuse ATLAS COOP (source : lieu de stage Chouf Amar).

### II.3.2.1 Les caractéristiques de la sondeuse

#### A. Temps réel du cycle de forage d'un trou

Est presque une minute (1 min) au niveau de la carrière Chouf Amar.

#### B. Le temps effectif de forage : $T_f=24.20$ min.

#### C. Le temps auxiliaire : $T_{aux}=1+1=2$ min.

#### D. Vitesse de forage d'un mètre du trou

$$V_f = \frac{L_{tr}}{T_f} ; (\text{ m/h}) \quad (\text{II.9})$$

Ou :

$L_{tr}$  : longueur totale d'un trou fore ;  $L_{tr} = 22\text{m}$ .

$T_f$  : temps effectif de forage,  $T_f=24,20\text{min}=0,40\text{h}$

Donc :  $V_f=22/0.4=55\text{m/h}$ .

#### E. Temps auxiliaire pour forer un mètre du trou

$$T_2 = \frac{T_{aux}}{L_{tr}} \quad (\text{II.10})$$

## Chapitre II. Plan d'exploitation à ciel ouvert du gisement Chouf Amar

Avec  $T_{aux}=1+1=2 \text{ min}=0,033 \text{ h}$ ,

Donc :  $T_2=0,033/22=0,0015 \text{ h/m}$ .

### F. Rendement de la sondeuse par poste

$$R_{sp} = \frac{Tp \times Ku}{\left(\frac{1}{Vf}\right) + T_2} \quad (\text{II.11})$$

Ou :

$Tp$  : temps d'un poste ;  $Tp=8$  heures,

$Ku$  : coefficient d'utilisation de la sondeuse ( $0,6 \div 0,8$ ) on prend  $Ku=0,7$ ,

$Vf$  : vitesse de forage :  $Vf=55 \text{ m/h}$ ,

$T_2$  : temps auxiliaire pour 1 mètre de trou,  $T_2=0,0015 \text{ h/m}$ .

$$\text{Donc : } R_{sp} = \frac{8 \times 0,7}{\left(\frac{1}{55}\right) + 0,0015}$$

$$R_{sp} = 280 \text{ m/poste.}$$

**Tableau II.4 :** Caractéristiques techniques de la sondeuse ATLAS COPCO ROC L6. [11]

Marque.	ATLAS. COPCO
Type.	ROCL6 – 44
Type de moteur	CAT C10
Puissance du moteur	R72 KW
Diamètre du <sup>2</sup> trou	(110 ÷ 125) mm
Direction de forage	(60°-90°)
Vitesse de rotation	25 ÷ 80 tr/mn
Vitesse de déplacement	3, 4 km/h
Consommation d'air comprimé	5 bars
Profondeur max de forge	40m
Poids	18,5 t

### II.3.3 Plan de minage

Le plan de minage consiste à déterminer le type et la quantité d'explosif à mettre en œuvre dans les sondeuses ainsi que leur mode d'amorçage. [14]

### **II.3.3.1 Préalables des tirs actuels**

- Un tir par semaine (05 jours) soit une volée de 113 600 tonnes.
- Chargement continu des trous de mines.
- Tir sur deux rangées de trou (la majorité des cas) imposé par la limite des réserves et le relief.
- Hauteur maximale de gradin est prise égale à 20 m.
- Consommation spécifique d'explosifs 160 g/t moyennement.
- Inclinaison du trou par rapport à la verticale 10-15°.
- L'ouverture du concasseur et (1.8 X 2) m<sup>2</sup>.

### **II.3.3.2 L'explosif utilisé**

L'ACC utilise les types d'explosifs suivants :

- charge principale Anfomil en vrac,
- charge d'amorçage Temex II en cartouche,
- cordeau détonant (20g/m),
- détonateur électrique.

Ces différents choix sont inhérents aux propriétés physiques et mécaniques de la roche calcaire Chou Amar dont les caractéristiques techniques sont illustrées dans le tableau II.5.

**Tableau II.5** Caractéristiques techniques des explosifs d'après l'ONEX. [16]

<b>Paramètres</b>	<b>Temex II</b>	<b>Anfomil</b>
Densité normale t/m <sup>3</sup>	1,22	0,9
Diamètre d'une cartouche (m)	80	En vrac
Vitesse de détonation (m/s)	4200	2500
Poids de l'explosif (kg)	2.5	25
Longueur de la cartouche (cm)	40	En vrac
Résistance à l'eau	Moyenne	Faible
Aptitude de travail (cm <sup>3</sup> /10g)	360	320

#### **a. Quantité d'explosif par trou**

## Chapitre II. Plan d'exploitation à ciel ouvert du gisement Chouf Amar

Comme la consommation spécifique des explosif  $Q_s$  est un facteur primordial pour la détermination des charge des trous en explosif, A.C.C a pu ramener la consommation spécifique de 0,170 gr/t au début des travaux jusqu'à un intervalle de 0,140 à 0,150 gr/t et ce facteur (consommation spécifique) demeure toujours ajusté a fur et à mesure des tirs jusqu'à l'obtention d'une consommation spécifique optimum à quantité totale d'explosif par trou dont  $H_g=20m$  est :

$$Q_{exp/tr} = H_g * A * B * d * Q_s \quad (II.12)$$

D'où

$d$  : la densité de la roche = 2,68 t/m<sup>3</sup>,

$Q_s$  : la consommation spécifique d'explosif = 0,145 kg/t,

$B$  : la banquette = 4,

$A$  : l'espacement entre les trous = 1,25 \*  $B$  = 5, (II.13)

$Q_{exp} = 20 * 5 * 4 * 2.68 * 0.145 = 155.44$  kg d'explosif par trou.

### b. Amorçage

L'amorçage de la charge est réalisé latéralement au cordeau détonant 20 gr/m lesté au fond du trou d'une cartouche amorce (Temex 2).

Il est relié en surface à un détonateur BT micro-retard de 20ms.

Le déclenchement de la volée est obtenu par un exploseur relié à la ligne de tir.

### II.3.4 Détermination des paramètres principaux des travaux de forage et de tir

#### II.3.4.1 Longueur d'excès (sur foration)

$$l_s = (10 \div 15) \text{ dtr}, \quad (II.14)$$

Où :

dtr: Diamètre du trou est égale 110 mm,

Donc, on prend  $l_s = 15 \text{ dtr} = 15 * 0,110 = 1,65m$ .

#### II.3.4.2 Distance entre les trous d'une même rangée

Cette distance dépend fortement de la résistance de la roche, de la nature de l'explosif utilisé et ainsi que de la fragmentation recherchée. Il se détermine par la formule suivante :

$$a = m * w \quad (II.15)$$

Donc:  $a = 1 * 3.75 \rightarrow a = 3.75m$ .

#### II.3.4.3 distance entre les rangées des trous

Dans le cas de la carrière de Chouf Amar sont utilisé un seul de trou.

#### II.3.4.4 Longueur de la charge explosive

## Chapitre II. Plan d'exploitation à ciel ouvert du gisement Chouf Amar

$$L_{ch} = \frac{Q}{P}, \quad (II.16)$$

Q : quantité d'explosif par trou, kg.

P : la charge linéaire, m.

Donc :  $L_{ch} = \frac{104,92}{9,15} = 11,46 \text{ m}$

### II.3.4.5 Volume des roches abattues par trou

$$V_{ab} = a * W * H_{gr} = 3,75 * 3,75 * 13,5 = 189,84 \text{ (m}^3\text{/trou)} \quad (II.17)$$

### II.3.4.6 Volume du bloc à tir

Il se détermine comme suit :

$$V_{bt} = N_{tr} * V_{ab} \quad (II.18)$$

$N_{tr}$ : nombre de trous du bloc à tirer.

$N_{tr} = 23$  trous.

$V_{bt} = 23 * 230,36 = 5295,98 \text{ m}^3$

**Tableau II.6** Tableau récapitulatif des paramètres des travaux de forage et de tir.

Paramètres	Désignation	Unités	Valeurs
longueur d'excès	$l_s$	M	1,65
Distance entre les trous d'une même rangée	A	M	4,13
distance entre les rangées des trous	B	M	.....
Longueur de la charge explosive	$L_{ch}$	M	11,46
volume des roches abattues par trou	$V_{ab}$	m <sup>3</sup> /trou	230,26
Volume du bloc à tirer	$V_{bt}$	m <sup>3</sup> .	5295,98

## II.4 Travaux de chargement et de transport

### II.4.1 Travaux de chargement

Dans la carrière de Chouf Amar le chargement s'effectue à l'aide de 03 chargeuses elles assurent la production journalière de la carrière.

Les paramètres les plus importants qui influent sur les travaux de chargement spécifiquement c'est la granulométrie des tas des roches, les grands blocs des hors gabarits demandent un temps important pour leur charger dans la benne du camion, et influent aussi sur les caractéristiques des engins de chargement et de transport. [11]

## Chapitre II. Plan d'exploitation à ciel ouvert du gisement Chouf Amar

A la carrière de Chouf Amar, il existe chargeuse sur pneu : CARTER PILAR 990(figII.5).



Figure II.5 Chargeuse CARTER PILAR 990. [11]

Tableau II.7 Caractéristiques techniques de la chargeuse

Marque	CAT
Type	990
Capacité du godet	8,4÷9,2 m <sup>3</sup>
Capacité de charge	15÷16,5 t
Puissance du moteur	466kw
Moteur	3412 E diesel
Poids	73453 kg

### II.4.2 Travaux de transport

Le choix d'engin de transport dans les carrières est basé sur plusieurs caractères tels que la productivité de la carrière; la distance de transport; la nature de la matière à transporter; la qualité de fragmentation des roches. Compte la distance de transport entre le front de travaux et le concasseur est de l'ordre de 2500m et plus, et les roches à transporter dont la granulométrie est moyenne (blancimétrie de 0,3 jusqu'à 1m), et la pente de la route d'accès est égale 14°, et pour assurer une production annuelle de 4.10<sup>6</sup> tonne de calcaire, d'après ces paramètres. Le transport dans la carrière de Chouf- Amar s'effectue par des camions de marque CATER-PILLAR de type 775 E.

## *Chapitre II. Plan d'exploitation à ciel ouvert du gisement Chouf Amar*

L'efficacité de l'utilisation des camions dans des mines à ciel ouvert dépend d'une grande mesure du schéma d'accès du camion vers le chantier et sa disposition près de la chargeuse.

Suivant la méthode d'ouverture des gradins, les dimensions de la plate forme du travail et des conditions de travail de la chargeuse, on applique différents types d'accès des camions vers la chargeuse, à savoir :

- Schéma d'approche en frontale.
- Schéma d'approche en boucle.
- Schéma d'approche en cul de sac.

Dans la carrière de Chouf- Amar, il est préférable d'utiliser le schéma d'approche en boucle, ce qui augmentera le rendement de la chargeuse et n'exige pas aux chauffeurs des camions des manœuvres compliquées.



**Figure II.6** Camion CATERPILLAR 775E.

### **Conclusion**

L'ouverture d'une carrière a été exigé la réalisation des accès au différent niveau d'exploitation. Elle consiste à creuser des tranchées qui donnent l'accès au gisement et des tranchées de découpages qui permettent de réaliser un front initial pour les travaux d'exploitation.



# CHAPITRE III

## **Introduction**

Le déroctage à l'explosif s'accompagne naturellement de l'émission de vibrations dans l'environnement. La maîtrise de cette émission, c'est à dire la limitation du niveau vibratoire à un seuil limite, s'impose à tout exploitant. L'impact des vibrations sur l'environnement concerne simultanément les structures avoisinantes et les riveraines qui risquent d'en ressentir une gêne, même pour des niveaux reconnus comme inférieurs aux seuils susceptibles d'induire des dégradations dans les structures ,immeubles, zone d'habitation, ouvrages d'art .... [17]

### **III.1 Généralités sur le tir**

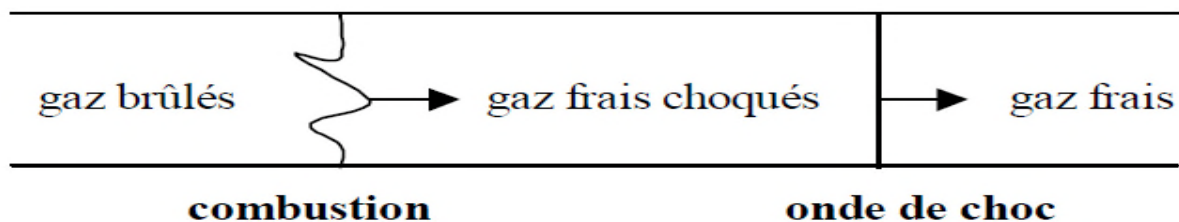
#### **III.1.1 Définition d'explosif**

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.

La puissance d'un explosif est proportionnelle à la vitesse à laquelle cette décomposition se produit .la vitesse détermine le régime normal de la décomposition de l'explosif. [12]

La décomposition d'explosif donne naissance à deux actions différentes et complémentaires :

- ❖ Une onde de choc : effet de choc, brisance ;
- ❖ Un dégagement d'un grand volume de gaz à très haute température : effet de poussée.



**Figure III.1** Propagation de l'onde de choc issue d'une détonation. [30]

## *Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets*

### **III.1.2 Les processus de transformation des explosifs**

Les explosifs industriels sont en général constitués par un comburant (oxydant), un combustible (réducteur) et divers autres produits pour leur conférer des propriétés particulières ,et qui peuvent se décomposer selon trois modes: [18]

#### **III.1.2 .1 Combustion simple**

- Caractéristiques : réaction se propagent par conductivité thermique ;
- vitesse de transformation : modérée de l'ordre du centimètre par seconde ;
- Effets : l'explosif brule.

#### **III.1.2 .2 Déflagration**

- Caractéristiques : combustion accélérée par accroissement de la pression et de la température ;
- Vitesse de transformation : rapide de l'ordre de l'hectomètre par seconde 300a 1500 m/s ;
- Effets : l'explosif déflagre : il y a de poussée progressive.



**Figure III.2** Une cartouche d'une poudre noire comprimé. [18]

#### **III.1.2 .3 Détonation**

- Caractéristiques : création d'une onde associée à la réaction chimique ;
- vitesse de transformation : très rapide de l'ordre du kilomètre par seconde dont la

### Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets

vitesse de décomposition est supérieure à 2000 m/s ;

- Effet : l'explosif détone : il y a effet de brisance, avec poussée brutale, choc. Ce sont les dynamites, les explosifs nitrates (nitrates fiouls, gels et émulsions).

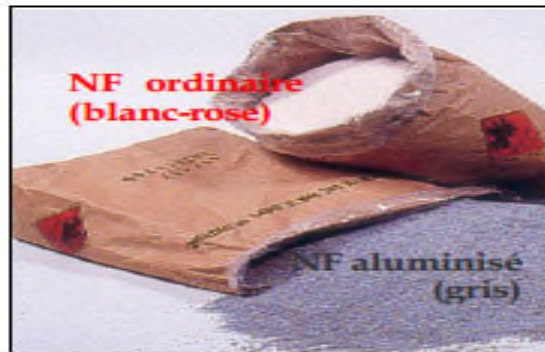


Figure III.3 Deux types de nitrate fioul. [18]

Les trois processus sont résumés selon ce schéma :

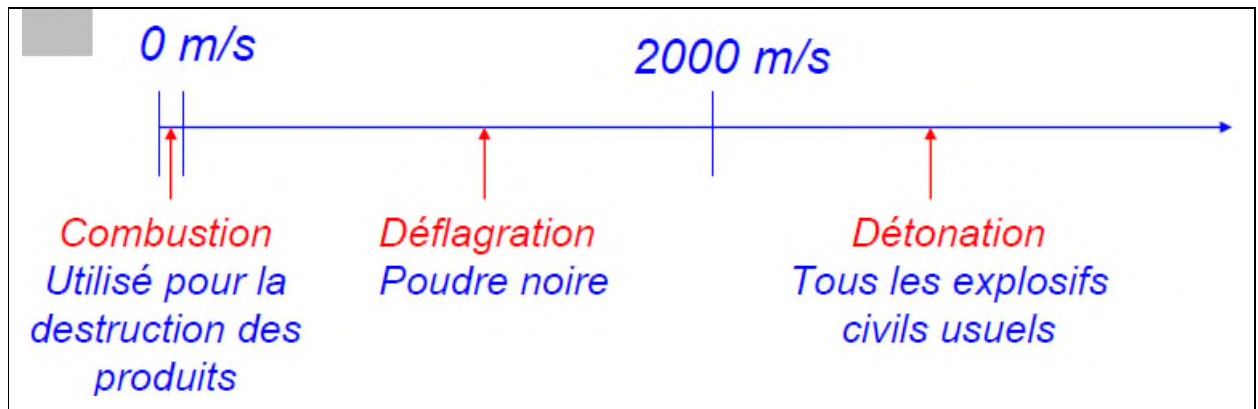


Figure III.4 Vitesse de réaction /décomposition.

#### III.1.3 l'effet d'explosif

L'énergie d'un explosif détonant libérée au moment de l'explosion se manifeste sous deux formes :

### ***Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets***

- une énergie de choc : véhiculée par une onde de choc qui se déplace au sein de la charge et qui est transmise au milieu environnant ;
- une énergie de gaz engendrée par le dégagement d'un important volume de gaz à très hautes températures et pression.

Dans un trou de mine, l'onde de choc sur son passage fissure le terrain, et les gaz sous pression ouvrent ces fissures et disloquent le matériau. [8]

#### **III.2 Objectif de tir à l'explosif**

- L'objectif numéro un d'un tir à l'explosif est sa réalisation en toute sécurité.
- Techniquement, le principal objectif du tir à l'explosif est de fracturer le massif rocheux de manière à obtenir des blocs compatibles avec les engins de reprise ou de chargement, et les installations de concassage-broyage.
- Aussi, on souhaite également que la forme du tas abattu ait une forme et une compacité adaptées à la mobilité des engins de chargement.
- La planéité de la surface de roulement est également un objectif important pour garantir une bonne productivité du poste roulage.
- On citera également parmi les objectifs à atteindre, une régularité un faible endommagement des fronts d'exploitation qui facilitera le positionnement et la réalisation des volées suivantes.
- Enfin, un des objectifs qui devient aujourd'hui de plus en plus prioritaire, est de produire aussi peu de nuisances que possibles. [19]

#### **III.3 Procédure de Tir**

- Implantation du tir dans la carrière.
- Foration des trous de mine.

## ***Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets***

- Remplissage en explosifs.
- Raccordements.
- Mise en sécurité des lieux et pose de sismographe sur les premières habitations.
- Tir.
- Temps de sécurisation.

### **III.3.1 Mode opératoire**

Les explosifs, d'une nature et d'une puissance adaptée, sont disposés en colonne dans des trous réalisés par forage et correspondant à la hauteur de la roche à abattre.

Des détonateurs électriques, placés en fonds de trous, sont réglés avec des micros-retards. Les charges peuvent être mono ou bi-étagées –autant de paramètres qui permettent d'échelonner et de coordonner le déclenchement des ondes de choc pour en répartir et optimiser l'impact. Le bourrage constitué en haut de colonne empêche la libération verticale de gaz.

C'est donc la définition d'un plan de tir très précis, déterminé au cas par cas, qui permet d'obtenir le meilleur résultat. [19]

### **III.3.2 Dimensionnement d'un schéma de tir**

#### **III.3.2.1 Plan de foration**

Pour abattre un massif à l'explosif, on réalise un ensemble de trous de mines : les paramètres géométriques et les paramètres de chargement qui interviennent sont ainsi définis :

- ❖ La plateforme, zone sur laquelle évolue les engins, définit un plan nommé carreau ;



**Figure III.5** Foration d'un trou de mine.

- ❖ Le front est la surface libre qui va être abattue. Les paramètres essentiels du front sont sa hauteur (réglementairement limitée à 15 m), son inclinaison et sa régularité ;
- ❖ Les distances entre deux rangées (ou bien distance entre le front et la première rangée) doivent être égales ; on appelle cette distance banquette ;
- ❖ L'espacement est la distance entre deux trous d'une même rangée ;
- ❖ On désigne par maille le couple banquette-espacement ;
- ❖ L'inclinaison des trous par rapport à la verticale détermine la longueur à forer en fonction de la hauteur du front. La longueur de foration additionnelle par rapport au carreau est désignée par surforation. [20]

### **III.3.2.2 Plan de chargement**

Avant d'introduire les cartouches d'explosif, il convient de s'assurer que celles-ci ne risquent pas de se coincer. En effet, il est interdit d'enfoncer de force une cartouche.

### ***Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets***

Il est donc nécessaire de vérifier au préalable le diamètre du trou de mine sur toute sa longueur à l'aide d'un bourroir d'un diamètre égale ou légèrement supérieur à celui des cartouches utilisées.

Si le passage du bourroir ne se fait librement, le trou doit être réalèse.

#### **III.3.2.3 Plan d'amorçage**

La charge d'un est composée d'une ou plusieurs cartouches. Celle sur laquelle est fixe le dispositif d'amorçage (détonateur ou cordeau détonant) est appelée cartouche amorce.

L'amorçage d'une charge ne doit être fait que par seule cartouche amorce.

Pour la préparer, il faut aménager, à l'aide d'un poinçon, un logement permettant de placer le dispositif d'amorçage et de bien nœud d'artificier de cette dernière lors de chargement avec plusieurs méthodes on fait le chargement.

#### **III.3.2.4 Raccordement**

Lorsque toutes les mines sont chargées et bourrées, le raccordement s'effectue suivant une technique propre à chaque mode d'amorçage afin de pouvoir procéder au tir de volée.

A noter :

- ❖ Il est interdit d'abandonner sans surveillance un trou de mine charge. si le travail est effectué à plusieurs postes, le boutefeuf du poste qui n'a pu effectuer le tir attend sur place le boutefeuf du poste suivant pour lui donner les renseignements permettant d'achever l'opération en sécurité ;
- ❖ Toutes les mines chargées doivent être tirées d'une seule volée afin de ne pas risquer de détériorer les dispositifs d'amorçage des mines qui ne seraient pas tirées. [21]
- ❖ Un bourrage est un matériau inerte, placé soit entre deux charges (« bourrage intermédiaire»), soit en haut de trou (« bourrage terminal ou final»);
- ❖ La séquence d'amorçage est l'ordre dans lequel détonnent les différents détonateurs placés dans les mines. [20]



### Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets

#### III.3.3 Paramètres lié aux tirs

Ces paramètres sont contrôlables ou non comme indiqués dans le Tableau III.1.

Tableau III.1 Paramètres de tir de mines. [22]

CONTRÔLABLES	INCONTRÔLABLES
<b>Paramètres géométriques :</b> -Diamètre du trou -Longueur de foration -Sur profondeur de foration -Inclinaison du trou -Longueur de bourrage -Hauteur du talus -Géométrie de maille -Rapport espacement -Configuration globale de la géométrie du tir -Direction de tir -Nombre de faces libres -Taille de volée -Type d'explosif utilise -Energie (choc, gaz)	<b>Paramètres du massif en place :</b> -Géologie -Résistance et propriétés de matériaux -Discontinuité préexistantes dans le massif <b>paramètre hydrologique :</b> -Eau (quelquefois maitrisable) <b>Autres :</b> -Temps

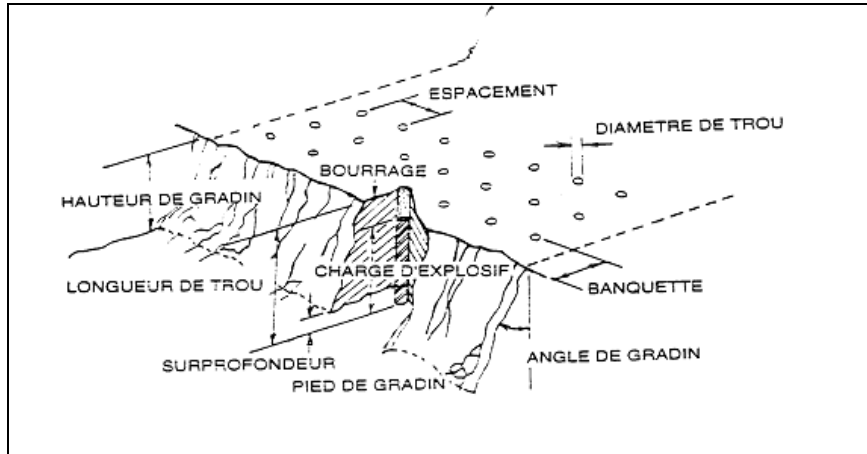


Figure III.6 Schéma du dispositif géométrique d'un tir. [12]

### III.4 Mécanisme de fragmentation à l'explosif

#### III.4.1 Phase 1 : $t = 0.7 \text{ ms}$ ;

Cette onde de choc se propage dans la roche en s'amortissant rapidement.

Au voisinage direct du trou on est largement au-dessus de la résistance à la compression ( $RC$ ).

Entre  $6b$  et  $12b$  ( $b$  : rayon du trou), on dépasse la zone de pré rupture. Cela induit des fissurations radiales (B) qui ne dépassent pas la limite (C Figure III.7).

Au-delà de  $6b$  à  $12b$  (limite C), on est en zone élastique, l'onde de choc traverse le massif à la vitesse  $C_0$  (vitesse du son dans la roche) sans la détruire. [23]

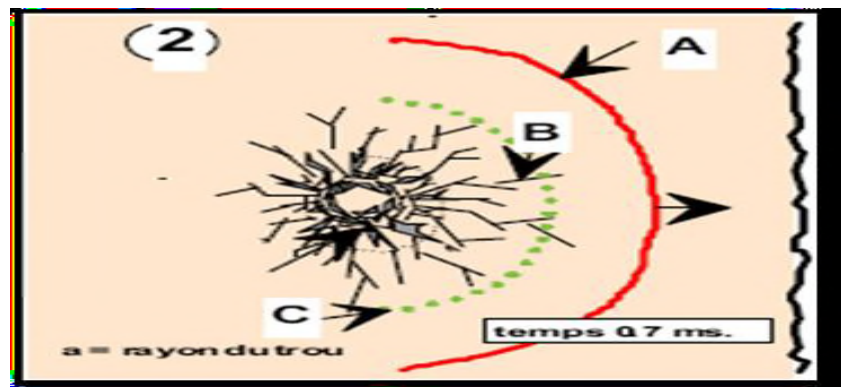


Figure III.7 Propagation d'onde de choc et formation des fissures radiales. [23]

#### III.4.2 Phase 2 ; $t = 1,3$ ms ;

Lorsque l'onde de choc atteint le front de taille, elle se réfléchit. La roche étant très résistante à la compression mais peu à la traction ( $R_t = R_c/20$ ), l'onde réfléchie dépasse largement  $R_t$ , elle provoque un phénomène de fissuration sensiblement parallèle au front de taille ou écaillage (effet Hopkinson). Cette onde réfléchie se propage vers l'arrière et va croiser le réseau de fissurations radiales précédemment formé. Pratiquement dans le même temps, les gaz résiduels pénètrent dans les fissures et les écartent (effet Griffith). La pression diminue. Figure III.8

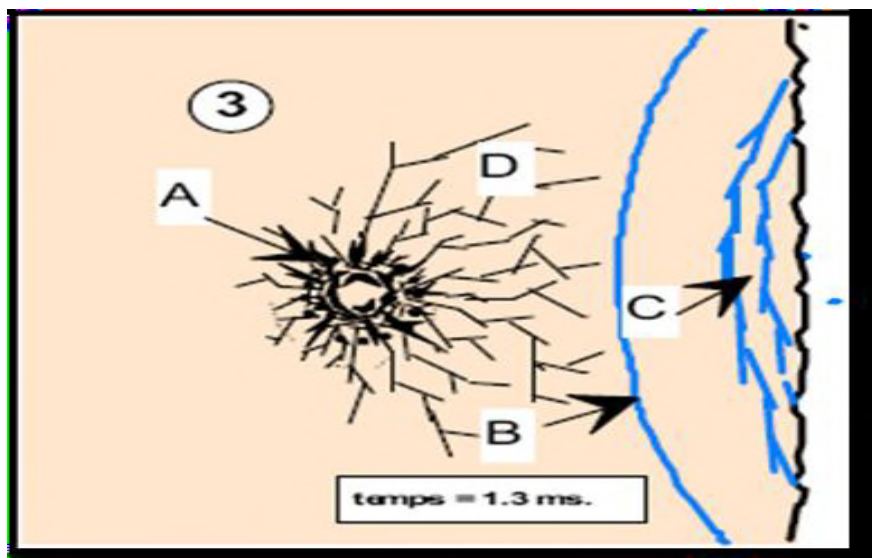


Figure III.8 Réflexion d'onde de choc et leur effet. [44]

## Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets

### III.4.3 Phase 3, $t = 8 \text{ ms}$ ;

La roche est maintenant fragmentée par l'effet combiné de la fracturation radiale et de la fracturation réfléchie. Les gaz résiduels propulsent les matériaux hors de la cavité.

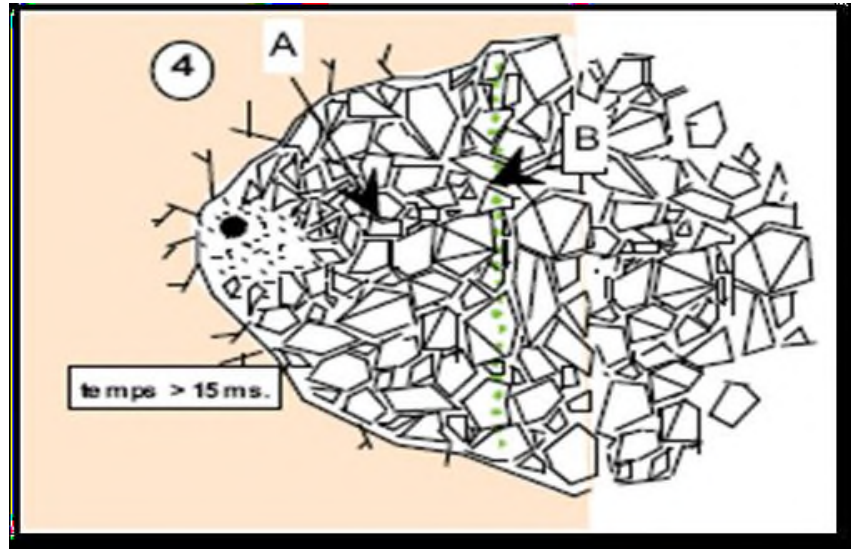


Figure III.9 Propulsion des matériaux. [23]

## III.5 les nuisances dues au tir

### III.5.1 introduction

Les nuisances sont jugées pour le moins gênantes sinon insupportables par les riverains. Un point fait consensus toutefois : leur ressenti est moindre depuis la mise en place du nouveau management en charge de ce site.

### III.5.2 Les principales nuisances liées au tir de mines

- ❖ Les vibrations, liées à la déformation élastique des matériaux
- ❖ Les projections,
- ❖ Le bruit ou énergie acoustique,
- ❖ La production de gaz résiduel toxique.

### Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets

Il ne sera pas traité dans ce chapitre des poussières. La proportion de ces dernières produite par les tirs sont faibles par rapport à celle générées par l'activité générale de l'exploitation notamment le chargement, roulage et le concassage, criblage. [24]

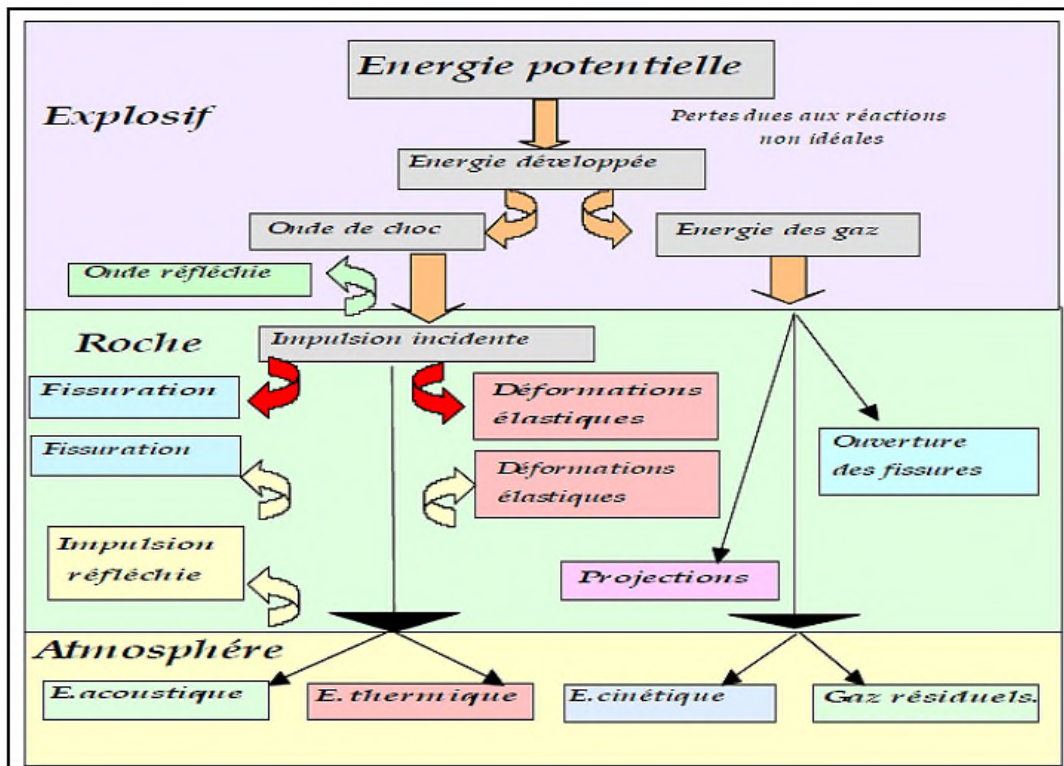


Figure III.10 Organigramme d'énergie potentiel des nuisances de tir.

#### III.5.3 Vibrations

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

### **Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets**

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

La maîtrise de la sismicité produite par les tirs se résume donc essentiellement à limiter ce dernier type et indésirable. A tous points de vue, les ondes à basse fréquence sont les plus néfastes, étant à la fois plus nocives pour les infrastructures de surface et plus facilement ressenties par l'être humain. [25]

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

**Tableau III.2** La relation entre la vitesse de vibration.

V (mm/s)	Descriptions des dégâts
<b>50</b>	Pas de fissuration
<b>70</b>	Pas de fissures apparentes
<b>100</b>	Fissures insignifiantes
<b>150</b>	Fissures
<b>225</b>	Fissures larges
<b>300</b>	(chutes de pierres dans les galeries)

#### **III.5.4 les ondes acoustique**

##### **III.5.4.1 Génération d'une onde sonore**

Une onde sonore est également générée. Elle se transmet par l'air et peut parfois faire vibrer [26].

En ciel ouvert, lorsque les gaz d'explosion se détendent dans la masse d'air ambiante, une onde de surpression acoustique est générée, avec du bruit associé. L'exposition à une surpression aérienne trop élevée peut causer des dommages auditifs, et peut endommager notamment

Les fenêtres des bâtiments environnants. Lors du désastre industriel de l'ancienne usine

### ***Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets***

AZF à Toulouse (sud-ouest de la France) en 2001, où un stock de 300 tonnes de nitrate d'ammonium a explosé en banlieue de la ville, les fenêtres des habitations ont été endommagées dans un rayon de 4 kilomètres autour du lieu de l'explosion. Le bruit associé a été entendu jusqu'à 80km de distance d'après une publication du Centre Interdisciplinaire d'Etudes Urbaines (CIEU, 2002).

#### **III.5.4.2 Le Bruit**

Les vibrations acoustiques de l'explosion transmises par l'air (ondes aériennes) proviennent surtout de la libération des gaz de tir des cordons détonants placés sur le sol, et dans une moindre mesure, des charges des fourneaux à travers les fissurations du massif ou à travers le haut du trou de forage après expulsion du bourrage. [27]

Les mesures des niveaux sonores faites lors de l'élaboration de ce dossier mais aussi celles du contrôle continu montrent que les émergences réglementaires sont respectées.

Les valeurs mesurées au niveau des habitations les plus proches du site ne sont pas préjudiciables pour la santé de leurs occupants.

#### **III.5.5 Poussières**

Pour éviter les émissions de poussière en général, on prendra des mesures ponctuelles telles que :

- l'arrosage des voies de transport, le lavage des véhicules et autres moyens de transport

### *Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets*



**Figure III.11** l'arrosage des voies de transport.

- l'arrosage des terrils, la plantation de verdure sur les terrils et toutes les surfaces dénudées ainsi que l'utilisation de liants pour poussières.

On pourra en outre capoter les différents appareils, notamment les installations de broyage et les bandes transporteuses. Les machines de forage devront être dotées de dispositifs de neutralisation des 98 poussières par voie sèche ou humide. Arbres et haies constituent également un moyen de rabattre les poussières et de parer à la déflation. [2]





**Figure III.12** Les émissions de poussière.

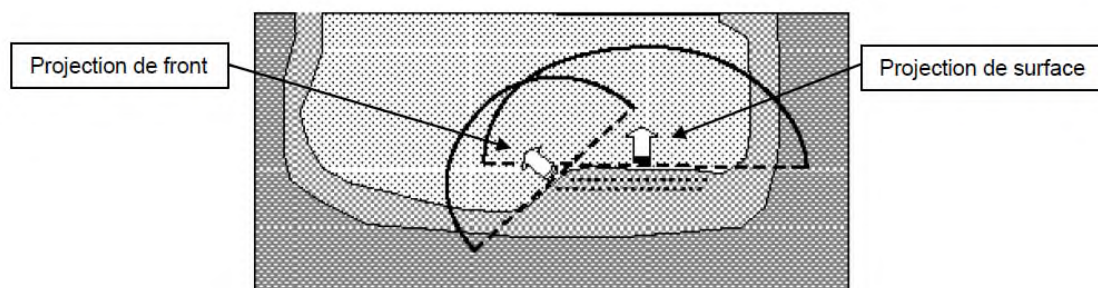
### **III.5.6 Projections excessives**

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

### Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets

La présence d'une zone de résistance particulièrement faible au niveau du front. Indépendamment du danger que représentent les projections excessives, un étalement trop important du tas abattu par un tir n'est pas techniquement souhaitable, car les engins de déblayage sont dans ce cas forcés de ratisser la plate-forme inférieure afin de récupérer les déblais. Ce scénario est d'autant plus problématique dans le cas où le déblayage se fait avec des pelles hydrauliques, et la finesse de la fragmentation devient alors même un désavantage. [25]

D'une manière générale, les projections peuvent provenir, soit de la surface supérieure du tir (projections issues des têtes de trous de mines), soit de surfaces de dégagement verticales (projections issues du front) comme c'est le cas en particulier pour les tirs en gradins. Les projections issues des têtes de trous de mines sont des projections en cloches qui peuvent intervenir dans toutes les directions ; elles ont cependant une portée relativement faible pour des tirs réalisés conformément aux règles de l'art (respect de l'épaisseur et de la qualité du bourrage, etc.). Les projections issues du front ont des trajectoires tendues elles sont orientées vers l'avant du front (Demi-espace face au tir) et ont une portée relativement élevée pour des tirs en gradins réalisés conformément aux règles de l'art. [28]



**Figure III.13** Secteur affectés par les projections issues du front d'un tir.

#### Conclusion

Dans la carrière de Chouf Amar, l'abattage se fait à l'explosif car le calcaire qui forme le gisement suscité est caractérisé par une dureté  $f = 10$ .

L'énergie d'un explosif détonant libérée au moment de l'explosion se manifeste sous deux

### ***Chapitre III. Paramètres de conception de tir à l'explosif et leurs effets***

Dans un trou de mine, l'onde de choc sur son passage fissure le terrain, et les gaz sous pression ouvrent ces fissures et disloquent

Vibrations est une nuisance, mais :

-Connaissance des phénomènes

-Quantifiable vis-à-vis des personnes et des structures

-Limitation de cette nuisance (notamment lors de l'utilisation d'explosifs). [29]

# CHAPITRE IV

## Introduction

L'exploitation des carrières de roche massive et le besoins d'abattage lors des chantiers de travaux publics, font souvent appel à l'utilisation d'explosifs.

L'énergie délivrée par l'explosif, afin d'extraire et de fragmenter la roche ou les matériaux, s'accompagne de phénomènes induits, tels que des vibrations dans le sol et des surpressions aériennes, qu' ont une influence sur les populations et les constructions proches.

Le mineur doit donc optimiser l'extraction et la fragmentation des matériaux, tout en limitant les nuisances, en respectant les textes réglementaires et les cahiers des charges.

### IV.1 Les vibrations et surpressions induites par un tir

Le déroctage et l'abattage à l'explosif utilisent l'énergie délivrée lors de la détonation des mines placées à l'intérieur du massif rocheux pour le briser et le déplacer. Cependant, toute l'énergie développée par les produits explosifs n'est pas entièrement utilisée pour fragmenter et déplacer le massif et la part inutilisée de cette énergie se propage dans le milieu environnant : dans le sol, sous forme des vibrations sismiques, dans l'atmosphère sous forme des vibrations acoustiques, ou surpression aérienne.

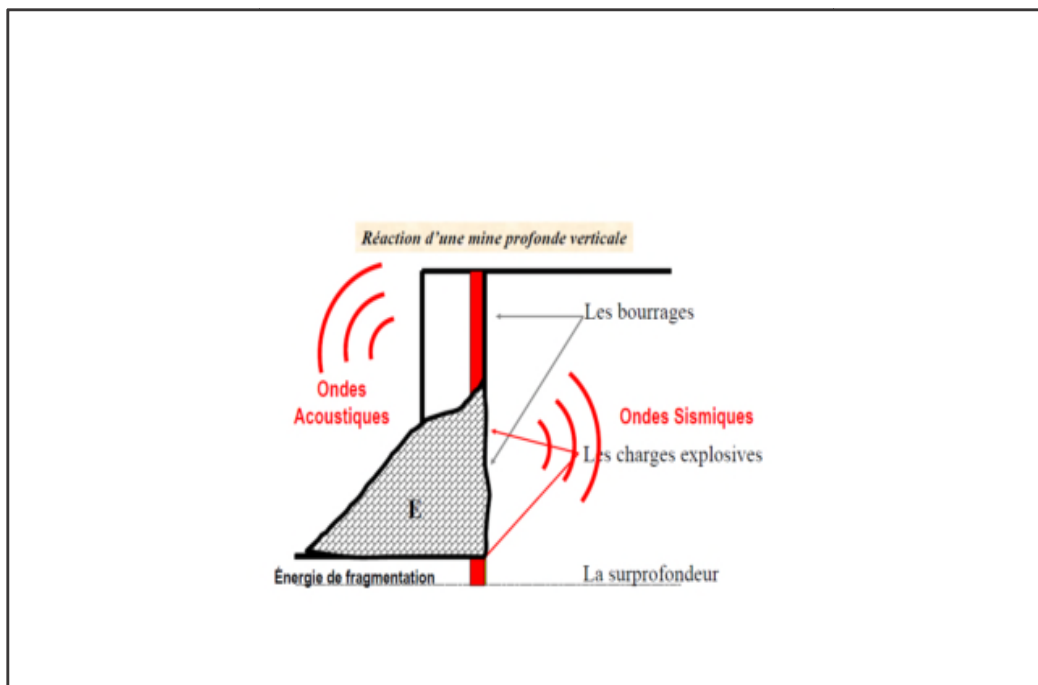


Figure IV.1 Les vibrations et surpressions induites par un tir.

### **IV.1.1 Vibration**

Une vibration sismique est définie comme un mouvement oscillatoire d'une particule ou d'un corps à partir de sa position de référence (position de repos). Les vibrations se produisent lorsque l'on déplace de sa position normale une tranche d'un milieu élastique. Celle-ci oscille alors autour de sa position pour revenir jusqu'à sa position d'équilibre. Les vibrations qui se propagent constituent des « ondes de vibration ».

On appelle « front d'onde », la surface de séparation entre les particules d'un matériau au repos et celles en mouvement.

Le front d'onde de vibration se déplace dans les terrains à une vitesse appelée « vitesse de propagation » ou « célérité de l'onde ».

Cette vitesse est généralement comprise entre 1000 et 6000 m/s en fonction des matériaux traversés.

En arrière du front d'onde, la particule de matière soumise à un mouvement oscillatoire dans l'espace, voit son mouvement particulière s'affaiblir, (amortir) progressivement au cours de la propagation.

Cet amortissement avec la distance résulte de l'absorption de l'énergie vibratoire par le milieu de propagation.

Ce mouvement se décompose en trois composantes selon trois directions orthogonales, (composantes radiale, transversale et verticale), qui sont liées aux directions principales de déplacement particulaire. L'orientation des capteurs revêt un caractère obligatoire et réglementaire.

Chaque composante de la vibration peut être caractérisée par le déplacement (ou élongation) effectué dans le temps par la particule à partir de sa position de repos (noté  $e(t)$  ou  $u(t)$ ), la vitesse avec laquelle ce déplacement s'effectue est la vitesse particulaire (notée  $v(t)$ ), à ne pas confondre avec la vitesse de propagation des ondes dans le massif, et enfin par l'accélération du mouvement qui qualifie la variation de la vitesse particulaire dans le temps (notée  $a(t)$ ).

Ces trois grandeurs sont liées entre elles par des fonctions mathématiques de dérivation et d'intégration qui permettent le passage de l'une à l'autre par l'intermédiaire de la fréquence.

La vitesse particulaire est le paramètre admis et retenu réglementairement qui décrit le mieux les phénomènes vibratoires liés aux tirs de mines. [30]

### **IV.1.2 La surpression aérienne**

Tout tir de mines est accompagné d'un phénomène acoustique, bruit et souffle (infrasons). Son origine se retrouve essentiellement dans la détente des gaz de l'explosif et déplacement rapide des matériaux.

Si la réglementation française ne détermine pas de limite aussi clairement définie que pour les vibrations sismiques, sa mesure est importante. Il apparaît clairement que de nombreux riverains ressentent les effets de cette surpression aérienne sur les structures et notamment les objets (Lustre, cadre, vaisselle) ou les éléments minces (vitres, cloisons minces) et confondent aérien et souterrain. Pour vérifier cet état de fait, la mesure simultanée doit être systématique.

Pour enregistrer l'onde aérienne, les sismographes sont en grande majorité équipés de microphones piézoélectriques, reliés au sismographe soit de façon filaire soit intégrés directement dans l'appareil.

### **IV.2 Ouvrages sensibles aux vibrations**

Lors de chantiers utilisant des tirs de mines (chantiers de TP, carrières...) les ouvrages pour lesquels des problèmes liés aux vibrations peuvent se présenter, peuvent se rencontrer sous des formes diverses et variées. On pourra citer par exemple :

- Les maisons d'habitation.
- Les grands immeubles.
- Les ponts, les viaducs et passerelles.
- Les tunnels routiers et SNCF.
- Les murs de soutènement.
- Les barrages.
- Les réservoirs (eau, gaz, pétrole...) aériens ou enterrés.
- Les galeries souterraines.
- Les conduites aériennes ou enterrées (eau, gaz...).
- Les pylônes électriques.
- Les talus ou falaises instables.
- Les remblais....etc. [30]

### IV.3 Règlementation concernant les vibrations

Les carrières sont soumises à une réglementation sur les vibrations produites par les tirs de mines. Cette réglementation comprend des textes réglementaires, comme l'arrête du 22 septembre 1994, des recommandations et des normes.

Le seuil limite réglementaire :

#### IV.3.1 Pour les vibrations

Les vitesses particulières pondérées des vibrations dues aux tirs, mesurées selon les 3 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 signal préalablement pondéré. Ceci est généralement réalisé par des logiciels de traitement des signaux fournis avec les appareils de mesure.

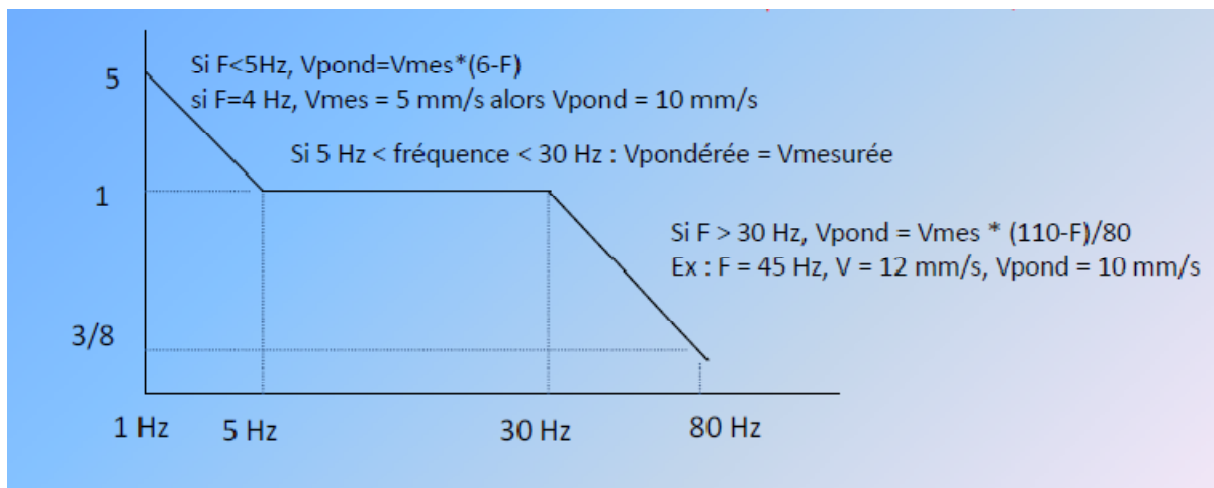


Figure IV.2Vibration de tir de mines norme française. [31]

#### IV.3.2 Pour la surpression aérienne

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

En règle générale, ce seuil est une amplitude de vitesse de vibration  $v$  (mm/s) assortie d'une gamme de fréquence d'auscultation  $F$  (Hz). Ainsi,

- ❖ Pour un tunnel rocheux non revêtu :

$$v < 50 \text{ mm/s pour } F > 150 \text{ Hz}$$



❖ Pour un tunnel revêtu de briques de maçonnerie :

$v < 15$  mm/s pour  $20 \text{ Hz} < F < 50 \text{ Hz}$

Il peut s'exprimer également en accélération ( $\text{m/s}^2$ ) 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 dommages.

$10 \text{ mm/s} < v < 30 \text{ mm/s}$  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 des fréquences dommageables est connue ou a fait l'objet d'études particulières. Les fréquences de coupure usuelles sont de 10 Hz et 100 Hz.

Pour les moyens de terrassement mécanique autre que l'explosif, il n'est pas d'usage de réaliser des essais préalables, car ces matériels résultent bien souvent d'un choix de l'entreprise chargée de la réalisation des travaux. Les fréquences émises par ces matériels sont généralement plus basses et plus nocives pour l'environnement et à ce titre les seuils de vitesses admissibles sont inférieurs. [2]

#### **IV.4 Loi de Chapot**

Pierre Chapot, grâce à l'exploitation de nombreuses mesures in situ, a écrit une loi de propagation des ondes dans le sol, mettant en relation la puissance des charges d'explosifs avec la vitesse particulière mesurée sur les structures. Cette loi très utile permet de prédire l'intensité des vibrations à un endroit situé à une certaine distance de la source de vibration. Cette loi très vite représenté des intérêts évidents pour la conduite des travaux en toute sécurité pour l'environnement. [32]

##### **IV.4.1 Formule de la loi de Chapot**

Pierre Chapot a largement contribué au développement des connaissances dans le domaine de la géophysique appliquée aux travaux publics avec une participation remarquable de ses travaux de recherches dans le domaine de la propagation des vibrations dans le sol, grâce à l'écriture d'une équation mettant en relation la vitesse de vibration mesurée à une distance  $D$  et l'énergie d'un tir d'explosif.

La loi de Chapot s'écrit ainsi :

$$V=k*(D/\sqrt{(Q)})^{(-1.8)}$$

(IV.1)

Avec :

V : la vitesse de vibration en mm/s ;

D : la distance tir-capteur en m ;

Q : la charge unitaire instantanée d'explosif en KG ;

K : le coefficient de site, varient de 300 à 6000 avec une valeur moyenne de 2500.

Cette loi, fondatrice pour la connaissance de la propagation des vibrations dans le sol se transmettant aux bâtiments ou aux ouvrages tels que les monuments historiques, demeure l'outil de prédiction et de gestion des vibrations de référence pour les tirs de mine.

Elle a même pu trouver des déclinaisons pratiques pour la prédiction des vibrations liées aux travaux utilisant des brise-roche hydrauliques, des compacteurs vibrants, des batteurs de palplanche ou même des vibrations liés à la circulation routière. Aujourd'hui, la connaissance sur les vibrations s'est affinée. Elle trouve même des applications dans le domaine de la protection de la biodiversité animale, car les animaux sont également très sensibles aux ondes.

#### **IV.5 .Evaluation de l'impact vibratoire des tirs de mines**

Le niveau de vibration génère par un tir de mines et mesure sur les fondations d'un immeuble 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. [32]

#### **IV.6 Matériel de mesure de vibrations**

Les vibrations, quelle que soit leur Provenance (géologie, engins mécaniques, extraction à l'explosif, etc.) sont mesurées grâce des sismographes, appelés également dans la profession capteurs sismiques. Il en existe une multitude de types, en fonction de leur utilisation et surtout des phénomènes à mesurer. Le sismographe est un appareil qui mesure le mouvement du sol et l'enregistre sur un support visuel. Telle est la fonction d'un sismographe, pour l'étude des sols, des tremblements de terre ou, dans notre cas, des tirs de mines. En termes scientifiques, le support visuel évoqué plus haut est appelé sismogramme. Nous préférons à cette appellation le terme d'évènement sismique.



**Figure IV.3** Enregistreur de vibrations (sismographe).

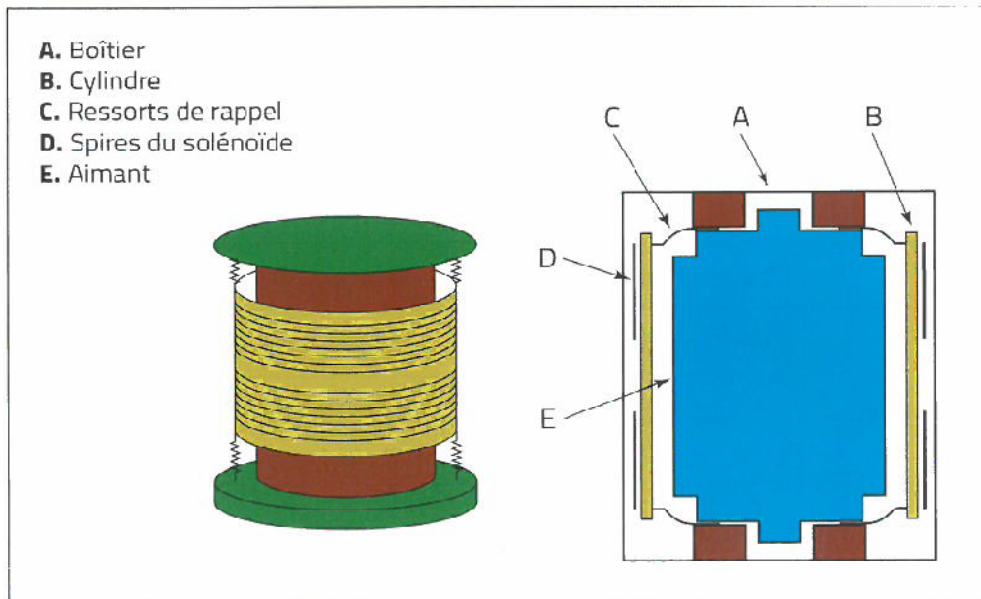
### IV.6.1 Le mode opératoire

La partie concernant le mode opératoire permet d'aborder plus en détail la méthodologie de mesure, telle qu'elle figure dans la réglementation. Cependant nous pouvons déjà dire que la mesure consiste à poser un sismographe sur la surface d'un élément à contrôler (bâtiment, ouvrage, canalisation, etc.) à une proximité relative d'un tir de mines. L'onde vibratoire se diffuse dans le sol et « atteint » le capteur qui vibre en même temps que son support. Nous peut dire que le sismographe enregistre et mesure sa propre vibration, soit la vitesse particulière.

Afin de nous permettre d'analyser des données concrètes et de vérifier l'intensité (vitesse particulière) de la vibration par rapport à la réglementation en vigueur, le capteur va mesurer les ondes sismiques du sol (ou ondes solidiennes) selon trois directions : verticale, radiale transverse. Ces enregistrements sont rendus possibles grâce à trois composants,

orientés dans les trois directions données, les géophones. Un géophone est un cylindre composé d'un aimant placé sur ressorts et d'une bobine. Lors du passage de l'onde sismique, il vibre et convertit le mouvement du sol en tension électrique.

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



**Figure IV.4** Constitution d'un géophone.

#### **IV.6.2 L'interprétation des valeurs**

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

- ❖ Sous forme de ticket imprimé par l'appareil : suite à l'enregistrement d'un évènement ou sur demande, le capteur imprime un papier, de format inférieur à un A5. Il s'agit en général des valeurs maximales enregistrées sur chaque voie(ou direction). L'utilisateur ne peut pas voir la forme du signal sismique ;
- ❖ Sous forme de représentation graphique du signal :

Suit à l'enregistrement d'un évènement par le capteur, les données sont transférées par câble, modem (ligne téléphonique ou GSM) ou encore par clé USB intégrée à l'appareil, vers un ordinateur. comme la Farge à utiliser, L'utilisateur peut alors, via un logiciel de traitement

spécifique (analyse sismique Deltaseis 4.2) comme la figure IV.5 montre, visualiser le signal et, la plupart du temps, effectuer des analyses complémentaires. Cette méthode est la seule permettant de confirmer l'imputabilité du signal à un tir de mines.

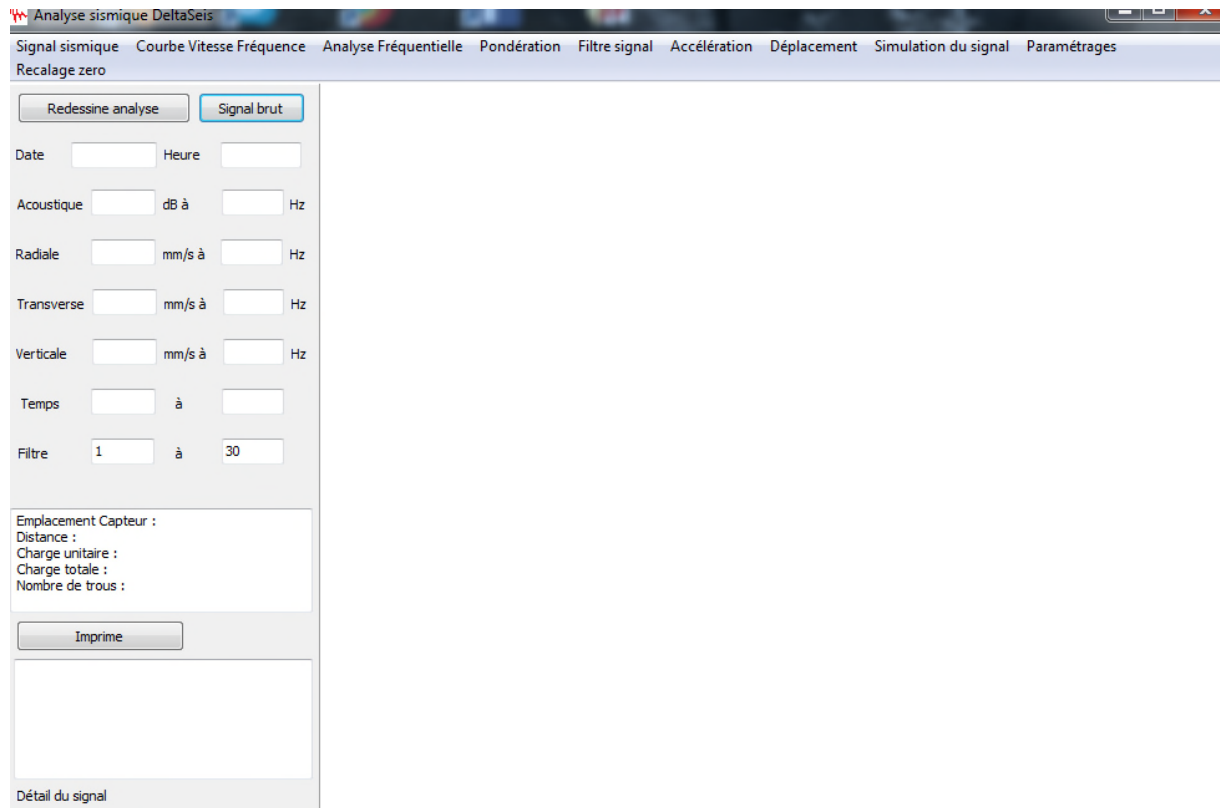


Figure IV.5 Logiciel d'analyse sismique Deltaseis 4.2.

### IV.7 Partie expérimentale

Les tirs de mines provoquent un ébranlement de sol qui se propage à partir de ce point sous forme de déformations élastiques, Les vibrations peuvent avoir des effets sur les bâtiments et les habitations. Cet effet est plus ou moins important selon les caractéristiques de l'environnement vibratoire et le temps d'exposition.

Les vibrations des tirs de mines s'atténuent avec la distance. Le niveau des vibrations résulte de plusieurs facteurs et principalement :

- ❖ De la nature des explosifs (énergie)
- ❖ De la charge
- ❖ De la distance au lieu d'explosion
- ❖ De la présence de micro retards, pour cela en va voir des exemples de plans de tir et leurs caractéristiques et les paramètres.

**IV.7.1 Exemple de plan de tir réalisé au niveau de l'ACC**

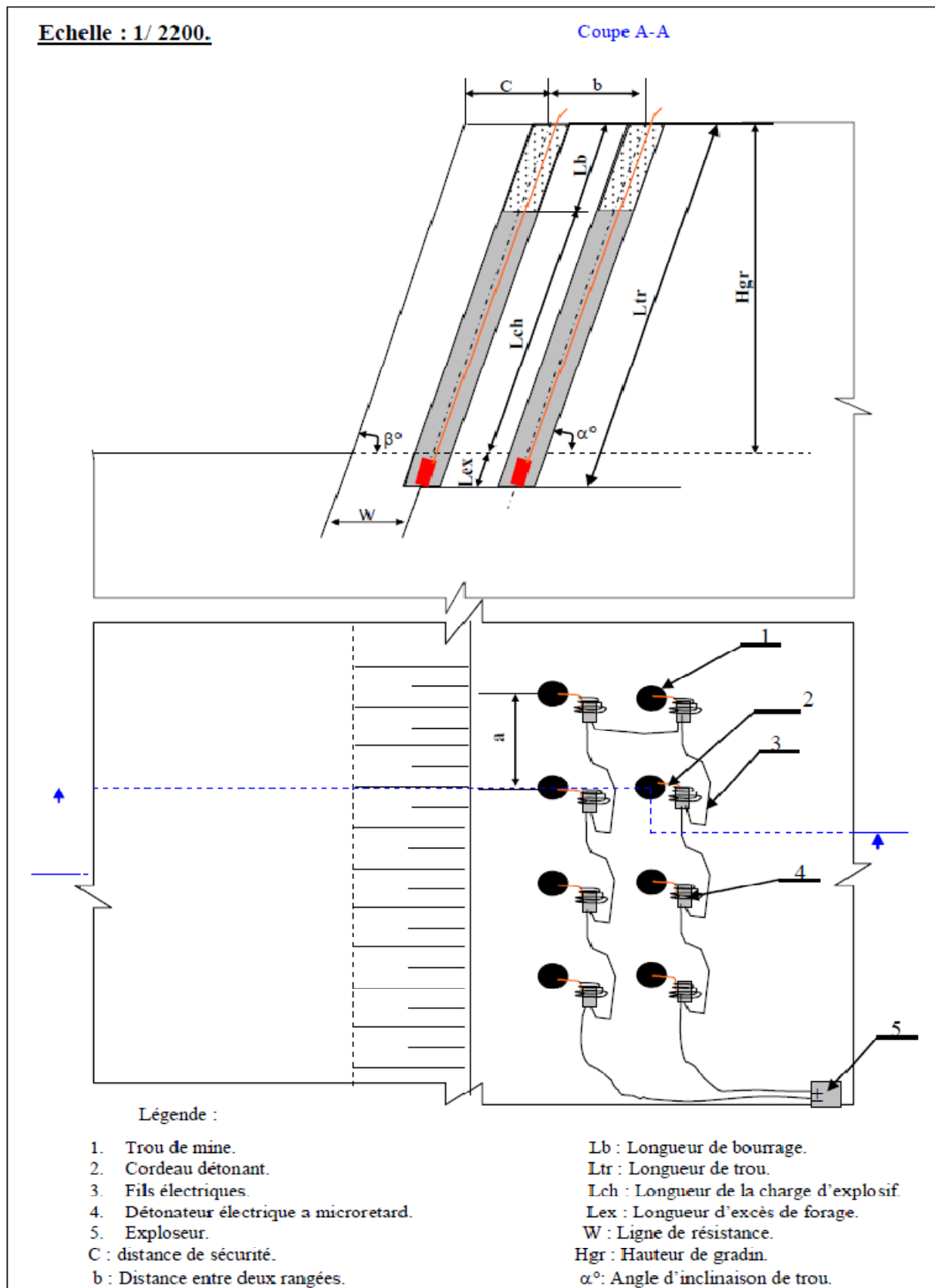


Figure IV.6 Schéma de plan de tir.

**IV.7.2 Calcul des vitesses des ondes de choc**

La loi de Chapot s'écrit :

$$V=k*(D/\sqrt{(Q)})^{(-1.8)}$$

V = vitesse particulaire en mm/s ;

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

Q = charge unitaire instantanée (en kg) ;

K et = constantes dépendantes du site.

Statistiquement dans les carrières de roches massives k = 2 500 en moyenne

$$\alpha= 1,8$$

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

**IV.7.2.1 Calcul des vitesses des ondes de choc au niveau de chaque emplacement (géophone).**

a) **Station de concassage** : D=500m par rapport au point de tir

**Tableau IV.1** Station de concassage ; D=500m par rapport au point de tir.

K=2500	$\alpha=-1.8$	D=500 m
N° Volée	Charge instantanée maximal (kg)	Vitesses particulières (mm/s)
01	106	2.3
02	106	2.3
03	193	3.5
04	221	4.46
05	221	4.46
06	110.5	2.39
07	220	4.44
08	193	3.95
09	71	1.06
10	149	3.13
11	198.5	4.05

b) **Station de Zeghaghda** : D=1000 m par rapport au point de tir



**Tableau IV.2** Station de Zeghaghda ; D=1000 m par rapport au point de tir

K=2500		$\alpha=-1.8$	d=1000m
N° volée	Charge instantanée maximal (kg)	Vitesses particulières (mm/s)	
01	106	0.66	
02	106	0.66	
03	193	1.13	
04	221	1.28	
05	221	1.28	
06	110.5	0.68	
07	220	1.27	
08	193	1.13	
09	71	0.46	
10	149	0.89	
11	198.5	1.16	

c) Station du point d'eau : D=1500m par rapport au point de tir

**Tableau IV.3** Station du point d'eau ; D=1500m par rapport au point de tir.

K=2500		$\alpha=-1.8$	d=1500m
N ° volée	Charge instantanée maximal (kg)	Vitesses particulières (mm/s)	
01	106	0.31	
02	106	0.31	
03	193	0.54	
04	221	0.61	
05	110.5	0.33	
06	220	0.61	
07	193	0.54	
08	71	0.22	
09	149	0.43	
10	198.5	0.56	

**Discussion des résultats**

## *Chapitre IV. Les effets sismiques de tir*

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

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

Le tableau de simulation des valeurs de K, D, Q, et V, permet de prévoir chacune de ces 4 variables à partir de la connaissance des 3 autres.

On prend trois stations de mesure par rapport au point de tir, on obtient les résultats qui sont montrés dans le tableau au-dessus

- ❖ Pour une distance de D =500m, D=1000m, D=1500 et des différentes charges, on remarque que la vitesse maximale mesurée (4,46 mm/s) reste sous les valeurs réglementaires, (10mm/s), et même sous la barre des 5mm/s, valeur utilisée par la compagnie visitée.

Concernant les habitations, la valeur maxi est de 1.28mm/s, très loin des valeurs réglementaires, et en particulier on observe que l'atténuation de 500 à 1000m est de 4) de celle de 1000 à 1500m (division par 2).

- ❖ Les résultats que nous avons présentés permettent de conclure que les caractéristiques des charges utilisées dans l'exploitation de la carrière Chouf Amar n'occasionnent pas des dégâts sur les habitations au-delà de 1000m des points de tir et même pour les autres stations.

### **Evaluation des vitesses particulières :**

Nous proposons pour la suite, de faire des simulations en faisant varier la charge Q avec différentes distances D ; ce qui nous permet de déterminer une délimitation des zones sensibles.

Ce tableau permet de dégager l'ordre de grandeur des charges maximales utilisables en fonction de la distance des habitations.

Tableau IV.4 Les vitesses particulières acceptables.

Vitesse particulière		K=2500								$\alpha=1.8$
Distance au tir (m)	Charge unitaire (Kg)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
50	17.4	32.4	46.7	60.5	73.9	87.1	100.1	112.9	125.5	
75	8.4	15.6	22.5	29.2	35.6	42.0	48.2	54.4	60.5	
100	5.0	9.3	13.4	17.4	21.2	25.0	28.7	32.4	36.0	
125	3.3	6.2	9.0	11.6	14.2	16.7	19.2	21.7	24.1	
150	2.4	4.5	6.5	8.4	10.2	12.1	13.9	15.6	17.4	
175	1.8	3.4	4.9	6.3	7.8	9.1	10.5	11.8	13.2	
200	1.4	2.7	3.9	5.0	6.1	7.2	8.3	9.3	10.3	
225	1.2	2.2	3.1	4.0	4.9	5.8	6.7	7.5	8.4	
250	1.0	1.8	2.6	3.3	4.1	4.8	5.5	6.2	6.9	

### Discussion des résultats

Les valeurs en rouge et même qui sont en dessous de celui-ci sont des vitesses acceptables et règlementaires, les autres en dessus représentent la zone dangereuse.

Donc on conclue qu'il y a une relation proportionnelle entre la charge instantanée Q, et la distance de sécurité D, quand la charge augmente, il faut augmenter la distance de sécurité pour une vitesse règlementaire inferieur ou égale à 10mm/s

Tableau IV 5 Calcul du rayon de la zone dangereuse.

Coefficient k	Charge instantanée maximal (kg)	vitesse règlementaire mm/s	Distance m
2500	106	10	221.2
2500	193	10	298.5
2500	221	10	319.4
2500	110.5	10	225.9
2500	220	10	318.7
2500	71	10	108.05

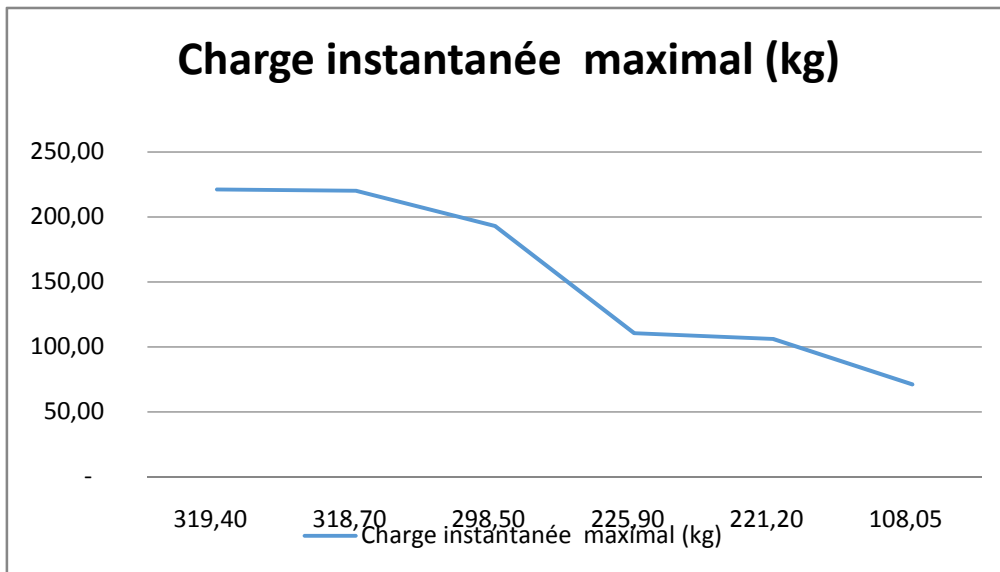


Figure IV.7 Changement de la charge en fonction de distance.

### Discussion des résultats

En utilisant la relation de Chapot, connaissant K, connaissant la charge Q, et prendre la valeur règlementaire de la vitesse qui est égale à 10mm /s on calcul la distance de sécurité, pour déterminer le rayon de la zone dangereuse.

On remarque que pour une valeur maximale de charge est de 221, il aura une distance égale a 319.4

### Conclusion

Pour minimiser les nuisances des effets de tir (vibration sismique et acoustique), la loi de Chapot est utiliser pour évaluer facilement les mesures des vitesses de vibration, il est parfaitement possible de maîtriser les nuisances sismiques.

Le coefficient K est une caractéristique géologique et géométrique du gisement:

On ne peut agir que sur la charge unitaire et la distance.

Pour un même coefficient K, et une même charge Q, la vitesse est divisée par 3 chaque fois que l'on double la distance

Pour un même coefficient K, et une même Distance D, la vitesse est multipliée par 2 chaque fois que l'on double la Charge.

Concernant les nuisances acoustiques :

## *Chapitre IV. Les effets sismiques de tir*

- utilisation du cordeau détonant enterrer en surface pour diminuer le bruit.
- sous épaisseur ou terrain de moindre résistance dans la colonne d'explosif.
- Contrôle de la foration.

# CONCLUSION GENERALE

## *Conclusion générales et recommandations*

### **Conclusions générales et recommandations**

Après l'étude et l'analyse, nous pouvons le conclure d'une manière générale que les effets arrière influent directement sur le rendement d'abattage des travaux minières tel que les fissures et les vibrations et les projections des roches.

Les techniques pour la réduction des vibrations :

- Qualité d'exécution du tir : une fois la charge unitaire acceptable déterminée (par exemple à l'aide d'une simulation de type loi de Chapot), c'est la bonne implantation du tir qui va déterminer une bonne géométrie et un chargement adapté.
- La charge unitaire : plus la quantité d'explosif détonnant à un instant donné sera grande, plus le pic de vibration sera important.

La charge unitaire n'est pas le seul paramètre influençant le niveau de vibration, mais elle l'influence grandement.

On essaiera donc de réduire la charge unitaire afin de diminuer le niveau des vibrations du tir.

La réduction de la charge unitaire peut se faire de différentes façons :

- ❖ l'introduction de bourrages intermédiaires de matériaux inertes afin de réduire la charge dans le trou.
  - ❖ la réalisation de plusieurs charges dans le trou, séparées par des bourrages intermédiaires, et ayant chacune une amorce et un temps d'amorçage différents.
  - ❖ réduction de la hauteur du plan de tir (maille) pouvant aboutir à la réduction du diamètre de forage, ce qui implique moins de quantité d'explosif dans le trou.
- Le découplage des charges dans le temps

En général, pour des détonateurs électriques ou non électriques, qui ont un système chimique de retardement, on prend comme règle 8 ms d'intervalle de temps absolu, afin de garantir le découplage dans le temps.

- La taille des tirs

L'augmentation de la taille du tir est réalisée en respectant les règles de découplage des charges et en soignant la qualité d'implantation, ceci ne conduit pas forcément à une augmentation du niveau des vibrations. [30]

## *Conclusion générales et recommandations*

### **Recommandation**

- ✓ Faire l'inventaire des structures sensibles aux vibrations situées au voisinage de la source,
- ✓ Définir pour chacune des structures des seuils admissibles qui feront l'objet de clauses contractuelles,
- ✓ Etablir pour le site d'étude une loi d'amortissement des vibrations engendrées par l'explosif,
- ✓ Estimer les charges maximales d'explosif à mettre en œuvre de manière à préconiser les méthodes et pratiques de tirs qui respectent les seuils préalablement définis.[33]
- ✓ Modification des paramètres du tir :

Diminuer la charge unitaire, réduire le nombre de charges tirées avec le même retard, réduire la maille, réduire la hauteur, réaliser un tir étage (bi-détonation), vérifier que la surface de dégagement est suffisante et réduire le nombre de trou à faible rendement

- ✓ Entrave à la propagation des vibrations :

Crée une faille ouverte entre le tir et le point de mesure, prédécouper (sauf s'il est rempli d'eau ou d'argile), forer une rangée de trous vides et diminuer les vibrations dans un voisinage immédiat.[21]



# Annexe

**Produit explosif** : de la matière explosive ou un objet en Contenant ;

**Trou de mine** : un trou obtenu par forage et destiné à recevoir une charge ;

**Charge** : un ensemble de produits explosifs destinés à être amorcés par le même accessoire pyrotechnique de tir ;

**Charge-amorce** : une cartouche d'explosif ou un boteur munis d'un détonateur ;

**Bousteur** : un produit explosif dont le conditionnement spécial est conçu pour constituer une charge-amorce et pour assurer la protection du détonateur dans le cas du chargement en chute libre de cartouches ;

**Volée** : l'ensemble des trous de mine dont les charges sont mises à feu en une seule opération ;

**Fond de trou** : ce qui reste de l'extrémité arrière d'un trou de mine après la mise à feu ;

**Raté** : l'absence d'explosion ou la présence d'une ou plusieurs charges apparemment intactes ou amputées à la suite de la mise à feu ;

**Charge superficielle** : une charge placée hors d'un trou de mine au contact du matériau ;

**Mine verticale** : un trou de mine incliné à plus de 65 degrés par rapport à l'horizontale ;

**Amorçage** : Dispositif pyrotechnique qui initie la détonation ou la déflagration Del 'explosif (il peut être antérieur, postérieur ou latéral).

**Accélération** : C'est la variation de vitesse de déplacement d'une particule depuis son Point d'origine.

**Banquette** : Epaisseur de la tranche à abattre mesurée suivant la plus courte Distance.

**Bourrage** : Eléments sableux ou argileux ou débris de forage de faible granulométrie Servant à isoler les charges situées dans un même trou ou à obturer la mine chargée.

**Charges** : Terme générique désignant la quantité d'explosif placée dans un ou plusieurs trous de mine. Une charge peut être **instantanée** (charge qui détone au temps 0), **retardée** (charge qui détone à un instant t), **unitaire** (charge qui détone dans un intervalle de temps compris entre 0 et 3 millisecondes), **totale** (ensemble des charges de la volée), **spécifique** (charge rapportée à l'unité d'abattage).

**Choc** (énergie de) : Effet mécanique lié à la détonation ou à la déflagration d'un explosif dans un milieu résistant. Il résulte de la détente des gaz lancés à haute vitesse (1500 à 2000 m/s) sous très haute pression avec les parois d'un trou.

**Détonation** : Action d'un explosif qui se décompose rapidement sous l'effet d'un

Choc.

**Dégagement (surface de) :** Surface totale permettant aux matériaux d'être expulsés sous les actions combinées de l'onde de choc et de l'effet de gaz. Le rendement de l'explosif dépend du développement de cette surface.

**Déplacement :** C'est la distance parcourue par une particule depuis sa position d'origine sous le passage de l'onde de choc.

**Explosif :** C'est un composé chimique susceptible de se décomposer rapidement en dégageant une grande quantité d'énergie.

**Fragmentation :** Réduction de la taille des blocs par action de l'explosif.

**Front d'ondes :** Limite entre les particules de matrice au repos et les particules en mouvement

**Fréquence :** Nombre d'oscillation d'une particule par unité de temps.

**Gaz (énergie de) :** provient de la détente des gaz enfermés à haute pression dans la cavité d'explosion.

**Pyrotechnique (chaîne) :** Assemblage de différents éléments permettant de transmettre et de provoquer la détonation ou la déflagration.

**Retard :** Délai obtenu par adjonction d'un composé retardateur entre la perle d'allumage et les charges pyrotechniques.

**Séquence :** Ordre dans lequel s'effectue le départ des mines.

**Sismique :** La détonation d'une charge d'explosif dans le sol produit des contraintes de traction et de compression qui se propagent rapidement. La sismique est l'étude de ces phénomènes dans le massif rocheux.

**Unitaire (charge) :** Charge qui détonne dans un intervalle de temps compris entre 0 et 3 millisecondes. Elle peut être unique (une seule charge) ou composée (plusieurs charges qui sont initiées simultanément entre 0 et 3 millisecondes).

**Vibrations :** Ebranlement consécutif à un tir d'explosif dans le sol. Cet ébranlement s'atténue rapidement.

**Vitesse (particulaire) :** Vitesse de déplacement du sol en mm/s enregistrée au passage de l'onde de choc. Cette mesure se fait avec un sismographe.

**Vitesse (de propagation) :** C'est la vitesse de déplacement des ondes dans le sol. Elle dépend de la nature des terrains rencontrés.

**Volée :** C'est l'ensemble de mines qui sont mises à feu au cours d'un même tir.



## Références bibliographiques

- [1]- Normans S.Jennings, "Un aperçu généralités sur les industries extractives", encyclopédie et de santé au travail 3<sup>ème</sup> édition française, bureau international de travail.
- [2]-Yahyoui Sami, [2012], "Modélisation de propagation de la fracture dirigée autour d'une charge explosif", thèse de doctorat option exploitation des mines département des mines faculté science de la terre université Badji Mokhtar Annaba.
- [3]-Patrick Fayolle ; GFEE, [février 2014], "Travaux des groupes français de l'énergie explosif vibration des tirs ", Guide pratique de minage mines /carrière n°211.
- [4]-Chain Rabah, Lazzali Farah, [juillet 2012], "Détermination empirique de la vitesse de particules des vibrations des tirs à l'explosif (cas de la mine de l'Ouenza Algérie) ", Université Badji Mokhtar, département des mines Annaba Algérie.
- [5]-Société de l'industrie minérale, [1996], Memento des mines et carrière ,38<sup>ème</sup> édition.
- [6]-[Novembre 2010], "Présentation générale de la cimenterie « ACC LAFARGE ».
- [7]-Aliouche Mohamed, [2008], " Exploitation des substances utiles à ciel ouvert et impact sur l'environnement; étude de cas dans l'est algérien (les gisements de djebel Salah, région de Constantine)", mémoire de magister en géologie.
- [8]-Fredj Mohamed, [2012], "Etude du régime de forage dans les conditions de la carrière de calcaire Chouf Amar M'sila", mémoire magister, Université Badji Mokhtar Annaba.
- [9]-A. Boutaba, [2009], "Audit environnemental carrière calcaire Chouf Amar (CETIM) ".
- [10]-[Années : 1989 à 1999], source : ONM - Dar el Beida.
- [11]-Hadji Abdelhakim, Benboukhachou Mohamed, [juin 2013], " Amélioration des paramètres des travaux de forage et tir et traitement des résultats par l'analyse bolométrique", mémoire de master spécialité exploitation des mines thème présenter par université Badji Mokhtar de Annaba.
- [12]-Saadoun Abderrezak, [2012], "Contribution à l'analyse des effets des tirs d'abattage dans les conditions de la carrière de calcaire Chouf-Amar. m'sila ", diplôme de magister en mines Option : exploitation des ressources minérales Université Badji Mokhtar Annaba.
- [13]-Chain Rabah, Mr Bouhedja Ahcene, " Guide pour l'élaboration des projets de cours Exploitation à ciel ouvert", Université Badji Mokhtar Annaba, faculté des sciences de la terre.
- [14]-Hainaut, "Etude d'incidences sur l'environnement demande de permis unique modification,

Extension et régularisation des installations de préparation de granulats", chapitre tirs de mines et vibrations, ville de Soignies, « S.C.A.carrières ».

[15]-Faysal Baali, [2012],"exploitation a ciel ouvert d'une carrière d'agrégats Algran el-Ghedir Skikda", Rapport de stage.

[16]- "Guide technique des explosifs et accessoires de tir".

[17]- Société de l'industrie minérale, [juin 2005], "ciel ouvert mines et carrières (élaboration des projets), les techniques de l'industrie minérale Issn 1296-9281", volume 118 page.

[18]- Berdoudi Saïd, [2012],"Etude de la mécanique de tir des roches par utilisation des modèles réduits dans les conditions Algériennes", thèse de doctorat en mines, université Badji Mokhtar Annaba.

[19]- CVB.Cunningham,"control over basting parameters and its effect on quarry productivity", MSC (ENG) ARSM manager, blast consult, AECI explosives and chemicals limited.

[20]- Cécile colombes, [juillet 2007], "analyse et optimisation des pratiques d'abattage a L'explosif dans une carrière de granulats", option sol et sous-sol.

[21]- Yavasclar africain, "Organisme professionnelle de la prévention du bâtiment et des travaux public", travaux à l'explosif la prévention BTP, l'OPPBTP » CATM, conseil et assistance en terrassement et minage.

[22]- Hadjadj Aoul Elias, "Prédiction et analyse de la fragmentation des roches dans les conditions Algérienne", thèse de doctorat option électromécanique de l'université Badri Mohatra Annaba.

[23]-NITRO-bickford, [2002], " Vibration et bruit induit par les tirs de mines, les carrières et les chantiers de travaux public", PARIS.

[24]- "Dans les carrières et les chantiers de travaux publics".

[25]-Florent Delille, [11/09/2012], "Recherche d'une prédiction de fragmentation".

[26]-RES ânières SAS, [octobre 2012], "Mémoire en réponse au commissaire enquêteur-Demande d'autorisation de renouvellement et d'extension de la carrière de Garantés", Communes de Pereille et de Raissac(09) cabinet ECTARE-Ref 93051.

[27]-S.C.A carrière du Hainaut comm.VA, " Tirs de mines et vibration, étude incidence sur l'environnement", ville de Soignies.

[28]- Guintoli SAS-"Demande d'autorisation d'exploiter une carrière et une installation de traitement de matériaux lieu-dit (bois de Saint –Laurent) "-Commune de Saint –Laurent –la –vemedé (30) –Etude d'impact.

[29]- "Ministère de l'équipement, secrétariat C.E.T.M.E.F, Département ports Maritimes et Voies Navigables".

[30]Albert Armangué, [février 2014], "Guide pratique du minage, travaux du groupe française de l'énergie explosive : vibrations des tirs".

[31]Yannick Nancy, [2010], " Abattage à l'explosif", école des mines de Nancy, SIMI Yannick bleuzen ingénieur des mines,

[32]-Pierre Chapot, [septembre 1981], "Etude des vibrations provoquées par les explosifs dans les massifs rocheux", ministère de l'urbanisme et du logement ministère des transports, laboratoire central des PONT et CHAUSSEES, rapport de recherche LPC N°105

[33]-Essaieb Hamid, Hatem Gasmi, [15janvier 2014], "Phénomène vibratoire et technologie de mesures des vibrations dans les carrières de roches massives", unité de recherche en ingénierie géotechnique école nationale d'ingénieurs de Tunis, ATMR association Tunisienne de mécanique de roche.



## RESUME

Les vibrations représentent certainement une nuisance due aux tirs de mines la plus étudiée. En effet, elles se propagent dans tous les terrains et peuvent de ce fait, atteindre des lieux situés en dehors des limites de l'exploitation. Ainsi, ce sont souvent des études a posteriori qui sont réalisées suite à des plaintes du voisinage.

Les études et le control de ces vibrations est devenu une préoccupation majeure des exploitants des carrières notamment pour la carrière de Chouf Amar.

En un point de mesure, l'atténuation d'une vibration est en fonction de sa distance D au point de tir et son amplitude en fonction de la quantité d'explosif Q, il s'agit donc de déterminer la relation de Chapot qui permet d'obtenir les valeurs de Q et D correspond à la vitesse-seuil.

Tous les tirs de mines réalisés sur la carrière sont enregistrés par des sismographes-enregistreurs, placés sur les habitations et les constructions avoisinantes.

L'emplacement des sismographes se fait en trois stations :

- station de concassage ;
- les habitations avoisinantes (Zeghaghda) ;
- le point d'eau ;

Notre objectif consiste à mesurer la vitesse de vibration et déterminer le rayon de la zone dangereuse.

Les résultats mesurés donnent des vitesses inférieures à 3mm/s alors que la réglementation tolère jusqu'à 10mm/s.

Donc pour minimiser les effets sismiques de tir il faut agir sur certains paramètres tels que la charge d'explosif, la distance et la vitesse d'une façon réglementaire.