



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et géologie

Memoire de Fin d'Etudes

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

Option : Exploitation Minière

Présenté par

DJILI Ibtissem

TOUAT Meriem

Thème

***Conception d'un plan de tir pour l'exploitation
du niveau 1160m du gisement AMMAL-
BOUCAID « Tissemsilt »***

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

Présidente: M^r .Djazairi

M.A.B

U.A.M.B

Promotrice: M^{me} .Kicher

M.A.B

U.A.M.B

Examineur: M^r .MAZARI

M.A.A

U.A.M.B

Année Universitaire: 2015-2016

REMERCIEMENT

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à M^{em} Kicher, pour ses précieux conseils qui nous ont prodigués à élaborer notre projet fin d'étude.

Toute notre gratitude et grâce à Mr Massaoud Mazari, pour son aide et ses encouragements durant le long de ce travail.

Nos remerciements vont également à Monsieur M. Bendinne directeur de la mine de BOUCAID de nous avoir accepté parmi eux.

Nos pensées les plus chaleureuses à l'ingénieur d'exploitation au sein de la mine Younes Kamel, pour ses efforts inestimables tout au long de la période de stage.

Nous sommes sensibles à l'honneur que nous fait Mr Djazairi d'avoir accepté de présider le jury.

Nous adressons nos sincères remerciements à Mr Mazari, d'avoir accepté d'examiner notre travail, et pour ses discussions et ses remarques pertinentes.

Nous avons un grand plaisir à remercier les enseignants et les personnels du département Mines et Géologie de l'université de Béjaia.

Nous remercions enfin les membres de nos deux familles respectives et nos amis pour leur présence à nos côtés.

Dédicace

JE dédie le fruit de ce modeste travail

A mes chers parents qui ont toujours cru en moi

A ma sœur et mes frères

A toute la famille adorable 'TOUAT'

A mes enseignants

Mes amis

A toutes ces personnes je leurs offres mes pensées les plus chaleureuses.

*"Le plus grand plaisir dans la vie est de réaliser ce que les autres
vous pensent incapables de réaliser. "*

Walter Baghot (1826-1877)

MERJEM.T

Dédicace

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents, que Dieu le garde pour moi.

Mes très chères sœurs : Soriya, Malika, Naima, Fatima

Mes très chers frères : Abdelhak, Mohamed, Siraj, Imade

Et aussi toute la famille Benmerah et issaadi

A tous mes amis proches que j'aime

Tous ce qui m'ont encouragé, et aidé de près ou de loin

Ibtissem

Tableau de matière

Liste des tableaux.....	I
Liste des figures.....	II
Liste d'abréviation.....	IV
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Cadre géologique et géographique générale sur la mine de BOUCAID	
I.1. Introduction.....	2
I.2. Historique.....	2
I.3. Présentation de l'entreprise exploitant.....	2
I.4. Localisation géographique.....	3
I.5. Géologie du gisement.....	5
I.5.1. Stratigraphie et lithologie.....	5
I.5.2. Tectonique.....	7
I.5.3. Hydrogéologie.....	7
I.5.4. Description de la minéralisation.....	8
I.6. Classement des réserves géologique et exploitable pour le gisement AMMAL.....	8
I.7. Données de base sur les anciens travaux de la mine.....	11
I.7.1. Travaux de terrains.....	11
I.7.2. Les travaux d'échantillonnage.....	11
I.7.3. Les travaux de laboratoire.....	11
I.8. Présentation de la substance exploitée.....	12
I.8.1. Définition.....	12
I.8.2. Caractéristique physico-chimique de la baryte.....	13
I.8.3. Domaine d'application.....	13
I.9. Conclusion.....	14

Chapitre II : Méthodes d'exploitation dans la mine de BOUCAID

II.1. Introduction	15
II.2. Exploitation de la Baryte dans la mine de BOUCAID	15
II.2.1. Mode d'exploitation	15
II.2.2. Choix de la méthode	15
II.2.3. Mode d'ouverture de la mine	16
II.3. Méthodes d'exploitation de la Baryte dans la mine de BOUCAID	16
II.3.1. Chambre et pilier	16
II.3.2. Sous niveau abattu	17
II.3.3. Chambre magasin	18
II.4. Les différents travaux réalisés dans le filon AMMAL	20
II.4.1. Travaux préparatoires et d'infrastructures	20
II.4.2. Travaux de tir dans la mine de BOUCAID	20
II.4.2.1. Foration.....	20
II.4.2.2. Chargement des trous	22
II.4.3. Travaux d'abattage	23
II.4.3.1. Le chargement	23
II.4.3.2. Transport dans la mine	23
II.5. Travaux auxiliaire	26
II.5.1. L'aérage dans la mine	26
II.5.2. Exhaure	26
II.5.3. L'éclairage	26
II.5.4. Energie utilisée dans la mine	27
II.6. Travaux supplémentaires	28
II.6.1. Soutènement	28
II.6.2. Travaux d'arpentage	28
II.6.3. Pression de terrains	28
II.6.4. Sécurité des travaux	29
II.7. Matériel utilisé dans la mine de BOUCAID	30
II.8. Conclusion	30

Chapitre III : Conception d'un plan de tir

III.1. Introduction	31
III.2. Conception d'un plan de tir	31
III.2.1. Perforation des trous de mine	31
III.2.2. Les explosifs	33
III.2.2.1. Définition de l'explosif	33
III.2.2.2. Catégorie de l'explosif	33
III.2.2.3. Principe d'action	34
III.2.2.4. Les caractéristiques de l'explosif	34
III.2.2.5. Choix de l'explosif	35
III.2.2.6. Les produits explosifs fabriqués en Algérie d'après l'ONEX.....	35
III.2.3. Amorçage	36
III.2.3.1. Artifice de mise à feu et amorçage.....	36
III.2.3.2. Choix de mode d'amorçage.....	38
III.2.4. Chargement de trou de mine	40
III.2.5. Bourrage	41
III.2.6. Type de connexion	42
III.2.6.1. Connexion en série	42
III.2.6.2. Connexion en Parallèle.....	42
III.3. Classification des paramètres de tir	42
III.4. Méthodes de conception d'un plan de tir	43
III.4.1. Méthode suédoise	44
III.4.1.1. Division d'une section de Galerie par la méthode suédoise.....	44
III.4.1.2. Le découpage de la section de Bouchon par la méthode Suédoise ...	45
III.4.2. Méthode de Langefors	46
III.4.3. Règles simple empiriques	49
III.4.4. Les Méthodes de conception et de calcul à l'ordinateur	49
III.5. Conclusion	50

Chapitre VI : Processus d'exploitation du gisement AMMAL

VI.1. Introduction	51
VI.2. Paramètres d'élaboration d'un projet d'ouverture	51

VI.3. Exploitations du gisement	51
VI.3.1. Choix de la méthode d'exploitation	51
VI.4. Dimensionnement d'un plan de tir	52
VI.4.1. Les caractéristiques technique du gisement.....	52
VI.4.2. Dimensionnement d'une galerie et d'une cheminée	52
VI.4.2.1. Calcul par la méthode suédoise	52
VI.4.2.2. Charge linéaire	56
VI.5. Représentation des plans de tir d'une galerie et d'une cheminée	57
VI.6. Tir de production (travaux d'abattage)	59
VI.6.1. La Banquette maximale	60
VI.6.2. détermination de l'espacement	63
VI.6.3. Détermination de la longueur de foration	63
VI.6.4. La longueur de sous foration	64
VI.6.5. Détermination de la répartition de la charge dans le trou de mine	64
VI.6.5.1. Hauteur de la charge de pied.....	64
VI.6.5.2. Charge linéaire de pied	65
VI.6.5.3. Quantité d'explosif au pied du gradin (fond)	65
VI.6.5.4. Hauteur de bourrage.....	65
VI.6.5.5. Hauteur de charge de colonne.....	65
VI.6.5.6. Charge linéaire colonne	66
VI.6.5.7. Quantité d'explosif en colonne	66
VI.6.6. Quantité de charge d'explosif dans un trou	66
VI.6.7. Consommation spécifique de l'explosif	67
VI.6.8. Volume de roche abattue par un trou.....	67
VI.6.9. Nombre de trou nécessaire foré en une semaine.....	67
VI.7. Chargement et Transport dans le gisement AMMAL.....	68
VI.7.1. Chargement et transport souterrain	69
VI.7.2. Chargement et transport au jour	69
VI.8. Calculs nécessaires pour le chargement.....	70
VI.8.1. Rendement de la chargeuse	70
VI.8.2. Nombre de chargeuse	71
VI.8.3. Nombre de godet pour le chargement d'un camion	72
VI.8.4. La durée de chargement d'un camion.....	72

VI.9. Calculs nécessaires pour le transport	73
VI.9.1. Rendement de camion	73
VI.9.2. Le nombre des camions nécessaires	73
VI.10. Conclusion	74
Conclusion générale	75
Bibliographie	

Liste des tableaux

Tableau I.1: stratigraphie du mont d'Ouarsenis	06
Tableau I.2: Les caractéristiques physico-chimique de la baryte.	13
Tableau II.1 : Présentation du matériel de la mine	30
Tableau III.1 : les différents appareils pour la perforation des trous de mine.....	32
Tableau III.2 : Les paramètres de tir	43
Tableau III.3 : Facteur de contrainte de l'inclinaison du trou de mine	48
Tableau VI.1 : Loi d'application pour déterminer les calculs d'un plan de tir d'une galerie (méthode suédoise).....	54
Tableau VI.2 : Les résultats de calcul nécessaire lors de découpage d'une galerie.	55
Tableau VI.3 : les résultats de calcul nécessaire lors du découpage d'une cheminée	55
Tableau VI.4 : Les caractéristiques des explosifs utilisés	60
Tableau VI.5 : les caractéristiques techniques des moyens de chargement.....	69
Tableau VI.6 : les caractéristiques techniques des moyens de transport	70

Liste des figures

Figure I.1: localisation géographique de la mine de Bou caïd.....	03
Figure I.2: Localisation géographique du gisement AMMAL	04
Figure I.3 : Esquisse géologique du massif de l’Ouarsenis	05
Figure I.4: minerai de baryte.....	11
Figure II.1: schéma d’exploitation par chambre et pilier	17
Figure II.2: schéma d’exploitation par sous niveau abattu	18
Figure II.3: schéma d’exploitation par Chambre Magasin	19
Figure II.4 : Marteau perforateur	21
Figure II.5 : Chargement d’un trou de mine	22
Figure II.6 : Wagonnet.....	24
Figure II.7: Pelle sur rail.....	24
Figure II.8: locotracteur avec wagonnets sur rail pour le transport a l’intérieur de mine, état actuel	25
Figure II.9: plate forme de stockage du tout venant dans l’état actuel.....	25
figure II.10: pelle et camion pour le chargement du tout venant a l’extérieur de la mine	26
Figure II.11: lampes électrique	27
Figure II.12: locotracteur électrique	27
Figure II.13 : Soutènement dans le gisement Lakhdar	28
Figure II.14: Soutènement dans le gisement AMMAL niveau 1205.....	28
Figure III.1 : Amorçage ponctuel (Postérieur et Antérieur).....	39
Figure III.2 : Amorçage latéral.....	39
Figure III.3 : Sens d’initiation d’une charge explosive.....	41
Figure III.4: différentes section de galerie	45
Figure III.5: Bouchon a quatre (04) sections.....	46
Figure III.6 : Plan représentatif d’une galerie de deux sections.....	46
Figure VI.1 : Plan de tir pour une Galerie.....	57
Figure VI.2 : Plan de tir pour une cheminée	58
Figure VI.3: Géométrie et terminologie du plan de tir.....	59
Figure VI.4: Choix du couple diamètre-hauteur de front	62

Liste d'abréviation

ENOF : Entreprise nationale des produits Miniers non ferreux de substance utile

CUP : Coefficient d'utilisation pratique

ONEX : Office National Des Substances Explosives

D.E.S : Détonateur Electrique Sismique

D.E.R : Détonateur Electrique à Retard

D.M.R : Détonateur à Micro Retard

An : Année

PRP : puissance relative à l'ANFO

Introduction générale

Les activités minières ont des répercussions importantes sur l'économie, l'environnement, l'emploi et la vie sociale des pays ou des régions où elles ont leur siège. Les mines comptent pour une part importante du produit intérieur brut (PIB) d'un grand nombre de pays en développement et constituent même souvent l'essentiel des exportations et des investissements étrangers dans ces pays.

La maîtrise de toute exploitation minière est basée essentiellement sur la connaissance de la minéralisation exploitée et de son encaissement. Le choix de mode d'ouverture, réalisation d'un plan de tir ainsi que la méthode d'exploitation sont les principales opérations à déterminer avant toute mise en production.

L'objectif principal de ce travail, consiste en premier lieu en la reconnaissance des différentes étapes et méthodes pour la conception et deuxième lieu l'élaboration des plans de tir adéquats, et cela lors de la réalisation des travaux d'ouvrages et de production du gisement AMMAL pour le niveau 1160m, tout en tenant compte de la rentabilité de la mine de BOUCAID.

Dans ce travail, nous allons entamer le premier chapitre avec un aperçu général sur le cadre géologique et géographique de la mine de BOUCAID et le filon AMMAL, une brève explication sur la baryte (substance exploitée) est donnée.

Ensuite, un deuxième chapitre vient d'expliquer les différentes méthodes d'exploitation menées dans la mine. Dans le troisième chapitre, nous allons voir les composantes nécessaires pour la conception d'un plan de tir.

Par la suite, nous entamons le dernier chapitre, processus d'exploitation du gisement AMMAL (niveau 1160m), par le dimensionnement des ouvrages de la galerie et de la cheminée lors de l'ouverture de la mine établies par la méthode Suédoise, et la conception du plan le mieux adapté par le logiciel Autocad. Ainsi des calculs appropriés sont réalisés pour le calcul de tir de production avec l'utilisation de la méthode Langefors.

Enfin, nous terminons avec une conclusion qui résumera ce travail, tout en exposant les difficultés et les lacunes rencontrées.

Chapitre I : Cadre géologique et géographique sur la mine de BOUCAID

I.1. Introduction

La Baryte est considérée parmi les substances les plus exploitables dans le monde entier, plusieurs mines Algérienne s'intéresse à l'extraction de ce minerai, La mine de BOUCAID (wilaya de Tissimsilt), fait l'objet de cette exploitation.

Dans ce premier chapitre, nous allons donner une vision globale sur la géologie régionale du massif de l'Ouarsenis, ainsi que locale du gisement AMMAL, qui fera l'objet de notre étude.

I.2. Historique

La mise en exploitation du gisement de BOUCAID date de la fin du 19^{ème} siècle pour les poly métaux (Pb-Zn), qui a connu son apogée dans les 1940 suite aux études réalisées par le géologue français M. Fourmel, la deuxième période a démarré avec la nationalisation des mines en 1966 en continuant l'exploitation des poly métaux. En 1975, lors des travaux de levé géologique au 1/5000 du gîte de Sidi Bel Abbes, il y a eu la découverte d'une puissante structure barytée de 850 mètres de longueur. Cette dernière a fait l'objet de travaux de prospection et d'évaluation de 1977 à 1981. L'exploitation et le traitement de la baryte a commencé en 1976.

Parallèlement aux travaux d'évaluation du gîte de Sidi Bel Abbes, la prospection a été lancée sur les sites de Sidi Ouaddah, sur les flancs oriental et occidental du gîte Nord (Massif d'Abdelkader) et sur le flanc occidental du massif de Belkheiret.

En 1976, les sites de l'Ain et le Nord furent transmis à la mine de Bou Caïd dont les réserves sont de 50 000 tonnes pour le premier et 10 000 tonnes pour le second.

Durant la période 1978 à 1982, quatre sites ont été évalués et sont passés à l'exploitation à savoir : Ammal, Rasfa, Grand Pic, Lakhdar et le Nord.

Il est à noter que 90% des travaux ont été réalisés sur le site de Sidi Bel Abbes. Pour les autres sites les travaux de recherche réalisés sont insignifiants [1].

I.3. Présentation de l'entreprise exploitante

Le groupe ENOF (**Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles**) exploite 18 mines et carrières, qui produit une gamme variée de minerais, il est organisé en 6 filiales depuis le 1er janvier 2001.

Spécialisé dans l'exploitation des mines souterraines et à ciel ouvert pour la production des minerais non ferreux et des substances utiles non métalliques, le groupe ENOF a pour vocation : la production, la commercialisation et le développement des produits miniers.

La diversité et la qualité de ses produits font du groupe ENOF un partenaire de choix pour les industries nationales et internationales, sa progression est marquée par les investissements qu'il engage chaque année dans les opérations de développement et de la mise en valeur de nouveaux gisements [2].

L'ancienne filiale SOMIBAR pour la production de la Baryte (redevenu ENOF en 2016), possède trois unités de production :

- Ain-Mimoun dans la wilaya de Khanchela ;
- Mellal dans la wilaya de Tlemcen ;
- BOUCAID dans la wilaya de Tissemsilt (notre cas d'étude) [1].

L'unité détient trois titres Miniers d'exploitation ont une durée de validation de 10 ans.

I.4. Localisation géographique de la mine de BOUCAID

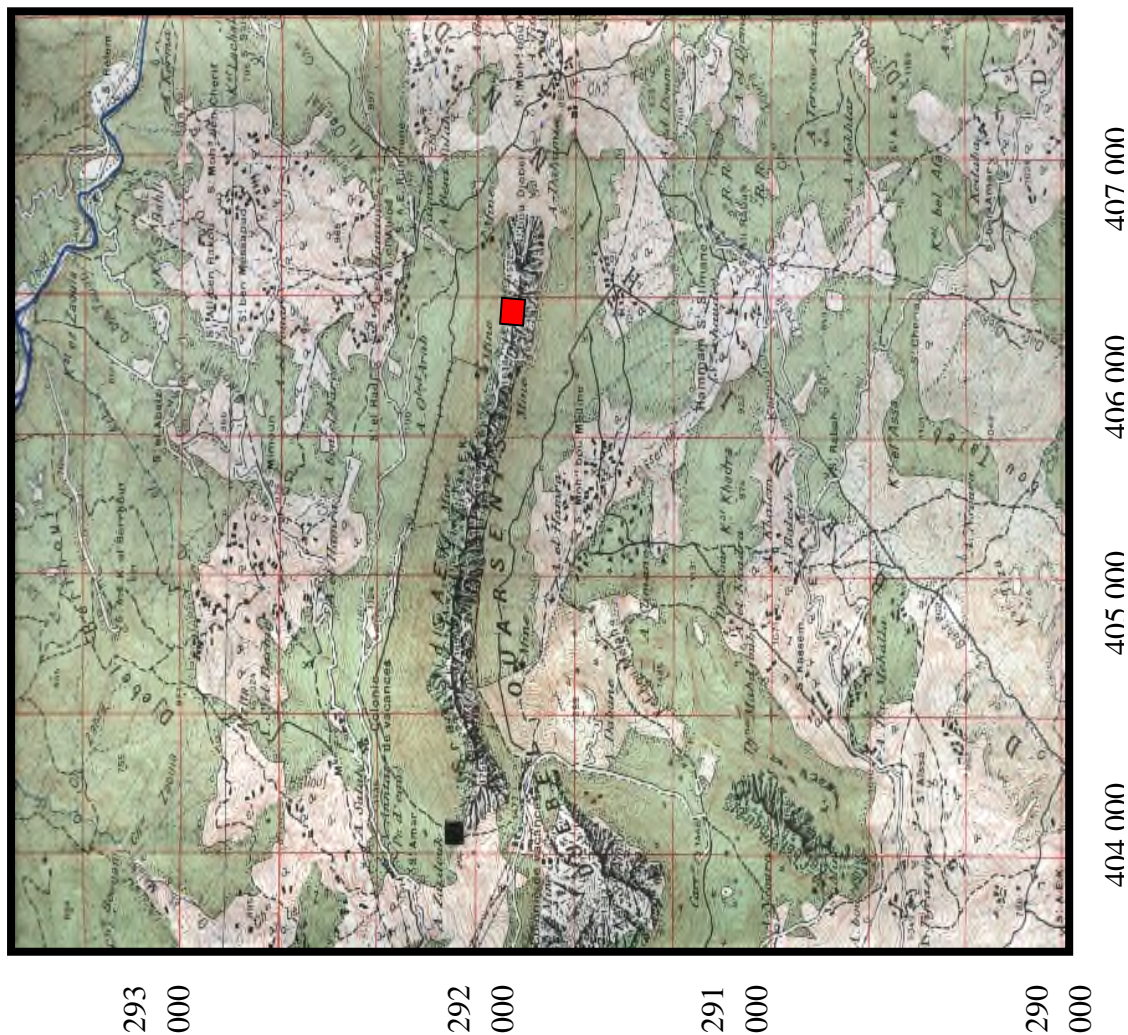
L'unité de BOUCAID est située à 250 Km Au Sud Ouest de la capitale d'Alger et à 70 Km au Nord Est du chef lieu de la wilaya de Tissemsilt (Figure I.1).



Figure I.1: localisation géographique de la mine de Bou caïd [Extrait de la carte touristique de l'Algérie, édition 1997].

Pour notre cas d'étude, le gisement AMMAL se trouve à 6 km de l'usine de traitement, pour y accéder nous prenons la route communale de BOUCAID qui se trouve sur le flanc Nord du massif Abdelkader, passant par le parc national d'Ain Antar sur une distance de 4km, puis l'accès ce fait par une piste carrossable de 2km pour arriver au gisement Nord ainsi à AMMAL. Le filon du gisement a déjà été exploité au-dessus du niveau 1227m. Nous constatons essentiellement 3 niveaux : [niveaux : 1227, 1205, 1116 (m)].

Le site est d'une superficie de : 11.25 Hectare (Figure I.2) [1].



■ : Gisement AMMAL

Figure I.2: Localisation géographique du gisement AMMAL [extraite de la carte topographique Feuille N° 133 à l'échelle 1/50 000.

FEUILLE EL MEDDAD].

I.5. Géologie du gisement

Le champ minier de BOUCAID se localise dans la partie la plus élevée du massif montagneux de l'Ouarsenis qui fait lui-même partie de l'Atlas Tellien, il est composé essentiellement de dépôts sédimentaires qui du point de vue stratigraphique date du Trias au Quaternaire. L'Ouarsenis est limité par la dépression de Cheliff, vaste bassin néogène subsidant qui sépare le Tell oranais en deux parties : le Dahra au Nord et l'Ouarsenis au Sud (Figure I.3) [3].

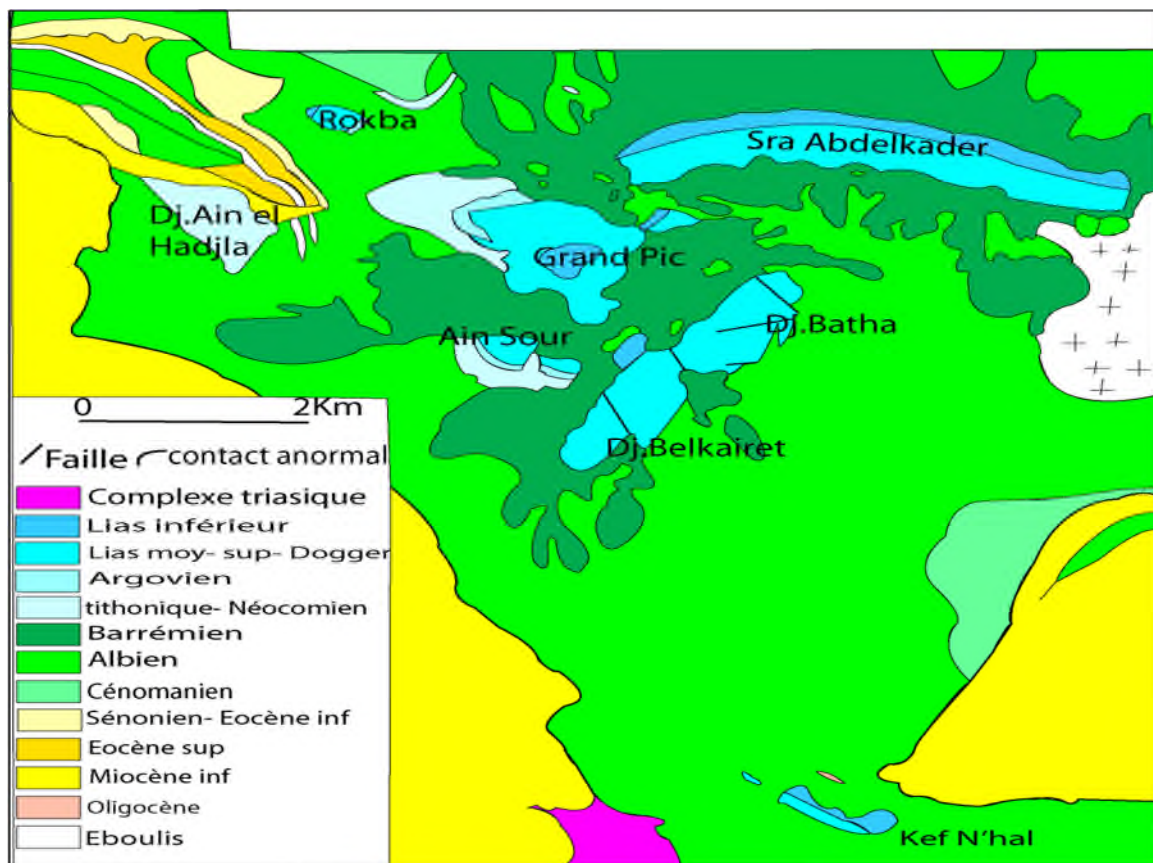


Figure I.3 : Esquisse géologique du massif de l'Ouarsenis [d'après M.Mattauer 1958].

I.5.1.Stratigraphie et lithologie

La stratigraphie du massif de l'Ouarsenis décrite par L.Calembert (1952) et M.Mattauer (1958) est représentée dans le tableau ci-dessous [4] :

Tableau I.1: stratigraphie du mont d'Ouarsenis [DELGA .M, paléogéographie structural de l'Algérie Tellienne, 1956].

Age		Formations
Aptien- Albien		Marnes et schistes. Lentilles gréseuses. Nodules ferrugineux. Conglomérats.
Néocomien	Hauterivien	Nombreuses Ammonites pyriteuses, microfaunes riches.
	Valanginien	Bancs calcaires bariolés à la partie inférieure, puis calcaires en dalles, marnes sublithstratigraphie,
Malm	Tithonique - Berriasien	Strates régulières de marnes et de calcaires jaunâtres alternant avec des calcaires foncés à grains fins; fossiles rares, microfaune abondante.
	Lusitanien	Bancs alternant de calcaires bariolés, rognoneux ou compacts, et de marnes schistoïdes; Fossiles abondants.
Dogger	Callovien- Oxfordien	Bancs mammo-calcaires. Bancs bariolés interstratifiés à la partie supérieure.
	Bathonien	inexistant ou très réduit.
	Bajocien	Formations de poudingues riches en micro-organismes. Grès. Calcaires à silex. Calcaires en strates régulières. Fossiles abondants.
Lias	Lias supérieur	Bancs calcaires bien réglés. Calcaires à silex au sommet. Niveaux conglomératiques; fossiles abondants.
	Lias moyen	Bancs calcaires blanchâtres. Filons puissants de baryte et de calcite.
	Infralias	Dolomies calcaires dolomitiques. Veines de baryte et de calcite.
Trias		Dolomies, gypse, argiles bariolées, cargneules. Ophites, roches cristallophylliennes, roches éruptives.

I.5.2. Tectonique

Le massif de l'Ouarsenis de roches jurassiques a été amené à la surface à la faveur d'une faille profonde, morcelé en plusieurs blocs.

Certains blocs ont été arrachés à leur socle et déplacés en direction du Sud-Est (massifs de Belkheiret et Rokba). Vers l'Est, la tectonique devient moins forte et le bloc suivant a été déversé sans déplacement considérable (Massif Grand Pic).

L'action tectonique de même direction sur le massif Abdelkader s'est traduite par le renversement partiel vers le Sud -Est de ses flancs occidentaux. Après la stabilisation tectonique, sur le versant Sud du Grand Pic, se manifestent largement les phénomènes de déplacement et de glissement par gravité des blocs [5].

Ainsi de nombreuses hypothèses ont été avancées sur l'origine de cette formation probablement due au déplacement des nappes [1] :

- Ecailles extrusives ;
- Plis diapir ;
- Nappes de charriages ;
- Anticlinaux déformés.

I.5.3. Hydrogéologie

➤ Les eaux superficielles :

La zone de l'Ouarsenis est un réservoir d'eau par sa formation calcaire qui laisse les eaux s'infiltrer.

Le réseau hydrologique est essentiellement constitué de oueds intermittents dont l'écoulement dépend de la pluviométrie (ils sont généralement secs en été).

Les principaux oueds sont l'Oued Ataba, qui passe au niveau du chef-lieu de la commune, et l'Oued Beni-Boudjemaâ. A l'Est de la commune de Bordj Bounaâma, on a l'Oued El Bhar qui traverse cette partie du territoire en prenant naissance dans ses limites Sud avec l'Oued Khanous.

➤ Les eaux souterraines :

Les réservoirs d'eau sont surtout contrôlés par les masses calcaires dont la tectonique a favorisé la circulation des eaux pluviales tout en provoquant la dissolution des minéraux constitutifs.

Les sources exogènes n'ont pas un grand débit, à cause de l'enfouissement du réseau hydrographique qui reste généralement en dessous du niveau atteint par les marno-schistes, le drainage des nappes se faisait naturellement par les failles.

Le poids hydrologique dans la région a donné naissance à des puits et des sources localisés dans les différents villages pour les besoins de consommation locale. Parmi ces sources, nous notons: La source d'Ain Tolba, la source d'Ain Khadra, la source d'Ain N' Soura, la source d'Ain Kahla, la source d'Ain Fouara, et la source d'Ain Milina [1].

I.5.4. Description de la minéralisation

La minéralisation du massif de BOUCAID est d'origine Hydrothermal. Elle est encaissée essentiellement dans les calcaires du Lias. Ainsi, deux types de minéralisations sont rencontrés :

- Une minéralisation karstique ;
- Une minéralisation filonienne.

➤ La morphologie de la minéralisation

La morphologie du gisement est conditionnée par les accidents tectoniques qui ont affecté les terrains encaissants. La minéralisation se présente généralement sous deux formes possibles [9] :

- **Les filons**

Les filons sont les gisements constitués par le remplissage, en général irrégulier et discontinu, de fractures préexistantes de l'écorce terrestre par des minéralisations diverses. La minéralisation filonienne dans la mine de BOUCAID est observée dans les gisements suivants : (filon Sidi Djbar, filon Nord, filon AMMAL).

- **Les amas**

Ce sont des gisements de forme quelconque, généralement sous forme de lentille ou de sphère dont les 3 dimensions (longueur, largeur, profondeur) sont de même grandeur. Cette morphologie est représentée dans le gisement Lakhdar.

I.6. Classement des réserves géologique et exploitable pour le gisement AMMAL

Le site d'AMMAL a été exploré par la société SONAREM 1975 par des tranchés de surface et des travaux de sondage fond, ainsi des ouvrages miniers souterrains (galeries et cheminées) ont été mené.

Ce gisement a été reconnu par six niveaux qui sont reliés entre eux par des cheminées de reconnaissances et de passage du personnel.

- Niveau 1480m;
- Niveau 1430m;
- Niveau 1380m;
- Niveau 1330m;

- Niveau 1277m;
- Niveau 1205m;
- Niveau 1227m.

Les travaux d'exploitation des niveaux cités ci-dessus ont été débutés en 1979 par la méthode chambre magasin.

Les réserves extraites en matière de tout-venant baryte de 1979 à 1992 est de l'ordre de **180000** tonnes.

Réserves géologiques restantes en pilier de protection sont de l'ordre de **20870** tonnes. Ces travaux ont été arrêtés pour des raisons sécuritaires [Voir annexe A].

- **Les réserves géologiques et exploitables en minerai de Baryte le 1 Janvier 1982 sont :**

Dans le cadre de calcul des réserves, il était tenu en considération les paramètres suivants :

- Puissance minimale du corps ou filon admise: 0,8m ;
- Teneur de coupure: 60% BaSO₄ ;
- La délimitation des corps minéralisés en extension et en pendage.

I.7. Données de base sur les anciens travaux de la mine

Les travaux de prospection menée au paravent dans la mine, ont permis la réalisation des travaux obligatoires avant son exploitation, qui se résument comme suit [6] :

I.7.1. Travaux de terrains

➤ **Surface**

- Levé topographique : 1/5 000, 1/2 000 et 1/1 000 ;
- Levé géologique : 1/10 000, 1/5 000 et 1/1 000 ;
- Itinéraires de recherches au 1/2 000 ;
- Plan d'échantillonnage au 1/200 ;
- Echantillonnage ;
- Tranchées.

➤ **Travaux en galerie**

- Creusement de galeries ;
- Forage carottant ;
- Plan d'échantillonnage au 1/200.

I.7.2. Les travaux d'échantillonnage

- Echantillonnage ;
- Echantillonnage des carottes ;
- Echantillonnage par saignées.

I.7.3. Les travaux de laboratoire

- Analyses chimiques de BaSO₄ éléments majeurs ;
- Analyses chimiques de Pb et Zn ;
- Analyses chimiques complètes ;
- Descriptions minéralogiques et pétrographiques.

I.8. Présentation de la substance exploitée

I.8.1. Définition

Barytine (ou Baryte) est un minéral tendre mais lourd, d'origine Hydrothermal, pas soluble dans l'eau et opaque aux rayons X, présente un éclat vitreux à nacré, légèrement teinté de blanc, gris, jaune ou brunâtre d'une poussière blanche et dont sa formule chimique est $BaSO_4$ (Figure I.4) [7].

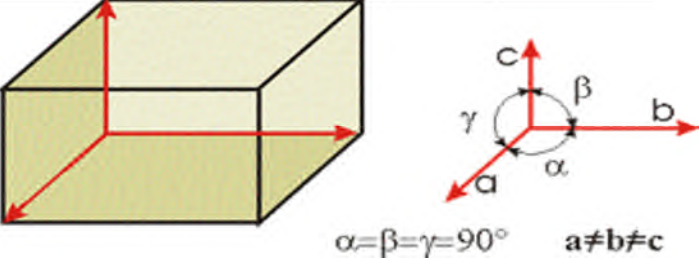


Figure I.4: minerai de baryte [7].

I.8.2. Caractéristique physico-chimique de la baryte

Le tableau suivant représente les principales caractéristiques physico-chimiques de la baryte [8] :

Tableau I.2: Les caractéristiques physico-chimique de la baryte.

Caractéristiques physico-chimiques :	
Composition chimique :	BaSO ₄
Sulfate de baryum.	
Classe minéralogique :	Sulfates.
Système cristallin :	Orthorhombique.
 <p style="text-align: center;">$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a \neq b \neq c$</p>	
Densité :	4.48
Dureté :	3 à 3.5 sur l'échelle de mohs.
Couleur :	Elle est de couleur claire. Pure, elle est incolore ou blanche, mais on la trouve le plus souvent colorée diversement par des adjonctions. Elle devient alors safran, gris léger, brun pâle au brun foncé, mais aussi rouge, bleu, vert et noir.

I.8.3. Domaine d'application

Le sulfate de baryum (BaSo₄) peut être utilisé dans différents secteurs citons par exemple [9] :

- L'industrie pétrolière, sous forme de boue lourde, il augmente la densité des fluides de forages afin d'éviter les fuites de gaz ;

- Le sulfate de baryum peut également entrer dans la composition du béton. Il augmente la densité et l'imperméabilité aux rayons gamma des bétons de construction des centrales nucléaires ;
- En radiologie médicale le sulfate de baryum un contrastant qui modifie l'absorption des rayons X, accentue des contrastes et rend lisibles des organes qui ne le seraient pas, tels que les poumons. Il visualise également les différences de densité de l'os ;
- La bouillie barytée, non soluble, est utilisée en médecine pour des examens du tube digestif. Cette forme non dangereuse du sulfate de baryum, permet de « visualiser le cheminement du bol alimentaire dans le tube digestif, et de mettre en évidence des fausses routes ou des fistules. » ;
- Sa masse et son opacité sont utiles en peinture pour charger les enduits et sous-couches. Il ne modifie pas les couleurs des peintures et vernis auxquels il est associé.
- Le sulfate de baryum sert de base pour la couleur « jaune de baryum » ;
- Le sulfate de baryum est utilisé dans la plasturgie et l'industrie papetière ;
- Le carbonate de baryum est utilisé en verrerie, ainsi que dans le travail de la céramique et de la porcelaine (glaçure).

➤ **On trouve la baryte**

- Dans les filons de basse température avec calcite, dolomite, fluorine, galène, sulfates de plomb, etc.
- Dans les calcaires, sous forme lenticulaire ;
- Dans les grès et les arkoses dont elle est un liant ;
- Dans les sources thermales ;
- Dans des paléo karsts ;
- Dans l'interface entre le socle granitique et la couverture de sédiments ou de retombées volcaniques ;
- Dans l'anglésite, minéral associée au sulfate de plomb ($PbSO_4$), avec des traces de cuivre ;
- Dans la Célestine, minéral où la baryte est associée au sulfate naturel de strontium ($SrSO_4$) avec des traces de Calcium.

I.9. Conclusion

La mine de BOUCAID repose sur l'exploitation du gisement de la Baryte, qui est encaissé dans des roches calcaires qui datent du jurassique.

Sous l'effet de la tectonique, deux types de minéralisation sont apparue, une filonienne et l'autre sous forme d'amas. Pour cette raison une bonne connaissance de sol et de sous sols est donc conseillée. La minéralisation présente a une teneur très élevée, ce qui lui permet une utilisation très vaste dans des domaines différents.

Chapitre II : Méthodes d'exploitation dans la mine de BOUCAID

II.1. Introduction

L'exploitation proprement dite, représente une étape très importante dans la vie d'une mine.

L'excavation d'un gisement dans les profondeurs de la terre, nécessite des infrastructures spéciales.

Un réseau de puits et de galerie, communiquant avec la surface et permettant la circulation du personnel, le transport du matériel et du minerai. L'accès au gisement, ce fait à partir du choix du mode d'ouverture, les différents niveaux d'exploitation sont reliés par des galeries appelées plans inclinés. Toutes les excavations souterraines doivent être desservies par des systèmes d'aérages (amenée d'air frais et évacuation d'air vicié), d'alimentation en électricité, en eau et air comprimé, d'exhaure, de roulage et de communication.

La mine de BOUCAID utilise trois méthodes d'exploitation pour y accéder au gisement :

- Chambre et pilier ;
- Chambre magasin ;
- Sous niveau abattu.

II.2. Exploitation de la Baryte dans la mine de BOUCAID

II.2.1. Mode d'exploitation

Le choix du mode d'exploitation dépend de la valeur du rapport de découverte K , qui est égale à la quantité du stérile sur la quantité du minerai, et qui doit être au maximum égal à 6% dans le cas d'une exploitation à ciel ouvert, si ce rapport est supérieur à cette valeur (qui veut dire que l'épaisseur de couverture dépasse l'épaisseur du gisement), nous optons pour une exploitation Souterraine. Selon les conditions du gisement de la mine de BOUCAID, la méthode adéquate est la méthode: Souterraine [6].

II.2.2. Choix de la méthode

Pour assurer le bon choix de la méthode nous devons tenir compte des facteurs suivant :

- Type de gisement (filon, amas, couche...);
- La valeur des minéraux désirés ;
- La teneur du minerai ;
- La taille, la forme, le pendage et la profondeur du gisement ;

- Les conditions géologiques, hydrogéologiques et géomécaniques de la masse rocheuse, les conditions sismiques de la région ;
- L'emplacement du gisement a la surface ;
- Les conséquences de l'exploitation sur l'environnement ;
- Les contraintes de la surface ;
- Disponibilité du matériel minier dans la mine ;
- Rentabilité ;

II.2.3. Mode d'ouverture de la mine

La minéralisation de BOUCAID, se présente dans un relief à flanc de coteau, dans ce cas, le mode d'ouverture employé est par Galerie au jour qui est au même temps un accès au gisement et un chemin pour l'évacuation du tout-venant.

Parmi les paramètres essentiels qui interviennent lors du choix de cheminement et d'ouverture des travaux d'exploitation [6]:

- Pendage du gisement ;
- La morphologie du gisement et les caractéristiques physico-mécanique du minerai et des encaissants ;
- Pertes et salissures minimums ;
- Prix de revient minimum pour le maximum rendement des travaux ;
- Sécurité du personnel et du matériel.

II.3. Méthodes d'exploitation de la Baryte dans la mine de BOUCAID

Dans l'exploitation souterraine, une quantité minimale de morts terrains est enlevée pour accéder au dépôt de minerai. L'accès à ce gisement se fait au moyen de tunnels ou de puits [elles ont toutes en commun le creusement de puits et de galeries d'accès au gisement et l'emploi de machines ou d'explosifs pour l'extraction du minerai [1 ; 8].

II.3.1. Chambre et pilier

Les gisements qui peuvent être exploités par cette méthode, sont ceux qui présentent des faibles pendages entre 15° à 30° sous forme d'amas. L'exploitation de la minéralisation se fait à l'aide des cheminées, en laissant des piliers dans la chambre pour soutenir le toit donnant par la suite une forme tabulaire. Le minerai abattu s'évacue à travers les cheminées à l'aide des treuils pneumatiques et des scrapers pneumatiques. Ils utilisent des trémies en bois à la sortie des cheminées pour évacuer le minerai directement dans les wagons de transport, ou l'évacuer dans la galerie, ensuite en le chargeant dans les wagons à l'aide d'une pelle sur rail, ce dernier est le moyen le plus utilisé dans la méthode par chambre et piliers pour

évacuer le minerai abattu (Figure 1). Les piliers minéralisés sont laissés en place jusqu'à l'exploitation complète du corps minéralisé, où ils les récupèrent en commençant par les piliers les plus loin au jour, et le minerai abattu passe à un niveau inférieur dans une autre galerie.

Enfin, le minerai est transporté vers l'air de stockage par les wagons [10], cas du gisement Lakhdar de la mine [AnnexB].

La figure ci-dessous schématise la méthode d'exploitation par chambre et piliers

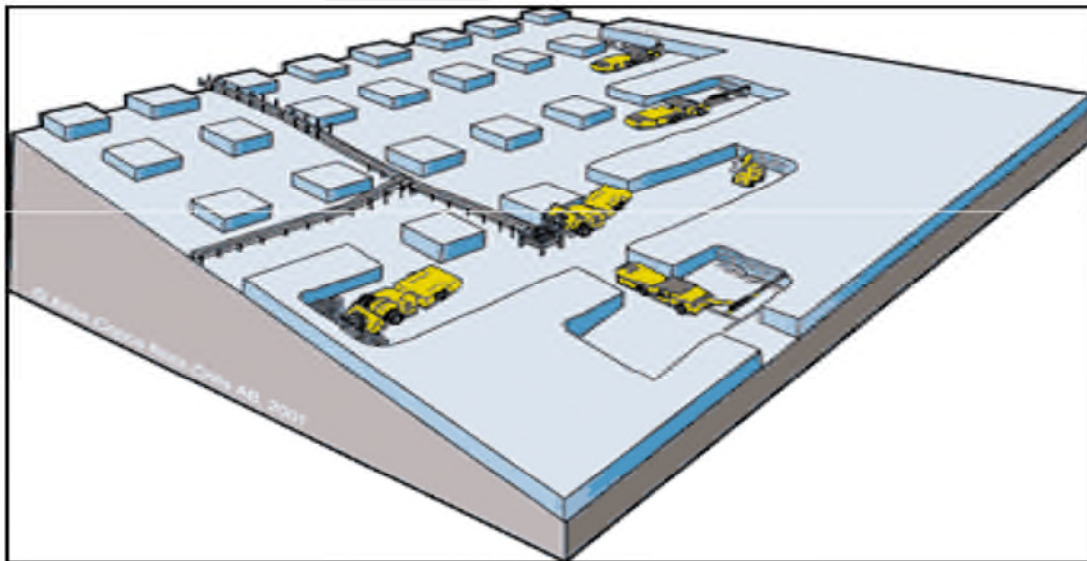


Figure II.1: schéma d'exploitation par chambre et pilier [11].

II.3.2. Sous niveau abattu

La méthode consiste au creusement des trémies de soutirage au niveau de la voie de roulage, ensuite le creusement des sous niveaux du bas vers le haut et des recoups pour le traçage et le découpage et enfin un tir de masse par bloc pour récupérer le reste du gisement comme est éclairé dans la figure ci-dessous [10], cas du gisement Lakhdar et le Nord [Annex C].

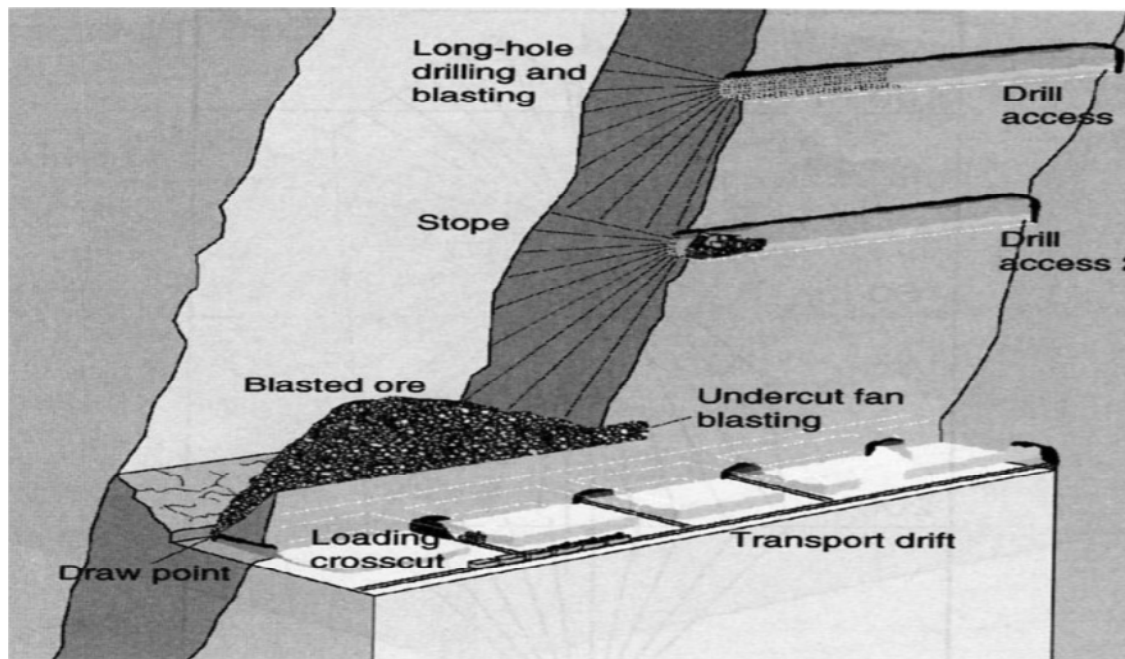


Figure II.2: schéma d'exploitation par sous niveau abattu [12].

II.3.3 .Chambre magasin

Est une méthode d'exploitation classique, sans doute la plus répandue durant la majeure partie du siècle dernier, employée pour les gisements verticaux et sub-verticaux (86° à 90°) qui se présentent sous forme filoniennes et caractérisée par le déblocage par gravité, les matériaux abattus tombent directement sur des berlines sur rail via des trémies, ce qui est la tâche la plus fastidieuse pour un mineur.

Pour limité le panneau de 50m de longueur et de 25 à 30m de hauteur, le traçage des voies de base et de tête et des montages dans le filon sont tracés, (Figure II.3). Le minerai est abattu par gradin renversé unique ou double qui progresse horizontalement du montage C au montage D ou les deux cotés en même temps. Au début d'exploitation, des trémies sont préparées, qui sont laissées au dessus de la voie de base A pour servir a des stots de minerai en place et des cavités comme il est indiqué sur la figure (FigureII.3). Le minerai abattu est en partie soutiré par la voie de base de telle façon à laisser (emmagasiner) le reste du minerai abattu comme une plate forme de travail sur lequel tiennent les mineurs pour exécuter la foration et l'exploitation de la partie supérieure [10], cas du gisement Ammal [Annex D].

Le minerai abattu est évacué à travers des trémies sur wagons (wagon de 2 tonnes pour chacun, enchaînés et entraînés par un locotracteur), en laissant toujours, le minerai abattu en place avec une hauteur de 2 à 2.5 m pour que le mineur travail dans un espace large.

Une fois le panneau est entièrement abattu, on procède à l'évacuation entière de la masse abattue par les mêmes trémies de la voie de base.

Le vide créé est conservé sans aucun soutènement systématique vue la dureté et la stabilité de l'encaissant (calcaire). Les stots de protection latérale peuvent être abattus lors de l'abandon définitif de ce panneau.

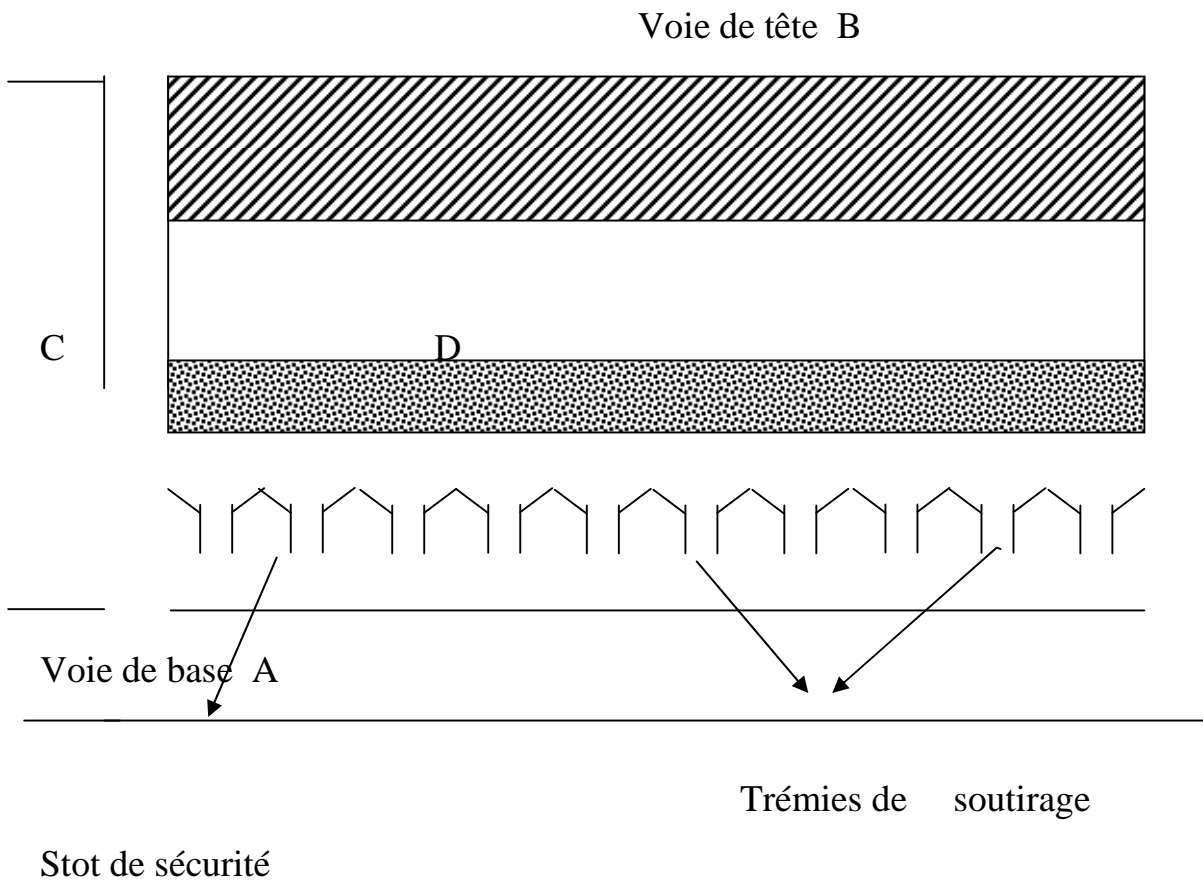


Figure II.3: schéma d'exploitation par Chambre Magasin [1].

II.4. Les différents travaux réalisés dans le filon AMMAL

II.4.1. Travaux préparatoires et d'infrastructures

Ces travaux sont primordiaux pour toute exploitation minière rationnelle qui respecte les règles de l'art minier, pour une bonne optimisation d'abattage et d'extraction, de production et de faciliter l'accès aux différents niveaux du site.

Cette opération consiste à réaliser de divers ouvrages miniers (galeries, cheminées, recoupes) dans le but de préparer 119 130 tonnes à l'abattage et à l'extraction, pour une durée de 07 ans [6].

➤ Piste d'accès

Le gisement AMMAL de baryte est situé à l'Est du siège de l'unité de BOUCAID sur le flanc Nord du massif d'Abdelkader.

Il est accessible par la route communale sur une distance de 3 km, puis par une piste d'environ 1 km, la longueur de la piste est de 4 km.

➤ Plates-formes de stockage

Le niveau d'exploitation 1160 m nécessite deux plateformes : l'une (principale) au niveau de l'entrée principale servant pour l'installation des équipements miniers ainsi que les différents abris, l'autre (secondaire) réservée pour le stockage du minerai.

Pour cela la direction de la mine prévoit la réutilisation des plateformes déjà réalisées, notamment celles des deux niveaux au cours d'exploitation : Les niveaux 1205 m et 1227 m, dont les dimensions sont les suivantes :

- Plateforme principale : Longueur = 60 m, Largeur = 20 m ;
- Plateforme secondaire : Longueur = 40 m, Largeur = 20 m.

II.4.2. Travaux de tir dans la mine de BOUCAID

II.4.2.1. Foration

Le creusement des ouvrages miniers commence par la foration des trous de mines. Le choix des machines et des installations de forage doit s'effectuer, en tenant compte de la dureté des roches, des dimensions de la zone de forage, de la longueur maximale des trous de mines.

La foration se réalise à l'aide de marteaux perforateurs de type (montabret T-21), et prend un temps d'environ 3 heures pour la réalisation d'un trou.

Les marteaux perforateurs fonctionnent à l'air comprimé alimenté par un compresseur. Ces trous forés ont environ 0.8m à 2.4m de longueur selon la nature de l'ouvrage, dont il y'a [1] :

- De 0.8m à 1.2m pour les cheminées de passages et de recherches ;
- De 1.6m à 1.8m pour les galeries et les recoupes.

Après la foration des trous de mine, il vient le choix d'explosif. Ce dernier dépend de la dureté de la roche, du diamètre et de la profondeur des trous. Les charges explosives sont disposées de façon tel que le bouchon soit abattu en premier pour dégager un espace libre pour que les autres opérations de sautage puissent se faire. Le tir ce fait dans la dernière heure du travail en termes de sécurité (pour éviter les gaz, chute des blocs, etc.).

➤ **Caractéristique du marteau perforateur à main T21- Montabert (utilisé)**

- Poids : 21 kg ;
- Consommation à sec : 2700 L/mm ;
- Consommation avec injection –air normal : +300 L/mm ;
- Consommation avec injection d'air à commande indépendante +650 L/mm ;
- Fréquence de frappe : 3000 C/min ;
- Vitesse de rotation : 280 t/min.

La figure ci-dessous schématise les différents composants d'un marteau perforateur.



Figure II.4 : Marteau perforateur [6].

II.4.2.2. Chargement des trous

Une fois les travaux de foration sont terminés et les trous sont bien nettoyer (soufflage). Le chargement de ces derniers se fait, par l'introduction de la matière explosive de type « TEMEX » 30mm, sous forme de cartouches de 250g. À l'aide d'un bourroir en bois, on commence d'abord par la cartouche équipée par un D.E.R (détonateur électrique à retard), puis le reste de la charge. Les trous sont bourrés à l'aide d'argile. Le chargement étant terminés, la connexion des détonateurs est effectuée en série, relié à la ligne de tir qui est reliée à son tour à la source d'explosion (exploseur).

Dans les charges allongées (charge de trou), il est très important de souligner le mode d'amorçage.

En effet, si le détonateur électrique permet d'initier l'explosion d'une charge allongée à partir de sa base ou son sommet, il n'en est pas de même pour le cordeau détonant.

Autrement dit, si la charge est amorcée par le cordeau détonant, l'impulsion est toujours perçue au sommet de la charge. Ainsi l'onde explosive se dirige du haut vers le bas du gradin, alors que dans la plupart des cas d'obtenir l'inverse qui permet de faire réfléchir totalement l'onde de choc, et par conséquent améliorer la qualité de fragmentation désirée, le schéma ci-dessous explique le chargement du trou de mine (Figure II.5) [1].

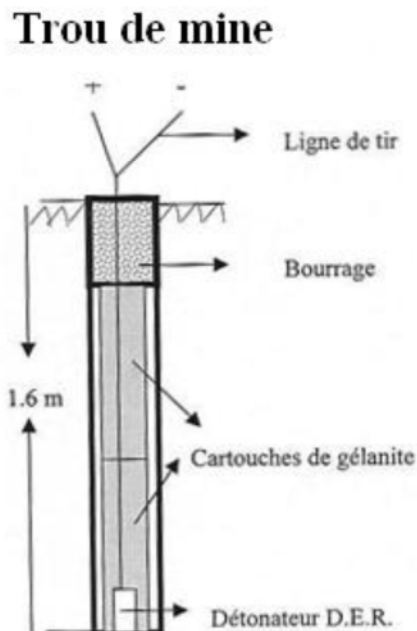


Figure II.5 : Chargement d'un trou de mine [6].

II.4.3.Travaux d'abattages

Les travaux d'abattage et d'extraction consistent à abattre **119 130** tonnes de réserves exploitables préparées pour une durée de 07ans. Cette opération commence tout d'abord par la perforation des trous de mine de longueur qui varie entre 1.6 et 2 m. Le diamètre de ces trous est toujours d'environ 39 mm. Le nombre des trous de mine au niveau du front d'abattage dépend de la méthode d'exploitation d'une part, et de la dureté de la baryte d'une autre part, dont on peut avoir 6 à 9 trous de mine par volé [1].

II.4.3.1.Le Chargement

Le chargement et l'évacuation du minerai (roulage), se font à travers des trémies directement ou à travers des cheminées de passage avant la réalisation des trémies, le minerai tombe directement dans des wagonnets, puis le chargement de minerai dans les wagonnets par une pelle sur rail qui travail par l'air comprimé. Enfin, le locotracteur ramène les wagonnets remplis de minerai vers le jour [1].

II.4.3.2.Transport dans la mine

La mine de BOUCAID, utilise comme machine de chargement une pelle sur rails actionnée à l'air comprimé. Pour cela, des scrapers sont recommandés pour le rapprochement de minerai dans les endroits inaccessibles par la pelle sur rails et dans les abattages des gisements de faibles pendages.

Dans le cas de chambre magasin, le remplissage des wagonnets se fait d'une manière facile, le produit arrive au wagonnet par la gravité de son propre poids à travers les trémies mises en place (Figures II.7 ; 8) [6].

Les figures ci-dessous représentent les machines de chargement utilisées dans la mine.



Figure II.6 : Wagonnet [6].



Figure II.7: Pelle sur rail [6].

L'opération de chargement dure une heure à une demi-heure. Ensuite, des travaux de soutènement sont effectués en cas de nécessité, et enfin, la réalisation des travaux annexes interviennent, tels que la prolongation de rails, de tuyauterie etc.

Le transport du tout-venant se fait par wagonnets (Figure II.6) tirés par un locotracteur. Ensuite, le minerai va être stocké dans des aires de stockage au niveau des quartiers (Figure II.9).

Le chargement et le transport de ce minerai vers l'usine de concassage et traitement se fait à l'aide d'une pelle chargeuse sur pneu et de camions de carrière de 13 tonnes (Figure II.8) sur des pistes d'accès entretenues périodiquement [5].

Le personnel de la mine se déplace vers les différents quartiers au moyen des camions de transport du personnel, et l'encadrement technique, en cas de visite, ils se déplacent au moyen des véhicules tout-terrain. Par contre, Le déplacement des hommes dans le fond se fait à travers les cheminées de passage par les échelles.



Figure II.8: locotracteur avec wagonnets sur rail pour le transport à l'intérieur de la mine, état actuel.



Figure II.9: plate forme de stockage du tout venant dans l'état actuel.



Figure II.8: pelle et camion pour le chargement du tout venant a l'exterieur de la mine[6].

II.5. Travaux auxiliaire

II.5.1. L'aérage de la mine

L'atmosphère de la mine est généralement polluée, surtout après le tir, pour cela, il est important de choisir un système d'aérage. Dans les différents sites de la mine de BOUCAID, il y'a l'aérage naturel par circulation de l'air d'un niveau inférieur à travers les cheminées vers le niveau supérieurs. Et pour le dépoussiérage après le tir, il se fait à l'aide de l'air comprimé [1]

II.5.2. Exhaure

La mine a rencontré le problème de la remonté des eaux souterraines durant l'exploitation du plomb-zinc, ce qui a nécessité l'évacuation de ces eaux et leurs utilisation dans la phase de traitement. Des travaux sur place sont menés pour l'évacué [3].

II.5.3. L'éclairage

L'éclairage à l'intérieur des galeries se fait par les lampes des mineures, comme il figure dans l'image ci-dessous.



Figure II.9: lampes électrique [1].

II.5.4. Energie utilisée dans la mine

L'énergie utilisée dans la mine de BOUCAID est [6] :

- Energie carburant pour les engins de transports (camions, locotracteurs, véhicule) et pour quelques compresseurs, comme le montre la (figure II.5) ;
- Energie électrique pour l'éclairage (le cas du quartier Lakhdar au niveau de roulage), et pour alimenter le compresseur de Sidi Djbar et aussi pour alimenter quelque treuil et scrapers (grand pic et Lakhdar).



Figure II.10: locotracteur électrique [6].

II.6. Travaux supplémentaires

II.6.1. Soutènement

En général, la mine utilise un soutènement systématique qui sert à soutenir les toits et éviter les éboulements possibles et les chutes des blocs. Le soutènement ne se fait que dans les endroits qui présentent des dangers, que ce soit des failles ou bien des zones fissurées ou friables. Puisque le minerai et l'encaissant sont généralement durs et stables (calcaire). Ces dangers rencontrés sont renforcés par des étais en bois (boisage d'eucalyptus) [1].

Le soutènement dépend de la stabilité du toit et des parois (Figure II.6 et II.7)



Figure II.11 : Soutènement dans le gisement Lakhdar [1].

Figure II.12: Soutènement dans le gisement AMMAL (niveau 1205) [1].

II.6.2. Travaux d'arpentage

Des travaux de topographie sont réalisés systématiquement pour le suivi de l'évolution des travaux de l'exploit de la mise à jour de leur plan (plan de chantier d'exploitation souterraine). Ces jusqu'à l'exploitation complète de minerai, es topographes travaillent, en général, dans le fond, par la théodolite, pour déterminer les altitudes et les distances pour faire la mise a jour de leurs plan topographiques.

II.6.3. Pression de terrains

Les manifestations de pression de terrains varient selon les facteurs géologiques (propriétés physico mécanique des roches, conditions du gisement et présence d'eau dans ces derniers), les dimensions de l'ouvrage, le mode et la qualité de son exécution.

A cet effet les terrains encaissants du gisement barytique sont des calcaires du Jurassique très compétents et stable [6].

II.6.4. Sécurité des travaux

La plus part des accidents dans les travaux miniers sont liées à [1] :

- L'explosif ;
- Chute des blocs et des objets ;
- Les glissades et chute des personnes ;
- Les heurts ;
- L'électrocution ;
- Les brûlures ;
- L'incendie.

Pour limiter ces accidents et assurer la sécurité des travailleurs, il est nécessaire d'exiger des précautions, qui peuvent se résumer comme suit [5]:

- Les ouvriers doivent porter obligatoirement des masques respiratoires anti-poussière, les casques, et les lunettes dans certains cas même le contrôle périodique des chantiers par le chef de poste et la surveillance périodique des mineures est obligatoire ;
- Des visites fréquentes par les responsables techniques et l'évaluation des lieux de travail ;
- Toutes zones d'éboulement affleurent au jour doivent être barrées ;
- Aménagement de piste de passage entre les niveaux ;
- Utilisation des ceintures de sécurités dans les travaux d'avancement dans les cheminées ;
- Mise en service des ambulances au niveau de chaque quartier, et des boites pharmacies au niveau de chaque chantier ;
- Des visites médicales et suivies des dossiers médicaux.

II.7. Matériel utilisé dans la mine de BOUCAID

Le tableau ci-dessous représente les différentes machines utilisées dans la mine ainsi que leurs caractéristiques techniques.

Tableau II.1 : Présentation du matériel de la mine [13].

DESIGNATION	MARQUE	ANNEE	CAPACITE NOMINALE	ETAT
Loco tracteur	ZITRON	2004	24 Cv	Mauvais
Pelle sur rail	EMICO	1982	//	Moyen
Pelle sur rail	EMICO	1966	//	Moyen
Compresseur n°1	INGRSOL-ROND	2002	34 m ³	Moyen
Compresseur n°2	ATLS-COPCO	2004	34 m ³	Mauvais
Marteaux perforateurs	MontabertT21	1985	0,20m/min	Mauvais
Camion tout venant	NISSAN	2003	24 T	Mauvais
Pelle chargeuse	ENMTP 2320	1996/2002	2.2m	Mauvais
Camion de transport Personnel	SNVI K66	2002	30 places	Mauvais

II.8. Conclusion

Les caractéristiques du gisement de BOUCAID, imposent l'utilisation de différentes méthodes d'exploitation (chambre et pilier ; chambre magasin et sous niveaux abattu).

L'extraction du minerai, nécessite des travaux de perforation, chargement des trous de mine et d'abattage. La tâche d'évacuation de ce dernier, ce fait par le bai du chargement et de transport mise en place.

La préservation de la sécurité du personnel au sein de la mine est primordiale pour le bon fonctionnement des différentes opérations d'exploitation.

Chapitre III : Conception d'un plan de tir

III.1. Introduction

La conception d'un plan de tir en souterrain, correspond à la définition de la géométrie de forage et le chargement des trous de mine [14]. Fondamentalement, elle consiste à assurer :

- Le fonctionnement normal des charges pour leur offrir une surface libre et un volume de dégagement adaptés ;
- L'adaptation de l'explosif au massif afin d'optimiser l'énergie transmise dans ce milieu connexe ;

III. 2. Conception d'un plan de tir

La conception d'un plan de tir prend en considération les résultats des essais préliminaires et une reconnaissance géologique du terrain.

Pour l'élaboration d'un plan de tir, il est certains qu'une bonne connaissance des explosifs et accessoire de mine, ainsi que l'expérience acquise dans les chantiers sont d'une grande utilité pour obtenir et atteindre un résultat désirés.

En plus des données relatives au type d'explosifs et à la densité de chargement, le plan de tir comportera des indications sur la disposition et l'espacement des trous de mine, leur profondeur, leur diamètre et la relation entre l'épaisseur à abattre, le diamètre et les espacements de trous [15].

Sur un plan de tir souterrain il doit figurer [16] :

- La localisation : lieu, nom du chantier, localisation, date et heure du tir ;
- La géométrie du tir : l'emplacement des mines, le diamètre du trou, la disposition des trous de mine, la maille, la profondeur de la volée, le diamètre de foration ;
- Le chargement du tir : le type de chargement par mine, la quantité et la nature de l'explosif, la quantité et la qualité des bourrages, le type de bouchon ;
- La consommation spécifique de l'explosif ;
- La nature et la disposition d'amorçage;

Pour la réalisation d'un plan de tir, il est indispensable de tenir compte du bon déroulement de certains facteurs :

III.2.1.Perforation des trous de mine

La perforation des trous de mine représente une phase très importante dans tous les travaux de minage. En effet, une bonne exécution de ces forages permet à l'explosif d'accomplir le travail attendu. Dans le tableau suivant sont indiqués les différents appareils de forage des trous de mine [15].

Tableau III.1 : les différents appareils pour la perforation des trous de mine [15]

Type outillage de forage	Diamètre du trou (mm)	Profondeur du trou (m)	Utilisation
Marteau pneumatique	25-50	6	Mines de sel et de charbon
Perforatrice sur wagonnet ou chenille	40-100	9-12	Carrières et travaux à ciel ouvert
Foreuse à câble, Foreuse à trépan	150-250	Toutes les profondeurs	Dans toutes les formations rocheuses
Perforatrice rotative	150-250	30	Roches tendres et roches de dureté moyenne
Perforatrice percutante	120 et plus grand	25	Travaux de construction et de carrières
Sondeuse rotative à grenaille ou à diamant	90-120	Toute profondeur	Grandes carrières et abattage en masse

III.2.2 Les explosifs

L'excavation des matériaux peut se faire soit à l'aide d'engins mécaniques puissants, soit grâce à l'utilisation d'explosif qui dépendent de la dureté et la cohésion des terrains [16]. La technique de l'excavation à l'explosif est très ancienne mais reste encore, dans de nombreuses situations, la plus économique. La poudre noire (salpêtre + charbon + soufre) fut longtemps utilisée, avant que n'apparaissent des produits plus performants, tels la dynamite ou les émulsions, qui sont deux fois plus dangereux.

En souterrain on utilise des explosifs brisants (vitesse de détonation > 4000 m/s) dont l'effet sur la roche est double [17] :

- L'énergie de choc véhiculée par une onde fissure le terrain ;
- L'énergie de gaz, engendrée par le dégagement d'un important volume de gaz à haute température et pression, ouvre ces fissures et disloque le matériau. Le "surplus" de cette énergie expulse les blocs disloqués ;

III.2.2.1 Définition de l'explosif

L'explosif est une matière industrielle inerte qui, sous l'action d'un choc, du feu, ou des deux combinés, se transforme dans un temps très court en un grand volume de gaz qui peut atteindre 50 000 à 100 000 atmosphères [18].

III.2.2.2 catégorie de l'explosif

La puissance d'un explosif est proportionnelle à la vitesse à laquelle cette décomposition se produit. Cette vitesse peut se mesurer en laboratoire et elle permet de classer les explosifs en deux (02) grandes catégories :

a. Les explosifs déflagrants

La combustion thermique, avec un rôle majeur, se propage par conduction thermique dans le matériau. La réaction chimique de décomposition est plus lente que le transfert thermique. Se décomposant à une vitesse de l'ordre de 400m /s et dont le plus connu est la poudre noire.

Leur usage étant interdit dans le bâtiment et les travaux publics, leur étude ne sera pas abordée dans cette brochure [19].

b. Les explosifs détonants

La décomposition explosive se propage à la fois avec l'onde de choc et par la réaction de combustion, les explosifs puissants ont une vitesse de décomposition supérieure à 2000m/s [19].

Dans ce type d'explosif on peut citer : les dynamites, les explosifs nitrates, les nitrates fiouls, les gels et les bouillies.

III.2.2.3.Principe d'action

Deux phénomènes se produisent lorsqu'un explosif détone dans un trou de mine obturé par un bourrage : la fissuration de la roche provoquée par l'onde de choc et la poussée des gaz qui la disloque.

Cette pression des gaz peut atteindre 50000 à 100000 atmosphères [19].

La détonation d'un explosif produit un très grand volume de gaz à haute pression, si la décomposition de la substance explosive se fait en plain air, les gaz qui vont être dégagés ne fournissent aucun travail utile, contrairement à un trou chargé qui est suffisamment bourré.

III.2.2.4.Les caractéristiques de l'explosif

Avant de fixer son choix sur un explosif, il est indispensable de savoir lequel s'approprie le mieux à une roche donnée.

Il est donc utile de connaître les quatre principales caractéristiques qui différencient les explosifs entre eux [20].

a. Puissance ou brisance

C'est la quantité d'énergie développée au moment où il détone.

Elle est déterminée par des essais en laboratoire et s'appelle aussi coefficient d'utilisation pratique (CUP) [20].

b. Densité

Elle varie de 0.6 à 1.5 c'est-à-dire que les cartouches d'explosif de même volume, mais de catégories différentes, n'ont pas le même poids. La diversité des cartouches permet donc des densités de chargement variables. C'est ainsi que pour l'extraction de matériaux tendres ou friables, il est préférable d'utiliser des explosifs à faible densité. Au contraire, dans les roches dures qu'il faut fragmenter au maximum, il est recommandé d'employer des explosifs à haute densité [20].

Dans certains cas des grands abattages, comme par exemple en carrière, le diamètre des trous de forage conditionne le choix de l'explosif. Les trous de grands diamètres peuvent être chargés avantageusement par un explosif à haute densité en fond de trou et un explosif à faible densité dans la partie supérieure.

Pour des trous de faibles diamètres, par contre, les explosifs plus denses sont préférables.

c. Vitesse de détonation

Il est important de la connaître car elle est déterminée pour l'effet de brisance sur le matériau (une vitesse élevée correspond à une haute brisance) [20].

Lorsque nous voulons obtenir une bonne fragmentation, il faut un explosif rapide. C'est la nature de la roche et sa structure qui détermineront souvent s'il faut utiliser un explosif à haute ou faible vitesse de détonation, lesquelles varient entre 1200 et 5500 (m/sec).

d. Volume de gaz

Il s'agit de la quantité de gaz exprimée en litres à 0°C, dégagée par un kilogramme d'explosif.

Dans les roches fissurées, ils auront l'avantage d'utiliser un explosif dégageant beaucoup de gaz [20].

III.2.2.5.Choix de l'explosif

L'explosif sera choisi essentiellement en fonction :

- Du massif rocheux : Si le massif est pré fracturé en place, un explosif qui exerce surtout un effet de poussé est privilégié (quantifié par son énergie des gaz et par son volume des gaz).
- Des objectifs technico-économiques et autres engins de l'exploitation même si le coût de l'explosif est relativement faible dans le coût de l'exploitation.

Par ailleurs, les objectifs de fragmentation et de foisonnement interviennent dans le choix de l'explosif [21].

III.2.2.6.Les produits explosifs fabriqués en Algérie par l'ONEX :

L'ONEX (Office National Des Substances Explosives) participe à l'expansion de l'économie nationale en matière de fabrication d'explosifs, une large gamme d'explosifs et d'accessoires est rencontrée [22] :

- **Explosifs GELATINEUX**
 - GEONIT : La GEONIT est parfaitement adaptée aux roches dures en milieu humide. Elle est très utilisée dans l'industrie pétrolière (sismique, off-shore jusqu'à 1000 m de profondeur) ;
 - GELANIT 1 ; 2 ; 3 : Utilisée dans des terrains à roches dures à semi-dures, pour des travaux d'abattage à ciel ouvert (carrières) ou en souterrain (galeries) ;

➤ **Explosifs pulvérulents sensibilisés par NGL**

- CARRINIT : Utilisé pour la destruction de roches dures à semi- dures, Il est parfaitement adapté dans les carrières où il est très utilisé ainsi que dans les travaux agricoles et forestiers (figure III.2) ;
- MARMANIT 4 : Usages (carrières, agriculture, travaux forestiers) ;

➤ **Explosifs pulvérulents sans NGL**

- MARMANIT 1 ; 2 ; 3 : Utilisés dans les régions sèches .Il sont adaptés aux terrains à roches tendres ou de dureté moyenne ;
- MILANIT : Cet explosif convient en terrains à roches tendres ;
- N18 : Particulièrement adapté au traitement des roches tendres, le N 18 ne convient qu'en milieu sec ou très utilisé dans la recherche sismique (Figure III.3)

➤ **Explosifs ANFO**

- ANFOMIL : Cet explosif est particulièrement recommandé en milieu sec pour des terrains à roches tendres et des travaux à ciel ouvert ;
- ANFO AMELIOREE : Cet explosif est particulièrement recommandé en milieu sec pour des terrains à roches tendres et des travaux à ciel ouvert (Figure III.4) ;

III.2.3 Amorçage

Pour provoquer la décomposition d'un explosif il est nécessaire de lui apporter un minimum d'énergie dite énergie d'activation. Il existe plusieurs manières d'apporter cette énergie, chacune d'elle se traduit par un phénomène de transfert thermique rapide qui a pour origine des chocs, des frottements des étincelles, des inflammations, une onde de choc etc.

III.2.3.1.Artifice de mise à feu et amorçage

Les accessoires du tir sont fondamentaux dans la réussite d'un tir. Il est nécessaire là aussi de les résumer et de les compléter [23].

a. Détonateur

Pour l'amorçage des charges explosif, deux sortes de détonateurs sont généralement utilisés :

- **Détonateur Pyrotechnique** : se compose de deux familles, les plus utilisés sont ;
 - Les détonateurs « moyenne intensité » qui explosent lorsqu'ils sont traversés par un courant d'une intensité de 1 ampère ;
 - Les détonateurs « haute intensité » qui explosent lorsqu'ils sont traversés par un courant d'une intensité au moins égale à 7 ampères

- **Détonateur électrique**

Pour l'amorçage de charges explosives, ces détonateurs peuvent être classés au vu de leur sensibilité à l'électricité selon trois catégories :

- **Détonateur instantané**

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

- **Détonateur sismique(D.E.S)**

L'ONEX produit pour la recherche géophysique des détonateurs instantanés dits sismiques spécialement adaptés pour les tirs de sondage (régularité d'allumage, étanchéité, bonne protection) [23].

- **Détonateur à retard**

- ✓ **Détonateurs à retard demi-seconde « DER »**

L'emploi des détonateurs à retard de demi-seconde (DER), l'amorçage de la charge explosive se fait après la combustion de la composition retardatrice. Les temps de retard varient de 0,5 seconde pour le n°1 jusqu'à 6 secondes pour le n°12; il existe 12 numéros de retard [18].

- ✓ **Détonateur Microretard « DMR »**

Ces détonateurs diffèrent des détonateurs à retard par les temps de retard beaucoup plus court de l'ordre de 20 ms.

L'ONEX fabrique des détonateurs à microretard avec 12 degrés de retard. La durée du retard en ms varie entre 0 à 240 ms [18].

b. Les cordons détonants

Il est constitué par une âme de Nitropenta en poudre (explosif très brisant), enrobée de textile et imperméabilisée par une matière plastique. Sa vitesse de détonation est de 7000 m/sec. sa mise à feu se fait soit par un détonateur soit par une amorce électrique.

Les avantages du cordon détonant sont multiples :

- Amorçage de n'importe quel explosif placé à son contact ;
- Mise en détonation simultanée de plusieurs charges explosives ;
- Augmentation de la brisance de l'explosif qu'il amorce, de l'accroissement de la vitesse de détonation qu'il provoque ;
- Utilisation sous l'eau car son enveloppe est bien étanche.

Ces cordons détonant peuvent avoir deux usages :

- **Charge explosive**

La charge explosive est utilisée dans certains cas de travaux, par exemple :

- Exploration sismique ;
- Destruction d'ouvrage ;
- Construction des tunnels, etc.

➤ **Transmission de détonation**

Dans le cas de tir de plusieurs charges simultanées, le cordeau est utilisé comme transmetteur de la détonation à toutes les charges.

c. les exploseurs

Sont des appareils conçus pour alimenter électriquement les circuits de tir. Ils sont, aujourd'hui tous à condensateur. Et sont des générateurs de courant continu qui donnent un temps très court une tension et une intensité suffisantes pour faire détoner un nombre d'amorces déterminé [23].

La puissance des explosifs est indiquée sur une plaquette fixée sur l'appareil.

Il existe deux systèmes d'exploseurs [18]

- Les exploseurs à condensateur ;
- Les exploseurs à dynamo.

III.2.3.2.Choix de mode d'amorçage

Il existe deux modes d'amorçage :

a. L'amorçage ponctuel

L'amorçage ponctuel utilisant un détonateur électrique et permet d'obtenir le meilleur rendement de chaque explosif. et avec un seul détonateur placé sur la première cartouche mise en place, la détonation est propagée du bas vers le haut par l'explosif [24].

L'amorçage ponctuel postérieur s'est révélé plus intéressant et plus avantageux que L'amorçage ponctuel antérieur, comme le montre la figure III.5 ci-dessous.

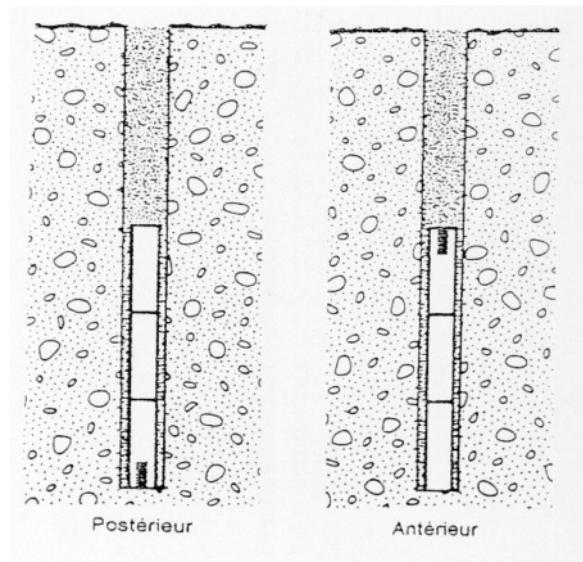


Figure III.1: Amorçage ponctuel (Postérieur et Antérieur) [24].

b. L'amorçage latéral

L'amorçage latéral est réalisé par détonation d'un cordeau détonant.

Ce cordeau détonant est caractérisé par sa densité de penthrite, exprimé en g/m (3.5 à 70 g/m) et par sa vitesse de détonation (6000 à 7000 m/s) [11]. (Figure III.6) :

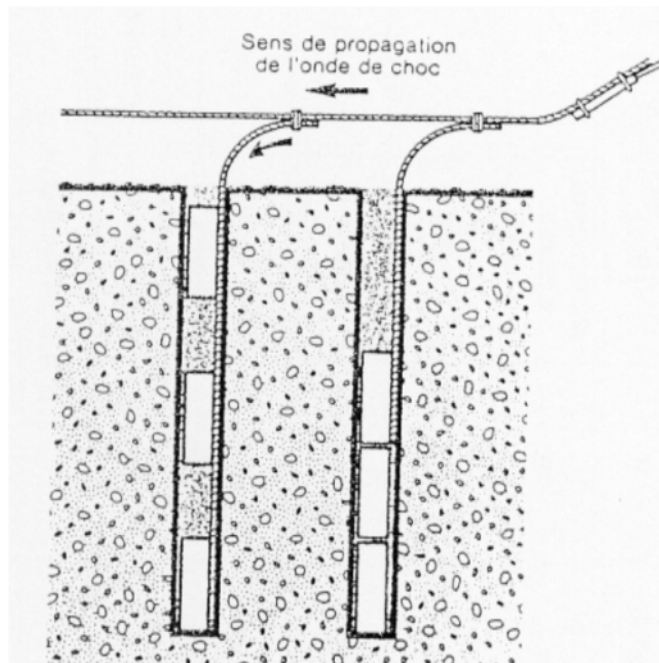


Figure III.2 : Amorçage latéral [24].

➤ Efficacités du type d'amorçage

L'onde de choc se propage perpendiculairement à l'axe du trou de mine. La distance de parcours de l'onde dans l'explosif est faible, aussi le plus souvent, la détonation n'atteint pas son régime stable. Cette diminution du rendement de l'explosif est confirmée par les mesures.

L'onde de choc remontant vers le bourrage est faible, ce qui signifie que la fragmentation y est a priori est insuffisant [24].

On peut attendre de l'amorçage latéral :

- un rendement parfois plus faible de l'explosif ;
- une fragmentation moins poussée du massif ;
- des projections éventuelles ;
- un déplacement du pied insuffisant ;
- des blocs au niveau du bourrage ;

Pour ce qui concerne l'amorçage ponctuel en fond du trou, qui se propage dans le massif (individuellement, ce sont des ondes sphériques) remonte vers le bourrage et se réfléchit, les gaz confinés en pied favorisent un bon déplacement de celui-ci.

Dans le cas de l'amorçage ponctuel au pied, l'onde qui descend dans le massif sous-jacent est faible, alors que celle qui remonte dans la zone de bourrage et qui se réfléchit à la surface est puissante. De plus, les gaz formés d'abord au pied sont mieux confinés, ainsi le pied est-il bien dégagé. Le bourrage est soumis à une pression des gaz moins importante et plus tardive, d'où les résultats suivants sont observés:

- bon déplacement du pied ;
- bonne fragmentation générale et plus particulièrement dans la zone du bourrage ;
- diminution des projections ;
- protection du massif sous-jacent.

III.2.4.Chargement de trou de mine

Une fois les travaux de foration sont terminés et les trous sont bien nettoyés (soufflages), le chargement se fait par l'introduction de la matière explosive, à l'aide d'un bourroir commençant par la charge amorcée, puis la charge principale.

L'amorçage des charges explosives est effectué par des détonateurs, par la suite intervient le bourrage des trous. Ainsi le chargement étant terminé une connexion entre les détonateurs est effectuée, reliés à la ligne de tir qui est reliés à son tour à la source d'explosion

(Exploseur). Le schéma ci-dessous montre le l'enchainement des charges dans le trou (figure III.7).

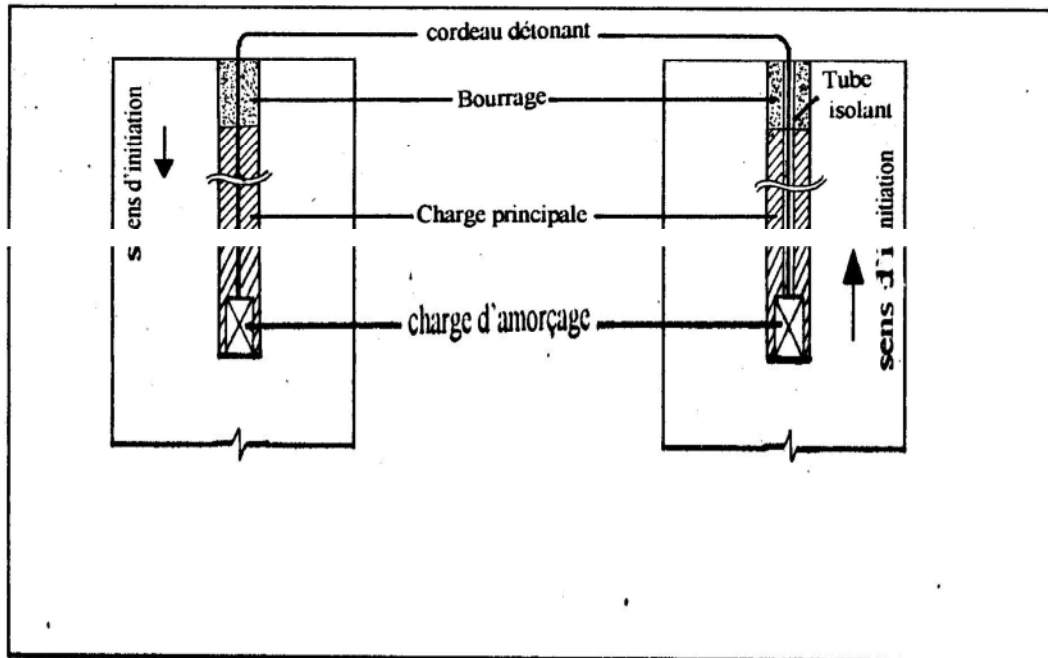


Figure III.3 : Sens d'initiation d'une charge explosive [26].

III.2.5. Bourrage

Le bourrage est obligatoire dans les travaux souterrains à risque de grisou ou de poussières inflammables.

Le bourrage minimal ne doit pas être inférieur à 12 cm. Il est constitué de matériaux adaptés remplissant la totalité du trou (bourres de papier, bourres d'argile) ou par un dispositif spécial agréée et adapté à cet usage.

Le tir sans bourrage est autorisé sous certaines conditions dans les mines et carrières souterraines par l'arrêté du 11 décembre 1992 fixant les conditions du tir sans bourrage dans les travaux autres que les travaux souterrains à risque de grisou ou de poussières inflammables [15].

À savoir :

- La distance entre l'orifice du trou de mine et la partie antérieure de la charge doit être au moins de 20 cm, pour des mines inférieures à 60 cm et de 1/3 de la longueur du trou si elle est comprise entre 60 cm et 1.5m et de 50 cm pour des mines supérieures à 1.50m ;

- La charge amorcé doit être placé du coté du fond du trou de mine ;

III.2.6.Type de connexion

III.2.6.1.Connexion en série

La liaison en série est le branchement le plus simple, il consiste à relier la tige d'une amorce à une autre, la deuxième à celle d'une troisième et ainsi de suite jusqu'à épuisement de la totalité des amorces de la série. Les deux tiges libres (la première et la dernière) seront reliées à la ligne de tir allant vers l'exploseur ou une autre source d'électricité. Les circuits en séries sont constitués d'un groupe d'amorces raccordées l'une à l'autre formant ainsi un seul passage [15].

L'expérience a démontré qu'il est mieux de limiter le nombre d'amorces par série à 50 amorces et dans certains cas particuliers à 30 amorces.

III.2.6.2.Connexion en Parallèle

Ce mode de branchement convient le mieux dans le cas d'une grande volée s'étendant sur une grande distance. Dans ce circuit, la tige de chaque amorce est reliées à un coté du circuit et l'autre coté du circuit [15].

Chaque amorce par conséquent offre un parcours séparé pour le courant. Pour estimer la résistance totale des détonateurs connectés en parallèle, il faut diviser la valeur de la résistance d'un seul détonateur par le nombre total de détonateurs accouplés.

III.3. Classification des paramètres de tir

La classification des variables et des paramètres de tir ce fait selon :

- Facteurs contrôlables ;
- Facteurs non contrôlables.

Ces facteurs sont représentés dans le tableau ci-dessous

Tableau III.3 : Les paramètres de tir [14].

Paramètre contrôlable	Paramètre incontrôlables ou difficilement Contrôlables
Paramètres géométriques Type d'ouvrage Section Nombre de trou de mine Longueur de trou de mine Diamètres du trou longueur de foration quantité d'explosif dans trou de mine quantité total d'explosif dans un tir volume de la roche abattue dans un tir consommation spécifique d'explosif	Paramètres du massif en place Géologie Résistance et propriétés de matériaux discontinuité préexistantes dans massif
Paramètres liés à l'énergie explosive type d'explosif utilisé énergie (choc, gaz) configuration de chargement méthode de chargement type d'amorçage séquence d'initiation	Autre Temps

III.4. Méthodes de conception d'un plan de tir

Plusieurs méthodes sont utilisées pour déterminer les schémas de tir [20] :

- La méthode SUEDOISE ;
- La méthode LANGEFORS ;
- Les règles simples empiriques ;
- Les méthodes de conception et calcul à l'ordinateur.

III.4.1.Méthode suédoise

La méthode suédoise est une méthode empirique, basée sur le découpage du Bouchon de la galerie ou de cheminée soit en quatre sections si la surface est supérieure à 10m^2 , ou a deux sections si la surface est inférieure à 10m^2 . conçue essentiellement pour les travaux d'ouvrages à une seule surface libre.

Cette méthode vient compléter le model de LANGEFORS et de Kihlstrom (1963), dont Holmberg publie le model complémentaire en (1982), adapté après par Persson et al (2001) [26].

III.4.1.1.Division d'une section de Galerie par la méthode suédoise

a. Trou de bouchon

Ce sont les trous les plus proches du centre du front, leurs nombres varient entre (3 et 6), y compris le trou central. Au centre du front de taille le « bouchon » est abattu en premier, le maillage des trous est plus rapproché et certains sont vides d'explosifs et cela pour un meilleur dégagement de roche [15].

Les différents types de bouchon :

- Bouchon pyramidale : le bouchon pyramidal consiste à réaliser des trous de mine convergents et déposés au centre du front, allant jusqu'au bout pour se rejoindre dans un point ;
- Bouchon Canadien ou Bouchon parallèle : Il peut être réalisé avec plusieurs variantes, dont toutes reposent sur le principe de pulvériser la roche sur un rayon de 20 à 30 cm, de l'axe de bouchon par le forage de trous de mines parallèles entre eux et perpendiculaire à l'axe de front de taille.

Parmi les Bouchon Canadien les plus connus, la reproduction comprend un trou central d'un diamètre 2 à 3 fois plus gros que les autres, mais qui n'est pas chargé [15].

- Bouchon Américain : Les trous non chargés dans le bouchon Canadien sont remplacés par de gros trous (diamètre 200mm), forés avec une puissante perforatrice, il existe :
 - Bouchon Américain avec deux trous centraux non chargés ;
 - Bouchon Américain avec un seul trou non chargé ;
- Bouchon en éventail : dans le Bouchon en éventail, les trous de mine sont rapprochés à leurs orifices et très écartés au fond, ils peuvent être soit :
 - Verticaux : Dans ce cas, les trous de mine rayonnent d'un même point dans un plan vertical, ils doivent être dégagés vers un front de taille verticale ;

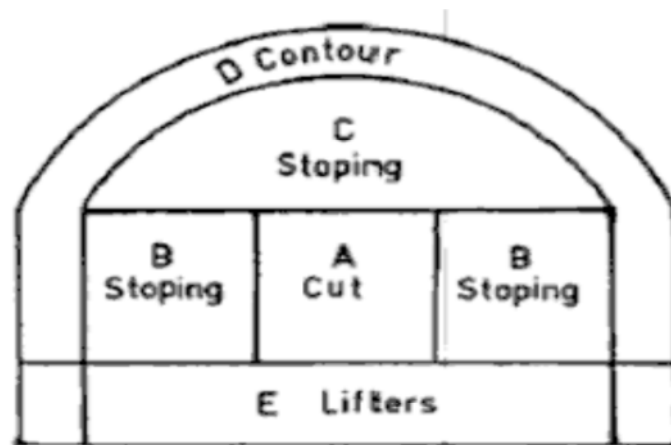
- **Horizontaux** : Ou les trous de mine rayonnent d'un même point dans plan horizontal, ils doivent se dégager vers un front de taille horizontal.

Les bouchons en éventails nécessitent des travaux de forages très délicats et de faible diamètre.

La consommation d'explosifs pour ce type de bouchon est très réduite.

- Trou d'abattage** : Entre 4 et 8 trous, ces trous suivent et entourent les trous de bouchon, leur amorçage vient juste après l'amorçage des trous de bouchon ;
- Trou de contour** : Ce sont des trous qui sont forés au périphérique du front, ce sont les derniers à être amorcés. ils sont de 12 à 15.

La figure ci-dessous représente les différentes sections dans le tunnel/galerie.



Different tunnel sections

Figure III.4: Différentes section de galerie [27].

III.4.1.2. Le découpage de la section de Bouchon par la méthode Suédoise

Le découpage par la méthode suédoise dépend principalement de la section de l'ouvrage.

- Si la surface de l'ouvrage est supérieure à 10m^2 , le Bouchon va être divisé en quatre (04) sections.

Le schéma suivant, montre le découpage du bouchon en quatre (04) sections

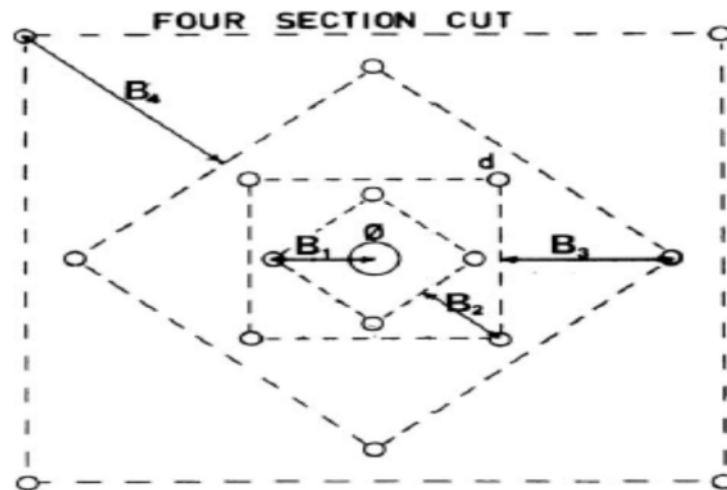


Figure III. 5: Bouchon a quatre (04) sections [27].

- Si la surface est inférieure à 10m^2 , le bouchon sera divisé en deux (02), comme il figure dans le schéma ci-dessous.

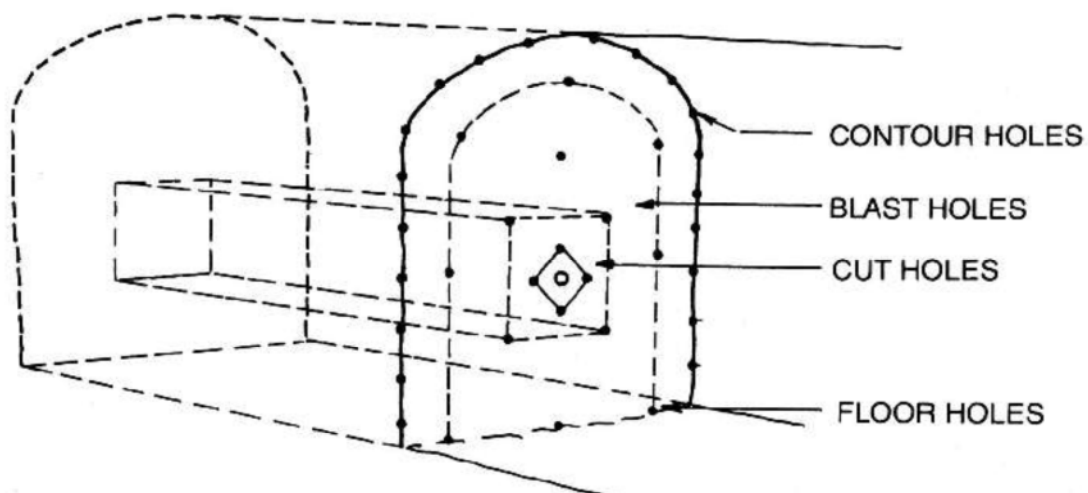


Figure III.6 : Plan représentatif d'une galerie de deux sections [28].

III.4.2.Méthode de Langefors (tir de production)

Le principe retenu par LANGEFORS est que tous les explosifs constituant la charge linéaire participent au dégagement du pied. L'énergie totale de la charge explosive est donc utilisée principalement pour dégager la zone la plus bloquée, en l'occurrence le pied du gradin.

Si le pied est bloqué de façon importante par le tas, la part de l'énergie augmente notablement.

La problématique se résume à déterminer la largeur de banquette maximale permettant un dégagement du pied et de la colonne correct.

Les dimensions géométriques réelles du tir en pied sont donc primordiales pour la qualité du résultat.

La charge spécifique dépend du rayon de travail de la charge souhaité, du coefficient de fermeté du matériau à arracher (selon LANGEFORS $C = 0.4$), des conditions de bourrage, de la nature de l'explosif utilisé et de la granulométrie souhaitée [21].

Pratiquement, certaines conditions techniques sont imposées :

- La hauteur du front de tir ;
- Le diamètre de forage, qui dépend du matériel de forage utilisé, de la hauteur à forer et de la nature de la roche ;
- La nature du massif (résistance du massif à arracher) ;
- La nature de l'explosif et donc sa densité et son énergie.

De nombreux auteurs ont donné des formules empiriques faisant entrer en jeu ces paramètres. Les conditions d'utilisation de ces formules sont importantes et il est toujours judicieux de s'assurer par un tir d'essai que les critères du tir réel correspondent bien aux hypothèses mathématiques des formules théoriques utilisées.

On retient le plus couramment au niveau mondial la formule de LANGEFORS, que l'on fait évoluer en fonction des résultats du tir.

La valeur de la charge spécifique dépend de la résistance au tirage de la roche en place, il est de l'intérêt de l'exploitant de définir correctement son plan de tir en optimisant [24]:

- La maille de tir (espacement des trous et des rangées de trous, nombre de rangées, diamètre ;
- Profondeur et inclinaison des trous;
- Les charges d'abattage (nature et quantité des explosifs);
- Les procédés et les séquences d'amorçage

Elle s'écrit par :

A. La Banquette maximal (la ligne de moindre résistance)

Le terme de banquette maximale est donné, à la distance entre le trou et la surface libre du gradin ou la distance entre deux rangés consécutives [8].

$$W_{\max} = D/33 \sqrt{\frac{\rho \cdot S_p}{C \cdot f \cdot (E/B)}}$$

D : diamètre du trou de mine (mm)

S_p : Puissance de la charge de fond de l'explosif

La puissance de l'explosif désigne son énergie propre utilisable à un travail déterminé.

Cet indice d'énergie est défini à partir de la chaleur d'explosion Q et du volume de gaz V dégagé par unité de masse. Il est déterminé par la formule de Langefors suivante :

$$S_p = 1/6 * [(5 * Q_t / Q_{t0}) + (V_g / V_{g0})]$$

Q_t : quantité de chaleur dégagée par un kilogramme l'explosif ;

V_g : volume de gaz dégagé par un kilogramme l'explosif ;

Q_t et V_g : sont les valeurs correspondantes à celle de la dynamite Marmanit II (utilisé

Comme charge de pied)

Q_{t0} et V_{g0} : sont les valeurs correspondantes à celle de la dynamite de référence « Gélanit II »

$Q_{t0} = 4807 \text{ kJ/kg}$

$V_{g0} = 808 \text{ L/kg}$ (dans les conditions normales 'C.N.T.P')

C : Résistance au tirage : quantité d'explosif nécessaire pour l'abattage de 1 m^3 de roche, (pour les calcaire, $c = 0.4 \text{ kg/m}^3$)

\bar{C} : Correction de la résistance au tirage de la roche, pour une roche très jointée :

$$\bar{C} = C + 0.05 [\text{kg/m}^3]$$

F : facteur de contrainte dépendant de l'inclinaison du trou de mine (β) [21].

Tableau III.3. Facteur de contrainte de l'inclinaison de trou de mine.

L'angle β (°)	0	10	20	30
F	1	0.95	0.90	0.85

E/B : le rapport de la maille

Le rapport de la maille dépend essentiellement des objectifs poursuivis :

- Pour une bonne fragmentation, le rapport doit être aussi possible, entre 1,2 et 1,5 ;
- Pour un bon profil de front, le rapport est souvent voisin de 1 ;
- Pour la production d'enrochement, il est recommandé de le réduire à une valeur inférieure à 1 ;

ρ : La masse volumique de la charge explosive du pied ;

III.4.3.Règles simple empiriques

Le respect de la consommation spécifique d'explosif estimée satisfaisante pour le massif et l'objectif économique, est probablement encore la méthode la plus utilisée. Ce facteur s'exprime généralement en grammes d'explosifs utilisé pour « abattre » une tonne de roche [20].

Pour mieux prendre en compte les données particulières du chantier, les utilisateurs tendent à moduler le facteur de consommation ou d'énergie spécifique à l'aide des règles simple généralement qualitatifs et parfois d'abaques :

- pour les fronts de hauteur inférieure à deux fois la banquette, il est souvent nécessaire d'augmenter la consommation ou l'énergie spécifique d'explosif ;
- Pour assurer « l'arrachement des pieds », la charge spécifique au pied doit être beaucoup plus élevée que la charge en colonne ;
- La consommation spécifique augmente généralement lorsque la fragmentation obtenue diminue en particulier la taille moyenne des blocs ;
- Pour une même consommation ou énergie spécifique la taille moyenne des fragments de roches abattus augmente lorsque le diamètre de foration (donc la maille) augmente ;
- Pour une même structure du massif, la consommation spécifique en fonction de la résistance de la matrice rocheuse, plus précisément en fonction de la résistance à la traction de la roche qui est l'un des facteurs les plus déterminants.

III.4.4.Les Méthodes de conception et de calcul à l'ordinateur

La présentation faite dans l'analyse détaillée de conception d'un tir est lourde et conduit généralement à de très nombreuses combinaisons techniques, donc il faut ensuite analyser l'estimation économique.

Les règles de calcul présentées sont parfois simplistes et s'appliquent à des cas bien tranchés, elles ne peuvent pas prendre en compte des phénomènes d'évolutions qui sont continus. De plus elles ne sont pas en mesure de respecter les objectifs de granulométrie ou de foisonnement, par conséquent, prédire les résultats et respecter les contraintes d'environnement.

Les concepteurs de tirs ont été amenés à utiliser l'ordinateur et à se faire assister par des logiciels de tirs [20].

Dans ce domaine, il y aurait lieu de distinguer :

- Logiciel simple de calcul gendé sur les règles précédentes (LANGEFORS par exemple) utilisable en fait avec des ordinateurs ou calculateurs de poche ;
- Les programmes complets qui répondent à toutes les réflexions présentés et que reposent sur des bases nouvelles .Ces programmes sont utilisable sur micro ordinateur, type PC de bureau ou portatif ;
- Les programmes scientifiques qui s'appuient sur toutes les théories de la physique de l'abattage, la mécanique de roche est la détonique. Ce sont les logiciels « Blaspas » et « Sabrex » d'origine américaine et anglo-canadienne.

III.5. Conclusion

Pour conclure, la conception d'un plan de tir exige une connaissance approfondie sur les caractéristiques principales d'explosifs, techniques d'amorçages et accessoires de tir, ainsi les différentes opérations de perforation, remplissage et bourrage des trous de mine sont donc essentiels, pour pouvoir choisir une méthode de calcul (Langefors, suédoise, empirique) adéquate a ces résultats, de cette façon le schéma de tir peut être fait.

Chapitre VI : Processus d'exploitation du gisement AMMAL

VI.1. Introduction

Le calcul ou plutôt la justification des ouvrages souterrains est une science relativement récente, c'est le savoir-faire de l'ingénieur qui prévaut. Les méthodes de calculs choisis pour la conception d'un plan de tir adéquat a un gisement donné, dépendent des caractéristiques techniques de ce dernier.

D'après les caractéristiques du gisement AMMAL, nous avons opté pour travailler avec la méthode suédoise pour le dimensionnement des différents ouvrages d'ouverture Galerie et Cheminée. Ainsi nous avons utilisé la méthode LANGEFORS concernant les tirs de production qui ont déjà été expliqué dans le chapitre précédent, dans le but d'améliorer la production de la mine tout en tenant compte du coté économique.

VI.2. Paramètres d'élaboration d'un projet d'ouverture

L'élaboration du projet d'ouverture et d'exploitation du gisement AMMAL doit déterminer les paramètres suivants:

- Le contour de la mine et ses éléments;
- Le plan topographique ;
- Les réserves géologiques exploitables ;
- La durée de vie de la mine et la production annuelle ;
- Le sens de progression des travaux miniers;
- La méthode d'exploitation;
- L'exécution des travaux miniers.

VI.3. Exploitations du gisement

VI.3.1. Choix de la méthode d'exploitation

Le choix de la méthode d'exploitation est basé sur les paramètres techniques du gisement cités ci-dessous :

- Structure filonienne ;
- Puissance variant entre 0,9 et 4 m ;
- Encaissements : Coté toit et mur : calcaires ;
- Angle de pendage du minerai : 75° ;
- Densité moyenne : 3,90 ;
- Coefficient de foisonnement du minerai : 1,5 à 1,7.

Selon les caractéristiques géométriques du filon minéralisé, la méthode retenue pour l'exploitation du gisement AMMAL est celle par chambre magasin.

VI.4. Dimensionnement d'un plan de tir

Le schéma du plan de tir varie d'une zone à une autre, et d'un front à un autre selon les caractéristiques des roches et des dimensions. Par conséquent, le nombre de trou n'est pas fixe, ainsi que la consommation de l'explosif correspondante. Les calculs déterminés ci-dessous nous permettent de réaliser un plan de tir pour atteindre un bon rendement avec des coûts réduits.

VI.4.1. Les caractéristiques technique du gisement

- Nombre de jours ouvrables par An = 230 Jour/An ;
- Nombre de postes par jour= 02 Poste/Jour ;
- Nombre d'heures par poste= 7 Heure/poste ;
- Mode d'exploitation: exploitation souterraine ;
- Pendage du corps minéralisé: 60° à 80° ;
- Epaisseur moyenne du corps minéralisé : 0,9 m à 4 m ;
- Roche encaissante marno-calcaire ;
- Abattage en utilisant le produit explosif et accessoire ;
- Méthode d'exploitation : Chambre magasin.

VI.4.2. Dimensionnement d'une galerie et d'une cheminée

Pour la réalisation d'un plan de tir adéquat pour l'ouverture d'une Galerie ou d'une cheminée avec la méthode suédoise, nous avons proposé à partir des caractéristiques techniques du gisement les paramètres de calculs qui conviennent le mieux à la réalisation d'un plan de tir adéquat à cet ouvrage.

VI.4.2.1. Calcul par la méthode suédoise

La méthode suédoise sert à découper le bouchon soit :

- Quatre (04) sections si la surface est supérieure à 10m² ;
- Deux (02) sections, si la surface est inférieure à 10m² ;

Dans notre cas la section est de 7,5m² pour la galerie et de 4m² pour la cheminée, implique donc un découpage de bouchon en deux (02) sections.

- **Les paramètres ci-dessous, vont servir comme une base de données pour les différents calculs d'ouverture d'une galerie :**

- Section : 7,5m
- Explosif utilisé : Gélanite II
- Diamètre des trous vides de : $\varphi = 76\text{mm}$
- Diamètre équivalent : $\varphi_{e2} = 2^{1/2} \varphi = 107\text{mm}$
- Diamètre de la charge : $\varphi_c = 30\text{mm}$
- Diamètre De foration : $\varphi_h = 39\text{mm}$
- Densité de la roche encaissante (calcaire) / minéralisée (barytine) :
 $\rho_r = 2,7 / 4,48$
- E : erreur de foration

$$E = \alpha * h + \beta$$

Tel que :

H : Longueur de trou (1,6 m)

β : Erreur de déviation (environ 0,01m/m)

α : Déviation angulaire (environ 0,03m/m)

AN :

$$E = 0,03 * 1,6 + 0,03$$

$$E = 0,078$$

- densité de la cartouche : $\rho_c = 1,45$

D'après ces paramètres, le diamètre des trous vides (76mm), nous a permis de choisir le type de bouchon adéquat, à l'aide de la formule suivante :

$$Q_{e2} = \sqrt{N} * Q_{vide}$$

Sachant que :

Q_{e2} : Diamètre équivalent de vide, variant entre 105 et 125 mm, nous prenons $Q_{e2} = 105\text{mm}$;

N : Nombre des trous vides ;

Q_{vide} : Diamètre des trous vides (76mm) ;

AN :

$$\sqrt{N} = \frac{105}{76} \quad \longrightarrow \quad N=2 \text{ trous vides.}$$

Donc le bouchon, ce fait par Double gros trous central.

- **Galerie**

Le tableau suivant englobe tous les formules de calculs important pour les différentes sections d'une galerie et d'une cheminée.

Tableau VI.1 : Loi d'application pour déterminer les calculs d'un plan de tir d'une galerie et d'une cheminée (méthode suédoise).

Sections	Banquette (B)	Espacement (S, X)	Bourrage (St)
Section (01) bouchon	$B_1 = 1.7 \varphi_e 2$	$X_1 = 2^{1/2} \cdot B_1$	$St_1 = 10 \varphi_h$
Section(02) bouchon	$B_2 = (2^{1/2} \cdot B_1 + 2X_1) / 2$	$X_2 = 2^{1/2} B_2 \cdot 1.5$	$St_2 = 10 \varphi_h$
Abattage	$B = 0.012[(2_{QC}/_{QR}) + 1.5]$ $* \varphi_c - E$	$S = 1.1B$	$St_s = 0.5B$
Couronne	$B = 0.012[(2_{QC}/_{QR}) + 1.5]$ $* \varphi_c - E$	$S^* = 0.8B$	$St_r = 0.5B$
Paroi	$B = 0.012[(2_{QC}/_{QR}) + 1.5]$ $* \varphi_c - E$	$S^* = 0.8B$	$St_w = 0.5B$
Radier	$B = 0.012[(2_{QC}/_{QR}) + 1.5]$ $* \varphi_c - E$	$S^* = 0.8B$	$St_f = 0.5B$

Tableau VI.2 : Les résultats de calcul nécessaire lors de découpage d'une galerie.

Section	Banquette (B)	Espacement (S ; X)	Bourrage (St)
Section de bouchon (1)	B1=182(mm)	X1=257.38 (mm)	St ₁ =390 (mm)
Section De bouchon(2)	B2=386 (mm)	X2=818.82 (mm)	St ₂ =390 (mm)
Abattage	B=0.868 (m)	S=0.957(m)	St _s =0.434 (m)
Couronne	B=0.868 (m)	S=696 (m)	St _r =0.434 (m)
Paroi	B=0.868 ((m)	S=696 (m)	St _w =0.434 (m)
Radier	B=0.868 (m)	S=696 (m)	St _f = 0.434 (m)

- Cheminée

Les formules de calculs utilisées pour la réalisation d'un plan de tir d'une cheminée sont les même que celle utilisées pour la galerie, seulement la section de l'ouvrage qui va être de : Section de 4 m² (2*2).

Les dimensionnements requis pour une cheminée, sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VI.3 : les résultats de calcul nécessaire lors du découpage d'une cheminée.

Section	Banquette (B)	Espacement (S ; X)	Bourrage (St)
Section de bouchon (1)	B1=182(mm)	X1=257.38 (mm)	St ₁ =390 (mm)
Section De bouchon(2)	B2=386 (mm)	X2=818.82 (mm)	St ₂ =390 (mm)
Abattage	B=0.868 (m)	S=0.957(m)	St _s =0.434 (m)
Couronne	B=0.868 (m)	S=696 (m)	St _r =0.434 (m)
Pavement	B=0.868 ((m)	S=696 (m)	St _w =0.434 (m)
Radier	B=0.868 (m)	S=696 (m)	St _f = 0.434 (m)

VI.4.2.2. Charge linéaire de l'explosif

Le calcul de la charge linéaire de l'explosif pour la galerie et la cheminée est donné par la relation suivante :

$$Q = [(55 * \varphi_c) / PRP] * (B1 / \varphi_e)^{3/2} * (B1 - (\varphi_e / 2)) * (C / 0.4).$$

Sachant que :

Q : la charge linéaire de l'explosif (Kg/ml) ;

PRP : puissance relative à l'ANFO $\implies PRP_{ANFO} = 0,78$;

C = 0,4 ;

B1 = 182 mm ;

Implique :

$$Q = 0,59 \text{ Kg/ml}$$

VI.5.Représentation des plans de tir d'une galerie et d'une cheminée

Les schémas ci-dessous représentent respectivement, les plans de tirs nécessaires pour l'ouverture d'une Galerie et d'une cheminée, qui sont fait à l'aide de logiciel (AUTOCAD).

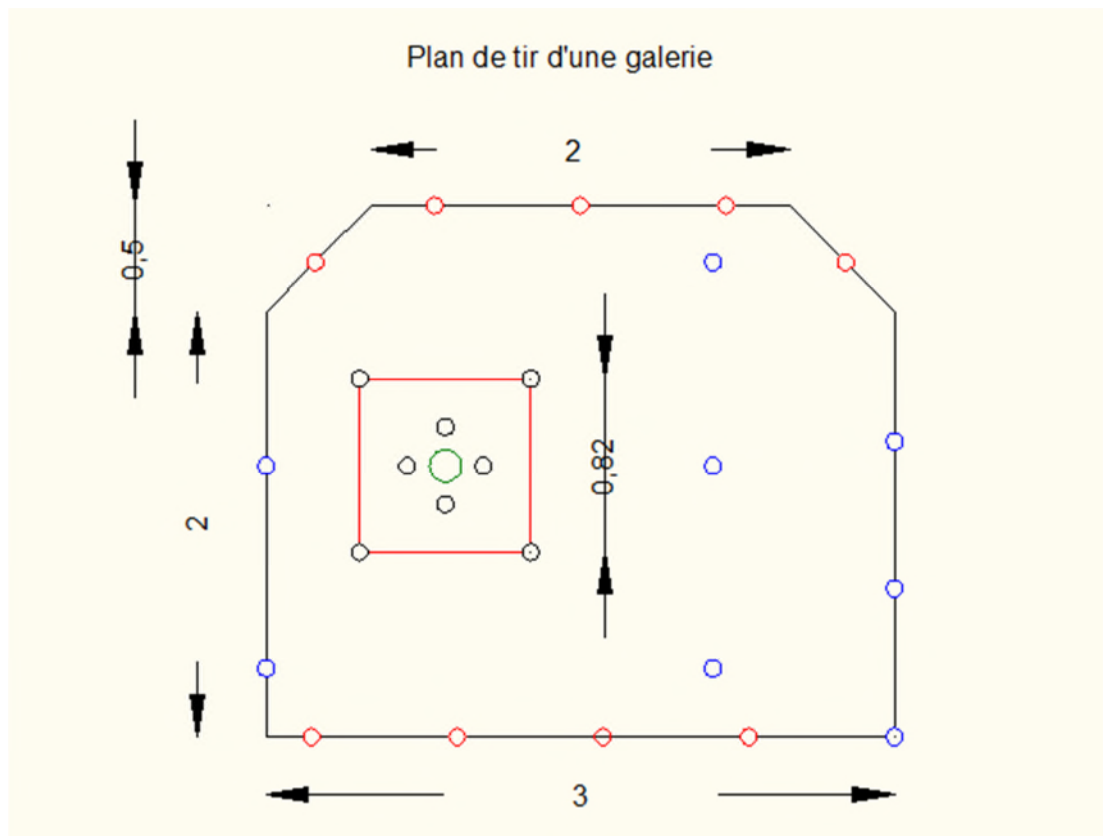
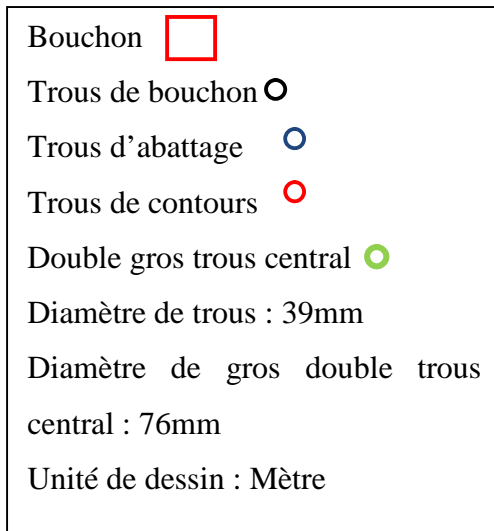


Figure VI.1 : Plan de tir pour une galerie.

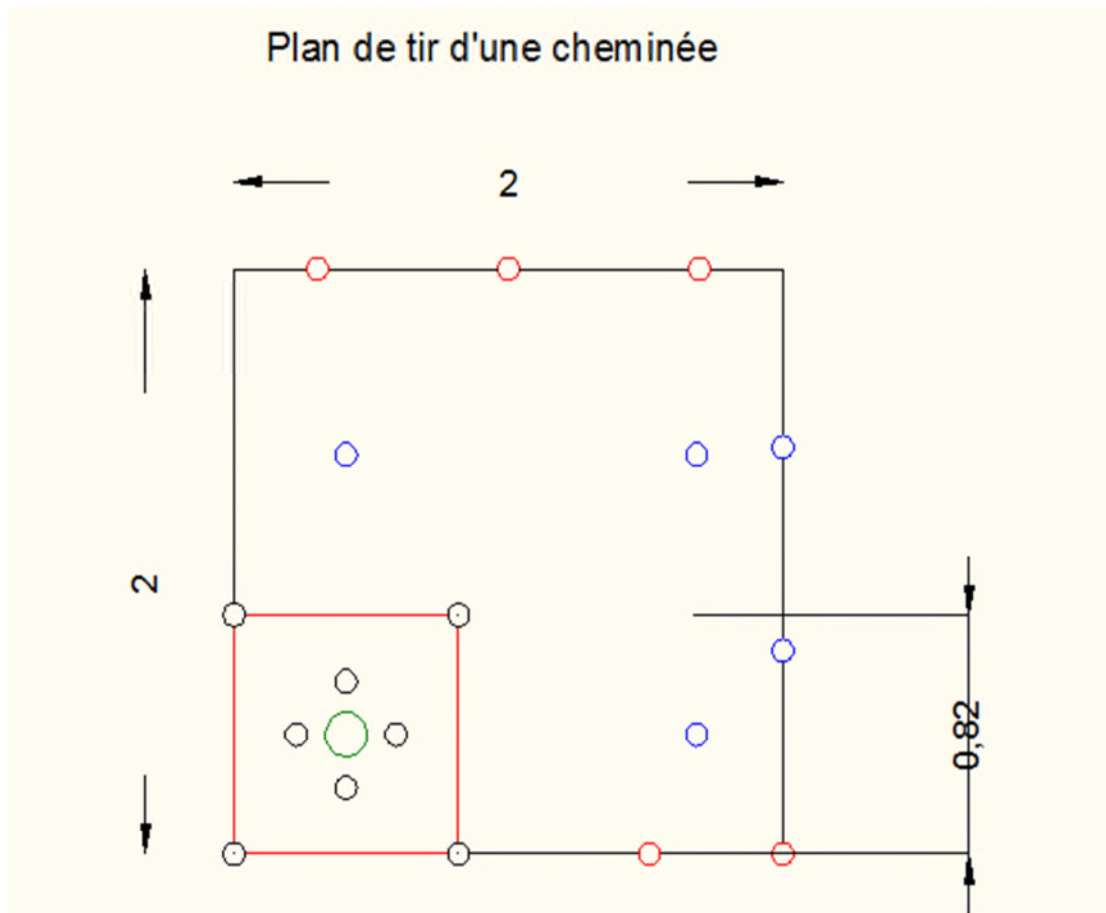
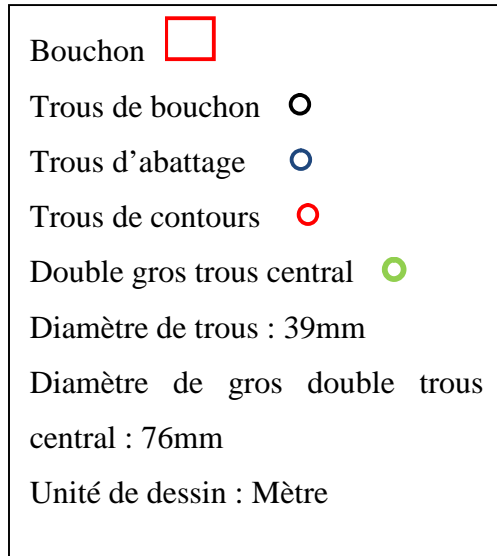


Figure VI.2: Plan de tir pour une cheminée.

VI.6. Tir de production (travaux d'abattage)

Pour commencer les travaux d'abattage de chambre magasin nous devons délimiter le panneau d'exploitation. Ce dernier aux dimensions suivantes (50* 25) m. comme nous avons deux surfaces libres, les calculs vont être faits selon la méthode Langefors.

La figure ci-dessous représente les différents paramètres à calculer dans l'abattage.

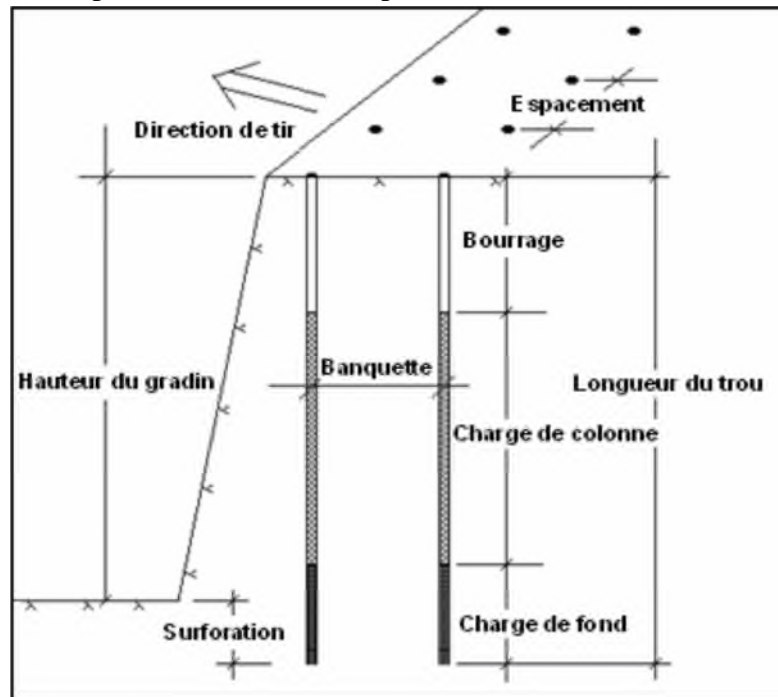


Figure VI.3: Géométrie et terminologie du plan de tir

Nous allons tout d'abord calculer la banquette maximale (la ligne de moindre Résistance (W_{max})) avec la méthode LONGEFORS. Nous allons utiliser les charges explosives suivantes:

- Charge de pied : **Gélanit II**
- Charge de colonne : **Marmanit II**

Ce choix est fait à partir de la consultation du guide technique des explosifs et accessoires de tir réalisé par l'O.N.E.X (Office National des Substances Explosives), et tenant compte de la nature des caractéristiques d'explosif (Tableau VI.5).

Tableau VI.4 : Les caractéristiques des explosifs utilisés

Désignation commercial (explosif)	Marmanit II	Gélanit II
Résistance à l'eau	Médiocre	Bonne
Densité	1.05	1.45
Vitesse de détonation (m /s)	4500	6000
Puissance C.U.P	1.27	1.27
Energie (Kj/Kg)	3987	4807
Volume de gaz (L/ Kg)	868	808
Utilisation	Explosif pour les roches de dureté moyenne	Explosif pour roche dure

VI.6.1. La Banquette maximale

La valeur maximale possible de résistance au pied du gradin (W_{max}) sera déterminée par la formule de LANGEFORS suivante :

$$W_{max} = D/33 \sqrt{\frac{\rho * S_p}{\bar{c} * f * (E/B)}}$$

Sachant que:

- $D = 39 \text{ mm}$

$$S_p = \frac{1}{6} * \left[\left(5 * \frac{Q_t}{Q_{t0}} \right) + \left(\frac{V_g}{V_{g0}} \right) \right]$$

Tel que

S_p : Puissance de la charge de fond de l'explosif.

Q_{t0} et V_{g0} : sont les valeurs correspondantes à celle de la dynamite de référence « Gélanit II »

$Q_{t0} = 4807 \text{ kj/ kg}$;

$V_{g0} = 808 \text{ L / kg}$ (dans les conditions normal, CNTP) ;

Q_t et V_g : sont les valeurs correspondantes à celle de la dynamite Marmanit II (utilisé Comme charge de pied)

$$V_g = 868 \text{ L/kg};$$

$$Q_t = 3987$$

AN:

$$S_P = \frac{1}{6} * [(5 * \frac{3987}{4807}) + (\frac{868}{808})]$$

$$S_P = 0,87$$

- \bar{c} : correction de la résistance au tirage de la roche

$$\bar{c} = C + 0,05$$

Tel que:

C: La résistance au tirage de la roche.

AN:

$$\bar{c} = 0,4 + 0,05$$

$$\bar{c} = 0,45 \text{ kg/m}^3$$

- F : Le facteur de contrainte dépend de l'inclinaison de trous de mines (β)

Nous prenons $\beta = 10^\circ \implies F = 0,95$

- $\frac{E}{B}$: Le rapport de la maille

Pour une bonne fragmentation le rapport est compris entre [1,2 ; 1,5]

$$\frac{E}{B} = 1,25$$

- P : la masse volumique de la charge explosive du pied.

Nous prenons la Marmanit II comme charge du pied.

$$P = 1,05$$

AN :

$$W_{\max} = 39/33 \sqrt{\frac{1,05 * 0,87}{0,45 * 0,95 * 1,25}}$$

Donc:

$$W_{\max} = 2\text{m}$$

- Correction du fait de la déviation des trous de mines :

$$W = W_{\max} - 0,05 \cdot H_g$$

Tel que:

W_{\max} : La banquette maximale.

H_g : Hauteur de gradin.

AN:

$$W = 2 - 0,05 \cdot 6$$

$$W = 1,7 \text{ m}$$

- **Choix de la hauteur du gradin (H_g)**

La hauteur de gradin H_g est choisie selon le diamètre de foration (figure VI.1).

Pour notre cas :

Un diamètre de trou de 39 mm \longrightarrow Hauteur de gradin $H_g = 6\text{m}$.

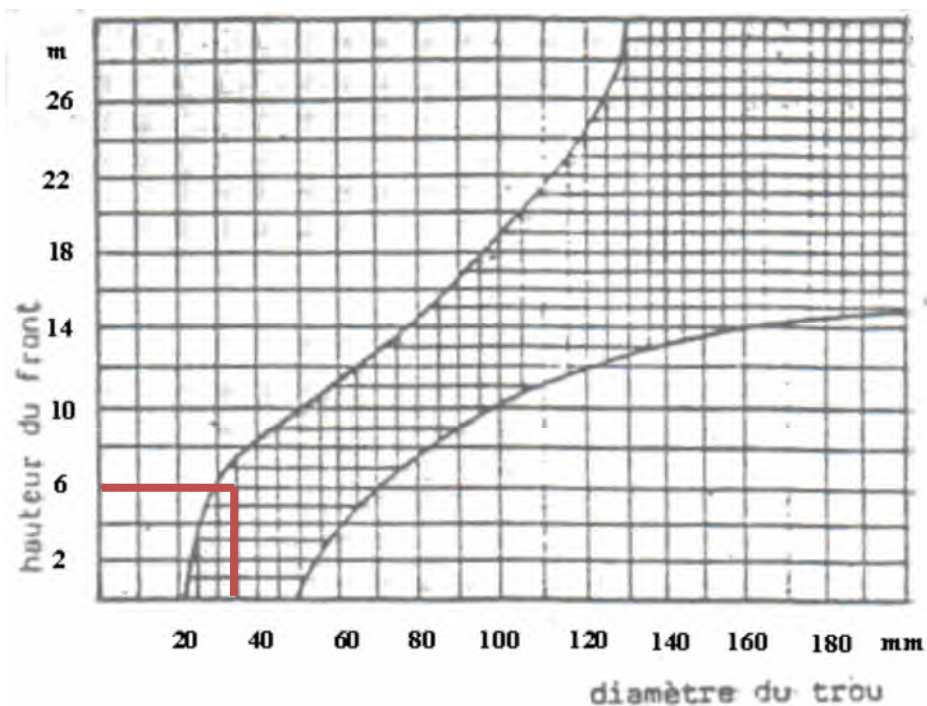


Figure VI.4: Choix du couple diamètre-hauteur de front.

VI.6.2. détermination de l'espacement

La maille « E x B » est proportionnelle à l'énergie volumique comprise dans le trou. Elle a une influence sur le résultat de tir car elle contribue à la modification de la granulométrie des blocs entre l'état initial du massif et l'état du tas après le tir. Elle contribue, en conséquence, également à l'état du front de taille après le tir et des éventuels hors-profils.

Plus le rapport E/B est faible plus la dimension des blocs dans le tas est grande ainsi la face du front est lisse.

LANGEFORS conseille :

$$E = 1,25 * W$$

Tel que :

W : Correction du fait de la déviation des trous de mines.

AN :

$$E = 1,25 * 1,7$$

$$E = 2,13 \text{ m}$$

L'espacement entre chaque deux trou de mine sera de 2,15 m.

VI.6.3. Détermination de la longueur de foration L_f :

La longueur de foration est fortement influencée par la capacité des équipements de forage à garantir une déviation faible. Elle dépend de la hauteur du front et de l'inclinaison de la foration. L'inclinaison de la foration favorise le dégagement du pied et diminue les effets arrière.

En tout état de cause, il est préférable de prévoir une longueur au moins deux fois supérieure à la banquette maximale.

Dans le cas contraire, LANGEFORS préconise de revoir l'ensemble du dimensionnement en fonction des abaques qu'il propose.

La longueur de la foration est déterminée par la formule :

$$L_f = \left(\frac{Hg}{\cos\beta} \right) + 0,3 * W_{\max}$$

Tel que :

Hg : La hauteur du gradin (m).

β : L'inclinaison du trou par rapport à la verticale (°).

W_{\max} : La banquette maximale (m).

AN :

$$L_f = (6 / \cos 10) + 0,3 * 2$$

$$L_f = 6,72 \text{ m}$$

VI.6.4. La longueur de sous foration

La sous-foration est nécessaire pour éviter des gondlements au niveau de la plateforme inférieure du gradin. Au cas où l'on n'observerait pas cette obligation de sous foration, la base ne serait pas coupée à angle droit, et le pied du gradin ne serait pas horizontal, mais formerait ce que l'on nomme « rebord ».

Le rebord exigera des forations ultérieures d'achèvement, qui sont très onéreuses. Si l'on fait une sous foration d'une valeur de $0,3 * W_{\max}$, il ne se formera pas de rebord, la place sera horizontale, et les opérations se poursuivront au mieux, si la sous-foration était supérieure à $0,3W_{\max}$, la consommation d'explosif augmenterait, aucun avantage pratique n'en étant obtenu.

$$L_s = 0,3 * W_{\max}$$

Tel que :

W_{\max} : La banquette maximale (m).

AN :

$$L_s = 0,3 * 2$$

$$L_s = 0,6 \text{ m}$$

Donc la sous foration requise est de 0,6m

VI.6.5. Détermination de la répartition de la charge dans le trou de mine

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

- La charge de pied ;
- La charge de colonne.

VI.6.5.1. Hauteur de la charge de pied

La charge de pied, est celle qui contribue au dégagement et à la fragmentation du pied ; elle a une hauteur d'au moins une fois la banquette et la sous-foration:

$$L_p = 1,3 * W$$

Tel que

W : Correction du fait de la déviation des trous de mines.

AN :

$$L_p = 1,3 * 1,7$$

$$L_p = 2,21 \text{ m}$$

VI.6.5.2.Charge linéaire de pied

Elle est donnée par la relation empirique suivante :

$$C_p = 0,88 * \left(\frac{F}{S_p}\right) * \left(\frac{E}{W}\right) * \left[\left(\frac{0,07}{W}\right) + C + 0,004 * W\right] * W^2$$

Tel que:

F:Facteur de contrainte.

Sp : Puissance de la charge de fond de l'explosif.

E : Espacement.

W : Correction fait de la déviation des trous de mines.

AN :

$$C_p = 0,88 * \left(\frac{0,95}{0,87}\right) * \left(\frac{2,13}{1,7}\right) * \left[\frac{2,13}{1,7} + 0,4 + 0,004 * 1,7\right] * (1,7)^2$$

Implique :

$$C_p = 1,60 \text{ Kg/m}$$

VI.6.5.3.Quantité d'explosif au pied du gradin (fond)

$$Q_p = L_p * C_p$$

Tel que:

Lp: Hauteur de la charge de pied

Cp: Charge linéaire de pied

AN:

$$Q_p = 2,21 * 1,60$$

$$Q_p = 3,54 \text{ Kg}$$

VI.6.5.4.Hauteur de bourrage

$$H_b = W$$

Tel que :

W : Correction fait de la déviation des trous de mines.

AN :

$$H_b = 2\text{m}$$

VI.6.5.5.Hauteur de charge de colonne

$$L_c = L_f - 1,3 * W - H_b$$

Tel que :

Lf : longueur de foration.

W : Correction fait de la déviation des trous de mines.

Hb : Hauteur de bourrage

AN:

$$Lc = 6,72 - 1,3 * 1,7 - 2$$

$$Lc = 2,51 \text{ m}$$

VI.6.5.6. Charge linéaire colonne

$$Cc = \frac{Cp}{2}$$

Tel que :

Cp : Charge linéaire de pied.

AN:

$$Cc = \frac{1,60}{2}$$

$$Cc = 0,8 \text{ Kg/m}$$

VI.6.5.7. Quantité d'explosif en colonne

$$Qc = Lc * Cc$$

Tel que

Lc : Hauteur de charge de colonne.

Cc : Charge linéaire colonne.

AN :

$$Qc = 2,51 * 0,8$$

$$Qc = 2 \text{ Kg}$$

VI.6.6. Quantité de charge d'explosif dans un trou

$$Qtot = Qp + Qc$$

Tel que:

Qp: Quantité d'explosif en pied

Qc: Quantité d'explosif en colonne.

AN:

$$Qtot = 2 + 3,54$$

$$Qtot = 5,54 \text{ Kg}$$

VI.6.7. Consommation spécifique de l'explosif

La notion de consommation spécifique désigne, la quantité d'explosif nécessaire pour fragmenter un bloc d'un mètre cube ou d'une tonne suivant une loi de fragmentation régie par plusieurs facteurs caractérisant la roche et l'explosif, elle est donnée par la relation suivante :

$$Q_s = \frac{Q_{tot}}{W} * E * \left(\frac{Hg}{\cos \beta} \right)$$

Tel que :

Q_{tot} : Quantité de charge d'explosif dans un trou.

W : Correction fait de la déviation des trous de mines.

E : Espacement.

Hg : Hauteur de gradin.

β : L'inclinaison du trou par rapport à la verticale ($^{\circ}$).

AN:

$$Q_s = \frac{5,54}{1,7} * 2,13 * \left(\frac{6}{\cos 10^{\circ}} \right)$$

$$Q_s = 0,25 \text{ Kg/m}^3$$

VI.6.8. Volume de roche abattue par un trou

$$V_{tr} = W * E * \frac{Hg}{\cos \beta}$$

AN :

$$V_{tr} = 1,7 * 2,13 * \frac{6}{0,98}$$

$$V_{tr} = 22,16 \text{ m}^3 / \text{trou}$$

VI.6.9. Nombre de trou nécessaire foré par semaine

$$N_{tr} = \frac{P_{he}}{V_{tr}}$$

$$N_{tr} = P_j * \frac{6}{V_{tr}}$$

Tel que :

P_{he} : Production hebdomadaire

V_{tr} : volume de roche abattu par trou

P_j : Production journalier

➤ **Production journalier**

$$P_j = \frac{P_{an}}{N\left(\frac{j}{an}\right)}$$

Tel que :

P_{an} : Production annuelle=119130 tonne

$N_{j/an}$: Nombre de jour ouvrable par an=230 jour

AN :

$$P_j = \frac{119130}{230}$$

$$P_j = 517,95 \text{ tonne/jour}$$

➤ **Le nombre de trous foré dans une semaine**

$$N_{tr} = 517,95 * \frac{6}{22,16}$$

$$N_{tr} = 140 \text{ trous/semaine}$$

➤ **Le nombre de trous foré journalier**

$$N_{tr} = \frac{140}{6}$$

Donc :

$$N_{tr} = 23 \text{ trous/jour}$$

VI.7. Chargement et Transport dans le gisement AMMAL

Deux types de chargement et transport sont réalisés:

- Chargement et transport souterrain ;
- Chargement et transport au jour.

Pour ce fait, la direction de la mine a prévue l'utilisation du matériel déjà existant sur le site (celui employé dans les niveaux supérieurs)

VI.7.1.Chargement et transport souterrain

Généralement, pour les gisements filoniens exploités par la méthode des chambres magasins le chargement se fait par soutirage à partir des trémies de soutirage, en utilisant les moyens suivants :

- Des Pelles chargeuses sur rail pour le chargement de la roche abattu dans les avancements (galeries) ;
- Wagonnets pour le transport vers l'extérieure de la mine ;
- Locotracteur (électrique ou diesel) pour tracter les wagonnets vers les aires de stockage du tout-venant à l'extérieure de la mine.

La réalisation des objectifs annuels de 119 130 tonnes, la mine a besoin du matériel suivant pour assurer le chargement et le transport à partir de la mine vers les aires de stockage à l'extérieur :

- Pelles chargeuse sur rail ;
- Locotracteurs ;
- Wagonnets.

VI.7.2.Chargement et transport au jour

Le chargement et le transport de la substance utile à partir des aires de stockage à l'usine de traitement, constitue un processus très important.

➤ Chargement

Le chargement du tout-venant s'effectue par les moyens ci-dessous (Tableau VI.3) et qui présente les caractéristiques techniques suivantes :

Tableau VI.5 : les caractéristiques techniques des moyens de chargement

Caractéristiques techniques	Unité	Valeurs
Capacité du godet	m ³	3
Vitesse maximale de déplacement	Km/h	30
Puissance du moteur	Cv	335
Poids	Tonne	20
Longueur	M	8,6
Largeur	M	3,1
Hauteur de déchargement	M	3,55
Rayon de braquage	M	7,30

➤ Transport

Le transport du tout-venant extrait de la mine se résume dans l'acheminement du tout-venant par des camions à bennes qui assurent le transport de la roche vers l'usine de traitement.

Dans notre cas, le transport du tout-venant extrait est assuré par des camions à benne basculante dont la capacité est de 20 tonnes, dont les caractéristiques techniques sont les suivants :

Tableau VI.6 : les caractéristiques techniques des moyens de transport

Caractéristiques techniques	Unité	Valeurs
Capacité de la benne	Tonne	20
Capacité de la benne	m ³	8
Puissance du moteur	Cv	45
Rayon de braquage	M	10

VI.8. Calculs nécessaires pour le chargement

Avant de choisir une chargeuse, il faut d'abord examiner la capacité du godet en tenant compte de la production journalière.

Pour assurer la production, l'entreprise prévoit l'utilisation de la chargeuse disponible (ENMTP 2320) avec une capacité de godet de 3 m³.

VI.8.1. Rendement de la chargeuse

Le rendement de la chargeuse dépend des facteurs suivants :

- Capacité du godet ;
- Granulométrie de la roche chargée ;
- Type d'engin de transport et sa capacité de charge ;
- forme et dimensions du chantier (plate-forme de travail).

Le rendement de la chargeuse est déterminé par l'expression suivante :

$$R_{ch} = \frac{3600 * C_g * K_r * T * \gamma * K_u}{K_f * T_c}$$

Tel que :

C_g : Capacité du godet de la chargeuse en m³ (3 m³) ;

K_r : Coefficient de remplissage du godet de la chargeuse ($K_r=0,8$) ;

T : Durée d'un poste de travail (7heure) ;

γ : La masse volumique de la roche (3,8 tonne/m³) ;

Ku : Coefficient d'utilisation de la chargeuse durant un poste de travail (0,7) ;

Kf : Coefficient de foisonnement de la roche ($k_f=1,5$) ;

Tc : durée d'un cycle de chargement ($T_c=360s$).

Donc le rendement de la chargeuse est:

$$R_{ch} = \frac{3600 * 3 * 0.8 * 7 * 3.8 * 0.7}{1.5 * 360}$$

$$R_{ch}=297.92\text{tonne/poste}$$

VI.8.2.Nombre de chargeuse

Le nombre de chargeuse est calculé par la formule suivante :

$$N_{ch} = \frac{P_p}{R_{ch}}$$

Tel que :

P_p : Production par poste ;

R_{ch} : rendement de la chargeuse.

➤ Production par poste

$$P_p = \frac{P_j}{N\left(\frac{p}{j}\right)}$$

P_j : Production journalier ($P_j=517.95$ tonne/jour);

$N(p/j)$: Nombre de poste par jour (2poste).

AN :

$$P_p = 517,95/2$$

$$P_p=258.97 \text{ tonne/poste.}$$

Donc le nombre de chargeuse par poste est de :

$$N_{ch} = \frac{258,97}{297.92}$$

$$N_{ch}=1 \text{ chargeuse}$$

VI.8.3. Nombre de godet pour le chargement d'un camion

Le nombre des godets nécessaires pour le chargement d'un camion est calculé par la relation suivante :

$$N_g = \frac{Q_c * K_f}{C_g * K_r * \gamma}$$

Tel que :

Q_c : capacité du camion NISSAN (20 Tonne).

K_f : coefficient de foisonnement, $k_f = 1,5$;

C_g : capacité du godet de la chargeuse, $C_g = 3 \text{ m}^3$

K_r : coefficient de remplissage du godet $K_r = 0.8$

γ : Poids volumique de la roche ; $\gamma = 3.8 \text{ T/m}^3$

AN :

$$N_g = \frac{20 * 1.5}{3 * 0.8 * 3.8}$$

Donc le nombre de godet est du chargement de camion est de :

$$N_g = 4 \text{ godet}$$

VI.8.4. La durée de chargement d'un camion

La durée de chargement d'un camion est calculée par la relation suivante :

$$T_{ch} = T_c * N_g$$

Tel que :

T_c : la durée d'un cycle de la chargeuse $T_c = 360 \text{ s}$;

N_g : nombres de godets nécessaires pour le chargement d'un camion $N_g = 4 \text{ godet}$.

AN:

$$T_{ch} = 360 * 4$$

$$T_{ch}=1440s$$

$$T_{ch}=24 \text{ mn}$$

VI.9. Calculs nécessaires pour le transport

Le moyen de transport qui sera utilisé pour le chargement du tout venant est un camion de capacité de la benne de 20tonne.

Les équations ci-dessous, permettent d'effectuer les calculs nécessaires le nombre de camion ainsi que son rendement.

VI.9.1.Rendement de camion

$$R_c = \frac{Q_c * T_p * K_u}{T_c}$$

Tel que :

Q_c : la capacité de la benne du camion ($Q_c=20\text{tonne}$) ;

T_p : la durée d'un poste de travail (7heure)

T_c : le temps de réalisation d'un cycle ($T_c=90\text{mn}$).

K_u : coefficient d'utilisation du camion (0.7)

AN :

$$R_c = \frac{20 * 7 * 0.7}{1.5}$$

$$R_c=65,33 \text{ tonne/poste}$$

VI.9.2 Le nombre des camions nécessaires

Le nombre des camions nécessaires pour assurer la production souhaitée est donné par la formule suivante :

$$N_c = \frac{P_j * K_i}{R_c * N_p}$$

Tel que :

P_j : production journalier ($p_j=517.95 \text{ tonne/jour}$) ;

K_i : coefficient d'irrégularité de travail (varie entre 0.8 et 1.2 On prend $k_i=0.9$) ;

R_c : Rendement de camion ($R_c=65.33 \text{ tonne/poste}$).

N_p : Nombre de poste par jour (2 postes/jour)

AN :

$$N_c = \frac{517.95 * 0.9}{65.33 * 2}$$

Le nombre de camion est de :

$$N_c=4 \text{ camion}$$

VI.10. Conclusion

Le dimensionnement des ouvrages miniers dépend principalement des plans de tir à réaliser par les différentes méthodes de calculs utilisées.

Ce chapitre explique dès le départ l'enchaînement des paramètres nécessaires lors de la phase d'ouvrage, en commençant par l'utilisation de la méthode suédoise, et finissant par les tirs de production avec la méthode Langefors, et le dimensionnement des autres paramètres est obligatoire.

Nous constatons par la suite l'importance des calculs menés dans la phase du transport et chargement, la disposition des camions et de chargeuses nécessaire en place pour l'évacuation du minerai après un tir.

Conclusion générale

Dans le but de fournir un plan de tir adéquat au niveau 1160m du gisement AMMAL-BOUCAID. Des exigences géométriques et dimensionnelles sont imposées, y compris les paramètres de tir.

Pour satisfaire ces exigences, des modèles de calculs donnés par la méthode SUEDOISE et LANGEFORS sont appliqués, à fin de schématiser un plan de tir le mieux approprié lors de l'ouverture et l'abattage de ce dernier.

La phase de chargement et de transport, nous a permis de déduire le nombre de camion, son rendement, le nombre de chargeuse et de godet nécessaire pour l'évacuation du minerai.

En dépit de certaines difficultés rencontrées lors d'exécution de ce travail, due essentiellement à:

- Manque effectif de données techniques ;
- Absence de document, concernant les travaux et le dimensionnement de base lors de la prospection et la recherche ;
- Mine souterraine artisanale ;
- Dégradation des engins et matériels utilisés dans la mine.

Cela nous a renforcés d'avantage de continuer à faire ce travail, en essayant de lui offrir un nouveau plan de tir différent de leur model, dans l'espérance d'améliorer le rendement et la productivité de la mine.

Toutefois et dans la mesure du possible, nous avons essayé de respecter les normes du travail, pour les calculs des différents ouvrages d'ouverture et de production.

Recommandations :

- Opter pour le tir en série afin de réaliser la production souhaitée et diminuer l'effet négatif des ondes vibratoires et des projections de roches (limitation de la vitesse particulière à moins de 10 mm/s).
- Bien respecter les paramètres du plan de tir (maille, inclinaison et diamètre des trous, amorçage fond du trou).
- essayer d'avoir tout les données réelles sur le site des travaux.

Référence Bibliographie

- [1] : **SEKENDRI A.** ; 2004. Rapport sur l'exploitation du gisement de calcaire de Batha, Tissemsilt .Mine de BOUCAID.
- [2] : **KERKEBANE H.** ; 2008. « Etude des vibrations due aux tirs de mine .Apport de la modélisation ».Mémoire de l'ingénieur d'état en génie minier d'école National polytechnique.
- [3] : **POLVECHE J** ; « Contribution à l'étude géologique de l'Ouarsenis. Oranais ».Tome1.
- [4] : **DUGAND DELGA M.** ; 1956. « Cadre paléogéographique structurale de l'Algérie tellienne ».
- [5] : **MEFTAH L.** ; 2007. « Etude d'impact sur l'environnement des activités de barytes ».
- [6] : Plan directeur d'exploitation et de développement. ; 2015. Mine de BOUCAID ENOF.
- [7] : **DUFLOS G.** ; 2014. « Association des âmes d'allègre »
- [8] : **BALADAH F.** ; 2011. « Revalorisation des rejets Barytique issues des jigs et impact environnemental : cas de la mine d'Ain Mimoun Khenchla ».Thèse de magister d'université Badji Mokhtar d'Annaba.
- [9] : **JAQUES F.** ; 1998. « Le soutènement des galeries miniers », école des mines de paris.
- [10] : Ministère de l'environnement de l'énergie et de la mer. ; [juin2010]. « Les méthodes d'exploitation souterraine ».
- [11] : **SIMON W.** ; « Méthode d'exploitation souterraine ».Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, Branches basées sur les ressources naturelles .74. Mine et carrière.
- [12]: **DAMIEN G.**; Février 2012. « Technique d'exploitation et économique de projets miniers ».Centre de géoscience, Mine Paris Tech.
- [13]: **HANS H.**; « Underground mining Method and application; Retired, Atlascopo, Stockholm, Sweden»
- [14]: **BERDOUDI S.**; 2008. « Étude de la mécanique de tir de roches par utilisation des modèles réduits dans les conditions Algériennes ».Thèse de doctorats de l'université d'ANNABA Badji Mokhtar Annaba.
- [15] : **OFFICE NATIONAL DES SUBSTANCES EXPLOSIFS**, « Techniques d'utilisation des explosifs ».
- [16] : OPPBT ouvrage. ; Octobre 2012. « Travaux à l'explosif CPT option 1 Travaux souterrain ». Université de French-comte.

- [17] : **FRANCOIS M.** ; Janvier 2012. « Mécanique des roches et travaux souterrain » ; Huitième édition.
- [18] : **ROGER D.** ; « Explosif technique de minage ».
- [19] : **QIANG Z.** ; Novembre 1995. « Optimisation de l'utilisation des explosifs en génie civil ».Thèse de doctorat. École national des ponts et chaussées ; France.
- [20] : **GHARBI K.** ; 2006. « L'adaption du plan de tir à la blocométrie : un jeu capital pour un haut rendement minier ».Mémoire de l'ingénieur d'état en génie minier d'école National polytechnique.
- [21] : **GHERICI A.** ; 2009. « Projet d'ouverture et d'exploitation du gisement du Kraoula situé à proximité de Sidi Bel Abbes » .Mémoire de l'ingénieur d'état en génie minier d'école National polytechnique.
- [22] : Guide de l'office national des explosifs E.N.O.F.
- [23] : **ROGER T, BLANCH A.** ; « Utilisation des explosifs dans le génie civil ».
- [24] : **NEGGAZI A.** ; 2010. « Projet d'exploitation de la colline du gisement de dolomie-calcaire à Elmaleh Ain T'émouchent ».Mémoire d'ingénieur d'état en génie minier ; Ecole National Polytechnique.
- [25] : **MOULOUD N.** ; Avril 2010. «Modèle d'un plan de tir » ; Mémoire de Magister d' Université Badji Mokhtar d' Annaba.
- [26] : **HOSSAINI M.** « Modification of four –section cut model for drift Blast design in Razi coal mine. North Iran». University oh Tehran, Iran Hadi Poursaeed, Iran.
- [27] : **HOLMBERG R.**; 1982. « Charge calculations for tunneling, underground mining methods Handbook». SME, New York.
- [28] : Ouvrage; Development-Blasting-Supporting.

Résumé :

Notre projet fin d'étude vient contribuer au prolongement des travaux minier qui n'ont pas été encore réalisé sur le gisement AMMAL d'extraction de la Baryte dans la mine de BOUCAID.

A cet effet nous essayons d'élaborer un plan de tir adéquat au différents ouvrages minier, concernant l'ouverture et l'abattage du Niveau AMMAL 1160m.

Pour cette raison, nous avons utilisées la méthode suédoise et Langefros dans nos différents calculs de dimensionnement, pour assurer une exploitation sur et rentable.

Mots clés : Gisement, plan de tir, abattage, ouverture, exploitation, chambre magasin, géologie.