

وزارة الجامعات

Ministère aux Universités

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: **Genie minier**

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Optimisation du plan de tir.

Dans la carrière de calcaire

de Keddara

Proposé par :

E NOF

Etudié par :

R. Mohamed ezzine

Dirigé par : DR

M. Aguid bachar

PROMOTION : **Juin 1992**

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail:

à mes chers parents et à la mémoire de notre cher défunt

QUAHRANI MOHAMED (DEPT ELECTRONIQUE)

à mes frères et soeurs

à mes cousins

à tous mes collègues que j'ai fréquentés de près ou de loin .

SOMMAIRE

| | |
|---|-------|
| <u>INTRODUCTION</u> | 1 |
| <u>GENERALITES</u> | 2 |
| -HISTORIQUE..... | 3 |
| -SITUATION GEOGRAPHIQUE..... | 3-4 |
| <u>CHAPITRE I</u> CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET MINIERES | |
| 1-1/ GEOLOGIE DE LA REGION..... | 5-7 |
| 1-2/ TECTONIQUE DU GISEMENT..... | 7-8 |
| 1-3/MINERALOGIE..... | 8 |
| 1-4/HYDROGEOLOGIE..... | 8 |
| 1-5/CARACTERISTIQUE DU GISEMENT..... | 9 |
| 1-5-1/COEFFICIENT DE DECOUVERTURE | 9-11 |
| 1-5-2/TRAVAUX D'ABATTAGE..... | 11-14 |
| <u>CHAPITRE II</u> LES CONDITIONS TECHNICO-MINIERES | |
| 2-1/CONDITIONS MINIERES..... | 15 |
| 2-2/OUVERTURE ET METHODE D'EXPLOITATION..... | 15 |
| 2-2-1/MODE D'OUVERTURE..... | 15 |
| 2-3/SYSTEME D'EXPLOITATION EN DECOUVERTE..... | 16 |
| 2-3-1/ELEMENTS DU SYSTEME D'EXPLOITATION..... | 16-17 |
| <u>CHAPITRE III</u> PROPRIETES GEOMECHANIQUES ET TECHNOLOGIQUES | |
| 3-1/LES PROPRIETES PHYSICO- MECANIQUES DE LA ROCHE..... | 18-19 |
| 3-1-1/DETERMINATION DES PROPRIETES PHYSIQUES DE LA ROCHE.. | 19-22 |
| 3-1-2/DETERMINATION DES PROPRIETES MECANIQUES DE LA ROCHE.. | 22-25 |
| 3-2/LES PROPRIETES GEOMECHANIQUES DE LA ROCHE..... | 25-26 |
| 3-2-1/DETERMINATION DE LA DIMENSION MOYENNE STRUCTURALE.. | 26-28 |
| 3-3/LES PROPRIETES TECHNOLOGIQUES..... | 29-31 |
| 3-4/INTERPRETATION DES RESULTAS..... | 32 |

CHAPITRE IV ELABORATION DU PLAN DE TIR

| | |
|--|-------|
| 4-1/EXIGENCES GEOMETRIQUES..... | 33 |
| 4-1-1/APRECIATION DE LA DIMENSION MAXIMALE ADMISSIBLE (des blocs) | 34 |
| 4-2/LA FORATION..... | 35 |
| 4-2-1/LES PARAMETRES CARACTERISANT L'ENGINS DE FORATION.. | 36 |
| 4-2-2/LES TECHNIQUES DE FORAGE (existant actuellement)... | 36-37 |
| 4-2-3/REALISATION..... | 37 |
| 4-2-4/TECHNIQUE DE FORATION..... | 37-38 |
| 4-3/CHOIX DE L'EXPLOSIF..... | 39-40 |
| 4-3-1/LES CARACTERISTIQUES DES EXPLOSIFS..... | 40-42 |
| 4-3-2/LES CARACTERISTIQUES PRATIQUES DES EXPLOSIFS..... | 42-44 |
| 4-3-3/CRITERS DE CHOIX DE L'EXPLOSIF..... | 44-47 |
| 4-4/LES EXPLOSIFS INDUSTRIELS..... | 48-54 |
| - GENERALITE | |
| - COMPOSITION | |
| - PERFORMANCES | |
| 4-4-1/ENERGIE DES EXPLOSIFS..... | 54-58 |
| - LE C.U.P | |
| - LE T.M.B | |
| - MESURE D'ENERGIE EN PISCINE | |
| 4-5/AMMORÇAGE ET SYSTEME D'AMMORÇAGE..... | 58-60 |
| 4-5-1/AMORÇAGE PONCTUEL..... | 60 |
| 4-5-2/AMORÇAGE LATERALE..... | 60-61 |
| 4-5-3/SEQUENCE D'INITIATION..... | 61-64 |
| 4-6/DIMENTIONNEMENT DES TIRS D'ABATTAGE..... | 64-67 |
| 4-7/APPLICATION A LA CARRIERE DE KEDDARA..... | 67-72 |
| - INTRODUCTION | |
| - DETERMINATION DE LA DIMENSION MAXIMALE ADMISSIBLE DES BLOCS ABATTUS | |
| - FORATION | |
| - CHOIX DE L'EXPLOSIF | |
| - DETERMINATION DES PARAMETRES DU PLAN DE TIR PAR LA METHODE DE LONGEFORS | |
| "ANNEXE" PRESENTATION DU PROGICIEL "MZTIR"..... | 72-77 |
| 4-8/CONCLUSION..... | 77-78 |
| BIBLIOGRAPHIE | |

INTRODUCTION



L'infrastructure et les problèmes d'habitats revêtent en Algérie une grande importance, vue les retards accumulés jusqu'à ce jour. Pour rattraper ces retards, l'essor de l'industrie des matériaux de construction s'impose.

Le maillon primitif du processus technologique lors de l'exploitation à ciel ouvert est bien la préparation de la roche à l'extraction, laquelle prédétermine en grande partie le rendement des engins miniers, la sécurité de travail et en général l'efficacité des travaux à ciel ouvert.

L'abattage des roches cristallines, et semi cristallines exigent le plus souvent, l'utilisation des explosifs pour leur ameublement anticipé.

Le but de la préparation de la roche à l'extraction étant l'assurance d'une blocometrie optimale, stabilité du talus, et la sécurité du travail, dès lors une connaissance parfaite des conditions naturelles de la roche et une organisation adéquate s'imposent.

La réalisation d'un plan de tir optimal dans les conditions du gisement de la carrière de Keddara, utilisant les explosifs fabriqués en Algérie, forme le but et le contenu de ce présent projet de fin d'étude.

GENERALITES

HISTORIQUE

L'entreprise national des produits miniers non ferreux et des substances utiles (ENOF), issue de la restructuration organique de la société national de recherche et d'exploitation minière (SONAREME) et dont le capital est entièrement détenu par l'état, a été créée par le décret n°83-442 du 16 juillet 1983. La vocation de L'ENOF est de développer, produire, commercialiser tout sur le marché national jusqu'à l'exportation des produits minières non ferreux et les substances utiles.

Les grandes dates qui ont marqué ce gisement sont:

Choix de site et prospection préliminaire: 1974

Réserves catégorie "c" estimées à 14.9 million de tonnes

- Ouverture de la carrière et préparation de quelques gradins et montage d'une station de concassage de 1975 à 1978

- Entrée en production: novembre 1978

SITUATION GEOGRAPHIQUE

Administrativement ce gisement appartient au territoire de la willaya de Boumerdes et se trouve à 1.2 km au sud-ouest de la localité de Keddara et à 45 km de l'est d'Alger.

Au nord de ce gisement passe la route national n°29, reliant BOUDOUAOU à LAKHDARIA et au sud se trouve le Barrage de Keddara qui servait en eau potable la zone D'ALGER.(voir fig 1.1)

parametres technico-economiques

Un gisement ne peut être exploité à ciel ouvert que si les conditions du corps minéralisé et les données technico-economiques le permettent.parmi tous les problèmes à résoudre dans le projet de la carrière,ceux dits miniers occupent une place importante, ce sont les suivants:

- calcul des réserves des minéraux utiles
- détermination des paramètres principaux de la carrière (profondeur finale et les dimensions en plan, capacité annuelle de production,durée de vie ..)
- choix du régime des travaux miniers et élaboration du calendrier d'exploitation
- choix de la méthode d'exploitation du gisement
- calcul des prix de transport
- choix de la méthode d'assèchement du champ de la carrière

Le choix du site de Keddara bien entendu,a été^{fait} pour deux raisons:

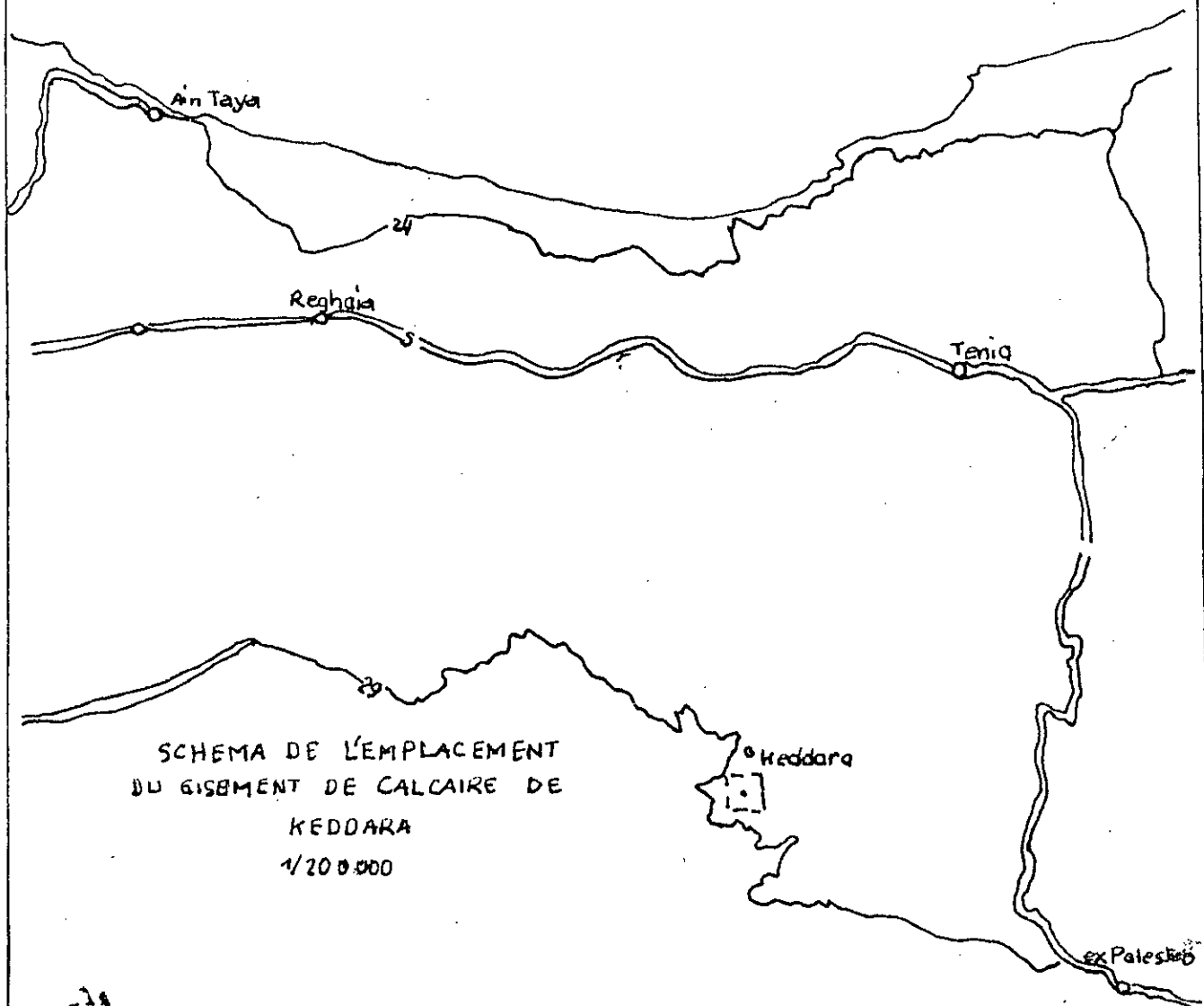
1/ à l'époque les besoins en matière de logement et d'infrastructure (les usines, les routes, aéroports..) était une priorité

2/ les travaux de prospection ont permis la découverte d'un gisement de calcaire dont le volume de stérile à enlever n'est pas trop important par rapport au volume de minerais à extraire ce rapport était de l'ordre de 10% .

N



MER MEDITERRANEE



SCHEMA DE L'EMPLACEMENT
DU GISMENT DE CALCAIRE DE
KEDDARA
1/200.000



gisement de calcaire

FIG 1.1

chapitre 1

caractéristique géologiques

et miniers

1-1/ géologie de la région [16]

Le gisement de Keddara appartient, dans l'atlas telliens, à la "dorsale Kabyle" (ou "chaîne calcaire ") qui part du Djebel Bouzegza à l'ouest au Djebel Djurdjura à l'est .

La région est représentée par des dépôts métamorphiques d'age Précambrien, des dépôts sédimentaires d'ages Triasique, Jurassique, crétacé, tertiaire et quaternaire .

Ces dépôts ont la particularité de se présenter en écailles et la plupart des contacts entre les différentes séries sont des contacts anormaux c'est ce qui rend la compréhension de la géologie de la région difficile quand on passe d'un niveau Jurassique à des niveaux de calcaires Lutétiens à des niveaux Triasiques le tout dans une apparente continuité lithologique .

Aussi nous contenterons-nous de dire que dans la région de Keddara :-le Précambrien est représenté par des schistes métamorphiques associés à des bancs de quartzites de calcaires cristallins souvent dolomitisés .(la puissance maximale est de 2000 m) .

-le Trias constitue de nombreuses écaillés de grés, d'arkoses, d'argilites (la puissance maximale est de 500 m) .

- le Jurassique est représenté par de petits blocs dans des terrains paleogènes(III aire) .

ce jurassique est représenté: par des calcaires du lias (fig 1.2) qui se distingue par deux unités : l'unité inférieure (13-6) puissante de 500 m, comprend des calcaires et des dolomies; l'unité supérieure (17-6) développée sur le versants sud du Djebel Bouzegza , a une puissance de 150 m et comprend des calcaires argileux .

et par des argilites rouges du marin associées à des radiolarites à silex (J.6) ils sont situés au sud du grand accident qui longe le versant sud de "la chaîne calcaire"

- le Crétacé est développé au sud de la "chaîne calcaire" et vient au contact des terrains paléogènes grâce à ce grand accident régional et de nombreux accidents disjonctifs quand toutes les unités constructives du crétacé sont au maximum de leur puissance elles dépassent 2500 m, la lithologie du crétacé est représentée par des grés, des argilites et des marnes schisteuses .

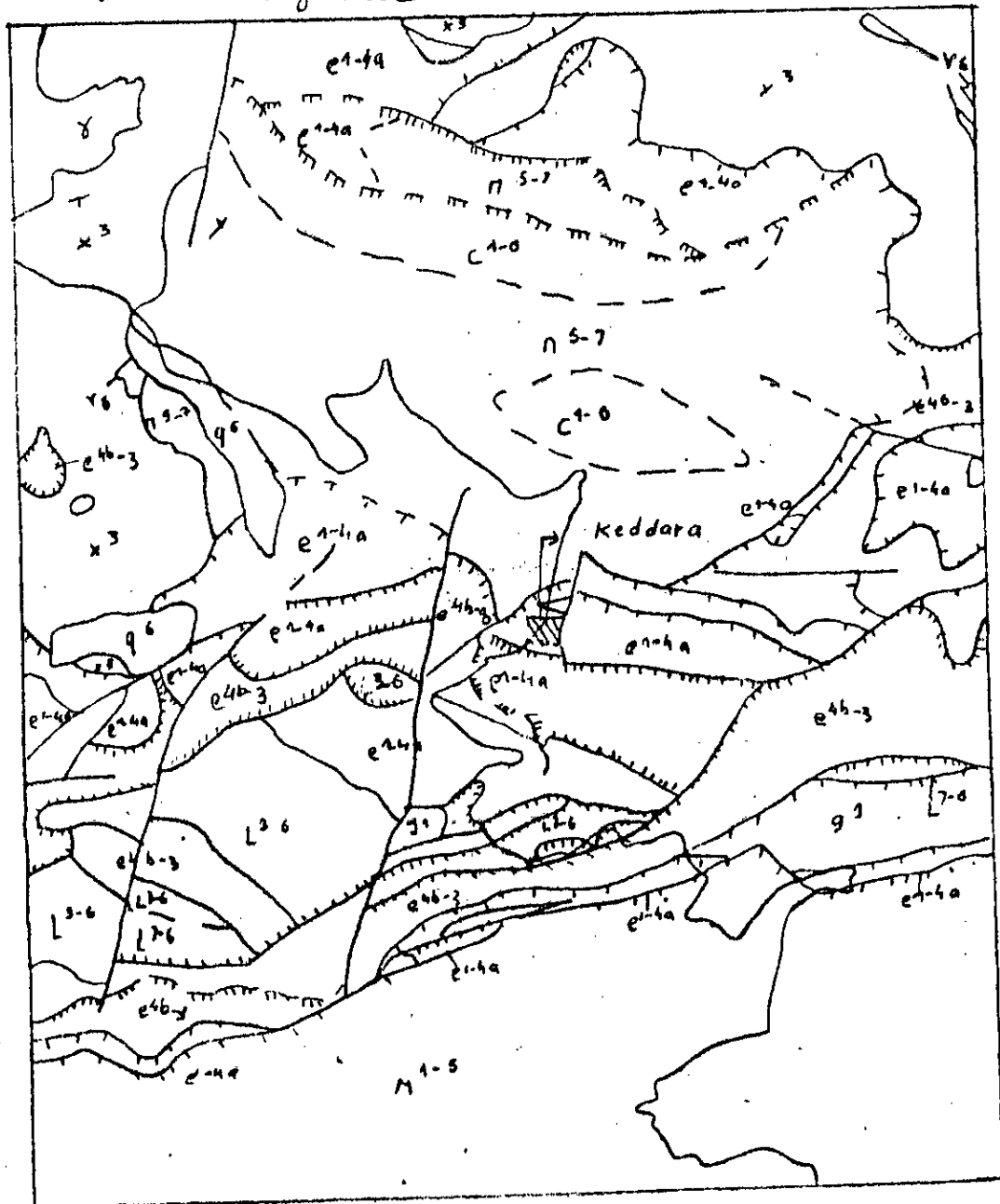
-le Tertiaire a été intensivement affecté par plissement et de nombreuses dislocations disjonctifs -il est représenté par le paléogène, plus particulièrement par des dépôts d'âge éocène et oligocène .

ces dépôts sont développés dans la région de la " chaîne calcai-

CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE

KEDDARA Ech 1/50000

Fig: 1.2



| | | | | | |
|--------|--------------------------|-------|--------------------------------|----------------|----------------------|
| q6 | Quaternaire | n 5-7 | Crétacé inf. aptien. albien. | t ³ | Trias. |
| g1 | Oligocene | n 1-5 | Crétacé inf. néocomien aptien. | x ³ | precambrien. |
| e 4b | Lutécien sup. Oligocene. | j 1 | Jurassique moy. | γ | Granites. |
| e 1-4a | Paléocène Lutécien. | l 7-6 | Lias supér. | γδ | metagabbro-diorites. |
| e 1-6 | Crétacé sup. | l 3-6 | Lias infér. | ▨ | KEDDARA |

re " et reposent en nappes et en écailles parmi les terrains plus anciens .

ils comprennent des calcaires massifs à foramiuifères -au sud de Keddara ces calcaires du lutétien qui sont la roche constitutive du minerai de Keddara, sont recouverts en concordance par des flyschs (marnes grises et grés calcaires en alternance) d'une épaisseur de 100 m surmontés eux-mêmes par d'autres flyschs (grés et argiles calcaires puis marnes) sur 1000 m (fig 1.3)

Ces niveaux lutétiens sont parfois en contact avec des niveaux de l'eocène supérieur à l'oligocène représentés par 600 à 800 m de flyschs .

-le Quaternaire est représenté par des alluvions dans les lits oueds et les terrassés, des diluvions et des proluvions sur 1.5 à 3 m épaisseur.

1-2/ TECTONIQUE DU GISEMENT

Les calcaires forment une série de plis isoclinaux dont les plans axiaux s'inclinent rapidement au nord; et présentent une faible inclinaison à l'ouest.


les calcaires sont limités à l'est par un accident subméridien supposé tectonique, au nord par des niveaux éocènes et une assise qui s'étend^e au sud et à l'ouest au delà du gisement notamment dans partie prospectée.


Ces calcaires se présentent aussi sous forme des roches faiblement fissurées, dures, grises claires, ne sont pas


Fig: 1-3


echel: 1/50000


CARTE GEOLOGIQUE DU GISEMENT

 Formations éluvio-déluvienne

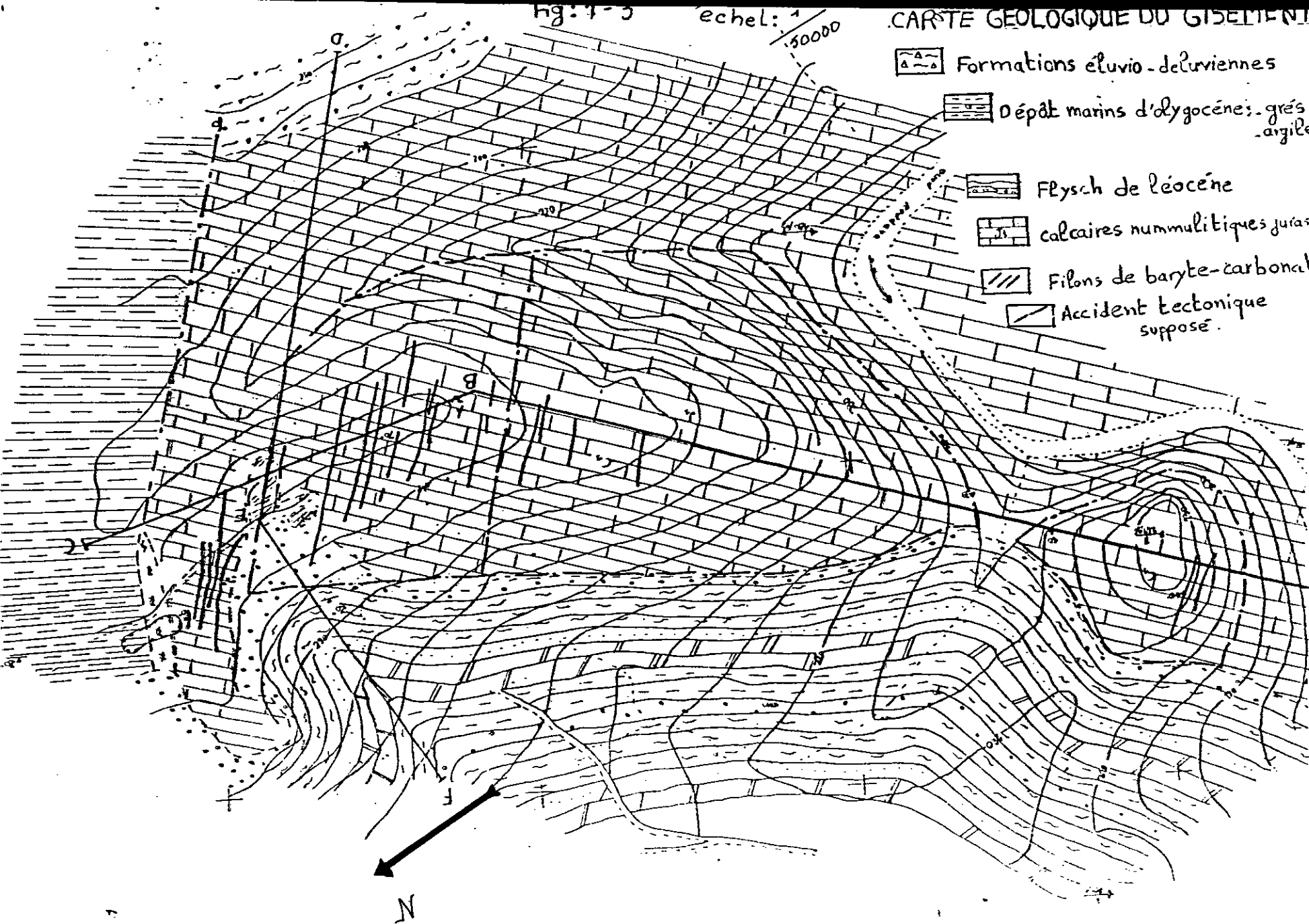
 Dépôt marins d'oligocènes: grés
-argiles

 Flysch de l'éocène

 calcaires nummulitiques jurassique

 Filons de baryte-carbonatés

 Accident tectonique
supposé.



stratiformes et se composent de 80-90% de coquilles des foramiuifères parmi lesquelles prédominent évidemment les nummulites.(fig 1.4)

1-3/ MINERALOGIE

Les coquilles des nummulites éocène marin observées au microscope se composent de filaments de calcite perpendiculaire au parois des coquilles.

Les dimensions des nummulithes varient en longueur de 1.2 à 12mm, en largeur de 0.1mm à 5mm.

il est à noter, parmi des gros restes des coquilles ,l'existence de plusieurs restes organiques plus petits et moins conservés. ces restes organiques sont cimentés par la calcite cryptocristaline imprégnée d'hydroxyde de fer.

1-4/ HYDROGEOLOGIE

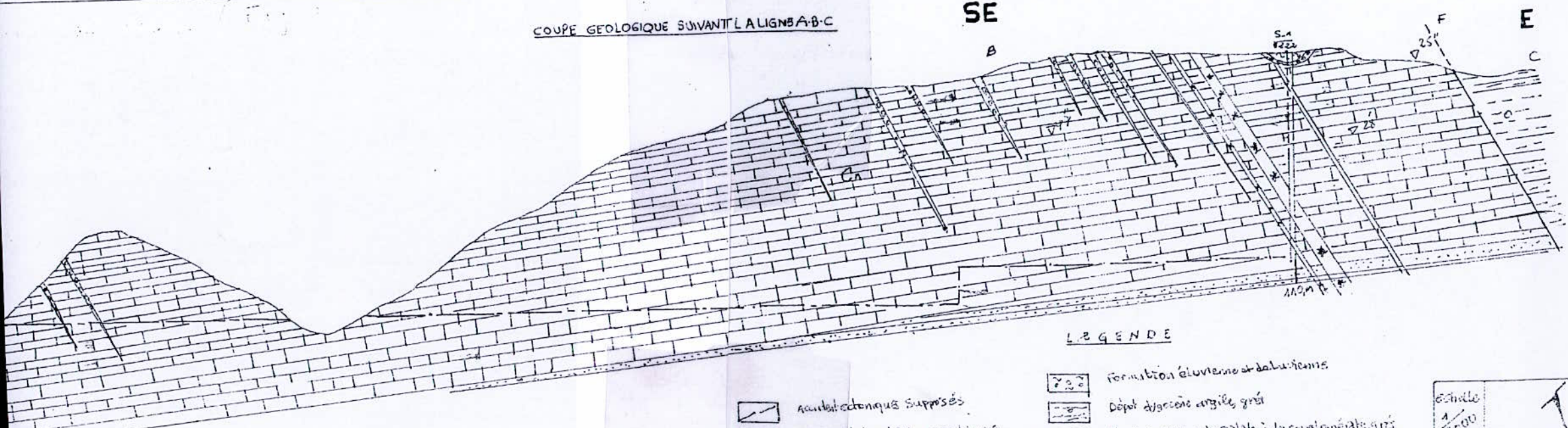
Lors de la prospection aucun sondage n'a permis la rencontre d'eaux souterraines; en surface le gisement n'est pas inondé.

Il existe une seule source d'eau dans la partie ouest du gisement ,ainsi que la présence de l'oued de Bouzegza à partir duquel s'alimente en eau le BARRAGE de Keddara.

cette source ne présente aucune contrainte à l'exploitation, car elle se situe en dehors de la zone prospective.

COUPE GEOLOGIQUE SUIVANT LA LIGNE A-B-C

SE



LEGENDE

- | | | | |
|--|---|--|---|
| | Aciidatectoniques Supposés | | Formation éolienne et daluviennes |
| | Ponts de l'échantillonnage et leurs numéros | | Dépot d'éocène argile, grès |
| | Projection des points de l'échantillonnage sur la ligne de la coupe | | Flysch encore intercalation de conglomérats, grès et sable quartziteux, carbonates, schiste argilieux |
| | Projection des points de l'échantillonnage sur la ligne | | Calcaires nummulitiques quarziteux |
| | Sonage et son numéro et profondeur | | Grès quartziteux carbonaté |
| | Contours des calcaires et réserves des calcaires ou calcairie Ca | | Filons baryte carbonatés |
| | | | Filons de calcite |

| | | |
|---|--|-----|
| échelle 1/2000 | | 197 |
| Rapport sur les résultats de l'exploration de recherche et de développement sur le gisement de calcaires et dolomites | | |
| Coupe géologique | | |

FIG: 1.4

1-5/ CARACTERISTIQUES DU GISEMENT

Les travaux géologiques ont contribué à la prospection détaillée du gisement de calcaire utilisable dans la production d'agrégats.

Les réserves de calcaires du gisement calculés pour les catégories B+C, tenant compte du coefficient de karstification, sont estimées à 6274320 m³ foisonné.

Le gisement se divise en deux parties l'une appelée "EPERON" formant la partie principale dont l'accès et l'exploitation sont favorables, tandis que la deuxième partie nommée "MAMELON" se trouvant à proximité de la station de concassage possède une surface très karstique, il contient environ 1.5 million de tonnes de calcaire.

1-5-1/ COEFFICIENT DE DECOUVERTURE

"L'EPERON" possède sur une partie supérieure un taux de 10% de stérile par gradin (voir tableau 1), c'est surtout au niveau supérieur qu'on note

la présence de karsts terreux (baryte diffusé, contacts...).

la limite sud de "l'éperon" n'atteint pas oued bouzegza dont les crues risqueraient d'inonder le chantier.

la carrière est limitée par un accident tectonique limite (faille) au niveau supérieur 308.

Le front résiduel à l'exploitation superposé à 12 niveaux, soit 114 m de hauteur, l'inclinaison maximale à l'intérieur est adoptée selon une étude de stabilité à 60°.

repartition de la production
du gisement (éperon)

| niv | en m ³ (massif) | | en m ³ (stérile) | | Rp | τ |
|---------|----------------------------|--------|-----------------------------|--------|----|-----|
| | t-v | s-t | t-v | s-t | | |
| 272/260 | 27.500 | 1.550 | 44.000 | 2.500 | 6% | 1.6 |
| 260/248 | 68.750 | 5.200 | 110.000 | 8.300 | 8% | 1.6 |
| 248/236 | 178.750 | 14.200 | 286.000 | 22.700 | 8% | 1.6 |
| 236/224 | / | 10.600 | / | 17.000 | / | / |
| Σ total | 275.000 | 31.250 | 440.000 | 50.000 | 8% | 1.6 |

Tableau A

.t-v veut dire le tout venant

S.E. veut dire le stérile

.Rp / / le rapport de découverte

.τ / / le coefficient de foisonnement

1-5-2/ TRAVAUX D'ABATTAGE

L'abattage exprime en terme minier, l'extraction de la roche du massif; le choix de la méthode d'extraction dépend du type de la roche, de ses propriétés physico-mécaniques et des paramètres techniques des engins utilisés ainsi que des exigences fixées à la qualité de la matière extraite (blocometrie).

Les travaux d'abattage se déroulent de la façon suivante dans la carrière de Keddara :

- réalisation du plan de forge
- chargement des trous de mine par des explosifs
(avec les artifices d'amorçage)
- tir
- chargement et transport des roches vers des points de réception

Dans la carrière de Keddara les travaux de forage sont assurés par des sondeuses de type ATLAS COPCO (crawler pneumatique : engin de forage pneumatique sur chenilles) qui sont alimentées par des compresseurs mobiles .

Caractéristiques technique de la sondeuse atlas copco:

- Moteur :diesel.
- Energie :gazoil.
- Poids :4450 kg.
- Vitesse de roulage maximale:2.5 km/h.
- Pression au sol: $0.6/\text{mm}^2$.

PRINCIPAUX PARAMETRES DES TRAVAUX DE TIR (fig:1.5)

APPLIQUE A LA CARRIERE DE KEDDARA

- DIAMETRE DU TROU: 89 MM
- HAUTEUR DU GRADIN:H: 12 M
- LONGUEUR DU TROU:L:13 M
- inclinaison du trou: $\theta = 27^\circ$
- distance entre les trous :a =2.2 m
- la ligne de moindre résistance: w =2.7 m
- longueur de sous -forage :ls=0.8 m
- nombre de rangées de trous de sondage: 1 à 2
- longueur de bourrage inférieur : 1.85
- longueur de bourrage superieur:= 3 m

chargement des trous :

Le cycle de chargement des trous dans la carrière de keddara se fait de la manière suivante:(fig:1.5)

la première cartouche est attachée au cordeau au moyen de toile isolante soit par un noeud coulant ,les autres cartouches se placent en chute libre les unes sur les autres.

Il peut y avoir par suite du tassement des cartouches, des irrégularités qui'il faut combler par des bourrages intermédiaires ; la charge secondaire est étalée alternativement sur le reste de la hauteur de la colonne d'explosifs avec l'anfomil .

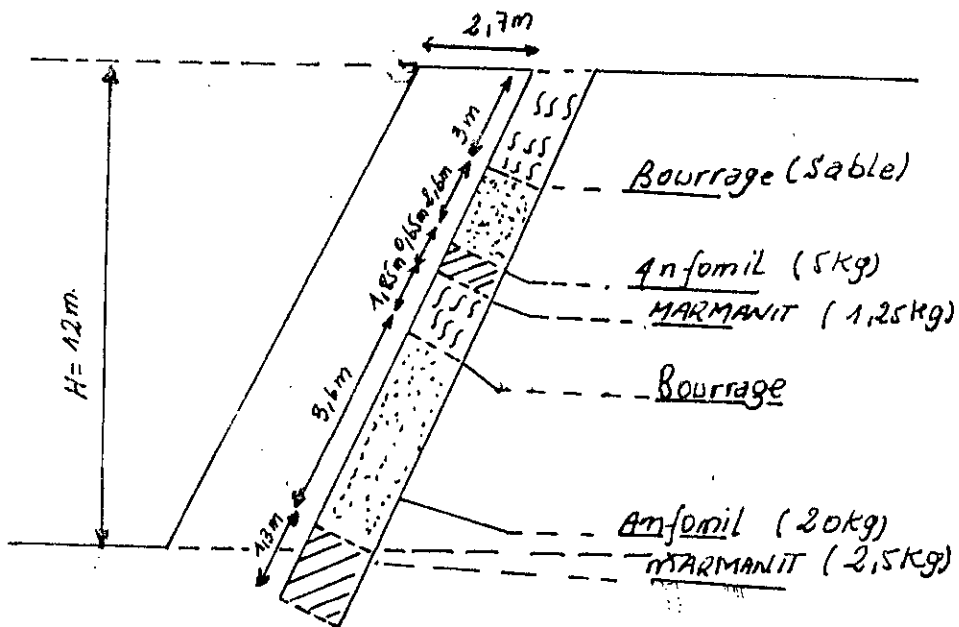


fig 1.5

Repartition de La charge dans Le trou de MINE
 appliqué à la carrière de KEDDARA
 Echelle : 1/200

le bourrage supérieur sera dans ce cas au moins aussi long que l'avancement.

on diminue aussi le danger projection et ce la permet un meilleur travail de l'explosif.

Pour obtenir une meilleur fragmentation et diminution des ébranlements l'explosif étant placé sur le cordeau principal et entre les trous retardeurs.

L'amorçage de l'explosif à l'intérieur des trous de mine ainsi que leur raccordement se fait à l'aide du cordeau détonant.

Chargement des roches abattues

le type des excavateurs utilisés à kaddara ce sont des engins à action cyclique.

les différents pelles que l'on rencontre dans la carrière de kaddara sont:

la pelle komatsu w260 et la rh25, les autres chargeuses sont utilisées au chargement du produit marchand et tant tôt à la reprise de stock tout-venant en cas de besoin.

Caractéristiques de la pelle w260 (komatsu):

-pelle chargeuse sur pneu

-puissance :415 cv

-énergie: gasoil

-vitesse arrière et avant:32.6 km/h

-poids en ordre de marche:37190 kg

-moteur:modèle CUMMINS,puissance 415 cv,vitesse 2100 tr/mn

c/ Transport des roches abattues

Le transport des roches représente l'un des processus le plus

coûteux et prend une part importante environ 70% des frais totaux pour le calcul du prix de revient d'une tonne de minerais.

le moyen de transport existant au sein de la carrière de kaddara est bien le transport par camion.

le parc roulant dans la station dispose:

-04 camions de 20 tonnes

-07 camions de 35 tonnes (5 PERLINI ET 2 KOMATSU).

Caractéristiques des camions:

- Dumper PERLINI (04):

.capacité:20 tonnes

.puissance:230 cv

.acquisition: 1976

-Dumper PERLINI (05):

.capacité:30 tonnes

.acquisition :1980

-Dumper KOMATSU (02):

.capacité:35 tonnes

.puissance:405 cv

.acquisition:1985

.poids à vide :32000 kg

.vitesse avant:60 km/h

.vitesse arrière :9.3km/h

CHAPITRE II

LES CONDITIONS TECHNICO-MINIERES

2-1/ CONDITIONS MINIERES [4]

.Les limites du gisement :

les limites du gisement ont été choisies conformément :

- aux limites du réserves géologique
- aux failles existants
- par rapport au niveau d'eau de l'oued de keddara
- selon l'accès
- à la distance minimale de transport de la matière utile et des stériles

2-2/ OUVERTURE ET METHODE D'EXPLOITATION

2-2-1/ MODE D'OUVERTURE [4] [16] [17]

La phase d'ouverture est un processus déterminant dans toutes les opérations ultérieures, en effet elle dépend en grande partie

- de la topographie
- de la morphologie du gisement
- de la mécanisation disponible

Vue le relief montagneux du massif de Keddara le mode d'ouverture utilisé est celui par demi tranchée .

L'ouverture du gisement a débuté à partir du niveau (308) en creusant une tranchée de découpage (permettant la réalisation d'un front d'abattage initial)

le sens de l'avancement des travaux d'abattage était de west

vers l'est (voir plan d'exploitation fig 1.6)

2-3/ SYSTEME D'EXPLOITATION EN DECOUVERTES

Classification des méthodes d'exploitation :

Celle-ci est basée sur le mode de déplacement des roches de recouvrement aux terrils; en général on distingue des systèmes d'exploitations sans moyen de transport et du systèmes d'exploitation utilisant les engins de transport (camions , train) .

Dans les conditions particulières du gisement de Keddara, le choix du système d'exploitation retenu est l'abattage de la roche à l'explosifs et transport de la matière au stock par camions et évacuation des stériles aux terrils s'effectue soit par bulldozer soit par camions .

2-3-1/ ELEMENTS DU SYSTEME D'EXPLOITATION [15][16]

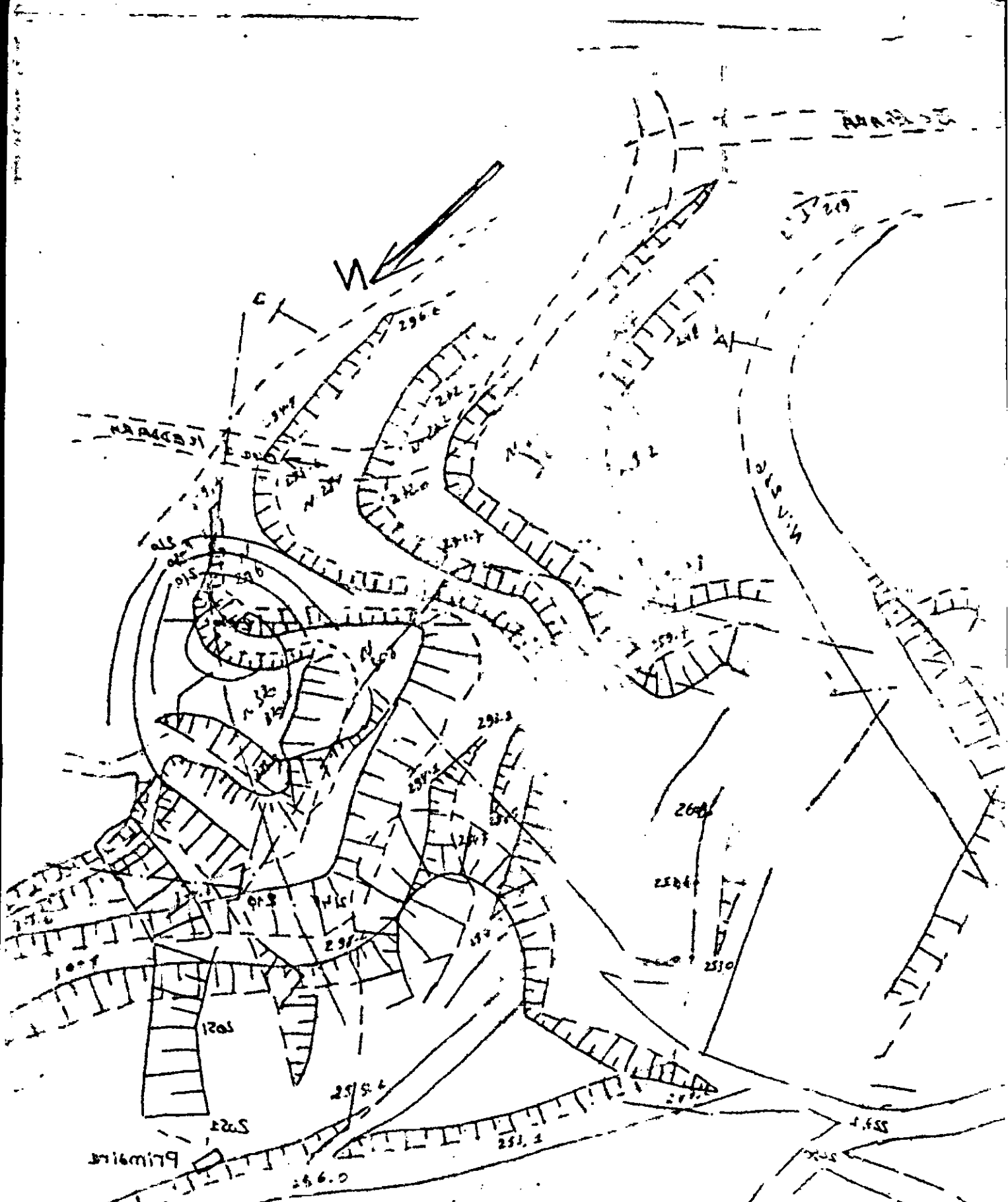
En tenant compte de la nature du gisement, des caractéristiques physico-mécaniques des roches et du type des engins miniers de chargement, de déblaiement et du transport , les éléments du système d'exploitation spécifiés dans le projet d'exploitation sont comme suites :

- la hauteur du gradin : 12 m
- l'angle du talus du gradin d'exploitation
a été retenue de 80°
- l'angle du talus du gradin de liquidation
a été retenue de 60°
- la ligne de moindre résistance au pied du
gradin : 4.82 m

- le mode de déplacement du front d'abattage en fer de cheval (déplacement radial)
- la largeur de la plate forme de travail est conditionnée par les dimensions des engins de déblayement, de transport et par la technique de tir

tenant compte de tous ces paramètres cités ci-dessus, la largeur de la plate forme de travail au sein de la carrière de Keddara a été retenue de 20 à 30 m

(voir plan d'exploitation fig 1.6)



| | | | |
|---------|--------------------------|----------|-------------|
| 30-00-2 | EROT | 1800 | Emerges |
| | CA KADARA | | |
| | Plan of Exploration 1800 | | |
| | L. QUAYE | T. T. | |
| | | C. EXP. | |
| | | Director | B. B. B. B. |

Fig. No.

CHAPITRE III

3/ PROPRIETES GEOMECANIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Le massif rocheux est caractérisé par la nature et les propriétés de la roche qui le compose ainsi que par un ensemble de paramètres concernant son état (stratification, pendage des couches fissuration..).

en effet ,l'élaboration du plan de tir qui répond à ces exigences est directement lié à certains propriétés telles que

-PROPRIETES PHISICO _MECANIQUES

-PROPRIETES GEOMECANIQUES

-PROPRIETES TECHNOLOGIQUES

3-1/ LES PROPRIETES PHYSICO-MECANIQUES [7][8][9]

En pratique, l'appréciation de ces propriétés nécessite un prélèvement des échantillons dans des endroits aussi variés que l'on peut afin d'éliminer tout soupçon sur la non représentativité des échantillons, et sur la nature des résultats pendant la phase de l'expérimentation .

Donc c'est dans cet esprit qu'on a prélevé des échantillons dans des gradins en différentes phases (gradin en phase de liquidation, exploitation et en cours de préparation)

Parmi les propriétés physiques ,mécaniques, ainsi que de déformabilités qu'on a déterminées au labo (U R E G) de Boumerdes sont respectivement données ci-dessous :

les propriétés physiques

- Masse volumique
- La teneur en eau
- degré de saturation
- La porosité

Les propriétés mécaniques :

- La résistance à la compression: R_c
- La résistance à la traction : R_t
- La résistance au cisaillement : R_{cis}

Les propriétés de déformabilités sont :

- Le module de YOUNG dynamique

3-1-1/ DETERMINATION DES PROPRIETES PHYSIQUES:

Il existe deux méthodes de détermination de la masse volumique:

l'une par le pesage hydrostatique et l'autre, par la méthode pycnométrique.

La première consiste à mesurer le volume de l'échantillon à partir de la masse de liquide déplacée(eau) ,celle de l'autre elle est basée sur l'utilisation des fragments des éléments très fines dont la classe granulométrique autorisée varie de 60 à 100 μm .

Principe de mesure de la première méthode:

A l'aide de cette méthode on détermine la masse volumique apparente δ_{ap} qui est définit comme étant le rapport de la

masse de l'échantillon sec à son volume apparent(v).

$$\delta_{ap} = p_s/v ; g/cm^3$$

on note que les échantillons prises pour ces essais ayant tous un diamètre égale à son hauteur dont la valeur est de 4 cm.

En faisant soumettre les échantillons à l'étuve pendant 24 h avec une température de 105° c, après cet étape on les passe au dessiccateur afin de supprimer l'humidité et créer le vide de pores.

en suite on mesure leurs poids (p1) à l'aide d'un balance de marque mettler p2010.

les échantillons sont soumis ensuite à une immersion d'une durée de 24 h ; après le pesé on note leurs masses(p2).

la dernière étape consiste à déterminer avec le pesage hydrostatique(échantillon immergé) leurs masses (p3). d'ou l'en déduit à partir de tous ces résultats la masse volumique apparent à l'aide de la formule donnée ci-dessous:

$$\delta_{ap} = \frac{p_1}{p_2-p_3} : g/cm^3$$

avec p1 : la masse de l'échantillon sec;g

avec p2 : la masse de l'échantillon humide ;g

//p3 : la masse de l'échantillon dans l'eau ; en g .

voir les résultats au tableau (3.1)

Principe de mesure de la deuxième méthode:

Cette méthode est basée sur la détermination de la masse volumique absolue.

la classe choisie comme on l'a précisée avant étant variée de 60 à 100 μm .

on pèse le pycnomètre premièrement à vide et sec (p_1); en suite on introduit la masse broyée dans le pycnomètre et on détermine leur masse totale (p_2) à sec.

après cet étape ; on fait passer l'ensemble de l'échantillon ainsi que le pycnomètre dans lequel qui est introduit de l'eau distillé à un processus de chauffage suivi par un autre processus de refroidissement afin de déterminer la masse (p_3) (p_3 étant la masse de l'ensemble)

à la fin on détermine la masse volumique absolue par la formule suivante:

$$\delta_{\text{abs}} = \frac{p_1}{p_1 + p_3 - p_2} ; \text{g/cm}^3 \quad [7]$$

voir tableau de mesure (3.2)

détermination de la teneur en eau (w_e) :

elle est donnée par la formule suivante $w_e = \frac{p_2 - p_1}{p_1} 100 ; \%$

Détermination de la porosité ouverte (n_o):

$$n_o = \frac{p_2 - p_1}{p_2 - p_3} 100 ; \% \quad [7]$$

voir tableau (3.1)

Détermination de degré de saturation (s): $s = \frac{w_e}{n_o}$

voir tableau (3.1)

tableau (3.1) (masse volumique apparent,
teneur en eau ,la porosité ouverte et le degré de saturation)

| n° ech | v (cm ³) | p1 (g) | p2 (g) | p3 (g) | δap (g/cm ³) | wm (%) | no (%) | s |
|--------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------|------|
| 1 | 56.81 | 152.1 | 152.8 | 96.3 | 2.69 | 0.46 | 1.24 | 0.17 |
| 2 | 54.79 | 145.5 | 146.2 | 92.0 | 2.68 | 0.48 | 1.29 | 0.37 |
| 3 | 55.46 | 148.9 | 149.5 | 94.2 | 2.69 | 0.40 | 1.08 | 0.37 |
| 4 | 55.46 | 146.2 | 146.5 | 92.0 | 2.68 | 0.2 | 0.55 | 0.36 |
| 5 | 58.19 | 148.0 | 148.4 | 93.9 | 2.71 | 0.27 | 0.74 | 0.36 |

tableau (3.2) (la masse volumique absolue)

| | (la masse volumique absolue) | | | | |
|---|-------------------------------|-------|--------|--------|---------|
| | (g) | (g) | (g) | (g) | (g/cm) |
| 1 | 53.44 | 61.07 | 157.64 | 152.80 | 2.74 |
| 2 | 54.17 | 61.84 | 158.34 | 153.49 | 2.72 |
| 3 | 54.44 | 62.4 | 158.77 | 153.74 | 2.72 |
| 4 | 53.98 | 61.86 | 157.96 | 152.89 | 2.75 |
| 5 | 51.00 | 58.80 | 155.17 | 150.21 | 2.73 |

3-1-2/ Détermination des propriétés mécaniques [8]

essai de traction (ou essai brésilien)

Dans l'essai de traction indirecte dit "essai brésilien", on exerce une compression suivant deux génératrices diamétralement opposées de l'éprouvette cylindrique de rayon "R" et de longueur "l".

La fissure apparaît au centre de l'éprouvette où les contraintes de traction sont les plus importantes.

la résistance est déterminée par la formule suivante :

$$R_t = \frac{f_{\max}}{\pi \cdot r \cdot l} ; \text{kgf/cm}^3 \quad \text{ou } f_{\max} \text{ la charge maximale appliquée.}$$

voir tableau de mesure (3.3)

Essai de compression

La résistance de compression étant définie comme le rapport de la charge maximale produisant la rupture à la surface d'un échantillon donné.

elle est définie par $R_c = \frac{f_{\max}}{S} ; \text{kgf/cm}^2$

voir tableau de mesure(3.4)

tableau (3.3) (résistance à la traction)

| n° ech | Rt (kgf/cm ²) |
|--------|---------------------------|
| 1 | 56.98 |
| 2 | 57.24 |
| 3 | 53.03 |
| 4 | 52.12 |
| 5 | 50.77 |

tableau (3.4) (résistance à la compression)

| n° ech | Rc (kgf/cm ²) |
|--------|---------------------------|
| 1 | 665.93 |
| 2 | 672.93 |
| 3 | 642.20 |
| 4 | 559.91 |
| 5 | 610.95 |

tableau (3.5) (classification des roches selon leurs résistances de compression et traction)

| roche | faiblement résistantes | moyenne | résistantes | très résistantes |
|----------|---------------------------|---------|-------------|---------------------|
| Rc (Pm) | 5 | 20 | 60 | >100 |
| Rt (mpa) | 0.5 | 1.5 | 4 | >20 |

Détermination de module dynamique

L'instrument de mesure est un appareil géophysique (appareil à ultrason) qui mesure le temps de parcours de l'onde longitudinale d'un échantillon cylindrique de longueur l , placé entre les extrémités d'un système émetteur-récepteur; à partir de ce temps, on en déduit la vitesse de propagation longitudinale par l'expression suivante :

$$v_l = \frac{l}{t} ; \text{m/s} \quad \text{ou } l : \text{la hauteur de l'éprouvette}$$

t : temps mesuré par le récepteur

Connaissant, la vitesse de propagation longitudinale et la densité de la roche, on peut déterminer le module dynamique par la formule suivante :

$$E_d = \rho \cdot (v_l)^2 \quad [9] \quad \text{ou } \rho : \text{densité} \\ v_l : \text{vitesse longitudinale}$$

voir tableau (3.6) (module dynamique)

| n° ech | E_d (mpa) | E_d (kgf/cm ²) |
|--------|-------------|------------------------------|
| 1 | 73956 | 739560 |
| 2 | 92300 | 923000 |
| 3 | 85332 | 853320 |
| 4 | 82180 | 821800 |
| 5 | 88050 | 880500 |

3-2/ LES PROPRIETES GEOMECANIQUES [14] [17] [18]

Les massifs de roches dures sont en général divisés en blocs structureux par des systèmes de fracturation naturelle appelé fissuration, ce qui sont le plus souvent à l'origine des glissements qui affectent les gradins d'une mine à ciel ouvert ; en effet, cet état est caractérisé par son degré de fissuration et sa stabilité .

Les massifs rocheux sont classés selon leur degré de fissuration en fonction :

- de la dimension moyenne structural " d_m "
- au coefficient d'affaiblissement structural " λ "
- à l'indice accoustique α

on note aussi que λ dépend de :

- de l'intensité des fissures
- de l'orientation des fissures
- du caractères lithologique

3-2-1/ Détermination de la dimension moyenne structurale

Nous avons essayé de l'apprécier par la technique dite "la ficelle graduée" ; en effet cette dernière consiste à faire étaler sur le front du talus une ficelle graduée et de prendre le nombre de fissures présents sur une longueur préalablement

choisie .on apprécie la dimension moyenne structurale par l'expression suivante :

$$d_m = \frac{l}{n} \quad ; D_m \text{ (m)}$$

ou l: c'une longueur qu'on a choisie constante (5 m)

n: le nombre de fissures compté sur la partie mesurée.

voir tableau (3.7)

tableau (3.7)

| | | | | | | | | |
|----------------|---|------|------|-----|------|------|------|------|
| nbr de fissure | 5 | 7 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| la fréquence | 1 | 1 | 1 | 6 | 1 | 6 | 1 | 1 |
| dmi | 1 | 0.75 | 0.63 | 0.5 | 0.45 | 0.42 | 0.38 | 0.38 |

la valeur moyenne retenue

$$d_{moy} = \frac{\sum d_{mi}}{n}$$

d_{moy} = 0.61 m voir tableau indiquant le degré de fissuration du massif rocheux.

tableau (3.8)

| degré de fissuration du massif rocheux | d _m | α ₁ | λ |
|---|----------------|----------------|-------------|
| I extrêmement | 0.1 | 0.01- 0.1 | 1.01 -0.065 |
| II très fissuré | 0.1-0.5 | 0.1-0.25 | 0.05-0.015 |
| III moyennement fissuré | 0.6-1 | 0.25-0.4 | 0.1-0.55 |
| IV peu fissuré | 1-1.55 | 0.4-0.6 | 0.5-0.9 |
| V pratiquement monolithique | >1.5 | 0.6-0.1 | 0.6-0.98 |

Les valeurs encadrés dans le tableau ci-dessus sont celles qui correspondent à l'état de fissure du gisement de calcaire du massif rocheux de Keddara .

L'instabilité du massif rocheux est un phénomène très complexe, vue les conséquences graves qu'elle peut induire sur le déroulement des opérations minières; donc pour mieux apprécier cette stabilité, on considère :

- l'angle de frottement interne " ϕ " [8]
- le coefficient de frottement interne "ff" [8]
- la cohésion " C " [8]

Ces paramètres sont appréciés par les expressions suivantes:

- $\phi = \arcsin((Rc-Rt)/(Rc+Rt)) : (\text{deg})$ [8]
- $ff = \sin(\phi)$ [8]
- $C = (Rc \cdot Rt)^{0.5} / 2 : (\text{mpa})$; avec $Rc_{is} = Rc_{is} / 3$

Lors du calcul de ses paramètres , nous avons pris comme résistance de compression et traction leurs valeurs moyennes.

voir tableau (3.9) (paramètres des massif)

| Rc (mpa) | Rt(mpa) | angle de frottement interne | ff | c (mpa) |
|----------|---------|-----------------------------|------|---------|
| 63.16 | 5.40 | 57.38 | 1.56 | 9.23 |

3-3/ LES PROPRIETES TECHNOLOGIQUES [4][14][17][18]

vue le développement qui a connu l'industrie minière dans le domaine technologique et l'ensemble des procédés qui y sont entrés, impose la nécessité de tenir compte de certains facteurs à savoir :

- le coefficient de dureté de roche, selon PROTODIAKONOV donnée par: $F = R_c/10$; (mpa)
- l'indice de la résistance au contact : I_c
cet indice caractérise la foration sur la roche il est donnée par la relation indiquée ci- dessous
 $I_c = 1.9 * R_c^{1.5}$ R_c :mpa
- le coefficient de dureté de l'agrégat: F_{ag}
cet coefficient caractérise la pression relative de l'outil de foration sur la roche au moment de la destruction de celle ci , il est fonction de I_c il est donnée par la relation : $F_{ag} = I_c/0.62$.

La difficulté d'exploitation est caractérisée par :

- l'indice de difficulté de destruction de la roche "Des"
avec $Des = 0.005 * k_t * (R_c + R_t + R_{cis}) + 0.5 * \gamma$
 k_t coefficient tenant compte de la fissuration des massif);
avec R_c , R_t et R_{cis} sont exprimées en (kgf / cm^2);
- l'indice de difficulté de foration I_f :
 $I_f : = 0.007 * (R_c * R_{cis}) + 0.7 * \gamma$
- l'indice de difficulté d'excavation: I_{exc} /

$$I_{exc} = 0.3 \cdot \lambda \cdot (R_c \cdot 0.2 + R_c + R_{cis} + R_t) + 0.3 \cdot \gamma$$

ou R_c, R_t, R_{cis} sont exprimées en (mpa)

-la consommation spécifique étalon, théorique de l'explosif

$$q_0 = 10^{-5} \cdot (0.1 \cdot k_t \cdot (R_c + R_t + R_{cis}) + 40 \cdot \gamma)$$

$R_c, R_t,$ et R_{cis} sont exprimées en (kgf/cm^2);

$$k_t = 1.2 \cdot d_m + 0.2 ; (\text{kg/m}^3) \text{ ou } d_m \text{ est exprimé en (m)}$$

-l'indice de difficulté d'exploitation : D_{exp} :

$$D_{exp} = 0.2 \cdot (k_f \cdot I_f + k_q \cdot q_0 + k_{exc} \cdot I_{exc})$$

les coefficients : k_f, k_q et k_{exc} sont données d'après les valeurs de $I_f, q_0,$ et I_{exc}

tableau (3.10)

| R_c (mpa) | f | I_c | f_{ag} |
|-------------|------|--------|----------|
| 63.16 | 6.32 | 953.71 | 1538.24 |

tableau (3.11)

| I_f | k_f | q_0 (kg/m^3) | k_q | I_{exc} | k_{exc} |
|---------|-------|---------------------------|-------|-----------|-----------|
| 5 | 0.8 | 0.2 | 30 | 3 | 0.8 |
| 6 à 10 | 0.9 | 0.2 à 0.4 | 35 | 3 à 5 | 0.9 |
| 11 à 14 | 1 | 0.4 à 0.6 | 40 | 6 à 9 | 1 |
| 15 à 17 | 1.1 | 0.6 à 0.8 | 45 | 9 à 12 | 1.1 |
| 17 | 1.2 | 0.8 à 1 | 50 | 12 à 15 | 1.2 |

Tableau (3.12)

| If | catégorie | Dexp | catégorie |
|-------|-----------------------|------|-------------------------------|
| 12.3 | difficilement forable | 9.12 | difficilement exploitable |
| 11.96 | // // | 7.40 | // // |
| 7.51 | moyennement forables | 3.12 | assez facilement exploitables |
| 3.68 | facilement // | 1.46 | facilement exploitables |
| 3.61 | // // | 1.44 | // |

tableau (3.13) (paramètres technologiques du gisement de Keddara)

| Rc (mpa) | Rt (mpa) | Rcis (mpa) | Ddes | If | Kf | q0 (kg/m ³) | Kq | Iexe | Kexc | Dexp |
|-------------|-------------|---------------|------|------|-----|----------------------------|----|-------|------|------|
| 63.16 | 5.40 | 21.053 | 2.46 | 7.76 | 0.9 | 0.2 | 35 | 12.53 | 0.9 | 5.4 |

3-4/interpretation des resultats

Les resultats obtenus experimentalement des essais de compression et de traction sur la roche , variant respectivement de 559.91 à 672.93 kgf/cm²,montrent bien selon le tableau (3.5) que la roche de calcaire est plus ou moin resistente; de même l'etude degagé à partir des facteurs technologiques (voir tableau (3.13) permet de conclure que l'exploitation dans le cas du gisement de calcaire de Keddara est plus ou moins difficile, cela implique qu'elle necessite des engins de forations performantes avec même utilisation des explosifs puissants (brisants) pendant la phase de l'abattage .

L'adaptation d'un plan de tir, qui répond aux exigences de l'exploitant ainsi qu'aux différents milieux de terrains (stratiformes, fissures, homogène) a été toujours un sujet de recherche qui n'a pas connu un remède définitif jusqu'à présent.

En effet, l'élaboration d'un plan de tir, doit nécessairement passer par certaines étapes et assurer certaines exigences tels que:

- Des exigences dimensionnelles (ou blocométrie) ou des exigences géométriques.
- Implantation du plan de forage.
- Le choix adéquat de l'explosif.
- Le type d'ammorçage.
- La séquence d'initiation. [12][13]

4-1/ Exigences géométrique ou la blocométrie

La blocométrie doit satisfaire une distribution granulométrique optimale et aboutir à certains paramètres qui sont comme suits :

- La dimension maximale des blocs.
- La taille moyennes des blocs.
- Le taux de fines.
- Le fuseau granulaire. [11][12]

4-1-1/ La dimension maximale admissible des blocs : [14]

La dimension maximale de roches abattues se détermine en fonction des paramètres des engins miniers, à savoir:

- de la capacité du godet de l'excavateur (E);

$$d \leq 0.8 \sqrt[3]{E} \quad (\text{m}) \quad [14]$$

- des dimensions d'ouverture de la tremie de reception ou concasseur (B) $d \leq 0.8 B$; m
- la capacité de la benne du camion (V_c)

$$d \leq 0.5 \sqrt[3]{V_c} \quad (\text{m}) \quad [14]$$

- de la largeur de la bande du convoyeur (B_c)
 $d \leq 0.5 B_c + 0.1$, m [14]

La taille moyenne des blocs

En 1973, KUZNETZOV élabora une expression déterminant la taille moyenne des blocs dans le tas abattu :

$$\bar{X} = K * (E*B*H)^{1/3} * E_s^{-0.033} \quad (\text{m}) \quad [13]$$

E : espacement entre les trous de mine (w)

B : banquette (m)

H : hauteur de gradin (m)

E_s : energie spécifique de la volée (kj/t)

K : coefficient de fracturation

k = 7 : roches moyennement fissurées

k = 10 : // dures ; très fissurées

k = 12 : // // , faiblement fissurés [17]

Détermination de la distribution granulométrique

Pour caractériser le fuseau granulaire Just (1970) propose le modèle de Rosin Rammler :

$$F(n) = 1 - \text{Exp} \left[-\ln(2) \left(\frac{X}{\bar{X}} \right)^n \right] \quad [19]$$

où F(n) : fraction des passants à travers le tamis

X : l'ouverture des tamis

\bar{X} : taille moyenne des blocs.

De la méthode de KUZNETZOV et de l'équation de ROSIN RAMMLER , CINCINGHAM (1983) élabora le modèle de KUZ-RAM .il propose le

calcul de l'indice de forme n :

$$n = (2.2 - 14 * B/d) * (n - W/B) * (1 + (E/B-1)/2) * 2/H \quad [43]$$

où W : déviation de la foration (m)

d : diamètre de foration (mm)

Le plan de tir doit prendre en considération ces objectifs et adopter les paramètres de tir pour y répondre .

Parmi les paramètres notons :

- la hauteur du gradin
- l'inclinaison du trou foré
- la maille où le rapport espacement entre trous/banquette
- le nombre de rangées de trous
- le diamètre du trou.

4-2/ La Foration

Généralités

L'emplacement de la charge explosive par rapport aux surfaces libres et son confinement jouent un rôle primordiale pour le rendement des tirs. Il est nécessaire de forer les trous de mine à partir du bon endroit , avec la bonne orientation , la bonne longueur et le bon diamètre ; la précision avec laquelle ces paramètres seront respectés aura une grosse influence sur les résultats.

La foration doit prendre en compte :

- les caractéristiques mécaniques de la roche
- la structure du massif
- la géométrie du dérochement

Critère de choix d'un matériel de foration

- Le matériel de foration est généralement choisi en fonction de trois critères :

1°)- LA forabilité de la roche qui est fonction de :

- de la résistance de compression σ_c , l'abrasivité

et la structure du massif

2°)- Matériel de reprise . (pelle, chargeuse)

- . granulométrie recherchée
- . production
- L'environnement
 - . présence d'habitation
 - . vibrations
 - . bruit , poussière

4-2-1/ Les paramètres caractérisant l'engin de foration [3][11]

Le matériel de foration à utiliser peut être caractérisé par différents paramètres :

- Le diamètre de foration
- La profondeur à forer

Le choix du diamètre de l'engin de foration est étroitement lié au profondeur , en effet les engins légers ne permettent que la foration à faible profondeur et en petit diamètre.

- La quantité de matériaux à abattre

Elle définit le nombre nécessaire de metre foré en fonction du diamètre et de la maille.

Dans le cas d'une production importante , le choix peut se faire soit sur une machine puissante à haute performance.

4-2-2/ Les techniques de forage existant actuellement [10][12]

- Toutes les techniques de forage existant actuellement utilisent:
 - . Un mouvement de rotation
 - . Un mouvement de descente accompagné ou non d'un mouvement de percussion.
 - . Un soufflage d'air comprimé permet la remontée des débris de foration et refroidir les outils de foration dans une

certaine technique de forage , l'air comprimé est remplacé par injection d'eau , de boue ou de mousse.

Les mouvements de rotation et de descente , ainsi que le soufflage sont assurés par un train de tiges solidaires d'un outil (taillant , tricône , outil de coupe) situé à la base du tronc.

- . La roto percussion ; c'est la technique la plus répandue nécessitant un frappeur situé soit en surface (Marteau hors de trou) , soit entre le taillant et le train de tige (marteau fond de trou).

On distingue quatre techniques de foration :

- foration par roto-percussion avec marteau hors du trou
- foration par roto-percussion avec marteau fond du trou
- foration par coupe rotative avec outil à lames
- foration rotary avec outil tricône
- technique (VPRH)

4-2-3 Réalisation

L'implantation du plan de forage consiste à respecter pour chaque trou.

Les paramètres tels que x, y, z , α (inclinaison) et l'engin doit pouvoir évoluer et se mettre en place à partir d'une plate forme bien réglée :

- Le reprérage en X et Y est fonction de la maille de foration
- Le nivellement en altitude (z) est effectué à partir d'un levé en altitude des points représentatifs de la plate forme
- L'inclinaison des forages (α) doit être respecter afin que les explosifs mises en oeuvres concernent bien un volume de matériaux bien définie

4.2-4 Technique de foration

a/ Foration par roto-percussion avec matteau hors du trou

Elle combine les mouvements de rotation et de percussion à partir de la surface du sol et l'énergie est transmise au taillant par l'intermédiaire d'un train de tiges.

Les matériels roto-percutants sont caractérisés par :

- la fréquence de frappe qui varie de 1000 à 4000 coups/min
- l'énergie par coup
- la possibilité ou non de faire varier l'un ou l'autre de ces paramètres

En règle générale , une faible énergie et une fréquence élevée (donnent de bon resultats en terrains tendres , mais ne permettent pas toujours une foration en terrains durs.

b/ Foration par roto-percussion avec marteau fond de trou

- Le mouvement de rotation est assuré par un moteur fixé en surface et transmis l'énergie par l'intermédiaire d'un train de tige au frappeur situé au fond du trou.
- Avantage : il est possible d'injecter de l'eau ou de la mousse
- Diminution notable des coincements en cours de foration
- L'énergie transmise au taillant est indépendante de la profondeur.

c/ Foration par coupe rotative

Cette technique surtout utilisée en cimentiers . Elle n'est utilisée que en roche peu abrasive et de résistance faible à moyenne

d/ Foration rotary par outil tricône

Cette technique demande des engins geants réservés à des grosses exploitations , permet de réaliser des trous à partir de 160 mm de diamètre.

4-3/ Le choix de l'explosif [1][5][6]

On appelle explosion tout dégagement en un temps extrêmement court d'un grand volume de gaz.

Il existe divers types d'explosions parmi lesquels nous pouvons citer :

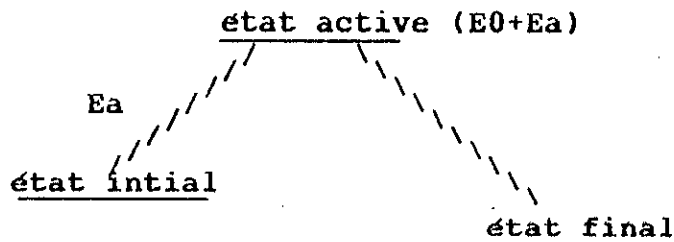
- les explosions " Pneumatiques "
- les explosions " Electriques "
- les explosions " Nucleaires "
- les explosions " Chimiques "

Dans notre étude , on se limitera à une étude des explosions chimiques.

Les explosifs chimiques ont leur origine dans une brusque réaction chimique . Nous les répartirons en deux catégories :

- d'une part les explosifs causés par la décomposition chimique d'une substance qui est appelée alors substance explosive
- d'autre part , les explosifs dûs à une réaction entre plusieurs substances dont chacune d'entre elle prise isolement , ne peut exploser.

Schema général d'une explosion



Appelons E_0 le niveau d'énergie moyen des molécules de la substance et E_a l'énergie d'activation, c'est à dire l'énergie qu'il faut apporter à une molécule, d'énergie E_0 , pour qu'elle se décompose.

Les molécules en générale n'ont pas la même énergie, mais une distribution d'énergie dont la moyenne est E_0 .

Une molécule aura lieu à une décomposition si elle atteint l'énergie $E_0 + E_a$.

Pour que cette décomposition puisse se propager, il faut qu'une molécule voisine de celle qui s'est décomposée, reçoive par suite de la décomposition de cette molécule, une quantité d'énergie supérieure ou égale à sa propre énergie d'activation; Cela sous entend :

- d'une part que le processus de décomposition de la molécule activée doit entraîner un dégagement d'énergie suffisante ;
- d'autre part il doit y avoir un bon transfert d'énergie entre les molécules voisines

4-3-1/Les caractéristiques des explosifs

Lorsque l'on est en présence d'une substance explosifs, il est essentiel de savoir d'abord si le produit est stable et s'il peut

être conservé sans danger . Il faut savoir aussi dans quel mesure il est sensible aux différents types d'amorçage possible et enfin pour pouvoir l'utiliser en obtenant l'effet souhaité à l'avance , il faut connaître ses performances.

Avant de passer à une étude sur les caractéristiques des explosifs nous allons tenter de définir tous les régimes de décomposition qui peut en avoir. Un explosif donné.

Lors de la décomposition d'un explosif , il peut y avoir des régimes de décomposition dont la réaction chimique soit une combustion , ou bien déflagration ou détonation.

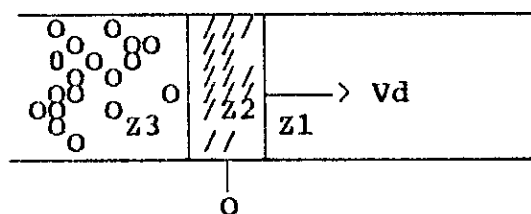
- Combustion : La combustion est une réaction d'oxydoréduction faisant appel en général à l'oxygène de l'air , la réaction de combustion se propage par un mécanisme classique de transfert thermique et rayonnement , les gaz de combustion se déplacent en sens opposé à celui de la propagation de la réaction.
- Déflagration : La déflagration est une combustion partiellement rapide de la matière explosive dont le processus de décomposition s'effectue par conductibilité thermique.
Dans notre cas le volume , la pression , la température et la vitesse de combustion varient d'une façon continue .
La vitesse de transformation est relativement lente (10 à 400 m/s).
- La détonation : La détonation est le régime de décomposition le plus rapide , c'est donc celui qui donne les effets mécaniques les plus importants et qui le plus généralement recherché dans l'emploi des explosifs . Il nécessite un développement théorique.
La détonation est une réaction chimique exothermique qui se propage dans l'explosif , couplée avec une onde de choc ,

le phénomène conduit à une vitesse de détonation stable il est entretenu par l'énergie dégagée par la décomposition de l'explosif .

Cette réaction chimique exothermique donne des gaz (surtout CO_2 et H_2O) dont la température est comprise entre 1000 à 4000°C , la pression est de 1000 à 25000 MPa environ de 10 à 250 Kbars.

La vitesse de détonation est comprise entre 1000 et 8000 m/s pour les explosifs civils généralement elle varie de 2000 à 7000 m/s.

Schema



(O) : onde de choc

Z1 : zone où l'explosif n'a pas réagi (explosif aux conditions T_1 , P_1 , V_1)

Z2 : zone de réaction (produit de réaction aux conditions T_2 , P_2 , V_2)

Z3 : zone de produit de réaction.

4-3-2/ Caractéristiques pratiques des explosifs

Quand on veut choisir un explosif pour un travail déterminé , on doit en connaître ces caractéristiques pratiques qui sont :

- son coefficient d'utilisation pratique
- sa vitesse de détonation
- sa brisance
- son coefficient de self excitation
- sa sensibilité au frottement et au choc
- sa stabilité à la chaleur , au gel et à l'humidité.

- Coefficient de self d'excitation

Ce coefficient mesuré (en cm ou en mm) exprime la sensibilité à l'onde explosive d'une masse d'explosif donné , placée au voisinage d'une autre masse de même nature.

Cette propriété caractérise la distance qui sépare deux extrémités de cartouches placées dans le même axe , de telle façon que la détonation de la cartouche amorcée entraîne celle de l'autre.

- Sensibilité au frottement et au choc

Certains explosifs y sont sensibles et doivent être manés avec précaution (chargement des trous de mine profondes).

- Stabilité à la chaleur et au froid :

A une grande importance , en particulier quand l'explosif doit être utilisé sous des climats variés .

- La brisance

Effet de la pression de détonation qui existe devant l'onde de choc et qui joue un grand rôle au niveau du mode de fragmentation du rocher.

En pratique , les caractéristiques de l'onde de détonation sont liées non seulement aux caractéristiques de l'explosif (composition , masse volumique) mais aussi à la géométrie et au confinement utilisés.

Il existe en réalité deux sortes de détonation :

- La détonation idéale est un régime de détonation permanent qui se propage avec la célérité du son dans les produits de la réaction (modèle de Chapman-Jouguet).
- La détonation stable est un régime de détonation permanent voisin du régime idéal. La célérité de l'onde de choc est légèrement inférieure à celle de la détonation.

Signalons que la vitesse de détonation varie considérablement en fonction :

- du diamètre du cartouche .

Il existe un ϕ critique au dessous duquel la détonation ne se produit pas.

- de la densité de chargement
- du confinement : plus le diamètre et le confinement sont faibles , plus les pertes latérales réduisent la vitesse de détonation .

4-3-3/ Critères de choix de l'explosif [10]

Un explosif industriel est une substance ou mélange de substances capable de libérer de très forte quantité d'énergie sous un faible volume environ 2 à 5 MJ/kg .

On rappelle encore que cette énergie est libérée par décomposition de l'explosif dont on distingue deux régimes :

- La détonation sous l'effet de l'onde de choc :
Elle constitue le régime de décomposition le plus rapide donc celui qui donne les effets mécaniques les plus importants.
- La déflagration : réaction chimique entretenue par un rayonnement thermique .

L'énergie d'un explosif libérée au cours d'une détonation se

manifeste sous deux formes :

- Une énergie de choc véhiculé par une onde de choc
- Une énergie des gazs qui s'exprime sous la forme d'un gaz à très hautes températures et présssion .

Effet général des ondes de choc dans le massif rocheux

Lors de la détonation d'une charge s'accompagne de phénomène irréversibles qui permettent de définir trois zones :

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

voir schéma 4.2

Zone de broyage

Dans les premiers temps de la propagation , les contraintes subies par la roche sont très élevées de 5 à 75 Kbars de pression. Les contraintes en général excèdent dans un temps très court la résistance à la compression de la roche R_c qu'elles broient en fines particules.

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

La décroissance des contraintes varie d'une façon continue en fonction de la résistance à la compression de la roche, et le sera d'autant plus à partir de l'intervalle 3 à 5 r_c (r_c : rayon de la charge).

Zone de fissuration radiale (zone transitoire)

La roche subit en plus de la contrainte de compression radiale une contrainte tangentielle de traction , celle-ci malgré une décroissance dans la zone de broyage , néanmoins demeure supérieure à la résistance , à la traction (de la roche) sur une distance importante .

La contrainte tangentielle est responsable de la rupture (entraction) mais cette phase reste en particulier caractérisée par des fissures radiales .

La fissuration radiale se développe à des distances comprises entre 20 et 50 r_c .

Zone sismique

Au delà de la zone de fissuration , il y'a réapparition des vibrations qui affaiblissent le massif.

schema 4-2

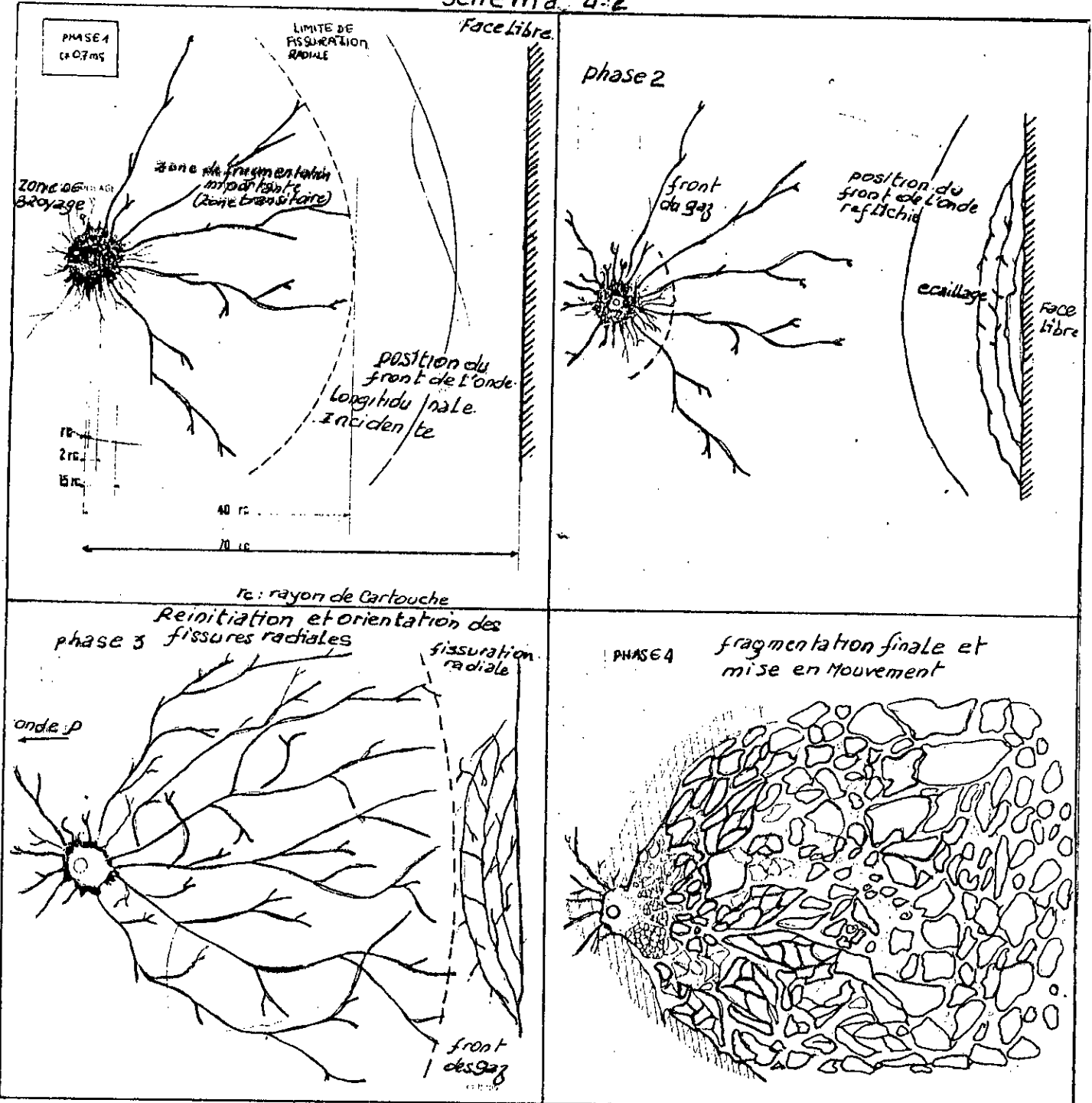


FIG : Développement de la fissuration et de la fracturation phase (1 d.4)

Effet des ondes réfléchies

Au contact de l'interface roche/air , la réflexion des ondes de compression est presque totale, en effet ces ondes réfléchies génèrent deux effets importants :

- * Modification des fissures radiales
- * Initiation de nouvelles fissures.

Fragmentation finale (mise en mouvement)

les gaz emprisonnés vont se propager et s'infiltrer au sein des fissures et permettent la mise en mouvement de blocs

LES EXPLOSIFS INDUSTRIELS

4-4/GENERALITE [1][5][10][11]

Selon le mode d'ammorçage on destingue deux catégories d'explosifs :

Les explosifs primaires et les les explosifs secondaires, La détonation des explosifs primaires peut être amorcé par une élévation de température, ou un choc faible ; ces explosifs ne peuvent que détonner, on les trouve que dans les détonateurs (azoture de plomb,fulminate de mercure) et en très petite quantité (0.2 g).

Les explosifs secondaires peuvent détoner ou deflagrer;leur détonation ne peut être amorcé facilement que par la détonation d'un autre explosif très puissant.

COMPOSITION

Certains explosifs sont des corps purs,correspondant à une formule chimique bien précise :c'est le cas de la penthrite et de la TNT.

pour des raisons de sécurité, ces explosifs sont surtout réservés aux usages militaires; on les trouve en petite quantité dans des produits à usage civil tels que les cordons détonants, les détonateurs.

en général les explosifs industriels sont des mélanges dont les constituants peuvent être:

des composés chimiques explosifs : obtenu en fixant sur une molécule organique des groupements nitrés contenant de l'oxygène qui sert à brûler le l'hydrogène de la molécule ; exemple (la nitroglycérine, dinitroglycol, coton azotique).

les comburants : ce sont des substances dont le rôle est d'apporter de l'oxygène pour permettre la combustion complète des composés organiques explosifs présents ; et la combustion des ingrédients non explosifs :

il s'agit en général des minéraux nitrés comme le nitrate d'ammonium ou le nitrate de soude.

Les combustibles : tourbe , farine de bois, aluminium, gomme de quar, il ya aussi d'autres combustibles ont un rôle complémentaire tels par exemple:

L'absorption de la nitroglycérine et du dinitroglycol pour diminuer la sensibilité au choc de l'explosif: cas de la tourbe, ou de la farine de bois dans les dynamites pulvérulents.

l'apport d'énergie complémentaire à l'explosif cas de l'aluminium .

Les matières inertes et les additifs: ce sont des matières dont le rôle est de donner à l'explosif une propriété d'être facilement fabriqué; parmi ceux on peut citer:

- le stéarate de calcium, produit hydrofuge améliorant la résistance à l'eau de l'explosif
- les alvéolants mouillants , gélifiant utilisés dans les bouilles
- l'eau associé à un gélifiant assure une bonne résistance à l'humidité aux bouilles.

Les dynamites:

Les dynamites contiennent de 10 à 90% de nitroglycérine ou (NGL), c'est un mélange de nitroglycérine et de dinitroglycérine, la proportion de ce dernier dans le produit qui assure la qualité antigel d'une dynamite, les autres composants sont des combustibles (tourbes, farine, aluminium) et des comburants (nitrate d'aluminium) .

selon le pourcentage de la nitroglycérine dans la composition chimique , on distingue :

- les dynamites plastiques ou dynamite gomme contenant plus de 20% en masse de NGL dans une gangue de coton azotique
- les dynamites pulvérulentes: contenant moins de 10 à

20 % de NGL et qui se présentent sous forme de matière pulvérilente hétérogène

Les explosifs nitrates sont à base de nitrate d'ammonium (80% en masse), et d'un explosif pure (TNT, penthrite;...)

LES NITRATES -FIOULES

Ils sont constitués de nitrate d'ammonium et de l'huile minérale, en général du fioul domestique avec une proportion voisine de 0.4 à 6 % .

La qualité du nitrate utilisé joue un rôle capital dans le comportement de ces explosifs. Dans certains cas, les nitrates fiouls peuvent avoir dans leurs composition chimique une quantité plus ou ^{moins} importante de poudre d'aluminium.

LES EXPLOSIFS BOUILLIES

Les explosifs de type bouillies sont constitués par un mélange de combustible d'aluminium, l'huile minérale des comburants (nitrate organique, nitrate d'ammonium) et de matière inerte.

On distingue deux sortes de ces explosifs :

- les gels à consistance pâteuse qui sont généralement en cartouches.

- les bouilles pompables: ce sont des substances explosifs dont la consistance liquide permet le chargement en vrac par

pompage.

-les emulsions: ce sont des mélanges de nitrates d'ammonium en solution aqueuse sous forme de gouttelettes microscopiques emprisonnées dans une matrice liquide à base d'huile contenant une faible proportion d'emulsifiant dont le rôle de stabiliser l'emulsion, parmi les principaux emulsifiants utilisés sont les esters de phosphate, les sels organique à haute alcalinité, leurs vitesses de détonation est généralement élevée (> 4000 m/s) ;

de diamètre critique de détonation varie entre moins de 30 mm et plus de 200 mm.

les nitrates fiouls alourdis:

Les nitrates fiouls ce sont des explosifs de la génération la plus récente ; qui sont constitués de (25 à 75%) de nitrate-fioul enrobé dans une matrice d'explosif bouillie ou d'emulsion dont le rôle est d'améliorer les performances et la résistance à l'eau du nitrate-fioul sans accroître la sensibilité.

Les nitrates fiouls alourdis sont surtout en vrac ; qui se présentent sous la forme :

-des produits granulaires collants lorsque la proportion de nitrate-fioul est supérieur à 40% , dans ce cas leur chargement en vrac s'effectue par gravité.

-des pâtes plus ou moins visqueuses contenant des granules de

nitrate fioul lorsque la proportion de nitrate fioul est inférieur à 40% ,dans ce cas leur chargement s'effectue en pompage ,ces produits sont souvent préparés sur les lieux de travail,leur vitesse de détonation varie de 2800 m/s à 3000 m/s le diamètre critique de détonation varie sensiblement selon la composition des mélanges de 40 à 90 mm .

PERFORMANCES DES EXPLOSIFS ;

Les principales méthodes de mesure de vitesse de détonation et d'énergie des explosifs sont les suivantes :

Vitesse de détonation

La vitesse de détonation donne une idée sur les résultats du tir ,en fait elle est appréciée par divers méthodes, nous pouvons citer parmi les quelles,la méthode par chronométrage dont le principe permet d'obtenir le temps qui a mit l'onde de choc en parcourant une distance donnée dans une charge d'explosif à l'aide d'un capteur d'onde .

Au sein du complexe d'explosif de khemis millina (MARMA I) existe deux méthodes de mesure,l'une s'appelle méthode de DAUTRICHE consistant à comparer les vitesses de la cartouche à étudier est d'un cordeau détonant étalon ;celle de la deuxième s'appelle méthode de DRELLO qui consiste à déterminer à l'aide d'un chronographe électronique l'interval de temps qui separe deux contacts créés par le passage de l'onde de détonation sur deux sondes fichées dans l'explosif à une

distance donnée l'une de l'autre (voir schéma n°4.3)

4-4-1/ ENERGIE DES EXPLOSIFS

Au cours d'un tir, l'énergie explosif réellement utilisée à l'abatage ne présente qu'une faible part de l'énergie chimique théorique.

Le mode d'utilisation de cette énergie (énergie de choc ou de gaz) dépend des conditions de tir tels que

- la densité de chargement
- diamètre de la charge
- confinement et mode d'amorçage

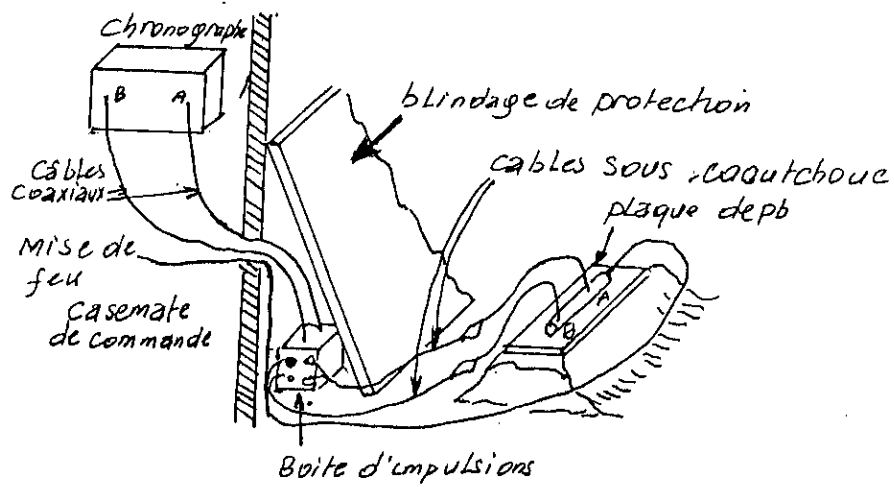
En laboratoire l'énergie des explosifs peut être appréciée de différentes manières :

a/ LE COEFFICIENT D'UTILISATION PRATIQUE (C U P)

Cette méthode dite de "bloc de plomb" chez les pays franco-phones et "TRAWZL" chez les allemands, en fait c'est une méthode comparative qui consistait à comparer les évaselements produits dans des blocs de plomb par la détonation d'une petite charge de l'explosif ainsi étudiée et par celle d'un explosif de référence ; les procédés de mesure varient d'un pays à un autre par exemple en FRANCE le C U P se détermine par l'expression suivante :

$$C U P \% = \frac{m_0}{m} * 100 \text{ ou } m \text{ est la masse en (g) qui}$$

produit le même volume d'évasement que celle



SCHEMA 4-3 montage pour une Mesure de vitesse de detonation

d'une masse m_0 égale de 10 à 15 g

remarque: cette méthode de mesure de travail n'est plus valable pour les explosifs peu sensibles qui nécessite un amorçage et pour les explosifs les plus récents tels les gels, les bouilles et les émulsions. *Fig. 1 Schema 4-5*

b/ le travail au mortier balistique (T M B)

Cette méthode tend à remplacer le bloc de plomb, car elle plus reproductible (mais moins sensibles pour les explosifs de puissances élevées).

Le principe de mesure.

cette méthode consiste à déterminer l'énergie communiquée à un pendule en tenant compte d'un facteur de corrélation d'énergie qui dépend de l'éjection d'un boulet provoquée par la détonation d'une masse déterminée d'explosif, en effet, cette énergie relative est déterminée par l'expression suivante :

$$T M B = \frac{1 - \cos(\alpha)}{1 - \cos(\alpha_0)} * 100 \text{ ou } \alpha: \text{angle obtenue avec 100g d'explosif}$$

au complexe de milliana α_0 étant

l'angle formée par l'effet de 100g

de "de GEONIT" (explosif de référence)

remarque: le T M B est particulièrement intéressant pour les explosifs peu sensibles. *Fig 2*

schemas 4-5

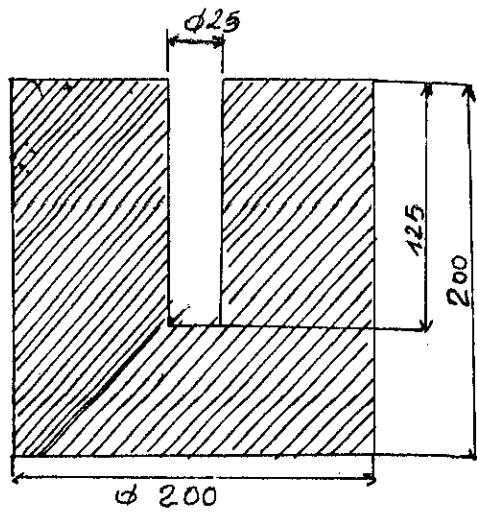


FIG: 1 Bloc de plomb

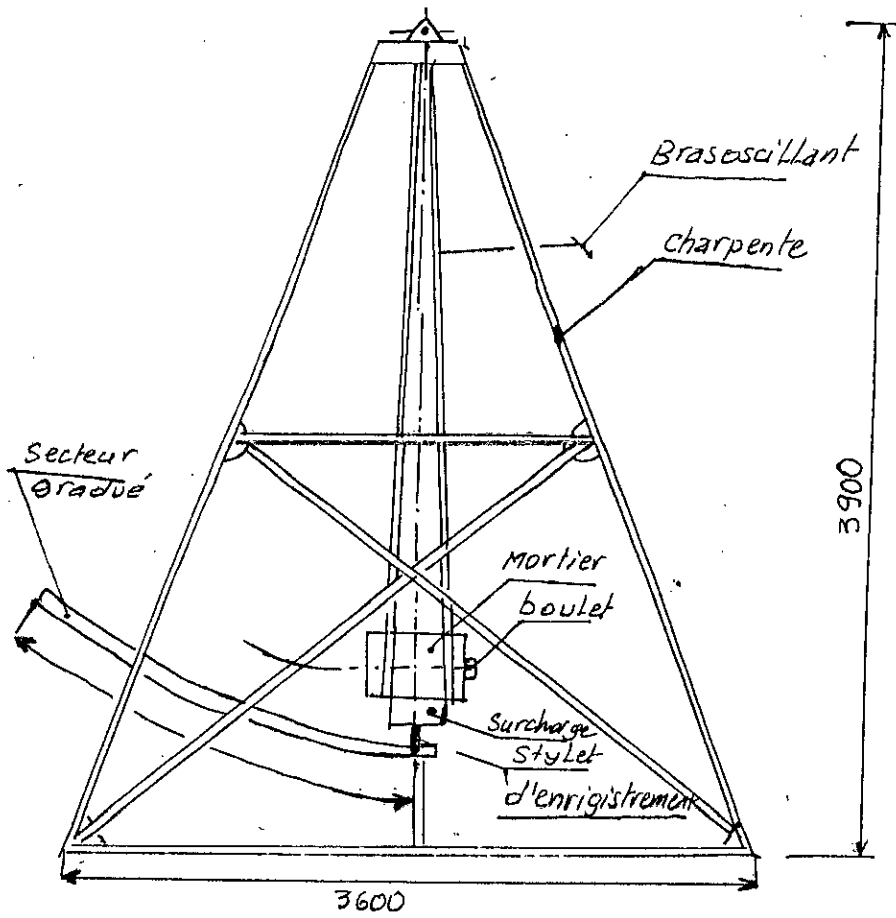


FIG: 2 MORTIER balistique

c/ Mesure d'énergie en piscine

cette épreuve plus récente a été mise au point aux états unies pour évaluer l'énergie mise en oeuvre par la détonation d'explosifs peu sensibles comme les bouilles.

Le principe consiste à faire détoner sous un confinement d'eau important des charges unitaires variant de 500 g à un 1 kg, le tir s'effectue sous quelques mètres d'eau dans une piscine comportant des capteurs

En faisant détoner la charge d'explosif, la charge engendre une onde sphérique qui se propage avec la même vitesse et la même intensité dans toutes les directions, des capteurs placés à des différentes distances de la charge mesurant à la fois l'énergie véhiculée par l'onde de choc et l'énergie des gaz de détonation dont les expressions respectives sont indiquées ci-dessous:

-Ec: l'énergie véhiculée par l'onde de choc

$$E_c = \frac{4 \cdot \pi \cdot R^2}{\rho_0 \cdot U} * \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt$$

ou: ρ_0 masse volumique de l'eau

U: célérité de l'onde dans l'eau

$p(t)$: présente la pression de l'onde

R: la distance où il est placé le capteur par rapport à la charge d'explosif

-EG: l'énergie des gaz de détonation

$$EG = K * (Pr^5 / \rho_0^3)^{1/3} * \theta^2$$

ou θ : c'est la première pseudo période d'oscillation de

la bille de gaz

Pr : pression total à la profondeur d'immersion

(y compris la pression atmosphérique)

K : une constante égale à 0.684

on note que cette énergie est déterminée à partir de la période d'oscillation de la bille de gaz

remarque: la mesure de l'énergie en piscine mettant en jeu une quantité d'explosif de l'ordre de 500 g à 1 kg ce qui très proche de la réalité et de plus représentative des charges utilisées dans un chantier d'abattage

d/ INDICE D'ENERGIE (ou WEIGHT STRENGTH)

En SUEDE LE professeur LONGEFORS définit un indice d'énergie comme étant la somme respective des rapports de la chaleur d'explosif Q et du volume des gaz V (en prenant comme référence une dynamite dont les caractéristiques sont les suivantes $Q_0=1160$ kcal/kg , $V_0=650$ l/kg) , son expression est comme suit:

$$S = 5/6 * Q/Q_0 + 1/6 * V/V_0$$

ou Q_0, V_0 la chaleur et le volume

de gaz dégagé d'un explosif de référence

Vue l'importance que revêt cet indice dans la méthode de LONGEFORS, nous avons fait un stage au complexe d'explosif (MARMA) de khemis milliana ce ci, étant à la fois pour récupérer les énergies et les volumes des explosifs ainsi que leurs

caractéristiques voir tableau 4.6

e/LA BRISANCE

La brisance d'un explosif est son aptitude à fragmenter un matériau placé en son voisinage, la grandeur importante caractérisant cette dernière: c'est la pression de détonation, certains auteurs ont proposé de prendre comme valeur de la brisance l'expression: $B = \rho \delta^2$

ou ρ : densité de chargement de l'explosif et δ sa vitesse de détonation

Les méthodes expérimentales les plus couramment utilisées afin de déterminer la brisance sont : la méthode de KAST et celle de HESS la méthode de HESS est basée sur l'écrasement d'un petit cylindre en plomb (normalisé) et la méthode de KAST est basée sur l'écrasement d'un petit cylindre (normalisé) en cuivre, dans les deux cas on mesure à l'aide d'un micromètre la diminution de la hauteur du cylindre qui est comparé par la suite à l'effet d'un explosif de référence (en France l'explosif de référence choisie c'est l'acide picrique), ce rapport qualifie bien la puissance d'un explosifs par rapport à un autre.

4-5/ AMORÇAGE ET SYSTEME D'AMORÇAGE

DÉFINITION

Pour qu'une molécule d'explosif se décompose, il faut lui

Tableau 4.6 LES caractéristiques des explosifs ALGÉRIENS

| TESTS | MARMANIT-I | MARMANIT II | MARMANIT III |
|--|--|-----------------------------|---------------------------|
| TRAUZZL (cm ³) | 430/440 | 420/430 | 400/410 |
| TRANSMISSION (cm) | 8+++ | 6+++ | 5+++ 4+++ |
| TMB (%) | 82,76, 86,4% | 85,04 | 80,50 |
| CAST (mm) $\phi 30$ | 4,29 4,50 4,62 | 4,14 4,45 4,60 | 3,29 3,33 3,47 |
| HESS (mm) | 20,00/19,00 | 19,00/20,00 | 15/15,50/16,50 |
| ous confinement DRELLO $\phi 40$ (m/s) $\phi 30$ | 4838/4545 3000 | 5000/5172 | 4545/4477 2752 |
| ous confinement AUTRICHE $\phi 40$ (m/s) $\phi 30$ | 4610 2900/2812 | 4860/4615 3333/3272/3076 | 4736/4736 2812 |
| CHOC (kgm) | 3 ⁻⁻⁻ 4 ⁻⁻⁻ P:5kg | 1,5 ⁻⁻⁻ P:5kg | 2 ⁻⁻⁻ P:5kg |
| FROTTEMENT (kgp) | 36 ⁻⁻⁻ | 36 ⁻⁻⁻ | 36 ⁻⁻⁻ |

N.B: Le signe + veut dire resultat positive
 Le signe - " " " " négative

| TESTS | GELANIT(I) | GELANIT(II) | GEONIT | ANFOMIL |
|------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------|--------------------------------|
| RAUZI (cm ³) | 450/460/470 | 410/430/440 | 360/370/380 | 330/350 |
| φ 30 TRANSMISSION (cm) | 10 ⁺⁺⁺ | 6 ⁺⁺⁺ | 20 ⁺⁺ | |
| MB (%) | 86,87% 83,3% | 81,7/82,42/ 83,35 | 75/82,42 | " |
| AST: φ 30 (mm) | 4,52/4,80/5,01 | 4,48 | 7,80/7,99 | |
| HES (mm) | 19,50/20/21 | 19,00 | Destruction totale. | |
| φ 30 DRELLD (m/s) | 2027/2970 | 2255/2752 | 3600 | avec un diametre φ : 130 mm |
| φ 30 AUTRICHE (m/s) | 2812/2727 | 2278/2535 | - | 3530 |
| CHOC (kg m) | 0,40/0,50 p: 2kg | 0,6 p = 2 kg | 0,10 p = 1kg | |
| FROTTEMENT (kg p) | 36 ⁻⁻⁻ | 36 ⁻⁻⁻ | 36 ⁻⁻⁻ | |

apporter un minimum d'énergie dite énergie d'activation ; cette énergie doit être apportée par unité de volume , les façons dont cette énergie peut être apportée sont multiples, néanmoins sont toujours un phénomène thermique citons parmi ceux-ci : le choc , le frottement l'étincelle, l'échauffement, l'inflammation, l'irradiation l'onde de choc.

La réaction de décomposition de l'explosif étant amorcée, l'énergie dégagée amorce une particule voisine et la réaction peut se développer de proche en proche dans la substance d'explosive.

LA CHAÎNE PYROTECHNIQUE DE L'AMORÇAGE (voir schéma 47)

La chaîne pyrotechnique standard se compose :

1-d'un générateur thermique par exemple mèche lente ou perle d'allumage de detonateur électrique

2-d'un explosif primaire en quantité voisine de 0.6 g à 2 g, qui prend le régime détonant sous l'influence d'un apport thermique minimum

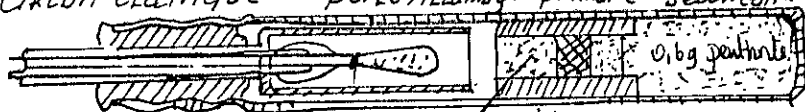
3-d'un explosif secondaire en quantité voisine de 0.6 g généralement suffisante pour apporter aux explosifs secondaires un minimum d'énergie.

TYPE D'AMORÇAGE

Il existe deux types d'amorçage à savoir:

- amorçage ponctuel
- amorçage latéral

Circuit électrique perle ALLUMAGE primaire secondaire



Composition
RETARDATRICE.

Schema 4.7

4-5-1/ amorçage ponctuel: c'est un amorçage qui se fait par détonateur, dont la repartition d'énergie n'est pas isotrope autour du point d'amorçage, par exemple on amorce aisement à l'air libre un cartouche de dynamite (nc) de 1 à 2 m de distance du détonateur si l'explosif est dans l'axe, et on n'amorce plus cette cartouche à 40 cm si elle se trouve sur le côté du détonateur, donc l'amorçage favorisé c'est lors que le détonateur est placé sur l'axe de la cartouche .

on note aussi les principaux systèmes d'amorçages ponctuels sont:

- l'amorçage par détonateur électrique

- l'amorçage non électrique

remarque: la charge amorçante est toujours 0.6 g de penthrite, cette charge est suffisante pour amorcer la quasi-totalité des explosifs encartouchés.

4-5-2/ l'amorçage latéral (ou par cordeau détonant)

Ces systèmes d'amorçages sont réalisés par des métiers de tissage continue de fils polypropylène, la majorité des explosifs actuels de grande consommation ne sont pas directement sensibles à l'amorce et encore moins au cordeau détonant standard à 10 g/m.

Le mode d'amorçage influe considérablement sur l'énergie libérée par les explosifs, l'amorçage latéral donne un

rendement nettement inférieur aux amorçage ponctuel.

conclusion

l'amorçage reste l'élément essentiel de la chaîne pyrotechnique car il conditionne à savoir :

- la fiabilité
- la qualité
- la sécurité de la détonation

l'amorçage ne doit jamais être sous dimensionné en énergie et en vitesse

Pour augmenter la fiabilité de l'amorçage ,on pratique un amorçage mixte (cordeau détonant plus détonateur)

4-5-3/ SEQUENCE D'INITIATION

Son choix depend essentiellement:

1/de l'environnement c'est à dire le niveau de vibration limite la charge unitaire admissible par retard

2/des nombres de rangées le choix de la séquence depend du nombre de rangées,des regles sont à respecter pour le retard entre trou d'une rangée surtout si on veut à la fois respecter un étalement correcte du tas et éviter des projections

3/le tir à retard directement permet un maximum de surfaces libres et intervient d'une manière directe sur les résultats du tir.

En bref nous pouvons dire que le but essentiel des tirs à retard c'est donc d'offrir la meilleur surface de reflexion à

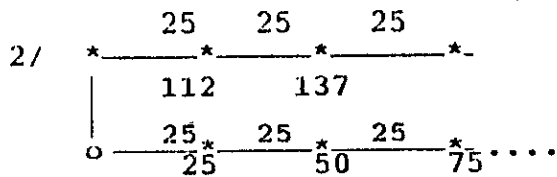
l'onde de choc afin d'obtenir une surface optimale pour un minimum d'énergie ,en effet d'après HAGAN la surface ideale de réflexion indiquée sur le shemas voir figure 1 Schema 4.8

Dans le cas d'une mise à feu instantanée :la surface libre proposée à chaque trou est représenté à la figure 2

On remarque aussi dans le cas d'une mise à feu initie par des retard ,la surface libre est d'autant plus grande que celle d'une mise à feu instantanée. fig 3

a/ DIFFERENTS TYPES DE COMBINAISONS

1/ * $\frac{25}{50}$ $\frac{25}{75}$ dans ce type de combinaison charge détone independamment de l'autre avec l'intervalle de temps $\tau = 25\text{ms}$



Cette figure illustre une combinaison de deux genres de retards l'un permet à chaque charge de retard de détoner independamment de l'autre avec un retard de 25 ms , tandis que l'autre type de retard appartient à une autregamme qui détone avec retard de 87 ms,utilisée en general pour transmettre la détonation entre rangées.

schemas 4.8

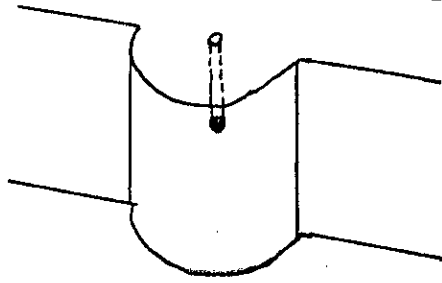


fig:1

forme idéale d'une face libre (Hagan)

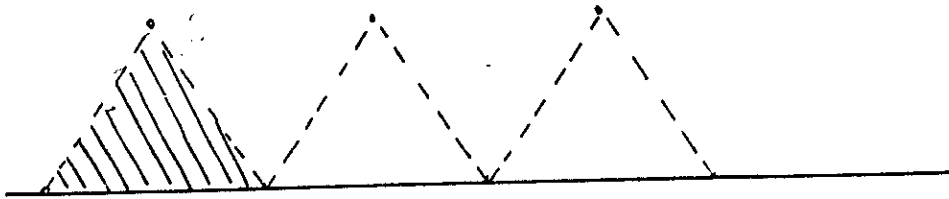


fig:2

La surface libre proposée à chaque trou pour une mise à feu instantannée de tous les trous.

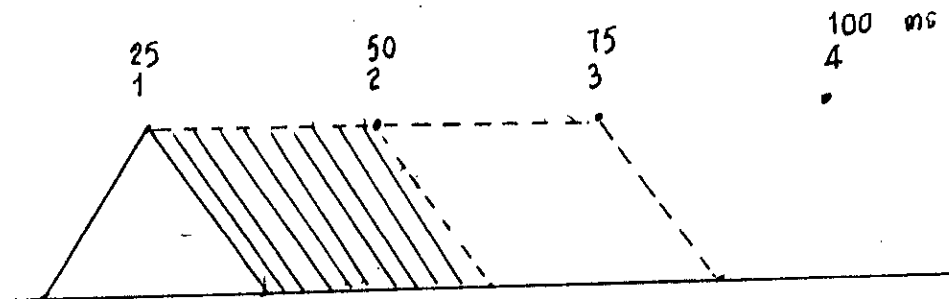


fig:3

Surface libre agrandie, proposée au trou n°2 si sa détonation est retardée par rapport à celle du n°1.

INCLINAISON DU TROU [3]

Selon les méthodes modernes, l'exécution de gradins ne se fait plus suivant la pente d'attaque verticale traditionnelle, mais suivent des surfaces inclinées de 30° à 35° par rapport à la verticale.

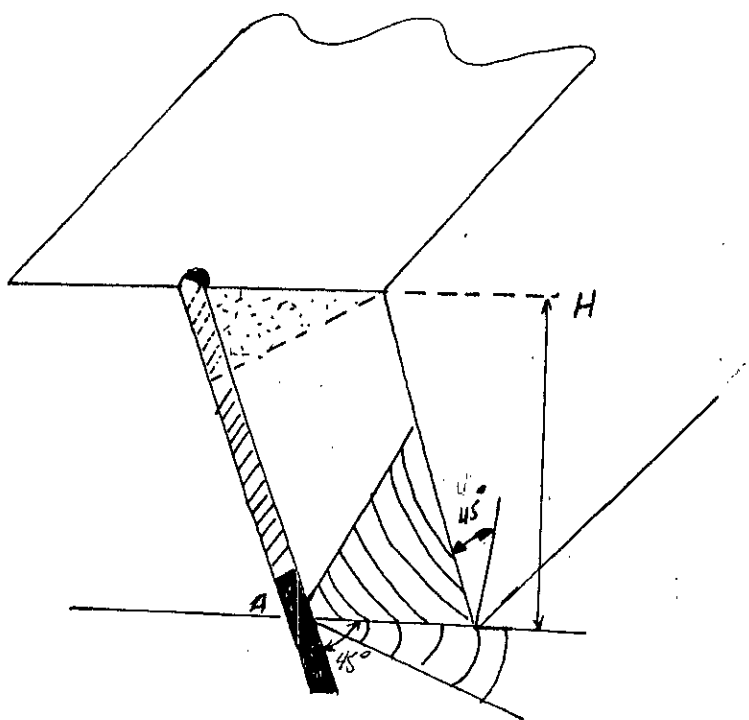
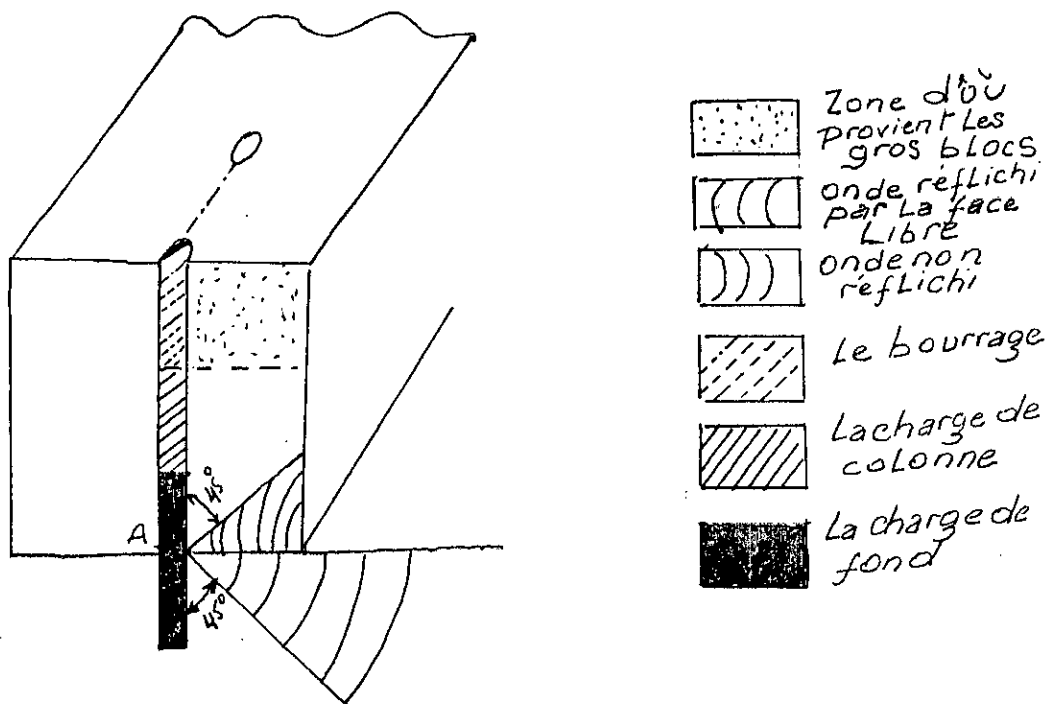
On aboutit, grâce à cette manière de procéder, aux avantages suivants:

- les gradins ont une surface tenant mieux par suite de l'inclinaison
- la fragmentation de la roche est meilleure, et l'explosion est moins violente
- la consommation d'explosif est moindre
- les trous peuvent être plus espacés et plus écartés
- l'inconvénient du rebord se trouve éliminé
- l'hyper abattage se trouve éliminé
- les vibrations sont moindres
- des renseignements provenant des mines AMERICAINES indiquent que des économies d'explosifs ont été faites pour l'abattage des roches à raison de 1% par degré d'écartement de la face par rapport à la verticale; ces économies peuvent monter jusqu'à 10% du total, y compris le forage, le tir, le chargement et le broyage.

La rupture de la roche n'a pas lieu sous l'action de l'onde de compression, mais, en réalité, sous l'effet de la distension de l'onde de choc réfléchi par la surface libre voir (figure 4.9) .

figure 4.9

effet de l'inclinaison des trous d'un Gradin
sur la fragmentation



La méthode choisie à l'élaboration du plan de tir s'est inspirée de d'une méthode suédoise qui a connu ses derniers temps une large utilisation dans les pays européennes .

LONGEFORS a bati sa méthode après de nombreuses observation sur le terrain.

Nous envisageons ci dessous ses principaux variables:

- 1/ les trous sont surforés sur une longueur de $0.3V$ ou V étant LA BANQUETTE c'est à dire l'épaisseur de la tranche abattue entre la première ligne des trous et le front du talus.
- 2/ la charge de pied s'étend sur une longueur de $1.3V$
- 3/ la hauteur de bourrage est égale à la banquette V
- 4/ la charge de colonne occupe la place restantedans le trou
voir shema (4-10)

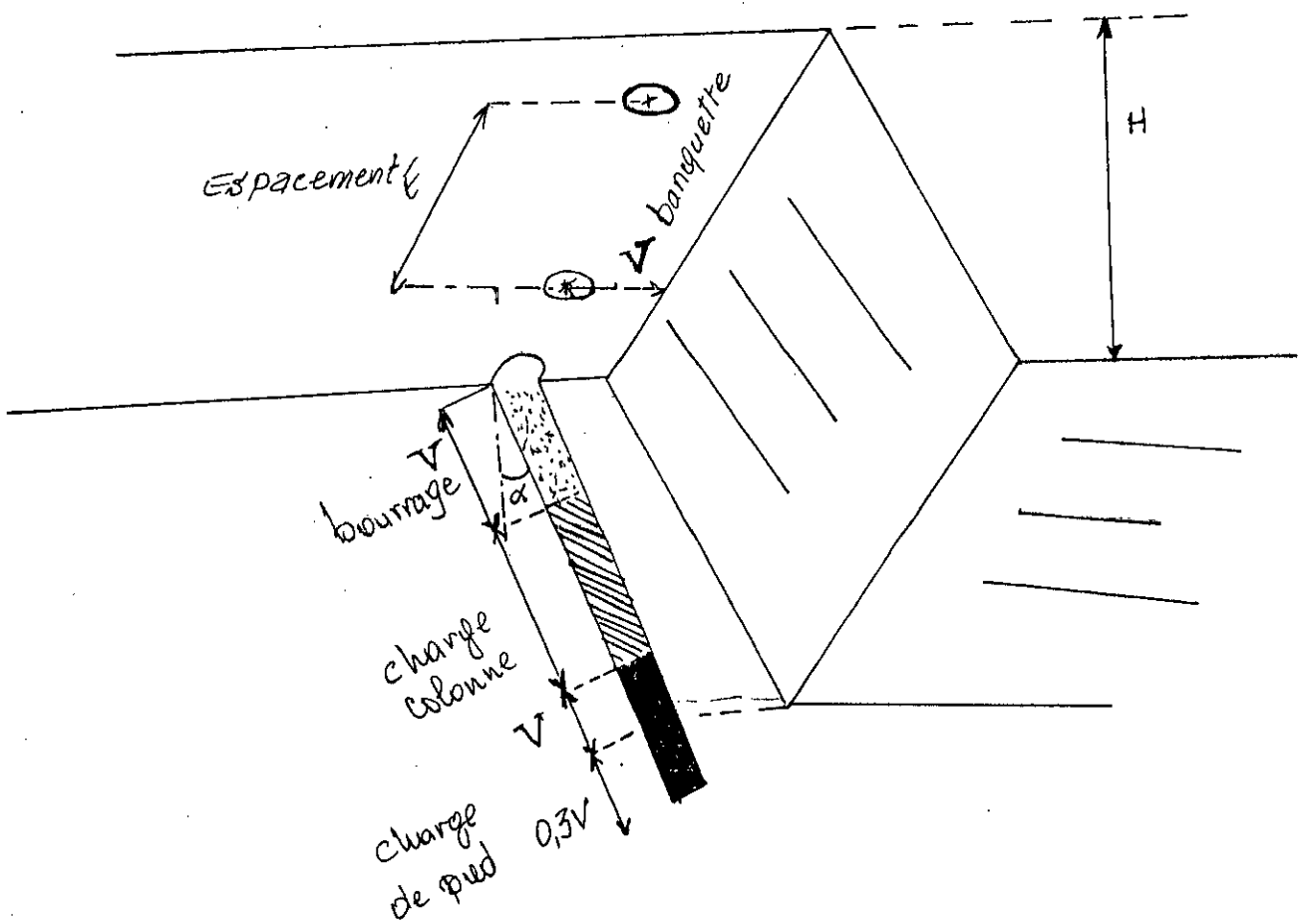
La charge lineaire minimale pour briser la roche lors que la banquette est V ,elle est donnée par l'expression suivante :

$$* LP = 0.88 * (f/sp) * (E/V) * [(0.07/V) + R + 0.004V] * V^2 [19]$$

f:facteur de contrainte de contrainte dependant de l'inclinaison du trou

sp:strenght de la charge de pied ou indice d'energie de

schema 4.10



Données Géométriques intervenant dans la
Méthode de Longefors

l'charge de pied

V: banquette(m)

R:resistance au tirage qui varie de 0.2 à 1

lp:kg/m

LONGEFORS définit la relation déterminant la banquette maximale ou la ligne de moindre résistance

$$V_{max} = (\phi_t/33.8) \sqrt{(\rho \cdot sp)/(f \cdot c \cdot (E/V))} \quad [13]$$

ou ϕ_t :diamètre du trou

ρ densité de chargement de l'explosif dans le trou

$$\text{avec } \rho = D_e \cdot (\phi_e/\phi_t)^2 \cdot k \quad [19]$$

D_e = masse volumique de l'explosif

ϕ_e/ϕ_t : coefficient de couplage de la charge

ϕ_t, ϕ_e diamètres de trou et de l'explosif

K:coefficient de tassement

$$K = \frac{\text{masse volumique de l'explosif dans le trou}}{\text{masse vde l'explosif hors de trou}}$$

La charge linéaire de colonne est définie par l'expression suivante:

$$L_c = (L_p/2.7) \cdot (1/f) \cdot (sp/sc) ; \text{ kg/m} \quad [19]$$

ou sc, sp les strengths de colonne et de pied

Les quantités d'explosifs en pied et en colonne sont obtenues en faisant le produit des charges linéaires L_p et L_c par les longueurs désignées plus haut

charge totale de pied $= 1.3 \cdot V \cdot L_p$; kg/m

charge totale de colonne $= (H/\cos(\alpha) - 2 \cdot V) \cdot L_c$

ou H : la hauteur du gradin, α : l'inclinaison du plan du talus par rapport à la verticale

tableau (4.10)

| α° | 0 | 20 | 30 |
|----------------|---|-----|------|
| f | 1 | 0.9 | 0.85 |

Il existe quelques corrections à apporter sur la banquette maximale cela bien entendu est dû à certains actions mécaniques telle la diviation des trous lors du forage.

-correction due à la foration

Les trous n'étant pas regourement parallèles est être mal positionnés, LONGEFORS applique une correction à la banquette maximale: $V = V_{MAX} - 0.05 \cdot H$ (ou H : hauteur du gradin)

4-7/APPLICATION A LA CARRIERE DE KADDARA

INTRODUCTION

Le but de l'abattage est de désagréger le matériau afin de faciliter sa reprise par les engins d'extraction.

La qualité de l'abattage joue un rôle primordiale que l'on sous estime bien souvent; en effet un abattage de mauvaise qualité peut pénaliser l'exploitation à plusieurs niveaux à savoir:

- si la fragmentation est insuffisante au départ, il faut avoir recours par la suite à un petardage secondaire des gros blocs, d'où un surcoût pour le poste d'abattage et des délais allongés pour les opérations qui suivent .

- Un matériau mal fragmenté est plus difficile à charger ceci conduit d'une part à une augmentation du temps de chargement donc à une diminution de la productivité et d'autre part à une usure plus rapide des engins.

* Détermination de la dimension maximale admissible des blocs abattus.

* L'entreprise dispose d'une chargeuse W260 (KOMATSU) de capacité du godet est de 4.5 m³

$$d_{\max} = 0.8 * (V^3)$$

$$\text{d'où } d_{\max} = 0.8 * (4.5)^3 = 1.31\text{m}$$

* L'entreprise dispose aussi des camions de 35t, dont la capacité de la benne est de 18m³

$$d_{\max} = 0.5 * (V)^{1/3} \text{ d'ou}$$

$$d_{\max} = 0.5 * (18)^{1/3} = 1.3 \text{ m}$$

Dimension de l'ouverture du concasseur: Z=1.5 M

$$d_{\max} = 0.8 * Z \text{ d'ou } d_{\max} = 1.2 \text{ m}$$

remarque: tout bloc dont la dimension dépassant 1.2m étant considéré comme hors gabarits.

foration

La foration est une opération essentielle dans l'exploitation, car tout retard bloc les opérations situées en aval (tir, chargement et transport) .

L'exploitant ne peut donc se permettre de sous-dimensionner l'engin de foration; donc le choix de l'engin doit être fait sur des statistiques de vitesses de foration en fonction de la nature de la roche et de ses caractéristiques (abrasivité, résistance en compression etc ..).

Les résultats expérimentaux des paramètres physico-mécanique ont bien montré que notre roche de calcaire est dure , résistante (Rcmoy: 60 mpa), de même plusieurs tige et taillant ont été observés tordus et détériorés sur le site; donc cela justifie bien le choix d'une foreuse de haute performance, tel une foreuse roto-percutante à marteau fond du trou .

choix de l'explosif

selon les conditions du terrains et le resultat recherché on choisira un explosif différent, au vu des caractéristiques principales suivantes

- vitesse de détonation
- adequation de la roche et de l'explosif:
"test d'impedance"
- puissance

VITESSE DE DETONATION

On rapelle que la vitesse de détonation d'un explosif depend en grande partie du diamètre de l'explosif et également du mode d'ammorçage .

ADEQUATION DE LA ROCHE ET DE L'EXPLOSIF

Des études entreprises notamment en U S A , au CANADA ont montré que le transfert de l'energie de l'explosif vers la roche est meilleur lorsque le rapport: $\rho \cdot D / \rho_0 \cdot D_0$ est copris entre 0.4 et 0.7 avec :

ρ :densité de chargement de l'explosif dans le trou

ρ_0 :densité de la roche

$\rho = d_e \cdot (\phi_e / \phi_t)^2 \cdot k$ avec d_e :masse volumique de l'explosif

ϕ_e/ϕ_t : couplage de la charge ; ou ϕ_e est le diamètre de l'explosif; ϕ_t étant le diamètre du trou

k: coefficient de tassement

$$k = \frac{\text{masse } V_d \text{ de l'explosif dans le trou}}{\text{masse } V_d \text{ de l'explosif hors du trou}}$$

D_0 : vitesse des ondes de compression dans la roche

les produits ρD et $\rho_0 D_0$ sont appelés impédances mécanique de l'explosif et de la roche

La relation (1) montre que plus la roche est dure et dense plus l'explosif doit avoir une vitesse de détonation élevée et une forte densité de chargement.

En pratique ,les valeurs du rapport (1) sont de l'ordre de 0.4 pour les augmenter on peut jouer sur la valeur de ρ en améliorant le couplage de la charge; en général un bon couplage (rapport ϕ_e/ϕ_t voisin de 1) permet d'améliorer les résultats du tir.

LA PUISSANCE

Le C U P "coefficient d'utilisation pratique" s'était depuis long temps un indicateur d'énergie, néanmoins ce dernier a été de proche en proche abandonné car il n'est plus significatif pour les nouveaux substances explosifs (les gels, les bouilles) tout de même cette définition ne donne pas une valeur bien

corrélée avec les effets de l'explosif sur le terrain

Le WEIGHT STRENGHT "coefficient de puissance" défini par LONGEFORS en suède, on rappelle sa définition ci-dessous

$$S = 5/6 * Q/Q_0 + 1/6 * V/V_0$$

Q ET V étant l'énergie totale et le volume de gaz dégagés lors de l'explosion, les valeurs de Q_0 et V_0 correspondant à celle d'une dynamite suédoise

$$Q_0 = 1160 \text{ kcal/KG}$$

$$V_0 = 850 \text{ L/KG}$$

ce genre de dynamite est absente chez nous, nous avons choisie à sa place la gelanit I, qui dont les valeurs Q_0 et V_0 sont très semblables.

$$Q_0 = 1150 \text{ kcal/KG}$$

$$V_0 = 865 \text{ L/KG}$$

tableau (énergie, volume des gaz et les coefficients de puissance des explosifs Algériens)

| TYPE D'EXPLOSIF | ENERGIE D'EXPLOSION (KCAL/KG) | VOLUME DES GAZ DÉGAGÉS (L/KG) | WEIGHT STRENGHT. |
|-----------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| MARMANIT I | 1192 | 840 | 1.03 |
| MARMANIT II | 1120.5 | 868 | 0.98 |
| MARMANIT III | 996 | 900 | 0.87 |
| GELANIT I | 1150 | 865 | 1 |
| GELANIT II | 1115 | 808 | 0.97 |
| ANFOMIL | 910 | 915 | 0.84 |

ANNEXE

PRESENTATION DU PROGICIEL "MZTIR"

MZTIR est un programme destiné au calcul et à l'optimisation des plans de tir en carrières.

MZTIR permet d'effectuer des analyses et des prévisions sur les résultats techniques et économiques d'un tir.

Le mode utilisé est un mode "automatique": l'utilisateur rentre une fourchette de variation sur les paramètres qu'il souhaite optimiser (diamètre de foration inclinaison des trous, rapport de maille), le progiciel détermine les 5 meilleures solutions (espacement des trous, banquette, chargement des trous, la granulométrie moyenne, et le coût d'un mètre cube abattu, le taux de foration ...) sur la base du critère d'optimisation choisie par exemple:

.coût minimale

.consommation spécifique minimale

.taux de foration minimale

la saisie des données :

La saisie des données se représente sur les paramètres qu'on veut varier citons:

la hauteur du gradin

la densité de la roche

les diamètres des trous

les diamètres des cartouches correspondants

l'inclinaison des trous

facteur de contrainte

le rapport de maille

les contraintes surimposées :

Les contraintes pouvant être surimposées sont :

- .graulométrie (limiter le taux de blocs de taille supérieur à une taille donnée ; pas plus de 10% pour la taille de bloc égale à 1.2 m)
- .taux de foration (pas plus de par exemple à 15 cm par metre cube abattu)

Le programme éliminera toutes les configurations ne satisfaisant pas la la contrainte choisie .

A la fin le progiciel trace les graphes de la meilleure solution (graphe des passants et des refus) et la deuxième solution :

resume de la meilleure variante
(pour un tonnage de 30000 tonne)

maille:

gradin : 12 m diametre _ inclinaison : 89 - 20°

maille : banquette x espacement : 3.63 x 4.64 m

longuer trou : 13.32 m surforation : 0.7 m

chargement des trous:

| explosifs et bourrage | longueur (m) | poids (kg) |
|--------------------------------|--------------|-------------|
| explosif de colonne : anfonile | 5.3 | 30.84 |
| explosif de fond : gelanit 1 | 4.33 | 27.6 |
| bourrage terminal | 3.63 | |

consommation et coût (par m³) :

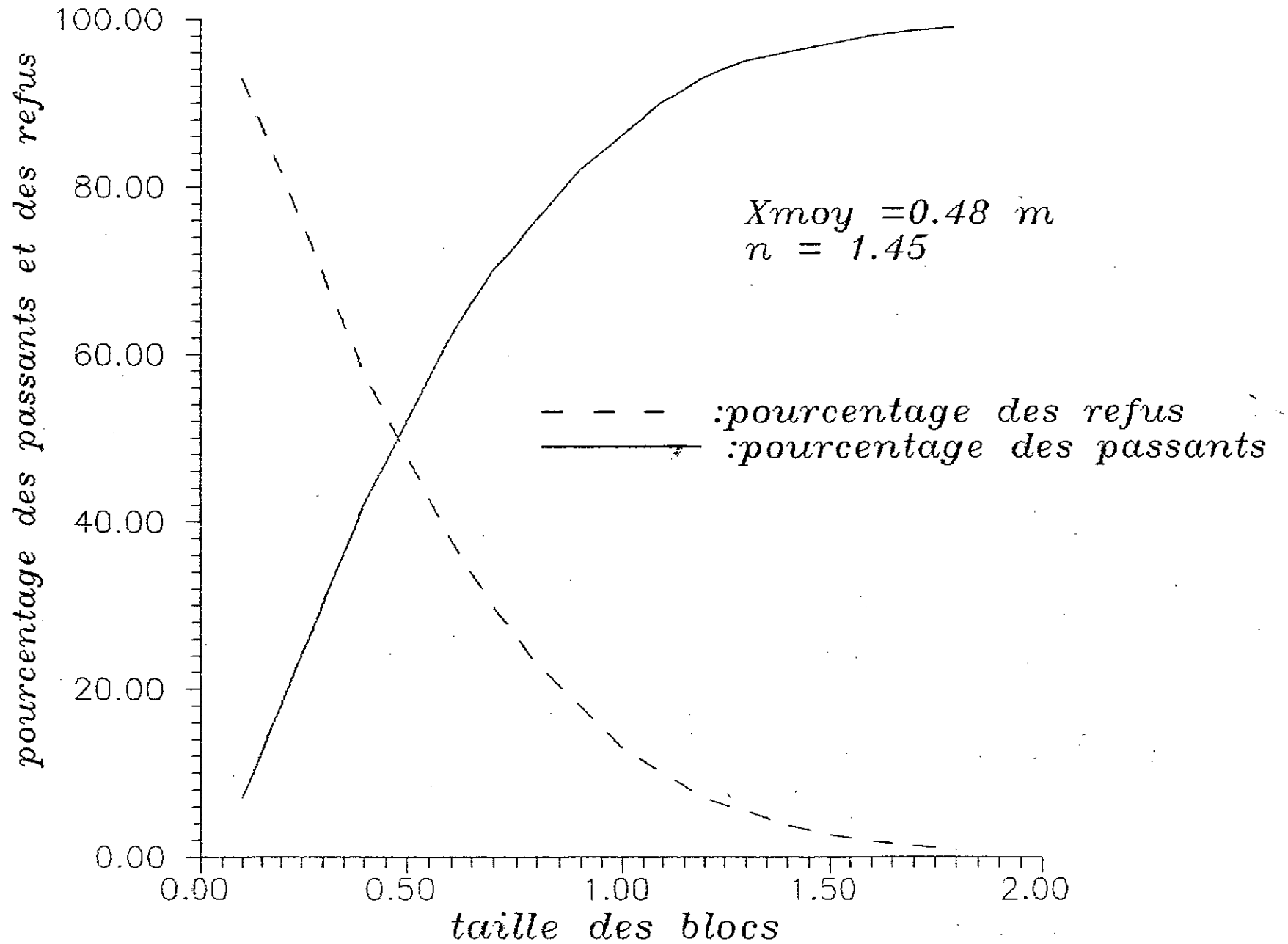
| | foration | explosif |
|---------------|----------|----------|
| consommations | 6.31 cm | 270 g |
| coût | 0.544 DA | 1000 DA |

granulometrie moyenne 480 mm coefficient de forme n: 1.45

7% de blocs superieurs à 1200 mm

voir le tracé du graphe

graphe : fuseau granulaire



ORGANIGRAMME GENERAL DU PROGICIEL

MZTIR

SAISIE DES DONNEES

CHOIX DES CONTRAINTES

1. CONTRAINTE FRAGMENTATION
2. CONTRAINTE TAUX DE FORATION
3. CONTRAINTE CONSOMMATION SPECIFIQUE

VALIDEZ UN CHOIX

PROCEDURE DE CALCUL

LES RESULTATS

CHOIX DES CRITERES

6. MINIMISER LE COUT GLOBALE D'UN M³ ABATTU
7. MINIMISER LA CONSOMMATION SPECIFIQUE
8. MINIMISER LE TAUX DE FORATION

VALIDEZ UN CHOIX

VOULEZ VOUS CHANGER LA SAISIE DES DONNEES
SI OUI TAPEZ O SI NON UN AUTRE CARACTERE

O

N

VOULEZ VOUS FAIRE LE TRACE DU GRAPHE
SI OUI TAPEZ " Y " SI NON TAPEZ " N "

N

Y

TRACE DU GRAPHE

FIN

Echelle : 1/100

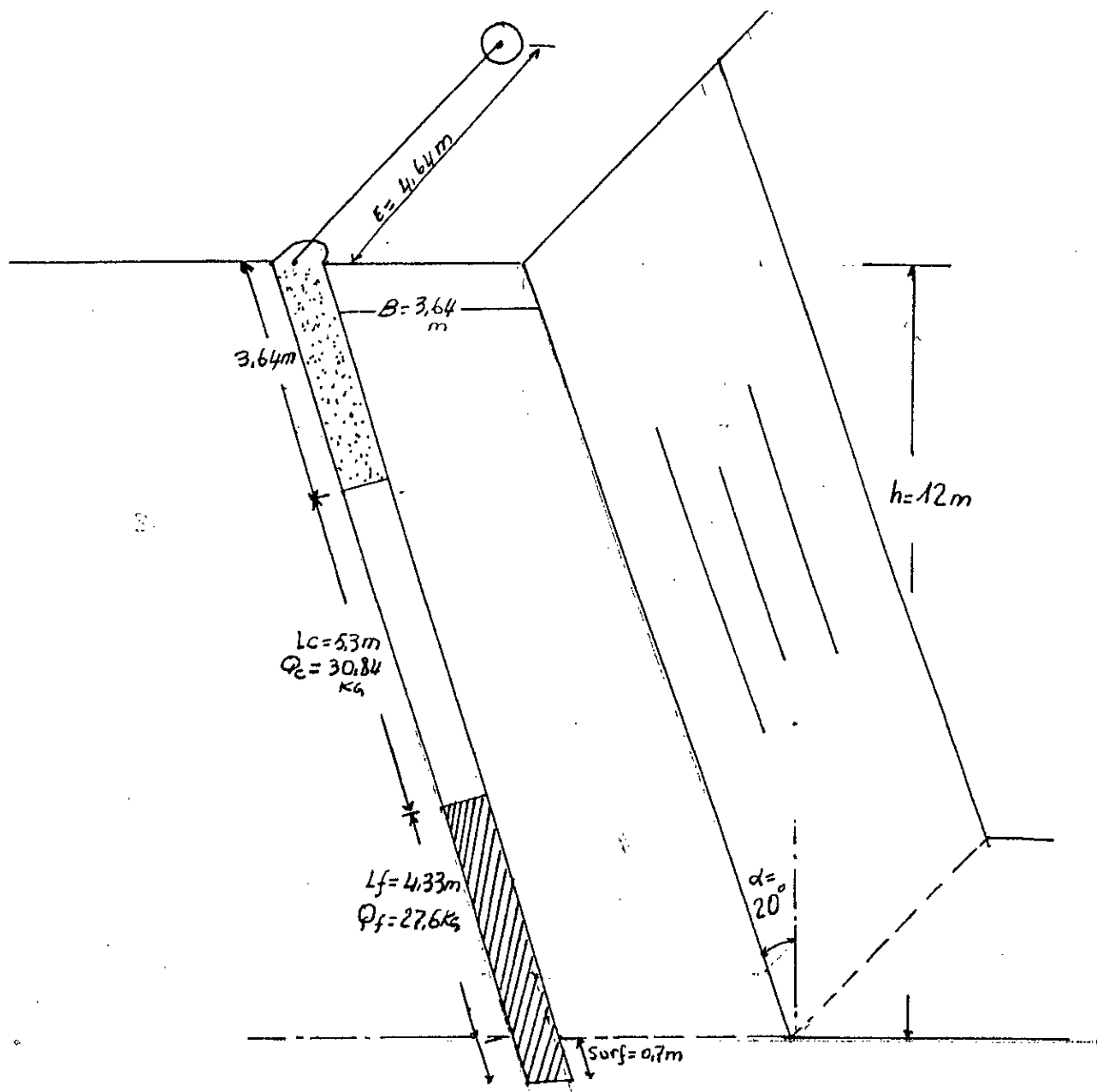



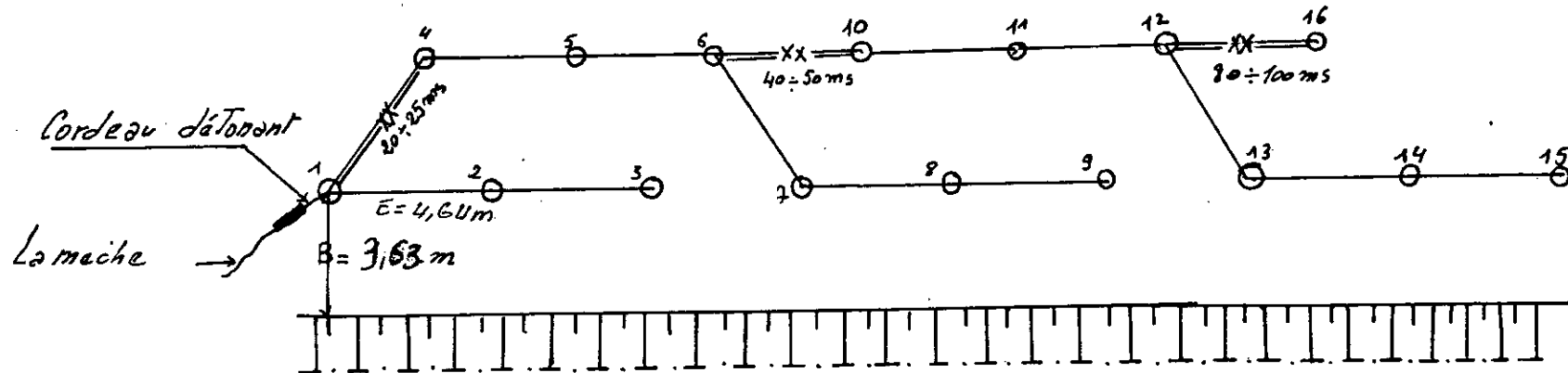


fig: Distribution de la charge d'explosif
dans le trou de Mine

-  : Le bourrage
-  : Explosif du colonne : ANFOMIL
-  : Explosif du fond : GELANIT 1

Echelle: 1/200



x : Relais à microretard de 20 ms à 25 ms de base.

■ : Détonateur (pyrotechnique)

○ : Le Trou de Mine, $\phi = 89 mm$

Plan de Tir avec le système d'ammorçage

CONCLUSION GENERALE

Ce projet a été d'un apport très bénéfique pour notre formation d'ingénieur dans la mesure où il nous a permis en premier temps d'être confrontés à certains problèmes relatifs à l'étude des caractéristiques du massif rocheux tels que les propriétés géomécanique et technologiques et en second temps aux divers problèmes qui touchent de près le domaine des explosifs.

L'établissement d'un plan de tir est un problème très délicat que bien que beaucoup d'auteurs ont essayé de résoudre, la difficulté en vient du fait que l'on sait pas toujours comment prendre en compte certains propriétés des deux "composantes" le massif rocheux et l'explosif, mises en relation lors d'un tir.

Face à tous ces problèmes, plusieurs théories ont été conçues parmi lesquelles, une seule théorie celle de LONGEFORS a connue une large utilisation en Europe, et a donnée des résultats faisant référence.

cependant, cette methode de LONGEFORS reste encore insuffisante sur le plan de la caractérisation du massif rocheux, en effet, dans la formulation de LONGEFORS n'apparait qu'un seul terme pour decrire la roche c'est le paramètre R "RESISTANCE AU TIRAGE" .

Compte tenu du manque de certains facteurs caractérisant le massif rocheux et du facteur R "resistance au tirage", la variante définitive du schéma de tir ne peut être arreter que par une experimentation effective sur le terrain .

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES:

- CALZIA, J (1964) -LES SUBSTANCES EXPLOSIFS [11]
ET LEURS NUISANCES ED .DUNOD, PARIS, 344 P
- CHRISTIAN, 1977 -PRATIQUE DES EXPLOSIFS [12]
ED. EYROLLES, PARIS, 136p
- KURT ,H (1977) -PRECIS DE FORAGE DES ROCHES [13]
ED. DUNOD, PARIS, 291P
- BOKY B; (1978) -EXPLOITATION DES MINES [14]
ED. MIR, MOUSCOU, 821P
- RUDOLF. MEYER -EXPLOSIVES (VERGLA-CHEMIE) [5]
ROGER . DELMONT -EXPLOSIFS ET TECHNIQUES DE MINAGE [6]
F. HOMAND. E N G DE NANCY; CARACTERISATION DES ROCHES AU [7]
LABORATOIRE -PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIKES
- TALOBRE J. A -MECANIQUE DES ROCHES; DUNOD 1979 [8]
JAEGER C; ROCKS MECANICS AND ENGINEERING; 1979 [9]

REVUES TECHNIQUES :

- MINES ET CARRIERES (TIRS) JUIN 1988 [10]
NUMERO SPECIALE
- INDUSTRIE MINERALE (MINES ET CARRIERES) JUIN 1989 [11]
TECHNOLOGIES ET TECHNIQUES -EXPLOSIFS [12]
(TENDANCES DES TECHNIQUES D'UTILISATION, ASPECT
ECONOMIQUES)

SEMINAIRE SUR L'ABATTAGE DES ROCHES & L'EXPLOSIFS [13]

(13 -14 NOVEMBRE 1989 ALGER)

POLYCOPIES

EXPLOITATION DES CARRIERES CO P U ALGER 1986) [14]

KOVALINKO V. CAMBARTSOUMIANIN ET LAHMER K. M)

CHIBKA (1980)-EXPLOITATION DES GISEMENTS [15]
MITALLIFERES (OPU ALGER)

PLAN D'EXPLOITATION POUR 1989 (KADDARA E. N. O. F) [16]

PROJETS DE FIN D'ETUDES

BENCHOUK MUSTAPHA JUIN (1990) [17]

LAGHRIEB YUCEF JUIN (1989) [18]

THESE DOCTEUR INGENIEUR

MODELISATION DE LA POLITIQUE D'EXPLOITATION DES [19]

EQUIPEMENTS MINIERES-BERNARD BOURGINE (CECOLE NANCY

1986)

ERRATUM

| <u>N°Page</u> | <u>lignes</u> | <u>mots ou phrases écrits</u> <u>erreur soulignée</u> | <u>mots corrigés</u> |
|---------------|---------------|---|---------------------------------------|
| 6 | 11 | argilites rouges du <u>marin</u> | argilites rouges du lias supérieur |
| 6 | 17 | quand toutes les <u>constructives</u> | constitutives |
| 7 | 3 | massifs à <u>foramiuiferes</u> | foramuiferes |
| 8 | 3 | parmi lesquelles prédominent évidemment <u>les numulites</u> | numulithes |
| 18 | 20 | parmi les propriétés physiques mécaniques, ainsi que de déforma- <u>bilitélités</u> | déformabilités |
| 25 | 1 | module dynamique | module de Young dynamique |
| 32 | 2 | <u>variant</u> respectivement de 559.91 à 672.93 kgf/cm ² | sont |
| 62 | 7 | la surface libre est <u>d'autant</u> plus grande que cel le d'une mise à feu instantanée | plus grand que |
| 66 | 9 | les trous n'étant pas regouresement paralelles | rigoureusement |
| 73 | 2 | graulométrie | granulométrie |