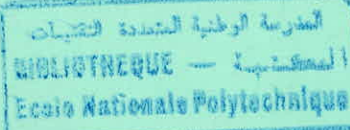


ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE MINIER



Projet de Fin d'Etudes

*Pour l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat  
en Genie Minier*

SUJET

DETERMINATION DE LA CHARGE  
D'EXPLOSIF DANS UN RELIEF  
MONTAGNEUX HABITE

Proposé par :

UNITE DE RECHERCHES

ET DES ETUDES

GEOLOGIQUES (U.R.E.G)

Etudié par :

HAMMOUYA M. FARH

Dérogé par :

Dr S. PLANETA



وزارة التعليم العالي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur

## ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE MINIER

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# Projet de Fin d'Etudes

*Pour l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat  
en Genie Minier*

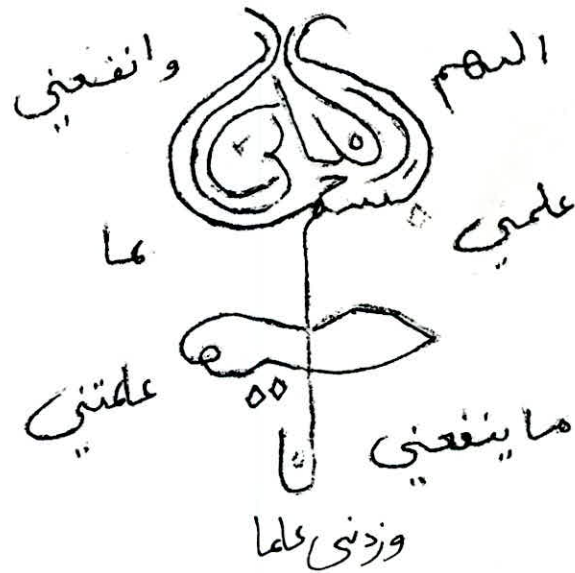
### SUJET

DETERMINATION DE LA CHARGE  
D'EXPLOSIF DANS UN RELIEF  
MONTAGNEUX HABITE

Proposé par :  
UNITE DE RECHERCHES  
ET DES ETUDES  
GEOLOGIQUES (U.R.E.G)

Etudié par :  
HAMMOUYA M. FARH

Dérogé par :  
Dr S. PLANETA



oooooooooooooooooooo  
DEDICACES  
oooooooooooooooooooo

- A la mémoire de mon père
  - A ma mere
  - A mon frère messaoud
  - A ma soeur
  - A mes noeveux et mes nieces
  - A khadidja et à toute ma famille
- je dédie ce modésto travail

M.F HAMMOUYA

oooooooooooooooooooo  
oooooooooooooooooooo





././ S O M M A I R E ././  
 =====

INTRODUCTION GENERALE ..... I

CHAPITRE. I. RENSEIGNEMENTS GENERAUX SUR LES EXPLOSIFS

.I.1. DEFINITIONS ..... 2  
 .I.2. BILAN ENERGETIQUE D UNE EXPLOSION ..... 2  
 .I.3. CARACTERISTIQUES GENERALES DES EXPLOSIFS ..... 4  
 .I.3.1. MASSE SPECIFIQUE ..... 4  
 .I.3.2. LA VITESSE DE DETONATION ..... 4  
 .I.3.3. LA PRESSION DE DETONATION ..... 4  
 .I.3.4. LA BRISANCE ..... 4  
 .I.3.5. LA SENSIBILITE ..... 4  
 .I.4. PROPRIETES DES EXPLOSIFS ..... 4  
 .I.5. CLASSEMENT DES EXPLOSIFS D APRES LES CONDITIONS D  
 D EMPLOI ..... 4  
 .I.6. PARAMETRES INFLUANT SUR LA DETONATION ..... 6  
 .I.7. METHODES D ANORCAGE DES CHARGES ..... 7

CHAPITRE. II. METHDES D EVALUATION DES PARAMETRES DES TRAVAUX  
 DE TIR ET DE FORAGE

.II.1. PRINCIPAUX PARAMETRES DU TROU ..... 8  
 .II.1.1. LE DIAMETRE ..... 8  
 .II.1.2. LA LONGUEUR DU TROU ..... 8  
 .II.1.3. LA LONGUEUR DU SOUS FORAGE ..... 8  
 .II.2. COSTRUCTION DES CHARGES ET CALCUL DE LEURS  
 PARAMETRES ..... 9  
 .II.2.1. LA CONSOMMATION SPECIFIQUE D'EXPLOSIF ..... 9  
 .II.2.2. LA CONSOMMATION SPECIFIQUE REELLE DE L EXPLOSIF ..... 13  
 .II.2.3. LA CONSOMMATION SPECIFIQUE DE PROJET DE  
 L EXPLOSIF ..... 13  
 .II.2.4. LE BOURRAGE ..... 15  
 .II.2.5. LA DISTANCE MENAGEE ENTRE DEUX TROUS ..... 15  
 .II.2.6. LA LIGNE DE MOINDRE RESISTANCE ..... 15

.II.3. MASSE ADMISSIBLE DES CHARGES.....	16
.II.4. ZONES DE DEFORMATION DU MASSIF ROCHEUX LORS DU TIR.....	17
.II.5. CREUSEMENT DES OUVRAGES SOUTERRAINS A L'EXPLOSIF.....	18
.II.6. LA CONSOMMATION SPECIFIQUE.....	18
.II.7. CHARGE TOTALE.....	20
.II.8. NOMBRE DE TROUS.....	20
.II.9. CHARGE MOYENNE PAR TROU.....	21
CONCLUSION.....	21

CHAPITRE III. EFFETS DE L'EXPLOSIF EN SITE URBAIN

.III.1. LES PROJECTIONS DE ROCHES.....	22
.III.1.1. ANALYSE D'UN FRAGMENT DE ROCHE LORS DE SA PROJECTION.....	22
-a) cas d'un relief plat.....	22
-b) cas d'un relief montagneux.....	23
-b) 1. en amont.....	24
-b) 2. en aval.....	24
.III.1.2-remarque.....	26
.III.1.3. DETERMINATION DES RAYONS DE LA ZONE DANGEREUSE.....	26
.III.1.4. VARIATION DE LA DISTANCE DE LA ZONE DANGEREUSE EN FONCTION DE L'ANGLE DU PENDAGE.....	27
-a) en amont.....	27
-b) en aval.....	28
.III.1.5. INTERPRETATION DES COURBES.....	29
.III.1.6. PLAN DES ZONES D'INFLUENCE.....	29
.III.2. LES VIBRATIONS DU SOL.....	29
.III.2.1. VITESSE DE PROPAGATION.....	33
.III.2.2. MATERIEL DE MESURE DES VIBRATIONS DU SOL.....	33
.III.2.3. LOI D'AMORTISSEMENT.....	34
.III.2.4. SEUILS DE SECURITE.....	36
(a)-pour les constructions.....	36
(b)-pour les personnes.....	38
.III.2.5. FORCE DYNAMIQUE.....	38
.III.2.6. INFLUENCE DE L'INTERVALLE DE RETARD SUR L'ACCELERATION DE LA PARTICULE VIBRANTE.....	39



.III.2.7.ETABLISSEMENT DES NORMES DE SECURITE.....	4I 39
.1.ENERGIE CINETIQUE.....	4I
.2.RAPPORT $\frac{v}{c}$ .....	4I
.3.ENERGIE DE DEFORMATION DU MASSIF.....	4I
.4.RAPPORT $\frac{c}{b}$ .....	4I
.5.TRAVAIL PAR UNITE DE RETARD.....	4I
.III.2.8.SEUILS ADMISSIBLES DES VITESSES DE VIBRATIONS POUR LES DIFFERENTES CONSTRUCTIONS.....	43
.III.2.9.COMMENTAIRES SUR LES NORMES PRESENTEES.....	48
.III.2.10.PREVISION DE L INTENSITE DES VIBRATIONS SISMIQUES DU SOL GENEREES PAR LES TRAVAUX DE TIR.....	49
.III.2.11.PERIODES PROPRES DES VIBRATIONS POUR LES BATIMENTS PUBLICS ET LES IMMEUBLES D HABITATION.....	50
.III.2.12.PERIODES PROPRES DES VIBRATIONS POUR LES BATIMENTS DE GRANDES HAUTEURS.....	54
.III.2.13.CLASSES DE SENSIBILITE DES MACHINES ET DES INSTRUMENTS AUX VIBRATIONS.....	55
.III.3.LES BRUITS ( ONDES AERIENNES ).....	56
.III.3.1.CARACTERISTIQUES DU PHENOMENE ACOUSTIQUE.....	56
.III.3.2.DEFINITION DES RISQUES.....	56
.III.4.INFLUENCE DES TRAVAUX DE TIR SUR LA STABILITE DES TALUS.....	58
.III.5.INTERACTIONS DYNAMIQUES DUES AUX TRAVAUX A L EXPLOSIF.....	58

CHPITRE.IV. MOYENS DE REDUCTION DES NUISANCES DUES A LEXPLOSIF  
EN SITE URBAIN.....

.IV.1.MESURES DE PROTECTION QU IL FAUT PRENDRE.....	60
-a) au niveau du schema de tir; ; ;.....	60
-b) au niveau du site et de l'amenagement du terrain.....	6I
.IV.2.METHODES PREVENTIVES APPLIQUEES.....	6I
.IV.2.1.LA METHODE DE DIVISION DES SECTIONS DE TIR.....	6I
.IV.2.2.LA METHODE D EXPLOSION DES TROUS DE CONTOUR.....	63

CONCUSION

<u>CONCLUSION GENERALE.....</u>	66
---------------------------------	----

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

OOOOOO //INTRODUCTION GENERALE// OOOOOO  
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Une courte introduction est nécessaire pour faire connaître dans quel esprit le présent projet a été réalisé on s'est proposé d'exposer les connaissances théoriques, relevant de la physique et, présentées sous un aspect technique et une analyse technologique exigée pour mettre les paramètres optimaux et en particulier la charge d'explosif afin, d'éviter et se protéger de ses effets destructeurs, de prévoir autant que possible ses nuisances .

Ainsi sont dégagés les principes dont découlent les mesures pratiques que l'on doit prendre pour assurer la sécurité dans le domaine de l'exploitation des mines, des carrières et aussi pendant la réalisation des ouvrages souterrains .

cette étude comporte la détermination de la grandeur de la charge d'explosif après une mise en évidence de certaines propriétés de l'explosif c'est l'objet de deux chapitres, consacrés à faire le point d'une manière technique ce qui facilite la rationalisation des travaux miniers .

une deuxième partie comporte l'étude des nuisances dues à l'explosif en sites urbanisés et les mesures de sécurité qu'il faut prendre afin d'assurer le bon déroulement des travaux, de protéger le personnel, les populations et les constructions .



CHAPITRE I- RENSEIGNEMENTS GENERAUX SUR LES EXPLOSIFS

---

I- 1- DEFINITIONS .

---

- on appelle explosif une combinaison chimique ou un mélange mécanique qui, sous l'action d'une impulsion extérieure (réchauffement, étincelles, chocs) est apte à exploser c'est à dire se transforme rapidement en autres substances avec formation d'une grande quantité de gaz et une quantité importante de chaleur .
- on appelle explosion une réaction chimique très exothermique et extrêmement rapide libérant une grande quantité de gaz qui sous l'effet de la température élevée se dilatent instantanément, produisant un travail mécanique et engendrant dans le milieu environnant des ondes de choc (d'explosion) .

I-2- BILAN ENERGETIQUE D'UNE EXPLOSION

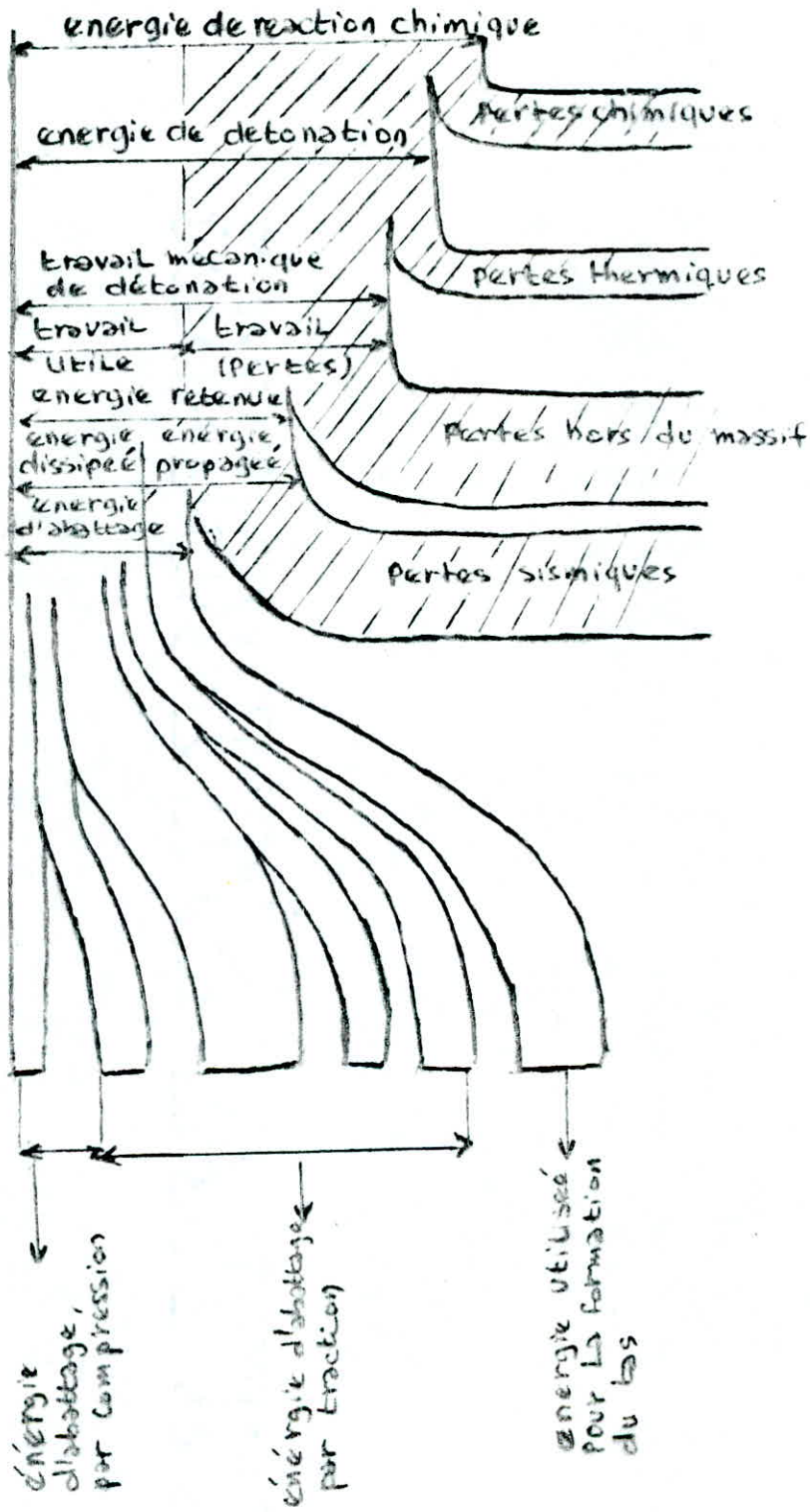
---

L'énergie dégagée est présentée sous forme d'un bilan énergétique (voir schéma I-2) appelée aussi énergie de réaction chimique, presque sa moitié part sous forme de pertes chimiques, thermiques, hors du massif et sismiques, ces dernières pertes sont considérables par rapport aux autres pertes ce sont elles qui vont produire les nuisances par la suite, l'autre moitié crée la détonation et par conséquent la transformation de cette énergie en un travail mécanique utile et de pertes de travail, une autre partie est acquise par le massif soit sous forme propagée ou dissipée, la dernière partie est réservée pour l'abattage par compression ou traction essentiellement par traction

---

on appelle onde de choc (d'explosion) une variation saccadée de la pression se répandant dans le milieu à une vitesse supersonique

schéma I-2 bilan énergétique



### I-3 CARACTERISTIQUES GENERALES DES EXPLOSIFS

#### I-3-1-LA MASSE SPECIFIQUE

qui varie de  $0,95 \div 1,65$  KG/dm<sup>3</sup>.

#### I-3-2-LA VITESSE DE DETONATION

variable avec la puissance de l'amorçage de l'ordre de  $3000 \div 8000$  m/s.

#### I-3-3-LA PRESSION DE DETONATION

ou la capacité de travail qui caractérise l'aptitude des explosifs à exécuter un travail mécanique, à l'arrachement des roches du massif. Elle dépend du volume de gaz, de la vitesse de détonation et de la quantité de chaleur, dégagée lors de l'explosion.

I-3-4-LA BRISANCE d'un explosif est son aptitude à fragmenter un matériau placé en son voisinage.

I-3-5 LA SENSIBILITE de l'explosif peut se rapporter: au choc sous la

la chaleur, à la pression, au gel, à la détonation à distance (sensibilité à l'onde, à l'eau). La sensibilité au choc est exprimée suivant la plus au moins grande hauteur de laquelle un marteau ou un poids étalon doit tomber sur une charge-étalon pour le faire détoner. La sensibilité à l'onde se mesure à l'aide de deux cartouches de 100g écartées à la distance dite C.E.S (coefficient de self-excitation) d'environ 20 cm, permettant l'explosion par influence.

#### I-4-PROPRIETES DES EXPLOSIFS

- une grande vitesse de réaction chimique de l'ordre de  $10^5$  à  $10^6$  s
- ce sont des réactions exothermiques.
- présence de gaz et de vapeur pendant l'explosion (la pression de gaz transforme la chaleur en travail mécanique)

#### I-5-CLASSEMENT DES EXPLOSIFS D'APRES LES CONDITIONS D'EMPLOI

Les explosifs d'après leurs conditions d'emploi, se classent



dans les groupes suivants:

- 1 - permis seulement pour les travaux à ciel ouvert;
- 2 - permis pour l'utilisation souterraine et à ciel ouvert sauf les mines dangereuses en gaz et en poussières;
- 3 - permis pour l'utilisation dans tout les travaux souterrains et à ciel ouvert, y compris les mines dangereuses en gaz et en poussière  
les explosifs des deux premiers groupes sont des explosifs ordinaires, le troisième groupe, par contre, ne tient compte que des explosifs de sûreté.

les explosifs du troisième groupe se classent en quatre sous groupes:

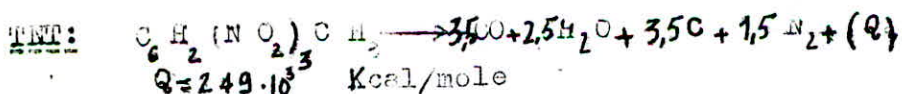
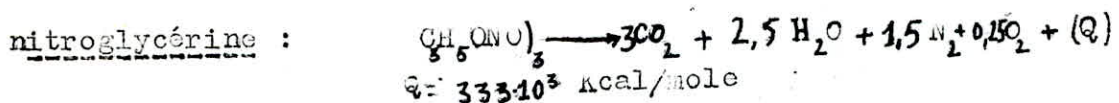
- a) pour les travaux au charbon et au rocher;
- b) pour les travaux au rocher exclusivement;
- c) pour les travaux dans les mines de soufre;
- d) pour les travaux dans les mines de pétrole et azokerite

les explosifs industriels se classent dans les catégories de base suivantes:

- les explosifs au nitrate d'ammonium ( ammonites et dynamons );
- les explosifs à la nitroglycérine;
- les explosifs aux dérivés nitrés de la série aromatique;
- les explosifs à oxyliquite;
- les explosifs chloratés et perchloratés;
- la poudre noire.

On utilise principalement les explosifs à la nitroglycérine et les explosifs au nitrates d'ammonium.

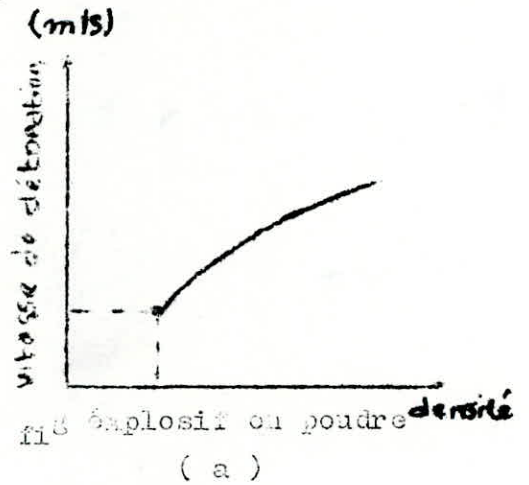
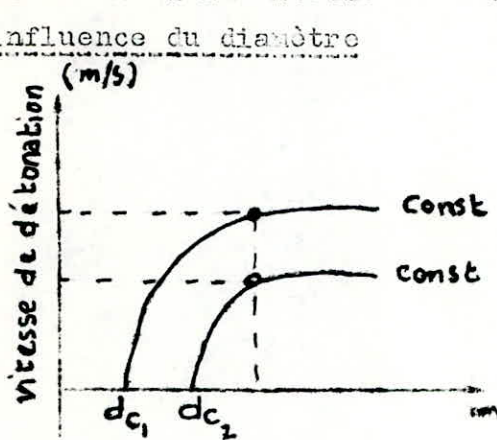
Les explosifs utilisés dans les travaux souterrains peuvent être classés en dynamites, explosifs gélatineux et explosifs à faible pourcentage ne contenant pas plus de 10% de nitroglycérine.



I.6. PARAMETRES INFLUANT SUR LA VITESSE DE DETONATION

La vitesse de détonation dépend du diamètre de la cartouche, de la densité de l'explosif utilisé; par conséquent la brisance est proportionnelle à la vitesse de détonation

I.6.1. influence du diamètre



( a )

de la courbe une valeur inférieure à  $d_c$  n'entraîne pas la détonation de l'explosif et, à partir d'une valeur déterminée du diamètre la vitesse de détonation reste constante quelque soit la grandeur du diamètre de la cartouche

I.6.2. influence de la densité

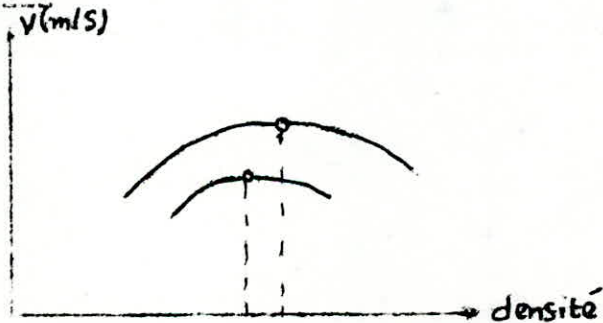


fig ( b ) explosif compact

La détonation est créée à partir d'une densité critique et plus l'explosif est dense plus la vitesse de détonation est importante, c'est le cas d'un explosif en poudre fig ( a ).  
pour un explosif compact fig ( b ) la vitesse de détonation est maximale pour une valeur critique de la densité.



### I. 7. METHODES D AMORCAGE DES CHARGES

pour créer la détonation d'un explosif en pratique il faut lui communiquer une onde de choc pour amorcer l'explosion une action extérieure qu'on appelle impulsion initiale est indispensable cette onde de choc est produite par les amorces dans les carrières, l'explosion des charges d'explosif est créée par la meche, avec du courant électrique ou à l'aide du cordeau détonant; l'amorce possède une pression très grande et par conséquent une impulsion suffisante pour détoner l'explosif Le graphe 7 représente la répartition de la pression pendant la détonation des différents explosifs

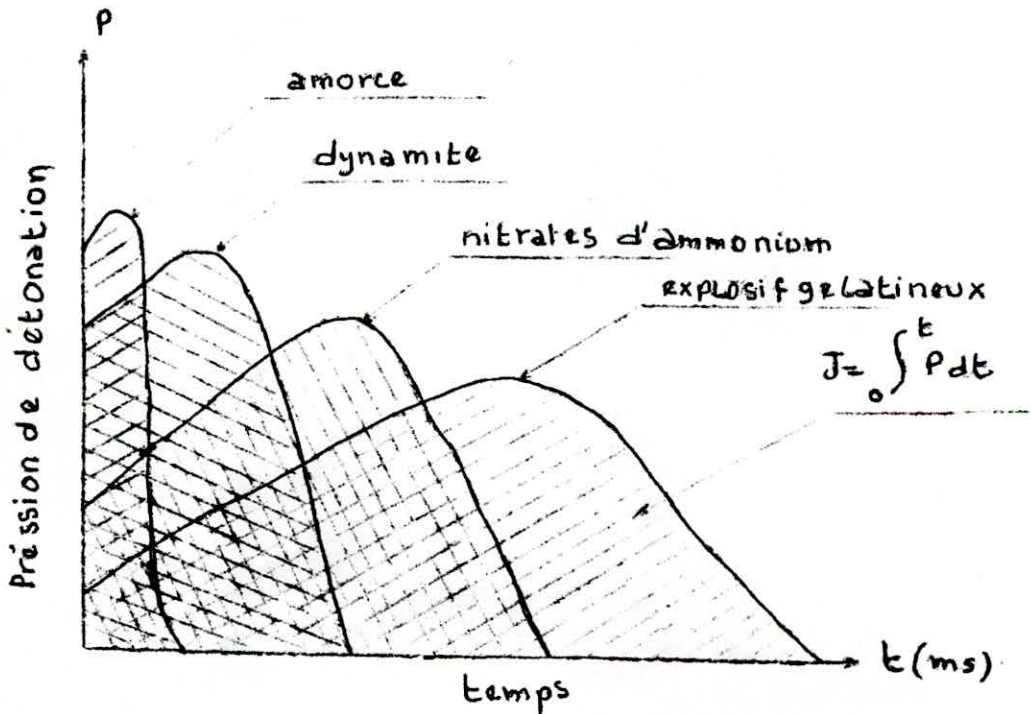


fig I-7 répartition de la pression pendant la détonation des différents explosifs

J = impulsion initiale

II. CHAPITRE II - METHODES D'ÉVALUATION DES PARAMÈTRES PRINCIPAUX  
DES TRAVAUX DE TIR ET DE FORAGE

II.1. PRINCIPAUX PARAMÈTRES DU TROU

Les principaux paramètres du trou sont les suivants: fig (II-1)

- diamètre
- longueur
- longueur du sous forage
- angle d'inclinaison

II-1-1 LE DIAMÈTRE.

Sur sa base, la quantité d'explosif par unité de longueur est déterminée et sert à prédéterminer presque tout les principaux paramètres des travaux de forage et de tir; les expériences ont montré que le diamètre est en relation avec la granulométrie avec l'augmentation du diamètre, la qualité de fragmentation des roches diminue et le débit des grosses fractions s'accroît. Le degré d'influence du diamètre de la charge sur la qualité de fragmentation diminue avec l'augmentation de l'intensité de fissuration.

II-1-2 LA LONGUEUR DU TROU: est déterminée par la formule suivante:

$$L = \frac{H}{\sin \beta} + l_s, \text{ m};$$

où: H - hauteur du gradin, m;

$l_s$  - longueur du sous forage, m;

$\beta$  - angle d'inclinaison du trou, degré

II-1-3 LA LONGUEUR DU SOUS FORAGE: varie de 0,5 à 3 m avec l'augmentation de la dureté de la roche, de la hauteur du gradin et de la résistance au pied pour les trous verticaux elle ne dépasse pas un tiers de la résistance au pied.

La longueur du sous forage est déterminée par la formule sui-

$$l_s = k_s \cdot D, \text{ m};$$

où:  $k_s$  - coefficient tenant compte des propriétés des roches et de l'inclinaison du trou ( tableau-II-1)

$$k_s = 10 \div 15 ;$$

D - diamètre du trou, m



## II-2- CONSTRUCTION DES CHARGES ET CALCUL DE LEURS PARAMETRES

La charge d'explosif peut être continue ou dispersée fig (II-2), la charge continue est placée dans la partie inférieure du trou, la partie supérieure est remplie par des matériaux inertes (sable, argile, déchets de forage, etc) .

Les charges continues détériorent bien la partie inférieure du gradin, mais dans sa partie supérieure ils se forment les hors gabarits L'adoption des charges dispersées augmente la qualité de fragmentation et diminue la consommation spécifique de l'explosif de ( 5 ÷ 15 % ) .

Les proportions en masse des parties inférieures et supérieures sont respectivement, 70% et 30 % de la masse totale utilisée . Cette méthode est utilisée dans les carrières dont la hauteur des gradins ne dépasse pas 4 ÷ 5m -

Si le diamètre du trou ne permet pas de contenir la charge indispensable, on utilise la méthode par charge de poche. Lorsque on utilise les charges de chambre, des quantités importantes d'explosifs sont placés dans les chambres spéciales pratiquées soit au bout des galeries souterraines, soit à partir de puits de prospection. Ce mode (II-3) est utilisé parfois pour le déplacement des roches dans un sens prédéterminé (carrières à relief montagneux), parfois pour le creusement des tranchées .

II.2-1. LA CONSOMMATION SPECIFIQUE D'EXPLOSIF : est la quantité d'explosif pour l'abattage d'un m de roche (en kg/m )

Dans le tableau (II-1), on présente les valeurs des paramètres principaux de forage et de tir suivant l'expérience pratique des mines à ciel ouvert métallifères de l'URSS .

D'après ce tableau on peut choisir ou vérifier les principaux paramètres en fonction de la résistance des roches au tir, de la catégorie des roches suivant la fissurité du massif dont l'indice principal est la dimension moyenne du bloc du massif et aussi la dureté des roches d'après PROTODIAKONOV.M .

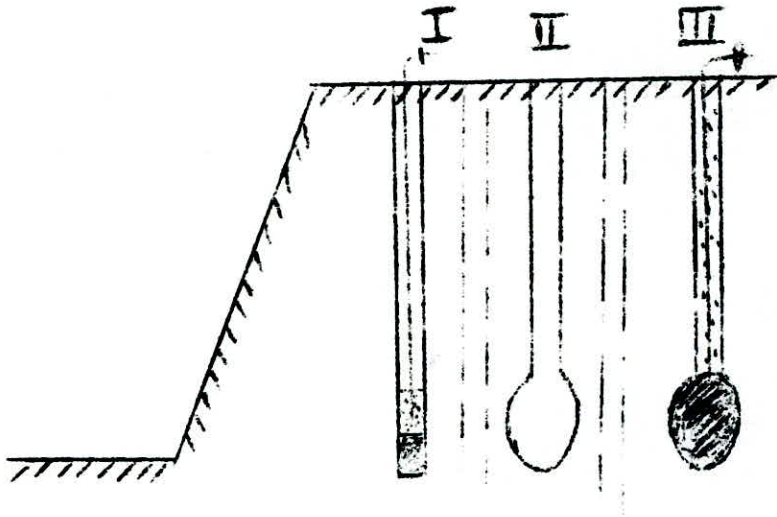


Fig. II.3

succession des opérations du tir des charges de poche

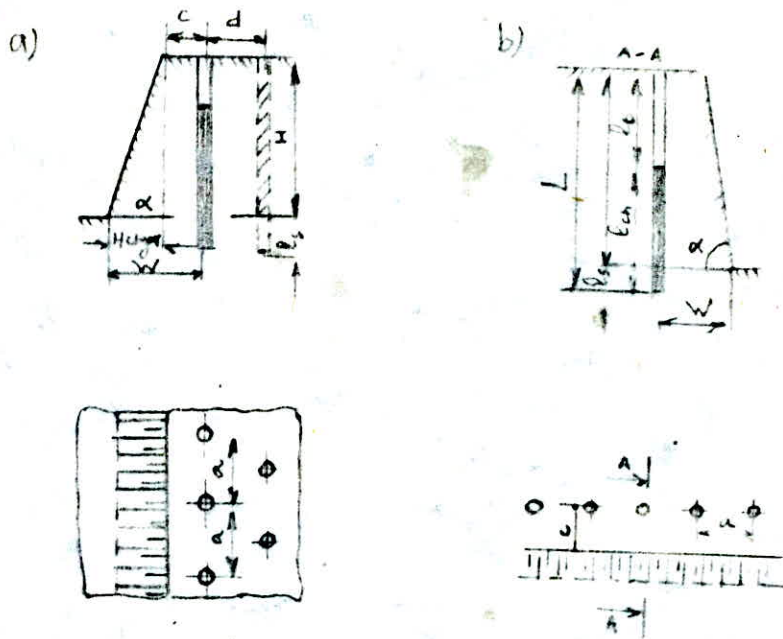


Fig (II-1). établissement du plan de tir par trous Verticaux profonds avec charge allongée : a)-tir à rangées successives ; b)-tir à une seule rangée.

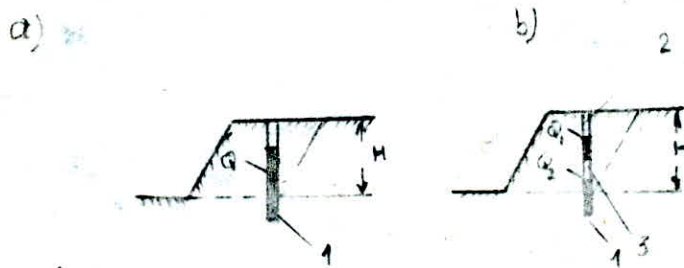


Fig (II-2) a) charge continue ; b) charge dispersée ; 1- charge d'explosif ; 2- bourrage ; 3- chambre d'air.



résistance au tir	faible			moyenne		forte		très forte			extrêmement forte				
Catégorie	I			II		III		IV			V				
dureté	2 ÷ 5	5 ÷ 8	8 ÷ 10	2 ÷ 5	6 ÷ 12	5 ÷ 8	8 ÷ 12	11 ÷ 15	15 ÷ 18	18 ÷ 21	21	21	21	21	21
mode de forage recommandé	rotative	a' mo-Lette	a' mo-Lette	rotative	a' mo-Lette	a' mo-Lette	a' mo-Lette	a' mo-Lette	per Percussion	per Vibro-Percussion	a' mo-Lette	a' mo-Lette	per Percussion	per Vibro-Percussion	per Vibro-Percussion
diamètre du trou suivant Les paramètres des sous-cleuses D (m)	0,12 ÷ 0,20	0,20 ÷ 0,32	0,25 ÷ 0,32	0,16 ÷ 0,20	0,25 ÷ 0,32	0,25 ÷ 0,32	0,25 ÷ 0,32	0,25 ÷ 0,32	0,12 ÷ 0,16 Pêche Jusqu'à 0,4	0,12 ÷ 0,20	0,25 ÷ 0,32	0,25 ÷ 0,32	0,12 ÷ Pêche 0,16	0,12 ÷ 0,20	0,12 ÷ 0,20
consommation spécifique de l'explosif [kg/m <sup>3</sup> ]	$\frac{0,20}{0,30}$	$\frac{0,3}{0,35}$	$\frac{0,35}{0,4}$	$\frac{0,40}{0,45}$	$\frac{0,45}{0,5}$	$\frac{0,5}{0,55}$	$\frac{0,6}{0,65}$	$\frac{0,7}{0,8}$	$\frac{0,8}{0,85}$	$\frac{0,9}{1,0}$	$\frac{0,9}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,1}$	$\frac{1,2}{1,3}$	$\frac{1,2}{1,3}$	$\frac{1,3}{1,35}$
Longueur du sous-forage [m]	10	10	10	10	10	10	10	$\frac{10}{12}$	$\frac{10}{14}$	$\frac{10}{15}$	10	10	$\frac{10}{14}$	$\frac{10}{15}$	$\frac{10}{15}$
Coefficient de rapprochement entre les trous	$\frac{1,4}{1,6}$	$\frac{1,4}{1,6}$	$\frac{1,4}{1,6}$	$\frac{1,2}{1,4}$	$\frac{1,2}{1,4}$	$\frac{1,2}{1,3}$	$\frac{1,2}{1,3}$	$\frac{1,0}{1,3}$	$\frac{1,0}{1,3}$	$\frac{1,0}{1,2}$	$\frac{1,0}{1,2}$	$\frac{1,0}{1,1}$	$\frac{1,0}{1,1}$	$\frac{1,0}{1,1}$	$\frac{0,9}{1,0}$

dans le numérateur sont présentées les valeurs pour les trous inclinés,  
dans le dénominateur - pour les trous verticaux

(tableau II-1)





$$K_c = 0,95 \div 1,0 ; 0,85 \div 0,9 ; 0,7 \div 0,8 ;$$

tirabilité respective: facile; moyenne; difficile pour  $D = 300\text{mm}$ ;  
 $K_c$  sera égal respectivement  $1,5 \div 1,1 ; 1,2 \div 1,25$  et  $1,35 \div 1,4$   
 pour un degré de fragmentation égal à 2,  $K_c$  est dans ce cas égal  
 à  $0,5/d_m$ ; où  $d_m$  est la dimension moyenne nécessaire du morceau  
 fragmenté en m;

$K_v$  coefficient qui tient compte du volume de la roche fragmenté  
 à l'explosif:

$$K_v = \sqrt{\frac{15}{H}}$$

où:  $H$  - hauteur du gradin,  $H = 15 \div 18\text{m}$  ;

$$K_v = \sqrt{\frac{H}{15}} ; H > 18\text{m}$$

$K_{sd}$  coefficient qui tient compte du nombre de surfaces dégagés

nombre de surfaces dégagés	6	5	4	3	2	1
$K_{sd}$	1	2	4	6	8	10

La consommation spécifique de l'explosif étalon est déterminée  
 d'après la formule suivante:

$$q = 902(\sigma_{comp} + \sigma_{cis} - \sigma_{tr}) + 2\gamma, \text{ g/m}^3$$

où:  $\gamma$  - est exprimé en  $\text{kgf/dm}$ ,

la consommation spécifique d'étalon calculée d'après cette for-  
 mule pour la plupart des roches varie de 5 à 50  $\text{g/dm}$

$\sigma_{comp}$ ;  $\sigma_{cis}$ ;  $\sigma_{tr}$  sont respectivement les contraintes de compression,  
 de cisaillement, et de traction

D'après ce qu'on a cité ci dessus toutes les roches sont divisées  
 en 5 classes et 25 catégories

1- $q = 10\text{g/m}$ ; catégorie 1, 2, 3, 4, 5 ; tirabilité facile .

2- $q = 10,1 - 2 \text{ g/m}$ ; catégorie 6 7 8 9 10; tirabilité moyenne .

3- $q = 20,1 - 30 \text{ g/m}$ ; catégorie 11 12 13 14 15; tirabilité  
 difficile .

4- $q = 30,1 - 40 \text{ g/m}$ ; catégorie 16 17 18 19 20; tirabilité très  
 difficile .

5- $q = 40,1 - 50 \text{ g/m}$ ; catégorie 21 22 23 24 25 ; tirabilité  
 exclusivement difficile .

Donc la consommation spécifique étalon de l'explosif peut être utilisée pour classer les roches suivant leur tirabilité elle peut être aussi la base de calcul préalable de la technologie du tir et de la consommation de projet de l'explosif -

II-2.4 LE BOURRAGE : est réalisé afin d'utiliser le maximum de l'énergie du tir, pour bien utiliser l'espace forcé, la longueur de bourrage doit être minimale est suffisante pour prévenir les pertes des produits du tir, la projection dangereuse des pierres et de la formation d'ondes de choc fortes; d'habitude on prend;

$$l_b = (20 - 30) \cdot D, \text{ m};$$

où:  $l_b$  - longueur du bourrage, m;

$D$  - diamètre du trou, m.

Le bourrage consiste en un matériau inerte (sable, argile, etc.)

II-2.5 LA DISTANCE MENAGÉE ENTRE DEUX TROUS: d'une même rangée est

tirée de la formule suivante:

$$a = m \cdot W, \text{ m};$$

où:  $m$  - coefficient de rapprochement des trous (voir tableau (1.1))

$W$  - la résistance au pied (ligne de moindre résistance), m

La distance entre les rangées de trous ( $b$ ) dépend du schéma de disposition des trous sur le gradin;

$$b = a, \text{ m} \quad (\text{rangées en carré})$$

$$b = 0,707a, \text{ m} \quad (\text{rangées en carré diagonale})$$

II-2.6 LA LIGNE DE MOINDRE RÉSISTANCE (W): est déterminée d'après la formule suivante lorsqu'il s'agit d'une disposition verticale des trous d'abattage

$$W = \frac{\sqrt{0,5 P^2 + 4mq P H L} - 0,75 P}{2mq H}, \text{ m},$$

où

où:  $P$  - capacité d'un mètre de trou, kg/m;

$$P = 785 \cdot D^2 \cdot \Delta$$

$D$  - diamètre du trou, m;

$\Delta$  - densité d'explosif, kg/m<sup>3</sup>;

$m$  - coefficient de rapprochement des trous;

$q$  - consommation spécifique d'explosif, kg/m<sup>3</sup>;

H- hauteur du gradin, m;

L- longueur du trou, m;

après le calcul il faut vérifier les conditions de sécurité,

$$w \geq H \cdot \text{ctg} \alpha + c, \text{ m};$$

où:  $\alpha$  - angle du talus du gradin, degré;

c - berme de sécurité, ( c 7,3 m )

Dans le cas où w ne vérifie pas les conditions de sécurité, il faut changer la disposition du trou, prendre une autre valeur du coefficient de rapprochement entre les trous, la nouvelle valeur est donnée par la

formule suivante:  $m = \frac{P(L - l_0)}{q H (H \text{ ctg} \alpha + c)^2}$

où:  $l_0$  - longueur du bourrage, m

Enfin la charge d'un trou est déterminée par les formules suivantes

I - pour les trous de la première rangée

$$Q_{(1)} = q \cdot w \cdot H \cdot a, \text{ KG}$$

2 - pour les autres rangées

$$Q_{(n)} = q \cdot H \cdot a \cdot b, \text{ KG}$$

La longueur de charge pour la première rangée est donc;

$$l_{ch(1)} = \frac{Q_{(1)}}{P}, \text{ m}$$

POUR les autres rangées,

$$l_{ch(n)} = \frac{Q_{(n)}}{P}, \text{ m}$$

### II-3 MASSE ADMISSIBLE DES CHARGES

La masse admissible des charges est déterminée d'après les règles suivantes:

- si le tir est à microretard, la masse admissible des charges se détermine par la formule suivante:

$$Q_{ad} = \frac{2}{3} Q_{max} \cdot n,$$

où:  $Q_{max}$  - masse des charges d'explosif maximales d'une série de tir à micro-retard, kg;

n- nombre d'intervalle de retard



- si le retard entre deux explosions est une seconde ou plus, le calcul s'effectue pour le trou avec la plus grande masse des charges explosées simultanément,

#### II.4 ZONES DE DEFORMATION DU MASSIF ROCHEUX LORS D'UN TIR

Lorsque l'explosif détone il se produit d'une manière rapide et successive de tas de phénomènes :

Autour d'une charge se forme la zone de compression fig (II 5), ou zone de déformation plastique, où se manifeste cette série de déformations

- le diamètre initial du trou s'élargit de près du double .
- les roches dures et mi-dures supportent la fragmentation .
- les roches denses et les argiles tendres augmentent leur consolidation et le compactage .
- déplacement des roches .

Lors des tirs la zone de compression est  $(1,7,5) D_{ch}$  ;

où :  $D_{ch}$  est le diamètre de la charge mm.

L'onde de choc se déplaçant du centre à la périphérie, provoque dans la roche des contraintes tangentielles et des contraintes radiales. Cette zone est appelée zone de formation des fissures; la roche subit une traction et une compression, les contraintes tangentielles provoquent une fissuration selon des rayons partant du centre au trou. Le rayon de cette zone varie de 20 jusqu'à 50  $D_{ch}$ .

La zone de secousse vient après la zone de fissure, cette zone est caractérisée par des déformations élastiques. Lorsque l'onde de choc arrive à la surface libre du gradin, tend à projeter le matériau à la surface .

LES deux premières zones citées forment ensemble la zone de fragmentation réglée, dans cette zone la fragmentation est orientée dans la zone de secousse, les roches se détruisent en partie suivant les fissures naturelles, c'est la zone de fragmentation non réglée.

a ) charge concentrée

b ) charge allongée

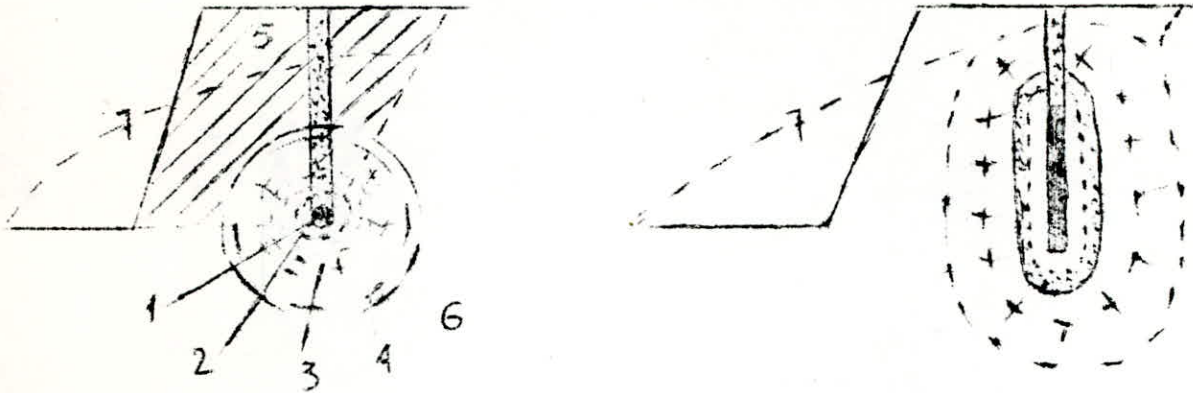


fig (II-5) zones de déformation du massif  
rocheux lors du tir

1-charge d'explosif; 2-poche de gaz; 3-zone de compression  
4-zone de formation des fissures; ( 5<sup>e</sup>-zone de déplacement  
des roches ( de fragmentation non réglée ); 6-zone de  
déformation élastique; 7-contour du tas des roches abattues .

## II.5. CREUSEMENT DES OUVRAGES SOUTERRAINS A L'EXPLOSIF

Le creusement des ouvrages souterrains nécessite l'utilisation des explosifs qui répondent à des conditions du projet, pour le creusement des galeries, la construction des tunnels; les sections doivent être bien déterminées et à partir de là, l'emploi des explosifs est devenu très important .

6e  
II.6. LA CONSOMMATION SPECIFIQUE ; varie en fonction de la section transversale des excavations et la dureté des roches. cependant les expériences ont montré qu'elle augmente avec l'augmentation de la dureté et diminue avec l'augmentation de la section  
Les valeurs de la consommation spécifique q sont présentées dans le tableau suivant :



f (dureté)	q (KG/m <sup>3</sup> )					
	consommation spécifique					
	section transversale (m <sup>2</sup> )					
	1-5	5-7	7-10	10-15	15-20	>20
2-3	1,4	1,2	1,0	0,85	0,7	0,6
4-6	1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	0,9
7-8	3,0	2,7	2,4	2,4	2,0	1,3
10-14	4,2	3,8	3,4	3,2	2,9	2,1
15-18	4,5	4,3	4,0	3,8	3,6	3,0
19-20	5,0	4,8	4,5	4,2	4,0	3,4

La consommation spécifique peut être calculer d'après la méthode de LARES et qui est donné par la formule suivante:

$$q = f_1 \cdot s \cdot \sqrt[3]{\frac{e \cdot d}{\Delta}} \quad \text{KG/m}^3$$

où  $f_1$  est la résistance au tir:  $f_1 = \frac{f}{20}$  ;  $f = \frac{R_c}{100}$  est la résistance à la compression en KG/cm<sup>2</sup>;

s-coefficient tenant compte de la structure de la roche, donné par le tableau suivant:

caractéristiques des roches	s
élastiques et poreuses	2,0
FISSURÉES et schisteuses, disloquées	1,4
cohérentes sans fissures	1,1
roche dures, homogènes	0,8

$\sqrt[3]{}$  -coefficient tenant compte du nombre de surfaces dégagées  $\alpha$  -autour de la charge, pour une galerie:  $\sqrt[3]{} = \frac{6,5}{\sqrt{s}}$  ;

$s_c$  -section de la galerie à terre nue, pour un puit:  $\sqrt[3]{} = \frac{6,5}{\sqrt{A_c}}$  ;

$A_c$  - section du creusement du puit ;

e-coefficient de la capacité de travail relatif d'explosif:

$$e = \frac{380}{P}$$

P -capacité de travail en cm<sup>3</sup>

$\Delta$  -densité de l'explosif:

$\Delta = 0,9$  pour un explosif en cartouche .

$\Delta = 1,0$  pour un explosif en poudre .



d- coefficient de la qualité de bourrage

d = 1,0 pour un bon bourrage

d < 1,0 pour un mauvais bourrage

### II-7 CHARGE TOTALE

La charge totale est donné par la formule suivante:

$$Q = q \cdot V \text{ KS,}$$

où- q- consommation spécifique en KS/m;

$V$  volume à abattre en m<sup>3</sup>;

$$V = S \cdot l_{av} \text{ m}^3$$

où:  $l_{av}$  - longueur d'avancement en m;

où:  $f_{av}$  - coefficient d'utilisation du trou

$f_{av} = (0,7 \div 0,8)$ , pour une charge allongée

$f_{av} = (0,9 \div 1,0)$ , pour une charge concentrée

$f_{av}$  (optimal) =  $(0,8 \div 0,9)$

$l_{tr}$  - longueur du trou en m;

S - section du creusement en m

### II-8 NOMBRE DE TROUS, "N"

Le nombre de trous "N" est déterminé d'après trois méthodes

a) D'après PROTODIARONOV

$$N' = 2,7 \sqrt{\frac{F}{S_{cr}}}$$

où:  $N'$  - nombre de trous par mètre carré;

$S_{cr}$  - section du creusement en m

f - coefficient de PROTODIARONOV.

$$\text{Donc : } N = N' \cdot S_{cr} = 2,7 \sqrt{f \cdot S_{cr}}$$

b) D'après BOGOMOLOV

$$N' = 2,3 \sqrt{\frac{F}{S_{cr}}}$$

$$N = 2,3 \cdot \sqrt{f \cdot S_{cr}}$$

c) D'après ~~de~~ POKROWSKY (pour une charge allongée)

$$N = q \frac{S_{cr}}{\gamma} = \frac{1,27 q_c \cdot S_{cr}}{d_c^2 K_r \delta}$$

$K_r$  - est le coefficient de remplissage, pour des roches de différentes duretés  $K$  est donné par le tableau suivant:

f	$K_r$
3	0,55 ÷ 0,65
3 ÷ 6	0,65 ÷ 0,75
> 6	0,75 ÷ 0,85

### II-4. CHARGE MOYENNE PAR TROU $Q_m$

La charge moyenne par trou est donnée par la formule suivante:

$$Q_m = \frac{Q}{N}, \text{ KG};$$

où:  $N$  - nombre de trous total

où bien:  $Q_m = \frac{\pi d_c^2 (l_{tr} - l_B) \delta}{4}$

$d_c$  - diamètre de la cartouche en m;

$\delta$  - poids volumique de la cartouche en KG/m

$Q_m$  peut être calculé par cette formule:  $Q_m = \frac{l_{tr} - l_B}{l_c} \cdot q, \text{ KG};$

où:  $l_c$  - longueur de la cartouche en m;

$q$  - poids de la cartouche en KG

### CONCLUSION:

Nous avons vu que la charge d'explosif dépend des paramètres que nous avons cités et, essentiellement de la consommation spécifique de l'explosif, dans ce but nous proposons que cette dernière se détermine d'après la relation entre la vitesse de propagation de l'onde de choc et le nombre de surfaces dégagées  $n$  c-à-d:  $q = f(n, v)$   
 C'est une méthode très rapide et ne nécessite pas plusieurs mesures. Nous proposons qu'une étude détaillée du massif rocheux est exigée pour une utilisation rationnelle de l'explosif.

## CHAPITRE III - EFFETS DE L'EXPLOSIF EN SITE URBAIN

### Introduction

L'emploi des explosifs dans les carrières est de pratique courante mais il occasionne un certain nombre d'inconvénients: projection de roches, bruits et vibrations du sol qui peuvent être autant des nuisances ou de dangers pour les populations qui vivent au voisinage. L'impact de ces nuisances s'est considérablement accru au cours de ces dernières années en raison:

- de l'urbanisation rapide au voisinage des sites où des carrières projetées
- de la sensibilité croissante du public vis-à-vis de la qualité de l'environnement -

### III-1- LES PROJECTIONS DE ROCHES

De par le mode même de fonctionnement de l'abattage par explosif, des fragments de roches importants peuvent être projetés à des distances considérables ainsi a-t-on signalé des dégâts provoqués à des constructions et des populations, des blessures subies par des personnes à plus de 500 m du lieu de tir à l'effet direct de projections de roches -

### III-1- CAUSES PRINCIPALES PROVOQUANT LES PROJECTIONS DE ROCHES

Ceci peut être dû en particulier lorsque:

- la hauteur de bourrage est insuffisante;
- une faille fait communiquer le fourneau de mine avec l'extérieur du massif

### III-1.1 ANALYSE D'UN FRAGMENT DE ROCHE LORS DE SA PROJECTION

#### a) Cas d'un relief plat

Après explosion le fragment décrit une trajectoire parabolique, par rapport à l'axe  $ox$  le débris de roche a un mouvement rectiligne uniforme d'équation:  $x = v_0 \cos \alpha t + x_0$ , où  $v_0$  et  $x_0$  sont les conditions initiales et qui sont respectivement la vitesse et l'abscisse sur l'axe  $ox$ ,  $\alpha$  est l'angle de projection,  $t$  est le temps -

par rapport à l'axe  $oy$  le mouvement est uniformément retardé d'équation:  $y = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \sin \alpha t + y_0$ , où:

$g$ -accélération de la pesanteur;

$y_0$ - ordonnée initiale; à l'origine  $x=y=0$



La première equation est donc:  $x = V_0 \cos \alpha t$  d'où:  $t = \frac{x}{V_0 \cos \alpha}$ , la deuxième equation devient donc:

$$y = -\frac{1}{2} g \frac{x^2}{V_0^2 \cos^2 \alpha} + \frac{V_0 \sin \alpha x}{V_0 \cos \alpha}$$

$$y = -\frac{1}{2} g \frac{x^2}{V_0^2 \cos^2 \alpha} + \operatorname{tg} \alpha x$$

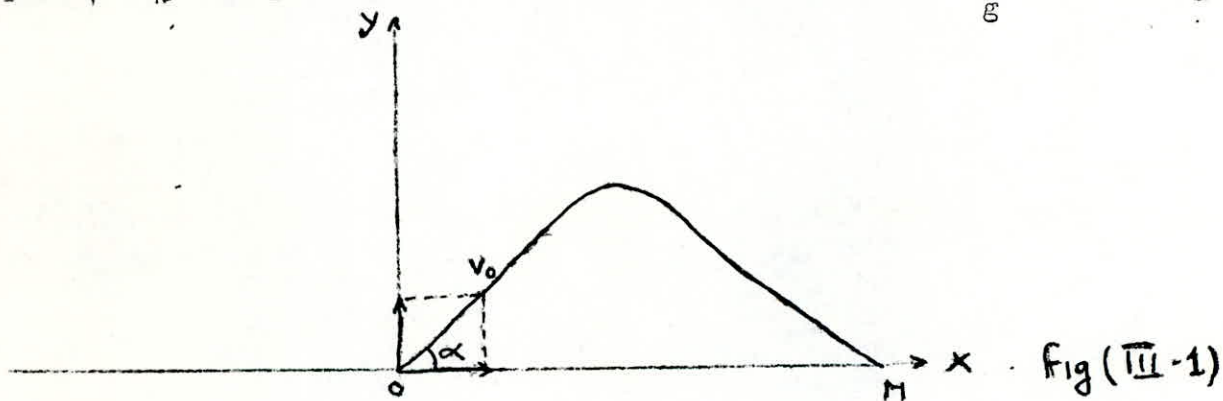
au point M fig (III-1),  $y = 0$  nous pouvons écrire que:

$$0 = -\frac{1}{2} g \frac{x^2}{V_0^2 \cos^2 \alpha} + \operatorname{tg} \alpha x$$

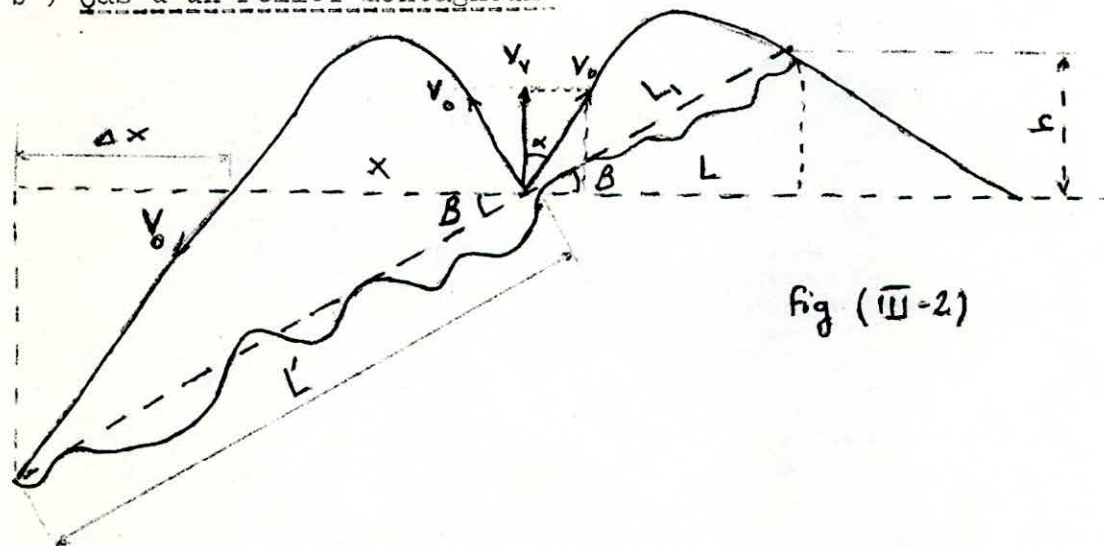
$$\frac{x}{g - V} = x \operatorname{tg} \alpha$$

$$\frac{1}{2} g \frac{x^2}{V_0^2 \cos^2 \alpha} = \operatorname{tg} \alpha x, \text{ d'où: } x = V_0 \frac{\sin 2\alpha}{g}$$

pour  $\alpha = 45^\circ$  la portée  $x$  est maximale (c-à-d);  $x = \frac{V_0^2}{g} \dots \dots \textcircled{I}$



b) cas d'un relief montagneux



b) 1. en amont

$$L = V_h \cdot t \Rightarrow t = \frac{L}{V_h}, \quad V_h = V_0 \cos \alpha \quad \text{donc} \quad t = \frac{L}{V_0 \cos \alpha}$$

$$h = V_v \cdot t - \frac{1}{2} g t^2, \quad V_v = V_0 \sin \alpha$$

remplaçons t par sa valeur d'où :

$$h = V_0 \sin \alpha \cdot \frac{L}{V_0 \cos \alpha} - g \cdot \frac{L^2}{2 V_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$h = L \operatorname{tg} \beta, \quad L \operatorname{tg} \beta = \frac{V_0 \operatorname{tg} \alpha \cdot L}{V_0} - g \cdot \frac{L}{2 V_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\frac{g \cdot L}{2 V_0^2 \cos^2 \alpha} = (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta), \quad \text{est l'angle du pendage}$$

$$\text{Si } \alpha = 45^\circ \quad L \rightarrow L_{\max}$$

$$L_{\max} = \frac{V_0^2}{g} (1 - \operatorname{tg} \beta)$$

$$L_v = \frac{L}{\cos \beta} \quad \text{donc} \quad L_{1\max} = \frac{L_{\max}}{\cos \beta}$$

$$\boxed{L_{1\max} = \frac{V_0^2}{g \cos \beta} (1 - \operatorname{tg} \beta)} \quad \text{②}$$

b) 2. en aval

$$X = V_0^2 \sin 2\alpha$$

$$\Delta X = V_0 \cos \alpha \cdot t \Rightarrow t = \frac{\Delta X}{V_0 \cos \alpha}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h'}{x + \Delta x} \Rightarrow h' = (x + \Delta x) \operatorname{tg} \beta$$

$$(x + \Delta x) \operatorname{tg} \beta = \Delta x \operatorname{tg} \alpha + g \frac{\Delta x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$x \operatorname{tg} \beta + \Delta x \operatorname{tg} \beta = \Delta x \operatorname{tg} \alpha + \frac{g}{2} \cdot \frac{\Delta x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$x \operatorname{tg} \beta = \Delta x (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) + \frac{g}{2} \cdot \frac{\Delta x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

mais  $x = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ , on peut écrire que:

$$\frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \cdot \operatorname{tg} \beta = \Delta x (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) + \frac{g}{2} \cdot \frac{\Delta x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\boxed{\frac{g \Delta x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} + \Delta x (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) - \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta = 0}$$

c'est une équation du deuxième degré qui admet deux racines  $\Delta x_1$  et  $\Delta x_2$

déterminons le discriminant  $\Delta$

$$\Delta = (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta)^2 + \frac{4}{2} \cdot \frac{g}{v_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$= (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta)^2 + \frac{2 \sin 2\alpha}{\cos^2 \alpha} \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$\Delta > 0 \quad \forall \alpha \text{ et } \beta \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right[$$

donc l'équation admet deux racines réelles  $\Delta x_1$  et  $\Delta x_2$



$$\Delta x_1 = \frac{-(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) + \sqrt{(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta)^2 + \frac{2 \sin 2\alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\cos^2 \alpha}}}{\frac{g}{V_0^2 \cos^2 \alpha}}$$

$$\Delta x_2 = \frac{-(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) - \sqrt{(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta)^2 + \frac{2 \sin 2\alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\cos^2 \alpha}}}{\frac{g}{V_0^2 \cos^2 \alpha}}$$

on prend uniquement la racine positive  $\Delta x_1$  ;

$$\Delta x_1 = \left[ \frac{(\operatorname{tg} \beta - 1) + \sqrt{(1 - \operatorname{tg} \beta)^2 + 4 \operatorname{tg} \beta}}{g} \right] \cdot \frac{V_0^2}{2} \quad (6)$$

et par consequant

$$L'_{\max} = \frac{V_0^2}{2g \cos \beta} \left( 1 + \operatorname{tg} \beta + \sqrt{(1 - \operatorname{tg} \beta)^2 + 4 \operatorname{tg} \beta} \right) \quad (3)$$

III-1.2. remarque : si  $\beta = 0$  ;  $L'_{\max} = \frac{V_0^2}{2g} 1 + 1 = \frac{V_0^2}{g} = X$

### III-1.3. DETERMINATION DES RAYONS DE LA ZONE DANGEUREUSE $R_d$

Une deuxième méthode de calcul du rayon de la zone dangeureuse consiste à déterminer la valeur maximale de la ligne de moindre résistance et d'après cette dernière on détermine la valeur conditionnelle de  $w$ , ( c- à\_d )  $w_{\text{con}} = w_{\max} 70\%$

Les valeurs de  $R_d$  sont données par le tableau suivant :

w(m) <small>acc</small>	$R_d, m, (n=1)^*$		w(m) <small>acc</small>	$R_d, m, (n=1)^*$	
	pour le personnel	pour les engins		pour le personnel	pour les engins
1,5	200	100	10	500	250
2,0	200	100	12	500	250
4,0	300	150	15	600	300
6,0	300	150	20	700	350
8,0	400	200	25	800	400

\*  $n$  - est le nombre d'intervalles de retard  
 En utilisant l'équation(4), et en se basant sur les données du tableau ci dessus, nous avons déterminé les vitesses initiales de projection et qui sont présentées dans le tableau suivant:

w (m)	1,5	4,0	8,0	10	15	20	25
$R_d$ (m)	200	300	400	500	600	700	800
$V_0$ (m/s)	44	54	62	70	76	82	88

#### III.1.4 VARIATION DE LA ZONE D'ANGLE DE LA ZONE DANGEREUSE EN FONCTION DE L'ANGLE DU PENDAGE.

a) en amont

pour montrer comment varie cette distance nous utilisons l'équation

2), et pour des valeurs distinctes de l'angle du pendage  $\beta$  nous déterminons  $L_{\max}$  correspondante :

A) -  $w_{\text{con}} = 1,5 \text{ m/s}$  ;  $V_0 = 44 \text{ m/s}$  ;  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$\beta$ (degré)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$L_{\max}$ (m)	200	183	165	146	127	107	85	60	32	0

B) -  $w_{\text{con}} = 8,0 \text{ m/s}$  ;  $V_0 = 62 \text{ m/s}$  ;  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$\beta$ (degré)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$L_{\max}$ (m)	400	365	329	293	254	213	169	120	64	0

C) -  $w_{\text{con}} = 8,0 \text{ m/s}$  ;  $V_0 = 54 \text{ m/s}$  ;  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$\beta$ (degré)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$L_{\max}$ (m)	300	274	247	220	191	160	127	90	48	0

b) en aval

Maintenant utilisons les équations (1) et (3) pour déterminer en premier lieu  $\Delta x$  et ensuite  $L'_{\max}$

A) -  $w_{\text{con}} = 1,5 \text{ m/s}$  ;  $V_0 = 44 \text{ m/s}$  ;  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$\beta$ (degré)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$\Delta x$ (m)	150	109	118	127	136	147	158	170	184	200	220
$L'_{\max}$ (m)	300	310	322	337	354	382	412	452	500	564	650

B) -  $w_{\text{con}} = 4,0 \text{ m/s}$  ;  $54 \text{ m/s} = V_0$  ;  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$\beta$ (degré)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$\Delta x$ (m)	150	164	177	191	205	220	237	255	276	300	328
$L'_{\max}$ (m)	450	465	484	505	535	572	617	678	745	846	974



c) -  $w_{con} = 80m$  ;  $V_0 = 62 \text{ m/s}$  ;  $g = 98 \text{ m/s}^2$

$\beta$ (degré)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$Lx_1(m)$	207	218	236	252	273	294	316	340	368	400	439
$L'_{max}(m)$	600	620	645	674	714	763	813	863	919	1128	1299

Les courbes représentatives de la variation de la distance maximale de projection en fonction du pendage sont présentées par les graphes (II-1.3) et (II-1.4)

### III-1.5- INTERPRÉTATION DES COURBES

Nous remarquons que la distance maximale de projection décroît, si le débris de roche se projette en amont du lieu de l'explosion par contre en aval elle devient de plus en plus grande avec ~~le~~ le croisement de l'angle du pendage

### III-1.6- PLAN DES ZONES D'INFLUENCE

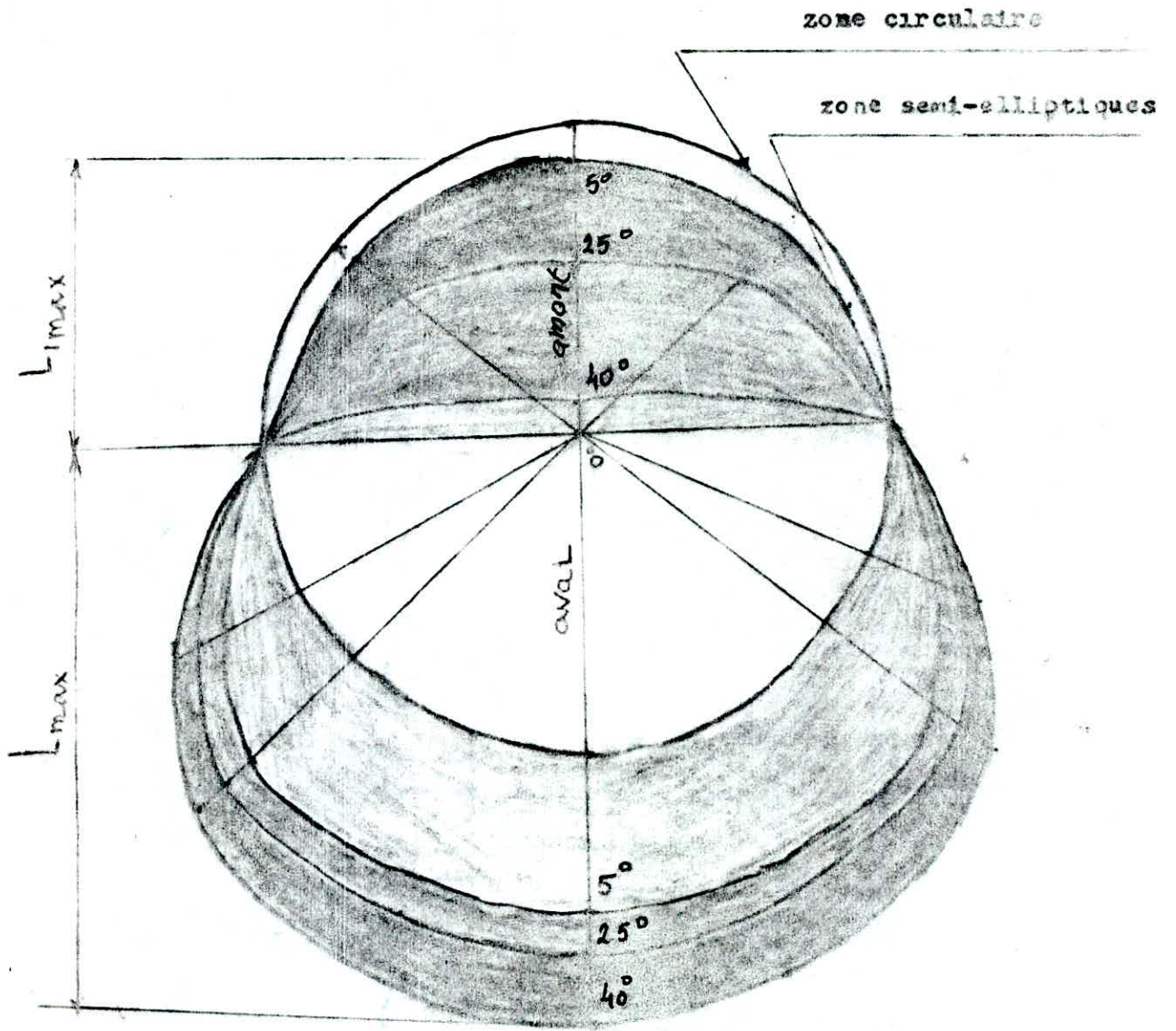
Ce plan est obtenu à partir des tableaux de variations, dans le cas où le relief est plat, les zones ont une forme circulaire et leurs surfaces dépendent du rayon de projection (voir fig III 1.5) mais pour un relief montagneux, les zones ont une forme semi-élliptique

### III-2- LES VIBRATIONS DU SOL

Compte tenu du développement important des travaux en souterrain dans les sites urbanisés, la sécurité des constructions environnant les travaux de creusement à l'explosif est devenue un sujet d'une actualité brûlante, est resté un domaine de recherche et d'application en pleine évolution.

Les mouvements vibratoires des différents points de constructions risquent de provoquer des perturbations:

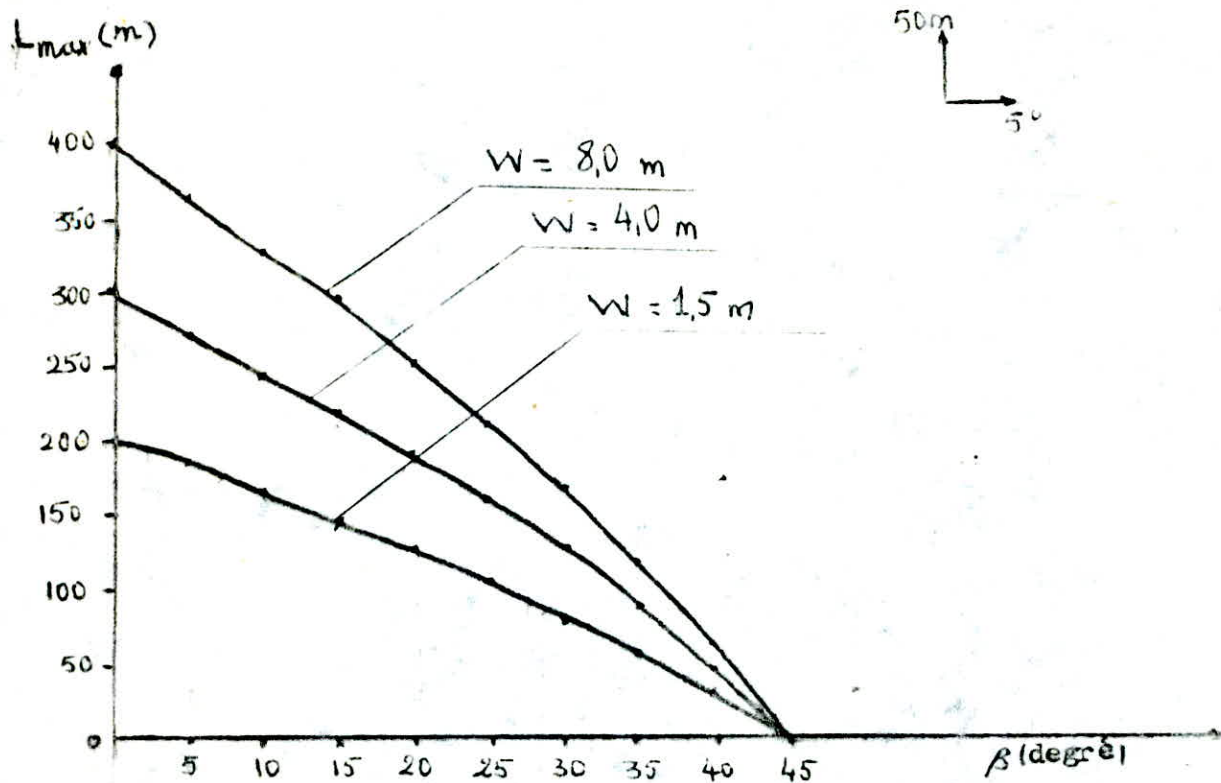
I- fissurations des constructions ou ouvrages, chutes d'éléments de stabilité précaire (crépi, corniches, objets suspendus ...)



(fig III-1-5 )  
zones d'influence vues en plan

$W = 8m$   
Cond

0 400m

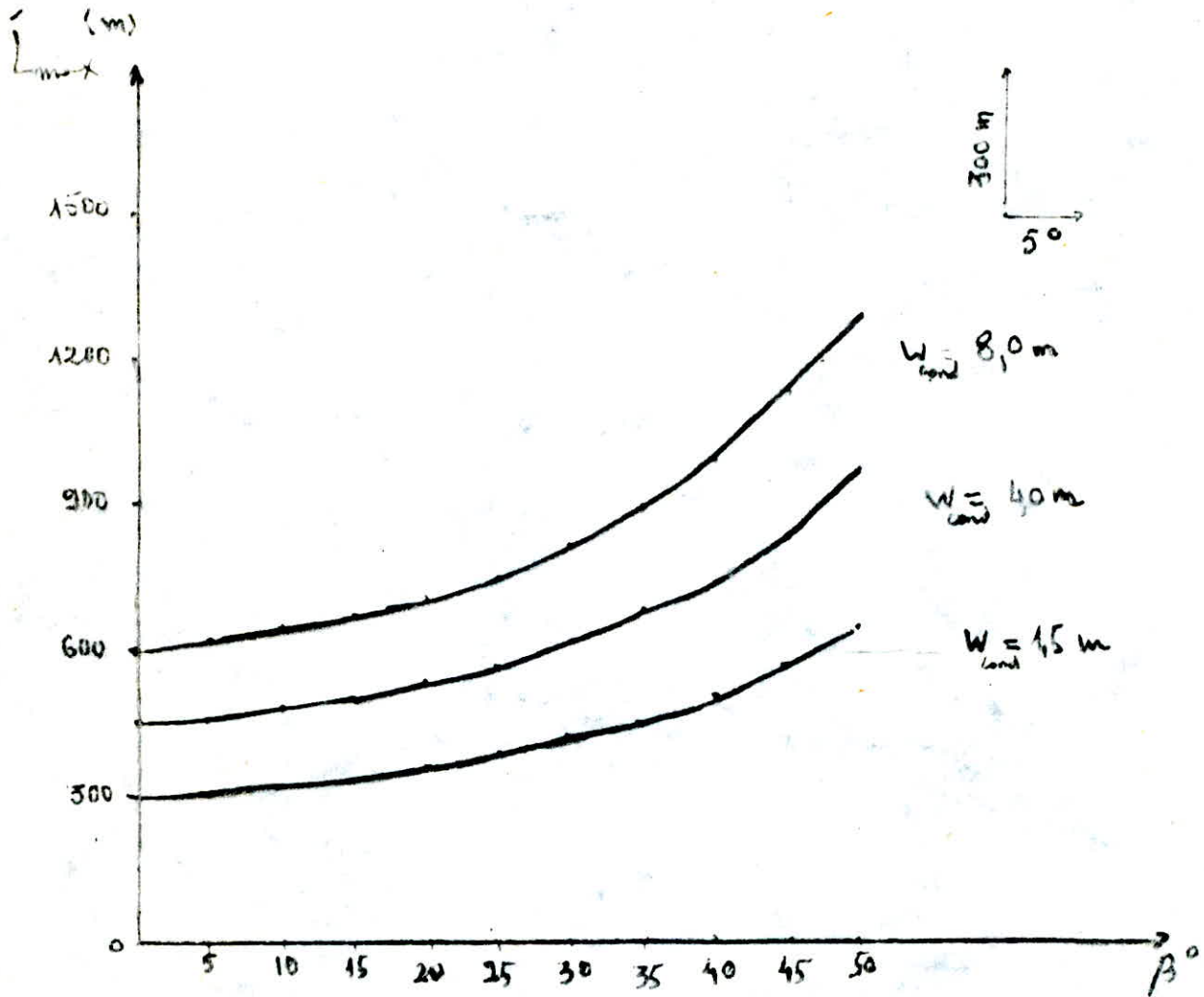


(fig-iii-2-)

variation de la distance maximale de projection  
en fonction de l'angle du pendage (cas en amont)

---





variation de la distance maximale en fonction de l'angle du pénétrage (cas en aval)

2-peur et angoisse des habitants, des immeubles soumis aux vibrations peut conduire à des plaintes et à l'arrêt momentané du chantier

### III-2-1. VITESSE DE PROPAGATION

L'explosion induit dans les terrains environnants une onde de choc qui s'atténue rapidement et se transforme en ondes élastiques dans les terrains .

Les ondes provoquent en un point du sol un ébranlement ( fig<sup>ure</sup> 2.1) caractérisé par son amplitude, sa vitesse particulaire, son accélération et sa fréquence La vitesse de transmission de ces vibrations varie selon la nature et l'état de fissuration du terrain traversé, de 1 1500 à 500 m/s; elles s'amortissent en s'éloignant du lieu de l'explosion .

par ailleurs, l'intensité des vibrations produites par un tir est sensiblement proportionnelle à la racine carré de la charge d'explosif tiré par retards ou microretards espacés d'au moins 20 milli-secondes, les vibrations produites par tels tirs se composent en général sans accroître leur valeur maximale seule une onde sur le site de la carrière permet de déterminer les paramètres d'intensité et d'amortissement .

Les vibrations que l'on désire connaître étant à priori de directions quelconques dans l'espace, il faut mesurer la vitesse particulaire simultanément dans trois composantes (c-à-d) dans trois directions perpendiculaires, l'amplitude vraie de la vitesse particulaire sera résultante  $V_r$  des trois composantes mesurées;  $V_x$ ;  $V_y$ ;  $V_z$

$$V_r = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

### III-2-3. MATERIEL DE MESURE DES VIBRATIONS DU SOL

Du point de vu des risques de dégats et de la gêne aux personnes, la qualité significative considérée plus haut est la valeur maximale de  $V_r$  .

La réalisation de telles mesures en un point suppose donc que l'on installe en ce point trois géophones, orientés selon les trois axes

- ox: horizontal dérigé vers le lieu du tir ;
- oy: vertical ;
- z: horizontal dérigé dans la troisième direction; que l'on enregistre les trois signaux fournis par les géophones (fig 2.2) et que l'on calcul la vitesse résultante  $V_r$  pour retenir sa valeur maximale .

Il existe des appareils qui calculent directement la vitesse résultante  $V_r$  et permettent d'obtenir directement l'enregistrement de cette vitesse résultante, comme sur la ( fig 1.1 ) mais l'expérience montre que l'on peut avoir une assez bonne connaissance des vibrations produites par des tirs en un point en ne mesurant que la composante verticale  $v_z$ : c'est habituellement la composante la plus forte et elle permet d'obtenir un ordre de grandeur de la vitesse résultante maximale

On observe souvent que la résultante maximale est donnée par la composante maximale, et pour le cas des tunnels creusés, sous des habitations c'est la composante verticale qui est maximale pourvu que le capteur soit fixé non pas contre le mur, mais sur le bord d'une fenêtre ou d'un pied de porte .

Donc le paramètre significatif peut être soit la résultante ou le module soit la composante maximale, sachant que  $v = v$  composante maximale (1,02 à 1,25) La mesure est à effectuer sur un élément porteur de la construction, près des fondations, avec un capteur tridimensionnel et un appareillage de bande passante de 5 à 300 Hz .

### III.2.3. LOI D'AMORTISSEMENT

Avant même l'établissement du projet d'un tunnel creusé à l'explosif en site urbanisé, et avant le démarrage des travaux, il convient d'avoir une idée sur la propagation des ondes de choc dans le terrain et du niveau de vibration en surface pour un tir donné; la théorie de ( PERSEN ) 1975 et l'expérience montrent que la vitesse de vibration particulière ( ou d'oscillation ) suit une loi d'amortissement semi-empirique de la forme:  $V = K (D/v^N)^{-m}$



où: -  $D$  = distance entre le point de mesure et le point de tir, exprimée en mètres;

-  $Q$  = charge d'explosif exprimée en grammes, par unité de retard;

-  $n$  = exposant sur la charge  $Q$  on prend  $n = 0,5$  en pratique même pour les tirs confinés ou bloqués;

-  $m$  = exposant d'amortissement du phénomène, principalement fonction de l'état de fissuration du terrain; il dépend aussi de la durée de l'impulsion de l'onde de choc due à l'explosion;

$K$  = constante, fonction du type de tir et du terrain

pour  $n = 0,5$  l'expérience montre que:

$1,2 \leq K \leq 3$  valeur moyenne  $m = 1,8$  (d'après M. CHART 1979)

Dans ce même sujet nous introduisons une autre formule de la vitesse particulaire et qui est la suivante:

$$V = K \cdot e$$

où: -  $K$  = constante, fonction qui dépend de la nature et de l'état de terrain;

$$K = 480 \sqrt{\frac{K}{f}};$$

où: -  $K$  = constante coefficient de fissuration;

-  $f$  = coefficient de PROTODIAKONOV

-  $e$  = charge réduite par unité de retard;

$$e = \left[ \frac{\sqrt[3]{\frac{Q}{n}}}{R} \right]^{\nu}$$

où:  $n$  = nombre d'intervalles de retard;

$R$  = distance entre le point de mesure et le point de tir, en mètres;

$\nu$  = exposant d'amortissement,  $\nu = (1 \div 2)$ , plus souvent  $\nu = \frac{3}{2}$  en définitif:

$$V = K \cdot \frac{\left( \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \right)^{\nu}}{(R)^{\nu}}$$

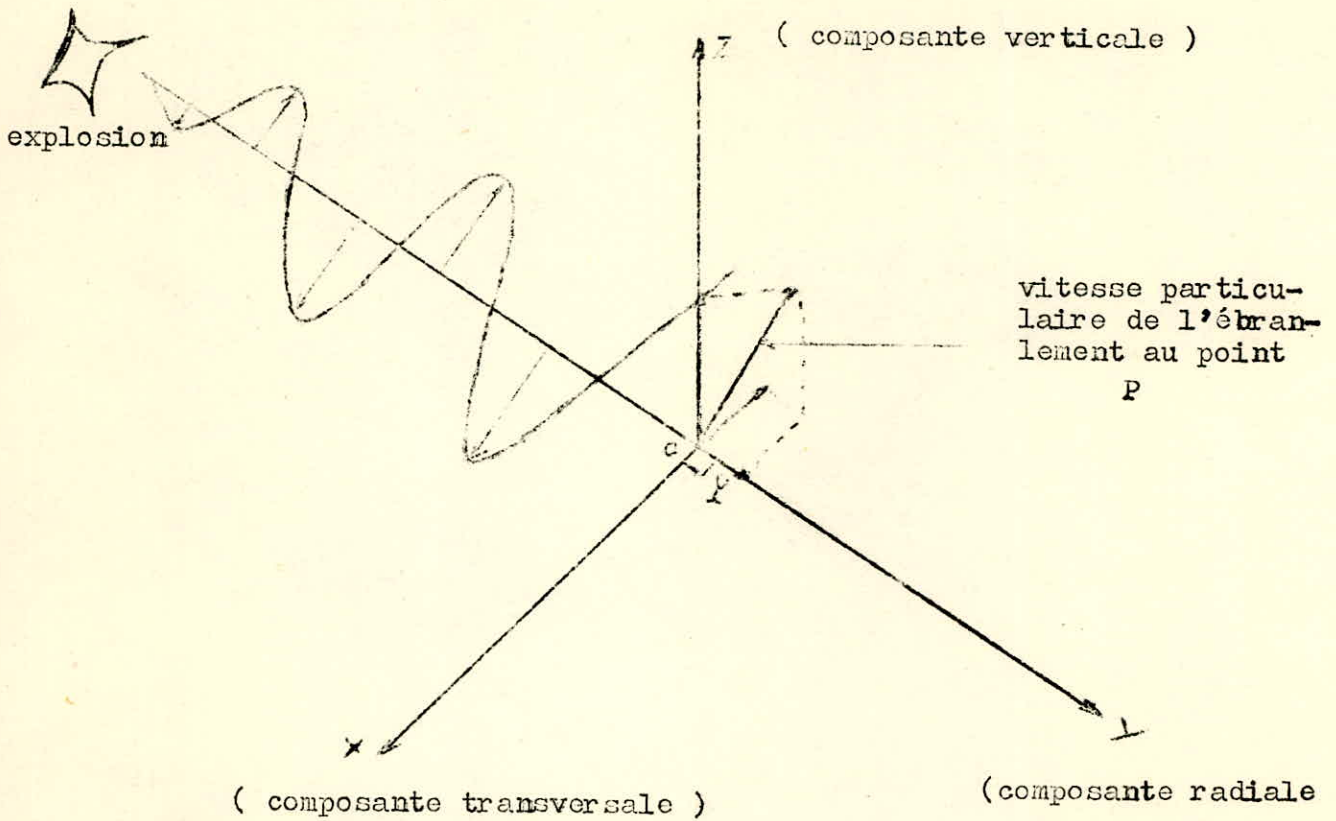


fig (II-2-1) décomposition de la vitesse particulaire provoquée en un point par un ébranlement

### III-2.4. SEUILS DE SECURITE

#### a) pour les constructions

Des recherches sont entreprises pour caractériser la nocivité des vibrations, il ressort que l'apparition et le niveau des dégâts sont en assez bonne corrélation avec la vitesse de pic (ou de crete) de la vitesse particulaire d'oscillation. Cependant il existe une grande diversité des critères de fissuration suivants:

- le type de construction et ses fondations;
- l'emplacement des points de mesure;
- la définition du seuil d'apparition des fissures;

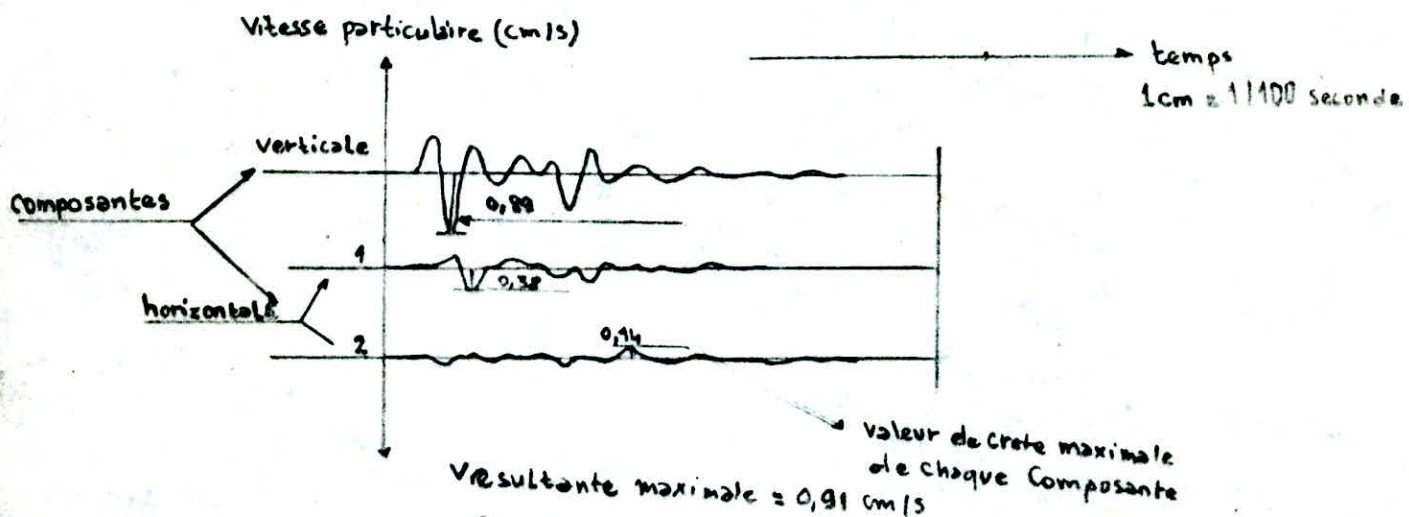


fig (III-2-2)

trains d'onde des Composantes de la vitesse de vibration



- les moyens de mesures

Ces dernières années, plusieurs normes ou recommandations ont été proposées, par exemple:

-  $0,4 < V < 3 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$  - projet de norme DIN ( 1975 )

-  $0,25 < V < 7,5 \text{ cm/s}$  - projet de L'AFRES

-  $1,25 < V < 10 \text{ cm/s}$  - proposition de Y-S-CHAO ( 1978 ) -

Nous précisons que  $V$  est la vitesse de vibration d'une particule du sol

pratiquement il existe une part d'arbitraire pour décider du critère; la notion de la qualité des constructions est est douteuse; par exemple, l'apparition des fissures dans une construction neuve peut se produire pour un niveau de vibration plus faible que pour une construction ancienne

#### b) pour les personnes

La sensibilité du corps humain aux mouvements vibratoires est très grande et se exprime aussi par la vitesse particulière. Le seuil de perception se situe autour de  $0,2 \text{ mm/s}$  et le seuil de gêne est de l'ordre de  $0,2 \text{ cm/s}$ ; la gêne est d'autant plus grande que la fréquence est forte, dans la gamme des fréquences de 10 à 100 Hz des vitesses de  $0,5$  à  $1,5 \text{ cm/s}$

### III.2.5. FORCE DYNAMIQUE

La vibration du terrain provoque une force dynamique qui peut être évaluée d'après cette formule:

$$N_d = N_s \left( 1 + \frac{b}{g} \right), \quad \text{MN};$$

où:  $N_d$  = force dynamique exprimée en MN;

-  $N_s$  = poids propre des équipements et de la construction exprimé en MN;

-  $b$  = accélération de la particule, en  $\text{m/s}^2$ ;

-  $g$  = accélération de la pesanteur, en  $\text{m/s}^2$

Elle peut être également déterminée par les formules suivantes:

$$N_d = N_s \left( 1 + \frac{b}{g - T} \right);$$

$$N = N_s \cdot \left( 1 \mp \frac{4 \sqrt{t} S}{g T^2} \right)$$

où;  $-v, T, S$ , sont respectivement l'amplitude de la vitesse, la période, l'amplitude du déplacement exprimés en m/s; m; et en s  
remarque : les signes - et + proviennent du mouvement harmonique de la vibration des particules du sol

### III. 2. 6 INFLUENCE DE L'INTERVALLE DE RETARD SUR L'ACCELERATION DE LA PARTICULE VIBRANTE

L'amplification de l'accélération ou son atténuation est inversement proportionnelle au temps séparant deux explosions successives, proprement dit intervalle de retard. Nous savons que le mouvement harmonique de la particule suit une loi d'amortissement et c'est pour cet effet une simple interférence d'ondes de choc amplifira son accélération, comme le montre la figure (11.2.3) et qui est un enregistrement d'un train d'ondes de choc pris à des intervalles rapprochés par contre le second enregistrement est pris à des intervalles largement espacés, ce qui a permis d'avoir toujours une accélération constante correspondant à une valeur de crête maximale ( voir fig. 11.2.4 )

### III. 2. 7. ETABLISSEMENT DES NORMES DE SECURITE

En se basant sur le mouvement vibratoire des particules du sol, certaines normes ou échelles de sécurité ont été conçues et ajustées par des approximations et des appréciations, chaque recommandation s'appuie sur une base théorique qui permet d'obtenir une classification des risques, nous citons les bases théoriques suivantes:

#### I- ENERGIE CINETIQUE

L'énergie cinétique d'une particule vibrante du sol est:  $E_k = m \frac{v^2}{2}$ ,

la masse  $m$  de la particule est constante ce qui nous laisse dire que :

$E_k \sim v^2$ , mais pour établir une série de nuisances  $v = v$  ( maximale ), et à ce moment  $E_k \sim v_{max}^2$ . A partir du bilan de l'énergie sismique on peut constater qu'elle est établie par la somme de l'énergie de propagation et l'énergie de dissipation consommées par le travail de fragmentation ou de déformation et les constructions environnantes.



fig III-2-4 enregistrement d'un train d'ondes pris à des intervalles  
largement espacés.

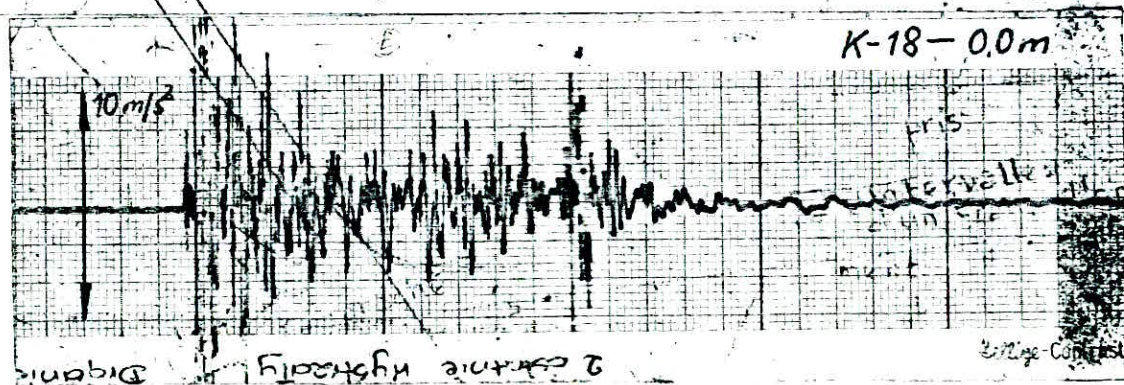
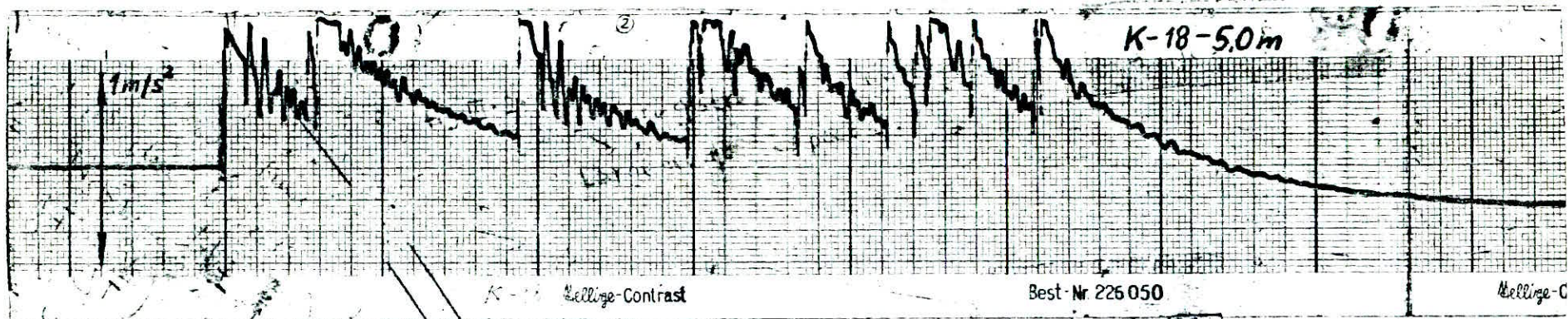


fig III-2-3 enregistrement d'un train d'onde pris à des intervalles  
rapprochés.



2- RAPPORT  $\alpha$ :  $\frac{v}{c}$

LOGFORST a proposé de prendre en considération l'influence de la propagation de l'énergie de fragmentation sur le travail de destruction  $\alpha$  d'après la supposition:  $\frac{v}{c} \approx \frac{E_p}{E_k}$ ; et c'est ce rapport qui nous détermine les seuils de nuisances.

3- énergie de déformation du massif

Cette énergie est proportionnelle au travail effectué par la particule  $E_p = m \cdot b \cdot s$  où  $E_p = |F \cdot S|$ , b et s étant l'accélération et le déplacement de la particule  $N$  nous pouvons dire alors que  $E_p \approx m \cdot b \cdot s$  et par approximation  $E_p \approx b$  ( base de la norme M.C.S )

4- rapport  $\frac{b}{g}$ :

SIEBERG a modifié l'échelle M.C.S en introduisant le rapport  $\frac{b}{g}$ , g étant l'accélération de la pesanteur, ce qui revient à dire que:  $E_p \approx \frac{b}{g}$ . On a observé que les particules du sol se soulevent et par conséquent les objets se trouvant à la surface se soulevent aussi. Cette approximation est applicable lors des mouvements brutaux

remarque :

La formule  $F = m \cdot b$  est établie pour une valeur moyenne de b

5- travail par unité de retard

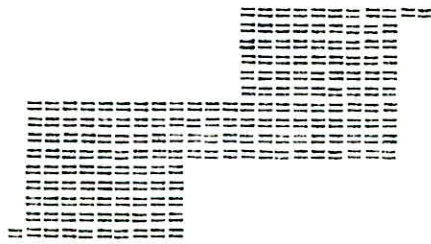
Noté L qui est égal à  $\frac{1}{2} L_0$  (  $L_0$  est la fréquence;  $L_0$ : le travail unitaire de vibration,  $L_0$  est supposé proportionnel au travail effectué par la particule vibrante:  $L = \hat{L} = \frac{F \cdot s}{T}$  .

Dans ce cas s est le parcourt de la particule pendant une période F est la force moyenne durant toute la période, en remplaçant le mouvement harmonique par un mouvement uniformément accéléré on aura

$s = \frac{1}{2} (b T^2)$ ; T étant le temps d'une période, donc  $L_0 = \frac{1}{2} (m \cdot b \cdot T^2)$ , avec  $T = \frac{1}{Hz}$  alors  $L_0 = \frac{1}{2} m \cdot b \cdot \frac{1}{Hz^2}$ , en définitif  $L = m \cdot \frac{b^2}{Hz}$ , pour des masses constantes:  $L = \frac{m \cdot b^2}{Hz} \approx E_p$

La fréquence  $H_1$  dépend de la nature du massif et empiriquement est elle est proportionnelle à la densité du milieu,  $H_1 \approx C = \text{constante}$  ce qui implique que  $\frac{b^2}{c} \approx E \rho$ ; donc la masse vibrante est proportionnelle à la densité du milieu si on veut prendre en considération les caractéristiques énergétiques du mouvement vibratoire dans ce cas par intégration curvilligne:

$$L_0 = \oint m \cdot b \cdot ds -$$



III.2.8. SEUILS ADMISSIBLES DES VITESSES DE VIBRATION POUR LES  
DIFFERENTES CONSTRUCTIONS

tableau - I -

types de constructions	seuils de vitesses cm/s	
	tirs successifs	tirs isolés
monuments historiques et anciennes constructions	I	3
batiments publics, habitations, batiments industriels, de faible résistance	3	6
batiments publics, administratifs et industriels, usines, tunnels, voies ferroviaires, talus de gravier saturés	6	12
BATIMENTS ET CONSTRUCTIONS INDUSTRIELS METALLIQUES DE FAIBLE HAUTEUR EN BETON ARME MONOLITHIQUE, TUNNELS HYDRAUTECHNIQUES	12	24
talus de roches de faible cohésion talus des gradins d'exploitation dans les carrières	24	48

tableau - 2 -

échelle LANGFORST WESTERBERG KISTROW des nuisances sismiques

E	V cm/s	intensité des dégâts	base de l'échelle: $E = \frac{V}{c}$ ; où: -v= vitesse de vibration de la particule du sol  - c= vitesse de propagation des ondes de choc dans la roche
23	70	sans destruction	
37	110	APPARITIONS DE FAIBLES FISSURES et chute d'enduit	
53	160	apparition de moyennes fissures	
76	230	formation de grandes fissures	



échelle de KÜHLER pour la détermination des nuisances sismiques sur la base de la vitesse admissible de vibration.

Degré d'échelle	Dégâts possibles des bâtiments	C m/s
1	endommagement sûr	10
2	endommagement possible	5
3	endommagement probable	1
4	endommagement non probable	0,5

Tableau - 3 -

échelle de DVORAK

Degré d'échelle	Dégâts possibles	C m/s
1	apparition de traces d'endommagement	1,0
2	endommagement faible et enduit	3,0
3	fissuration des murs	6,0
4	endommagement lourd	10,0

Tableau - 4 -

échelle : Bureau des mines d'évaluation du seuil des risques

Degré d'échelle NA	Catégorie des risques	intensité de l'endommagement	vitesse de la particule $v = \frac{db}{dt}$
	I	sécurité totale	5,0
	II	Dégâts possibles	13,5
	III	endommagement total	19

où : -  $A = \frac{b^2}{n}$ ,  $cm^2/s^{-2}$  est le coefficient de secousses;

-  $b$  = amplitude du déplacement

-  $n$  = fréquence,  $s^{-2}$

-  $v$  = vitesse de la particule

\* l'échelle ne précise pas l'état et l'étendue des endommagements

Tableau - 5 -

échelle CRANDELL (énergétique)

Catégories de Constructions	types de Constructions (domaine d'application)	valeurs du Coefficient de secours EB
I	Constructions en bon état non surchargées engendrant des activités normales	75 <sup>2</sup>
II	Constructions endommagées anormales*	50 <sup>2</sup>

la base de l'échelle est constituée par le Coefficient des secours  $B = \frac{b^2}{e}$   
 où: - b = accélération en cm<sup>2</sup>/s  
 - e = densité des constructions  
 \* anormales: existence de forces dynamiques.

tableau - 6 -

échelle des Coefficients de puissance des secours

degré d'échelle	Effets des vibrations	Coefficients de puissance des secours M
1	vibrations non ressenties par les constructions	10
2	vibrations légères sans endommagements.	10 ÷ 20
3	vibrations assez fortes, endommagements des constructions, fissuration des murs, chute d'enduit	20 ÷ 30
4	vibrations fortes, endommagements importants	30 ÷ 40
5	ruptures partielles des murs portants	40 ÷ 50
6	trop fortes vibrations provoquant la destruction des constructions	50 ÷ 60

la base de l'échelle est constituée par le Coefficient de secours M  
 $M = 10 \log 160 \pi^4 \cdot H_z^3 \cdot a^2$   
 - a = amplitude des déplacements en cm  
 - H<sub>z</sub> = fréquence en s<sup>-1</sup>

tableau - 7 -



échelle MERCELLI - CANCANIE - SIEBERG. (M.C.S)

valable pour les tremblements de terre, utilisée également  
pour les mines.

degré	nuisances provoqués par les vibrations sismiques	accélération en $g$
6	vibrations fortes, chute des tuiles, d'enduit; les contraintes dues aux vibrations ne sont pas dangereuses pour les constructions	50 ÷ 100
7	dégâts faibles, chute des briques de cheminées, des tuiles, fissuration des murs moins solides	100 ÷ 250
8	dégâts considérables, fissurations larges des murs, les cheminées tombent.	250 ÷ 500

la base de l'échelle est constituée par l'accélération  $b$   
de la particule en  $mm/s^2$   
domaine d'application: bâtiments en briques.

Tableau - 8 -

échelle SIEBERG

degré d'échelle	dégâts provoqués par les vibrations sismiques.	base de l'échelle: est le coefficient des vibrations $W$ $W = \frac{b_{max}}{g}$ $g =$ accélération de la pesanteur $b_{max} =$ accélération maximale provoquée par les vibrations.
W		
0,5	chute des tuiles, d'enduit, mais les constructions restent en bon état	
50	destruction totale	

Tableau - 9 -



échelle KUZNIECOV . classification de Construction d'après l'intensité  
des vibrations

Tableau - 10.

classe	Caractéristiques des classes.
II	Constructions industrielles importantes, Conduites, halles, Châteaux d'eau, Chevalements, dont la durée d'exploitation dépasse 30 ans, bâtiments de 3 à 5 étages, maisons de culture, théâtre.
III	de même que II mais pour les sections horizontales petites pas plus de 3 étages, ateliers mécaniques, bâtiments et autres dont la durée d'exploitation ne dépasse pas 30 ans.
IV	Bâtiments et constructions diverses.

remarque : la base de l'échelle est constituée par la norme admissible de vibration du sol en cm/s en fonction des classes de constructions et leurs états.

Tableau - 11. échelle KUZNIECOV de vitesses admissibles pour les différents classes en fonction de leurs Catégories

Catégorie de la Construction	état des bâtiments et des Constructions	vitesses admissibles cm/s		
		II	III	IV
1	industrielles, publics métallique ou en béton armé, en briques antisismiques	5,0	7,0	10,0
2	Constructions en béton, métalliques, avec des murs en briques bâtiment construits en briques avec un renforcement antisismique	2,0	5,0	7,0
3	de même que pour la Catégorie 2 mais sans renforcement précis	1,5	3,0	5,0
4	bâtiments en béton armé, non armé, bâtiment en briques	1,0	2,0	
5	Constructions mixtes (avec articulations faibles en briques fissurées).	0,5	0,5	1,0
6	Construction en béton armé en mauvais état (fissurations corrosion des armatures), absence de renforcement antisismique	0,3	0,5	1,0

-47-

sur la base des travaux de nombreux auteurs dont les résultats des observations sont compris dans le tableau - I2 , ce dernier forme une très bonne base pour le choix d'un projet de travaux de tir et qui est valable aussi pour les tirs puissants .

degré des dégats	dégats sismiques	amplitude de la vitesse cm/s
I	sécurité totale	$V \leq 0,5$
II	dégats faibles	$5,0 < V \leq 13,5$
III	dégats forts	$13,5 < V \leq 19,9$
IV	déstruction totale	$V \geq 19,9$

### III.23 COMMENTAIRES SUR LES NORMES PRESENTEES

- D'après les échelles présentées on remarque une grande diversité entre les vitesses de vibrations qui peuvent être considérables ou pas .
- L'échelle de DVORAK est très simple, mais ne précise pas le type de la construction Le premier degré est égal à 1cm/s ; considéré d'habitude comme la limite supérieure des vibrations admissibles au cours de laquelle les constructions en bon état ne peuvent pas être endommagées .
- L'échelle de KUZNIECOV se base sur la vitesse des vibrations d'où on différencie les constructions par rapport à leurs qualités et leurs états, on a différencie également la vitesse admissible des vibrations en fonction de leur importance , leurs destinations et leurs dimensions .
- En comparant les différentes normes, on peut constater que : l'échelle de KUZNIECOV répond bien aux exigences d'évaluation des



des vibrations du sol provoquées par les travaux de tir dans les carrières. Le choix reste libre entre les échelles citées et par conséquent un problème juridique qui se pose pour déterminer la cause principale de l'apparition des dégâts, et la décision sera difficile à prendre. La méthode de mesure exige donc une normalisation juridique et que les résultats des mesures restent incomparable si ces méthodes de mesure ne sont pas respectées.

- Dans le tableau 2- on distingue que les seuils sont différents d'après la norme LANGFORST, WESTBERG.

- Le tableau 4- représente la proposition de DVORAK établie d'après la vitesse de vibration à échelles différentes.

\* La comparaison des deux échelles montre que les critères ont été établies arbitrairement.

- Les tableaux 5-6-7 présentent les seuils énergétiques des nuisances des vibrations sismiques. On interprète les carrés de l'accélération des trois composantes comme coefficient de vibration et la fréquence  $n$  ce qui nous permet d'évaluer les effets des vibrations sur les constructions, pour des fréquences importantes les dégâts sont considérables.

- L'échelle énergétique présente des particularités du mouvement de rotation de la particule.

- L'échelle ( M-C-S ) utilise pour son pronostic, l'accélération par contre dans le tableau 9, on compare cette accélération à celle de la pesanteur.

o L'échelle de KUZNIECOV se base sur les caractéristiques des constructions.

#### III-10. PREVISION DE L'INTENSITE DES VIBRATIONS SISMIQUES DU SOL GENEREES PAR LES TRAVAUX DE TIR

Les études destinées à trouver une relation entre l'accélération  $b$  de la particule, la quantité de charge  $Q$  de l'explosif et la distance  $r$  entre le lieu d'explosion et le point de mesure ( c- à-d )



la fonction  $b = b(Q, r)$

Empiriquement on a trouvé les classe suivantes:

- I  $0 < r < 250$  m ;
- II  $250 < r < 350$  m ;
- III  $350 < r < 600$  m ;
- IV  $600 < r < 800$  m ;
- V  $800 < r < 1100$  m ;

pour chaque classe on a établi empiriquement une relation entre la charge d'explosif  $Q$  et l'accélération de la particule, une fonction du type  $y = b(Q)$ .

Des études ont été fondées pour trouver une relation entre deux paramètres, pour cela on a introduit une fonction linéaire, de puissance et d'exponentiel, sur la base des calculs numériques on a obtenu la formule suivante:

$$b = b(Q, r) = 1,449 \left( 1390 \right)^{\frac{1}{r}} \left( 1,722 \right)^Q \left( 1,544 \right)^{\frac{Q}{r}}$$

Cette formule permet de prévoir avec une grande précision les valeurs des accélérations des particules du sol, elle a été établie par :

M. STRYSZEWSKI; durant plusieurs années de travail dans les carrières de calcaire. Nous présentons dans ce cadre un abaque de calcul si on connaît l'accélération au préalable, ( voir fig III-2.4).

Nous avons également présenté une prévision du niveau de vibration en particulier la vitesse de vibration en fonction de la fréquence ( voir fig III-2.6).

III-2.1) PERIODES PROPRES DES VIBRATIONS POUR LES BATIMENTS PUBLICS ET LES IMMEUBLES D'HABITATION

Elles ne sont pas en fonction des hauteurs des batiments uniquement, mais aussi de la largeur de ces derniers, nous précisons que la période

abaque d'évaluation des valeurs de l'accélération  
en fonction de la distance et la charge  
utilisée.  
les chiffres 2-50 présentent l'accélération  
en  $\text{cm/s}^2$

Fig III-2.5

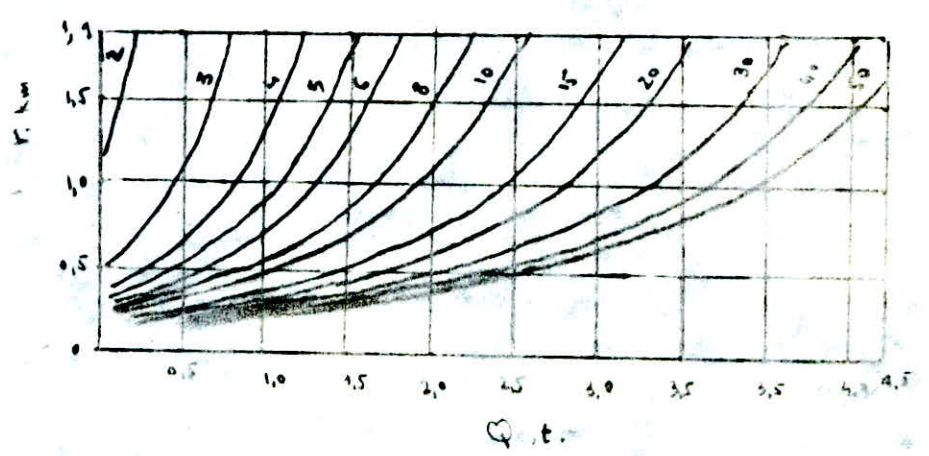
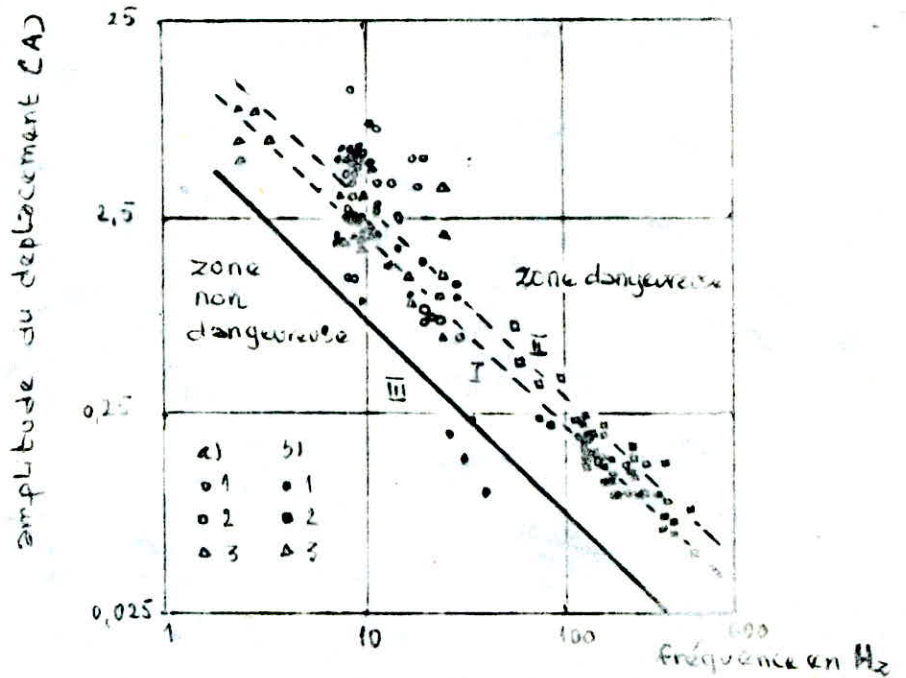


fig (III-2-6)

résultats moyens d'après le  
critérium de sécurité :



- a) - points des mesures correspondants aux grandes destructions.
- b) - points des mesures correspondants aux faibles destructions
- I: destructions peu importantes  $v = 13,5 \text{ cm/s}$
- II: = importantes  $v = 19 \text{ cm/s}$
- III: seuils de sécurité  $v = 5,0 \text{ cm/s}$
- 1 - bureau des mines USA.
- 2 - Langforst et autres
- 3 - Edwards, Nortwood.



déterminée est maximale, que si les vibrations ont des directions perpendiculaires à l'immeuble: ( voir le tableau III.1 ) .

Cette période est fonction du type de la construction, de sa fondation et pour des mesures de sécurité il ne faut jamais avoir des périodes égales à celles données par le tableau III.2.1 .

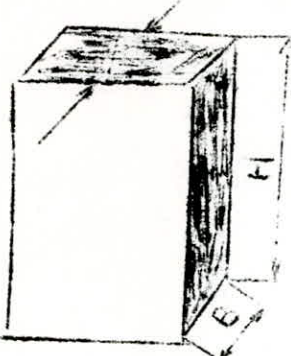
schema des dimensions du batiment	période $T, s$	type du batiment et les limites d'application de la formule
	$T = 0,015 H$	batiments en brique, en béton monolitique H 30 m
	$T = 0,02 H$	BATIMENTS préfabriqués en béton armé H 30 m
	$T = 0,09 \frac{H}{\sqrt{B}}$	batiments en béton armé monolitique H 50m
	$T = 0,10 \frac{H}{\sqrt{B}}$	métalliques H 50
<p>H= hauteur du batiment en m, B= largeur en m, dans le cas des murs portés par des trous ( fenetres, portes ou autres) de 40 à 50% la période sera augmentée de 10 à 20% dans le cas des fondations sur des sols de faible rigidité (sable fin ) la période augmentera de 10%</p>		

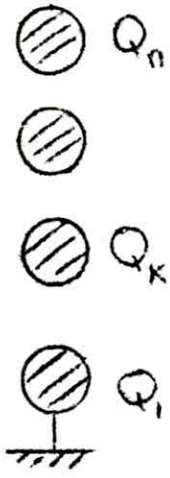
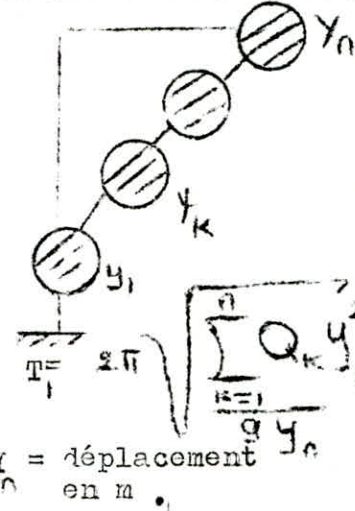
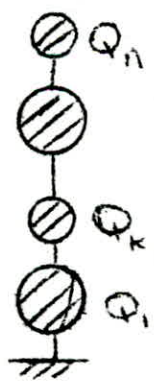
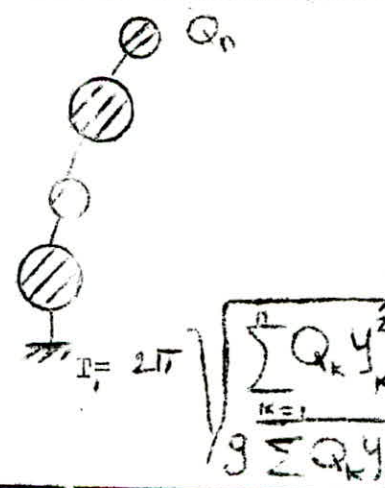
tableau - III - 2 - 1

→ direction des vibrations

III.2.1) PERIODES DES VIBRATIONS PROPRES POUR LES BATIMENTS DE GRANDES HAUTEURS

cette période est fonction de la répartition de la charge  $Q$  sur la hauteur du bâtiment et le déplacement  $y$  de la charge  $Q$ .  
 toute fois il ne faut pas atteindre les périodes déterminées par les formules du tableau (III.2.2)

tableau III.2.2

schema de calcul	mode de calcul $T_1, s$	limites d'application de la formule
	 <p><math>T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n Q_k y_k^2}{g \sum_{k=1}^n Q_k y_k}}</math>  <math>y_k, y_n = \text{déplacement en m}</math></p>	<p>répartition uniforme de la charge sur la hauteur</p>
	 <p><math>T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n Q_k y_k^2}{g \sum_{k=1}^n Q_k y_k}}</math></p>	<p>répartition non uniforme de la charge <math>Q</math> sur la hauteur</p>

III-2-13. CLASSES DE SENSIBILITE DES MACHINES ET DES INSTRUMENTS

AUX VIBRATIONS

tout instrument ou machine bien quelle soit sa nature ou son mode de travail est conçu pour supporter une certaine gamme de fréquence, nécessaire pour le bon fonctionnement de cet instrument, et pour cet effet nous avons présenté le tableau IV-2-3, qui sera considéré comme outillage pour le contrôle du niveau de vibrations.

tableau IV-2-3

classe de sensibilité	caractéristiques de sensibilité sur l'effet dynamique	type de machine soit installation	vitesse (m/s) admissible de vibration du plancher
I	très sensible	dispositif d'équilibrage statique et dynamique et de réglage d'instruments optiques, microscope de mesure, interféromètre, machines électriques	0,0001
II	moyennement sensible	rectifieuses pour le filetage, machines à super finition, bancs de mesures, ... etc	0,001
III	peu sensible	tours, fraiseuses, rectifieuses ordinaires, presses topographiques, machines textiles	0,003
IV	presque insensible	moteurs, machines à outil droit, machines à bois, ... etc	0,006
V	insensible	ventilateurs, concasseurs, tamiseuses, cribleurs, tables de concentration, tables à secousses ... etc	> 0,006



### III-3. LES BRUITS ( ONDES AERIENNES )

L'explosion provoque également des vibrations acoustiques, transmises par l'air, la plus grande partie provient de la libération des gaz des cordons détonants placés sur le sol et l'échappement des gaz de tirs des charges à travers des fissures provoqués dans le massif où le haut du fourneau de mine après explosion du bourrage .

#### III-3.1. CARACTERISTIQUES DU PHENOMENE ACOUSTIQUE

Le phénomène acoustique est caractérisé par une crête de ~~surpression~~ surpression de l'air très brève suivi d'une série d'oscillations de la pression. Les très grosses explosions aériennes peuvent provoquer des dégâts importants aux constructions à cause de l'effet du souffle, du à la dépression qui suit la crête de surpression

#### III-3.2. DEFINITION DES RISQUES

Les quantités d'explosif tirées directement à l'air libre dans l'exploitation normale des carrières, sont en général petites et la surpression engendrée ne peut aller jusqu'au bris des vitres que rarement, même si la gêne créée par le bruit est appréciable pour le voisinage .

Il convient de noter que si la quantification du risque de bris de vitres est facile, celle créée par l'explosion est plus malaisée. Des expériences ont montré que des vitres correctement montées se brisent à partir d'une surpression de 50 millibars

La gêne ressentie par les personnes est probablement en liaison avec la surpression maximale engendrée par le bruit et avec sa durée .

Il ressort que pour des tirs normalement confinés en carrières :

- la gêne créé au voisinage pour le bruit est ressentie avant que le risque des dégâts aux constructions (bris de vitres) ne soit appréciable.
- sauf circonstance météorologique particulièrement défavorable ( vents mal orientés, gradient thermique négatif en altitude...etc ) des tirs qui ne provoquent pas de vibrations du sol, dangereuses pour un bâtiment, ne provoque pas de dégâts par onde sonore.

toutefois les mesures pratiques ont montré que la distance de sécurité qu'il faut prendre afin de protéger les constructions est donné par la formule suivante:

$$R_F = K_p \cdot \sqrt{Q} \text{ m}$$

où: - Q = charge totale qui explose en KC;

K<sub>p</sub> = coefficient qui tient compte de l'effet du souffle dont les valeurs sont dictées par ce tableau:

effet du souffle	K <sub>p</sub>
sans dégâts	10 ÷ 40
bris de vitres possible	5 ÷ 9
BRIS DE VITRES TOTAL	2 ÷ 4
démolition des baraques des hangars	1,1 ÷ 1,9
démolition des maisons faibles en briques et en bois	0,5 ÷ 1,0

### III - 4 - INFLUENCE DES TRAVAUX DE TIRS SUR LA STABILITE DES TALUS

-// pendant les travaux de tirs par chambrage; le problème le plus important de point de vue technologique est : l'influence des travaux de tirs sur la stabilité des talus .

On peut évaluer le rayon d'influence de la fissuration à l'intérieur du massif au delà de la dernière rangée :

$$R_{sp} = K_{sp} \sqrt{Q} \quad , \text{ m}$$

où:  $K_{sp}$  = coefficient qui tient compte de l'état du massif considéré , pour  $f = ( 4 \text{ à } 20 )$  ,  $K = ( 0,6 \text{ à } 1,2 )$  ;

$Q$  = charge maximale pour une série en  $kg$

pour des roches de faibles duretés on peut avoir des glissements tandis que pour des roches dures des fracturations du talu .

### III - 5 - INTERACTIONS DYNAMIQUES DUES AUX TRAVAUX A L'EXPLOSIF

Elles sont exprimées par des contraintes dynamiques du massif qui peuvent être déterminées par la formule suivante:

$$\sigma_p = \rho \cdot C_p \cdot V_s \quad , \text{ pa} \quad ;$$

où: -  $\sigma_p$  = contrainte dynamique en (pa);

-  $\rho$  = densité de la roche en (kg) ;

-  $C_p$  = vitesse des ondes longitudinales dans le massif en cm/s

-  $V_s$  = vitesse de vibration des particules en cm/s

pour des valeurs de  $V_s$  comprises entre 16 et 30 cm/s, cette vitesse est considérée comme critique ( il s'agit ici de la destruction



de la roche). Les valeurs des contraintes dynamiques peuvent atteindre 1,6 jusqu'à 3 MPa.

La vitesse de vibrations sismiques atteint ses valeurs critiques lors des tirs puissants de charges variants de 800 - 6000 KS, sur des distances de 5 à 100m du lieu de l'explosion pour le granite par exemple qui a une résistance à la compression  $\sigma_c = 120$  MPa et une résistance à la traction entre - ( 0 02 et 0 04 )  $\sigma_t$  c'est à dire  $\sigma_t = 2,4 \div 4,8$  MPa et une contrainte à la flexion égale à  $0,08 \sigma_c = 9,6$  MPa , il peut être fracturé aux surfaces de faibles résistances .

Les travaux de tirs à micro-retard nous permet d'augmenter le nombre de tirs sans augmenter la vitesse de vibrations .

CHAPITRE IV MOYENS DE REDUCTION DES NUISANCES DUES A L'EXPLOSIF  
SITE URBAIN

Introduction :

Il ressort à l'évidence que les nuisances provoquées par les tirs en carrières sont d'abord liés à la sensibilité humaine et conduiront les populations riveraines à formuler des plaintes bien avant que les vibrations de toutes natures ne présentent un danger réel pour les constructions. La mise en oeuvre des moyens de réduction des nuisances peut donc être considéré comme action préventive, destinées d'abord à entretenir de bonnes relations avec le voisinage.

D'une manière générale, en un point donné le niveau des vibrations croît avec la charge d'explosif tirée, décroît avec la distance au point du tir et peut être modifié par la nature et l'état de fracturation des terrains. Sur un site donné, pour réduire les nuisances dues aux tirs, on peut agir sur les caractéristiques du schéma du tir et sur le site lui-même.

IV - 1 - MESURES DE PROTECTION QU'IL FAUT PRENDRE

a) au niveau du schéma du tir

- décomposer la charge d'explosif en charges élémentaires tirées avec retards ou micro-retards d'au moins 20 millisecondes en effet, dans le cas d'un tir avec retards ou micro-retards, le niveau de vibrations est lié à la charge élémentaire avec le même retard ou micro-retard et non pas à la charge totale.
- éviter au maximum le minage secondaire (charges superficielles) pour le fractionnement des blocs. Ce procédé intensifie le niveau de la surpression aérienne et les nuisances sonores.
- supprimer pour la même raison le cordeau détonant posé sur le sol en employant des détonateurs électriques à micro-retards. On peut aussi recouvrir les cordons détonants au sol par une épaisseur de terre d'au moins de 20 cm.

b ) au niveau du site et de l'aménagement du terrain

---

- choisir autant que possible une orientation du front qui soit adaptée aux conditions naturelles - ( fissurations, pendages, des couches ) en sachant que les vibrations se transmettent de préférence parallèlement aux discontinuités du gisement .
- éviter d'aligner le front de tir dans la direction du site à protéger, cette situation tendant à croître le niveau de vibrations ,
- diminuer les charges d'explosifs pour certains tirs particuliers : lorsque le ~~front~~ tir est adossé directement au front et surtout lors des tirs centraux d'approfondissement .
- certaines mesures spéciales peuvent enfin prises pour réduire les nuisances on pourra aussi :
  - 1 - procéder à des tirs de précoupage provoquant un plan de fissuration préalable qui amortira les vibrations du sol ,
  - 2 - placer des barrières de trous forés pour atténuer les vibrations au voisinage du site à protéger .
  - 3 - implanter des rideaux d'arbres pour atténuer l'intensité de la surpression aérienne .

IV.2. METHODES PREVENTIVES APPLIQUEES

---

Nous pouvons ajouter dans ce thème deux méthodes préventives utilisées lors du creusement des tunnels en site urbain

IV.2.1. LA METHODE DE DIVISION DES SECTIONS DE TIR

---

La section totale est divisée en sections élémentaires, ce qui diminuera la charge et par conséquent l'intensité des dégâts est atténué ( voir fig IV.2.1) Il est très intéressant de signaler dans le même sujet qu'une optimisation de la longueur d'avancement est indispensable .

remarque : cette méthode est applicable que pour des sections suffisamment grandes .



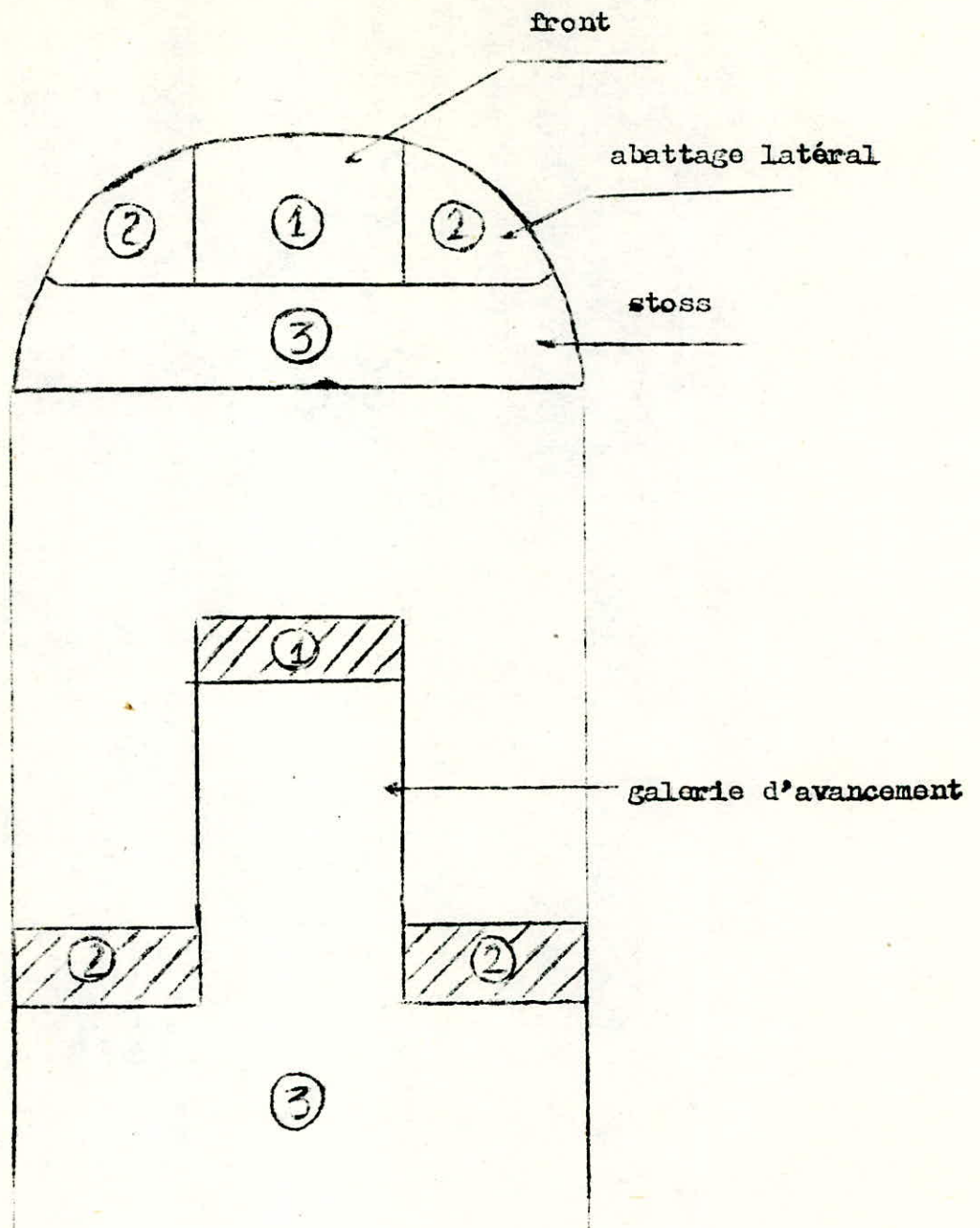


fig IV-2-1

methode de division des sections de tirs

IV.2.2. LA METHODE D EXPLOSION DES TROUS DE CONTOUR

cette méthode est utilisée lors du creusement des ouvrages miniers, de génie civil, hydrauliques et surtout dans les ouvrages principaux de la mine, destinée à réduire au maximum la fissuration du massif ( du contour ). Elle consiste à forer des trous de mines à proximité d'un contour projeté afin, de garder une section de creusement constante et un état de parois régulier.

Dans ce but on réalise une saignée sur le contour de l'ouvrage qui sous l'influence de la superposition des ondes de contraintes provoquées par la charge environnante, ce sont les contraintes tangentielles de traction. Lors des travaux de tirs il se produit une addition des contraintes de traction  $\sigma_p$  ( voir fig. 12 ) qui sont perpendiculaires aux axes des trous. Si le trou voisin se trouve suffisamment proche d'un autre trou, la valeur de la contrainte  $\sigma_p$  dépasse la résistance de la roche à la traction  $\sigma_{pr}$  pour cette raison la densité des trous, la charge de l'explosif et le diamètre du trou sont des paramètres essentiels de cette méthode. Pour détruire la roche, il faut que  $\sigma_p > \sigma_{pr}$ .

Durant les travaux des zones cylindriques se forment pour lesquelles la relation entre la contrainte de compression  $\sigma_c$  et la contrainte  $\sigma_p$  est la suivante:

$$\sigma_p = \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \sigma_c \dots \textcircled{1}$$

où:  $\nu$  = coefficient de (poisson);

d'après ( G M LIAKHOV ), la valeur de la contrainte de traction par les travaux de tirs diminue en fonction de la limite de destruction  $\sigma_c = \frac{\sigma_c'}{r^{K_2}}$ ; où:  $\sigma_c'$  est la contrainte de compression dans la roche, sachant que  $r = n r_t$  où:  $r_t$  est le rayon du trou donc:  $\sigma_c = \frac{\sigma_c'}{(n r_t)^{K_2}}$  qui peut être supposé égale à la résistance de compression du massif  $\sigma_c' \approx \sigma_{cr}$ .

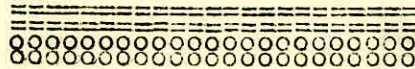
$K_2$  est un coefficient qui exprime l'affaiblissement de la contrainte,  $K_2$  en moyenne  $K_2 = 1,5$ ,  $K = (1 \div 2)$

en considérant la relation ① et la relation ② et en supposant que la valeur de la contrainte de traction au point O (voir fig IV-2) égale à deux fois  $\sigma_p$  alors:

$$\sigma_p = \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \frac{1}{\left(\frac{a}{2}\right)^{K_2}} \cdot 2 \sigma_{cr}$$

si  $K = \frac{3}{2}$ , après transformation on obtient :

$$a = \frac{3}{2} \left( \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_p} \cdot \frac{\nu}{1-\nu} \right)$$





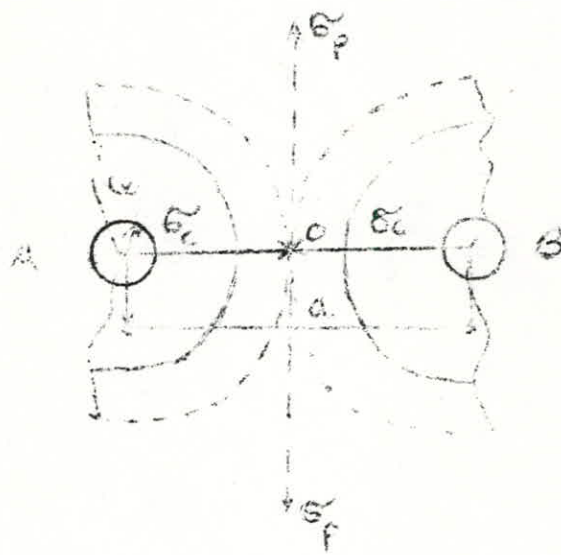


Fig. IV-2.2

CONCLUSION GENERALE

Les travaux de tir, qu'ils servent à l'abattage dans une carrière, à la réalisation d'un ouvrage minier tout à fait temporaire ou au découpage de grands blocs très gros pour être manipulés intacts créent des nuisances, parmi ces dernières ce sont les risques des dégâts aux constructions qui ont été le plus souvent quantifiables. La gêne ressentie par les personnes varie avec les sentiments. Un certain nombre de précautions à prendre, pour réduire les effets nuisibles des tirs, toute fois une information préalable est exigée ainsi qu'une surveillance continue. On peut penser que le maintien des bonnes relations durant l'exploitation passe par la mesure du niveau de vibrations effectivement produites par les tirs. Nous pouvons ajouter que les mesures de sécurité ne se résument pas uniquement dans l'aménagement du site mais aussi en tenant compte des paramètres qui influent sur la propagation des ondes de choc ou aériennes et on vise à ce que le schéma de tir soit convenablement choisi en fonction des paramètres qui interviennent dans la destruction du massif rocheux, afin d'optimiser la charge d'explosif, en un mot recueillir toutes les informations qui participent à cette optimisation.

=====

B I B L I O G R A P H I E  
-----

- Le creusement de tunnels à l'explosif en site urbain par:  
Christian CHAPEAU (ingénieur au centre d'études des tunnels C.E.Tu )
  
- Les nuisances dues aux tirs comment les connaître comment les réduire  
par: M. DJEAN et J.J TRITSCH (laboratoire de CERCHA )
  
- Réduire les nuisances dues à l'emploi des explosifs dans les carrières  
par: M. DJEAN et J.J TRITSCH ( centre d'études et recherches de  
charbonnage de FRANCE )
  
- Exploitation des mines par: B. BOKY
  
- Exploitation des carrières par: V. KOVALENKO N. AMBARTSOUMIAN  
K.M LAHMER ( O. P. U )
  
  
- Produkt gornika vol .4. WYOLOWNICTWO SLASK RATOWICE
  
  
- N.A. CYTOWICH mechanika gruntow MOSKVA 1979
  
  
- NORMY POLSKIE



