



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

UNITED NATIONS - NATIONS UNIES

-----*-----
(ONU/DI - PNUD)

CARRIÈRES

LEGISLATION ET EXPLOITATION

-----*-----
EXPLOSIFS ET PROTECTION DE
L'ENVIRONNEMENT

(CAS DE SITES SENSIBLES)

-----*-----
F. Belgaid

1985



CENTRE TECHNIQUE DES MATERIAUX DE
CONSTRUCTION, DE LA CERAMIQUE ET DU
VERRE.

CTMCCV RUE 8201 N° 5 CITE EL KHADRA 1003 - TUNIS -

NATIONS UNIES

---*---

EXPLOSIFS ET PROTECTION

DE

L'ENVIRONNEMENT

---*---

C. T. M. C. C. V.
=====

CENTRE TECHNIQUE DES MATÉRIAUX DE
CONSTRUCTION, DE LA CÉRAMIQUE ET DU
VERRE

PAR MMRS. BELGAIED FETHI
GUETARI MOHAMED HABIB
KCHOUK FAROUK

NOVEMBRE 1985

S U M M A R Y

I N T R O D U C T I O N

- CHAPITRE -I- APPLICATION EN MATIÈRE DE REGISTRATION DES CARTEURS
- CHAPITRE -II- APPLICATION DES CARTEURS EN MATIÈRE DE VENTE DE BIENS EN VIGNEUR
- CHAPITRE -III- APPLICATION EN MATIÈRE D'INDUCTIONS DANS LES CARTEURS
- CHAPITRE -IV- LIMITATION DE LA REGISTRATION ET REGISTRATION EN MATIÈRE D'EXPLOITATION
- CHAPITRE -V- EMPLOI DES CARTEURS EN MATIÈRE DE
- CHAPITRE -VI- DROIT DES BIENS EN MATIÈRE DE REGISTRATION ET DE REGISTRATION
- CHAPITRE -VII- REGISTRATION EN MATIÈRE DE REGISTRATION EN MATIÈRE DE REGISTRATION
- CHAPITRE -VIII- REGISTRATION EN MATIÈRE DE REGISTRATION EN MATIÈRE DE REGISTRATION

C O N C L U S I O N S F I N A L E S

INTRODUCTION

Le secteur des Matériaux de Construction a connu depuis l'Indépendance, et particulièrement durant les années soixante dix, un développement si rapide que le paysage "immobilier" de la Tunisie s'est trouvé complètement bouleversé.

Alors qu'en 1960, la Tunisie arrivait à peine à construire 3.000 logements/an, on en construit aujourd'hui 45.000.

Cette évolution n'a pu se faire que grâce à la création d'un nombre important d'usines de production de matériaux de construction et particulièrement d'unités de concassage de granulats à partir de carrières de pierre.

La production de granulats est passée de 1 million de m³ en 1960 à près de 15.000.000 aujourd'hui en 1985.

Ce passage accéléré ne s'est pas fait sans heurts.

Ainsi les terrains réservés à la Construction de Logements ont été rapidement épuisés ; les Pouvoirs Publics, malgré la création de l'AFH (Agence Foncière d'Habitation), n'arrivent pas à juguler une demande croissante due entre autres au phénomène propre aux pays en développement à savoir l'exode rural.

C'est ainsi que les périmètres de protection entourant les carrières, proches des principales villes, ont été occupés contre-nature et au mépris des règles les plus élémentaires en matière de sécurité. Cette occupation, aussi paradoxal que cela puisse paraître, a été souvent le fait des propres ouvriers des carrières soucieux de trouver un local d'habitation près du lieu de travail; il est à signaler que ces ouvriers disposés à accomplir un travail réputé pénible étaient, et sont, encore issus des apports de l'exode rural. De ce fait, les exploitations de carrières ont été perturbées ; elles sont aujourd'hui menacées de fermeture car elles se trouvent noyées de toutes parts dans un conglomérat de constructions et de routes.

Cet environnement est depuis quelques années à l'origine d'un sentiment d'hostilité très vif contre les exploitants de carrière se traduisant par de multiples réclamations qui continuent à affluer aux services publics (Ministères, Gouvernorats, Municipalités...) et des manifestations épisodiques de barrages des accès de certains sites sensibles.

Cette situation n'est pas propre à la Tunisie. Elle est le lot de tous les pays en développement ayant subi une évolution accélérée génératrice de "ceintures rouges" "habitats anarchiques"...

Le Centre Technique des Matériaux de Construction, de la Céramique et du Verre (C.T.M.C.C.V) veut par la présente étude contribuer à améliorer l'exploitation des carrières et l'utilisation des explosifs sous l'angle d'une réduction des nuisances, d'une baisse des coûts d'extraction et d'une économie d'énergie.

1985C H A P I T R E - I -LEGISLATION EN MATIERE D'EXPLOITATIONDES CARRIERES

En Tunisie le décret du 28 Avril 1955, ainsi que l'arrêté ministériel du 29 Novembre 1955, continuent à être les uniques supports de la législation tunisienne en matière d'exploitation des carrières et ce malgré l'évolution socio-économique et technique que le pays a connu depuis son indépendance. Le décret du 28 Avril 1955, à caractère administratif, comporte l'ensemble des dispositions à prendre par tout exploitant de carrière, quant à l'arrêté ministériel du 29 Novembre 1955 celui-ci précise les pratiques techniques à mettre en vigueur.

Toutefois, l'administration compétente est entrain de préparer un nouveau projet de loi relatif aux carrières en collaboration avec la direction de l'environnement.

1 - EXTRAITS DU DECRET DU 28 AVRIL 1955

Nous résumons ici les principaux articles du décret du 28 Avril 1955.

- 1- 1/ Tout exploitant doit notifier à l'administration compétente, et par demande écrite, le besoin d'ouverture ou la reprise d'exploitation d'une carrière déjà ouverte ainsi que tout éventuel changement de propriétaire.
De son côté, l'administration procède à une investigation des lieux et préserve tout droit d'accorder l'autorisation d'exploitation suite à la décision d'application des règles particulières d'exploitation compte tenu des dispositions du présent décret (Articles 2-3/Titre -I-).
- 1 - 2/ Les autorités administratives peuvent rejeter une demande d'autorisation d'une carrière sous forme d'une décision motivée pour des raisons de sécurité et de salubrité publique, d'hygiène du personnel, de protection de l'environnement, des sites et monuments historiques, du régime des eaux, des terres agricoles et des grands ouvrages et édifices publics etc...

Une confirmité est à observer, de la part de l'exploitant, pour toutes les mesures de précautions et de sûreté quant à l'emploi de l'explosif et artifices (Articles 4-8/Titre -II-).

1 - 3/ Certains articles traitant des problèmes fonciers posés par l'exploitation d'une carrière, précisant ainsi les droits et les devoirs de l'exploitant vis-à-vis des propriétés du domaine public ou privé (Articles 10-13/Titre -III-).

1 - 4/ Le rôle à jouer par l'administration compétente au niveau de la surveillance et du contrôle des chantiers, ainsi que la collaboration de l'entrepreneur pour le respect de la réglementation en vigueur sont définis par les Articles 14-18/Titre -IV-.

1 - 5/ Exigence de l'administration :

- plan d'exploitation actualisé
- registre d'explosif
- communication d'informations concernant la carrière en cours d'exploitation

Ces renseignements sont d'ordre : * géologiques

* statistiques et gestion de la carrière
(personnel - production) -(Article 19/
Titre -IV-).

1 - 6/ En cas de conflit entre l'administration et l'exploitant un ensemble d'articles définit les modalités de recours à la justice ainsi que les pénalités à encourir (Articles 22-27/Titre -V-).

2 - EXTRAITS DE L'ARRETE MINISTERIEL DU 29 NOVEMBRE 1955

2 - 1/ Modalités appliquées aux déclarations en vue d'obtenir une autorisation d'exploiter une carrière (Article I/Titre -I-).

2 - 2/ Obligation de communiquer le nom du conducteur de travaux, responsable de l'application des règlements en vigueur.

2 - 3/ Purge des fronts : * surveillance régulière des parois dominant les fronts de taille et purge de ceux-ci en cas de besoin.

- * purge obligatoire après chaque tir, période de forte pluie et après tout chômage de longue durée et ceci avant même la reprise de tout travail.

La purge doit être faite, en descendant, par un agent compétent désigné par le conducteur des travaux.

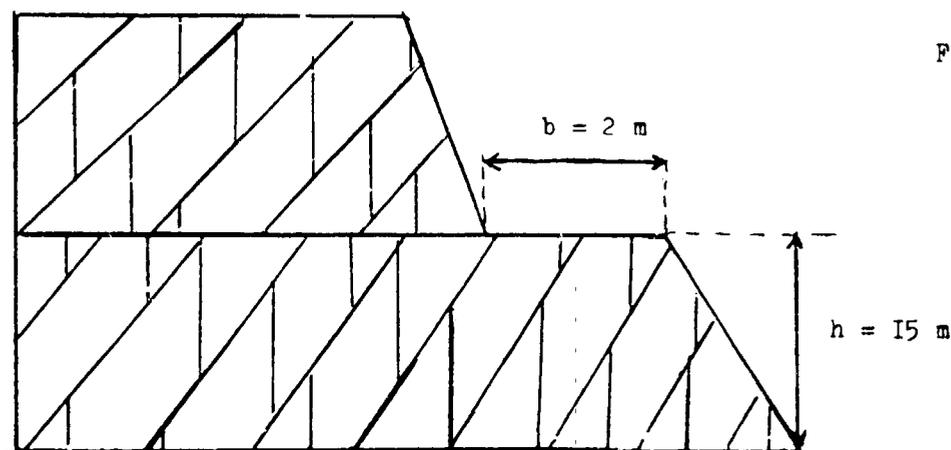
Dégagement de toute l'aire de travail en cours de purge (Articles 6-7/ Titre -II-).

2- 4/ Sécurité du personnel

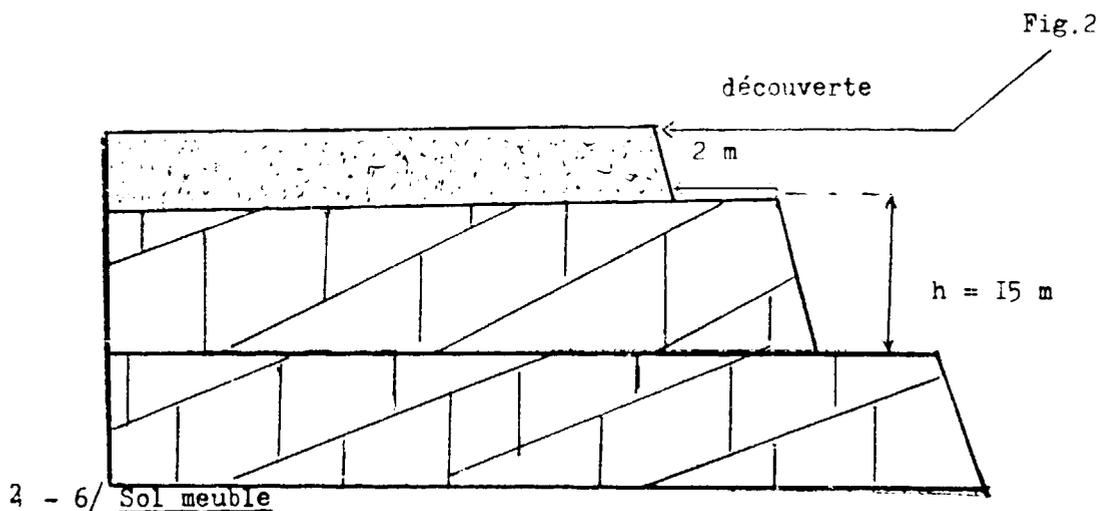
- Mettre les ouvriers à l'abri de la chute de blocs dans une exploitation étagée
- Le sous-cavage est interdit
- Le havage est permis, après une autorisation spéciale définissant la méthode d'exploitation, avec consignes de sécurité au moment de l'abattage de la masse havée.
- Obligation de porter des ceintures de sécurité pour :
 - * les ouvriers se tenant à plus de 4 m de la banquette horizontale sur :
 - un front de pente supérieure à 45°
 - un front de pente supérieure à 30° en cas de matériaux glissants (Articles 7-9).

2- 5/ Détails sur le front de carrière

- La bonne tenue des fronts de taille est exigée (pas de surplomb).
- La hauteur maximale du front (fig I) est fixée à 15 m, sauf autorisation de l'administration.

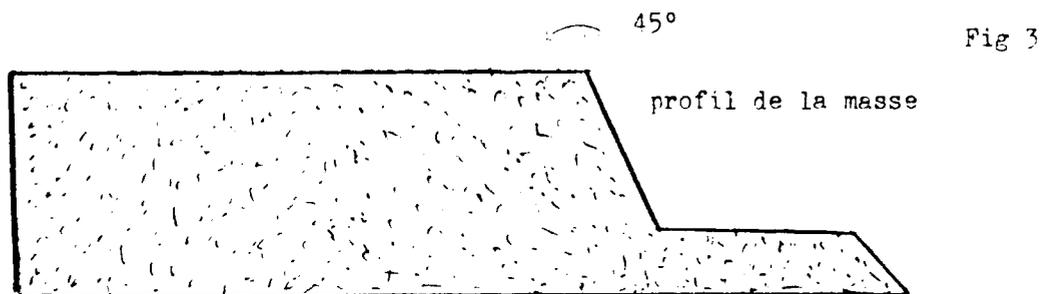


- Plate forme de travail à pied de gradin doit être supérieure à 2 m pour dégager une surface suffisante pour la rotation des engins et la circulation du personnel.
- En cas d'abattage à l'explosif la couche de découverte doit être maintenue suffisamment en avant pour protéger le reste des gradins (Article I3 - fig 2).



L'article II, précise les modalités d'exploitation d'un gisement meuble, incohérent - exemple : sable.

- Si l'exploitation est conduite sans gradin, le profil de masse ne doit pas comporter de pente supérieure à 45° (fig 3).



- Si l'exploitation est conduite en gradins, la banquette aménagée au pied de chaque gradin doit être en tout point au moins égale à la hauteur du plus haut des 2 gradins qu'elle répare (fig 4).

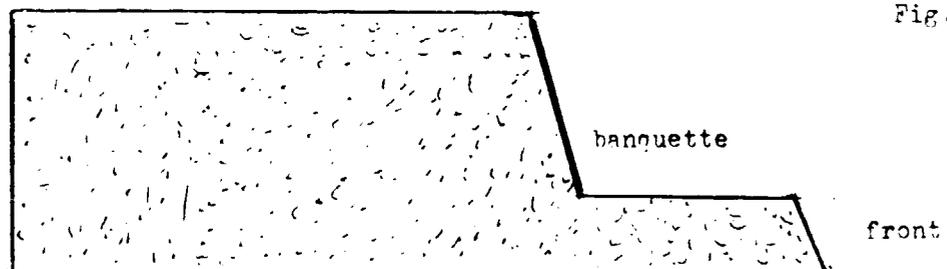


Fig.4

- Si l'exploitation demande la présence d'ouvriers au pied du front, la hauteur ne doit pas excéder 2 m.

3 - C O N C L U S I O N

Il apparait ainsi que la législation tunisienne remonte aux années 1955 alors que, comme nous le verrons plus tard, les techniques d'exploitation ont subi des évolutions remarquables. D'ailleurs le chapitre qui va suivre montre les dangers d'une telle stagnation en matière de législation.

C H A P I T R E -II-

EXPLOITATION DES CARRIERES A CIEL OUVERT

LEGISLATION ET PRATIQUES EN VIGUEUR

1 - PURGEAGE

1 - 1/ Certaines carrières sont actuellement abandonnées, suite à une exploitation d'un seul front qui dépasse parfois une hauteur de 40 m. Même si l'exploitation peut se faire techniquement, elle représente un danger certain, pour les ouvriers car les opérations de purge peuvent causer des accidents mortels, la législation actuelle ignore les conséquences pouvant découler de pareils abandons.

1 - 2/ Les opérations de purge sont réalisées actuellement dans des conditions très dangereuses pour les raisons suivantes :

- la hauteur du front dépasse 15 m de hauteur
- le forage ainsi que le minage des fronts, se fait dans le sens du pendage, ce qui provoque des éboulements en cours d'exploitation.

Remarque : certains exploitants négligent l'importance de ces opérations et ne procèdent même pas aux purges régulières des fronts ils mettent par conséquent les ouvriers devant des dangers permanents qui provoquent des catastrophes préjudiciables à la collectivité .

Exemple : dans un éboulement dans une carrière de Djebel-Oust (1984), l'enquête a montré qu'il n'y avait pas eu de purge du front après une forte pluie. Cet éboulement a été à l'origine de la mort de deux (2) personnes.

1 - 3/ La stabilité des ouvrages est un phénomène qui mérite beaucoup plus d'attention de la part de l'exploitant, il concerne des fronts appartenant aussi bien à un terrain meuble, peu cohérent, qu'à un terrain

compact, en effet si le glissement de terrain dans une roche meuble est facilement contrôlable, celui-ci n'est pas tout à fait évident dans le cas d'une roche cohérente, où tout dépend de la structure (fissures, diaclases, pendage etc...) et des discontinuités entre bancs.

La stabilité dépend également de l'importance de la circulation des eaux dans ces types de roches, un exploitant averti appréhende généralement le danger que représente ces ouvrages en équilibre instable.

Exemple : le glissement de terrain de Béjà qui a fait six (6) morts en 1982 illustre bien ce phénomène.

- 1 - 4/ Des moyens archaïques sont toujours utilisés dans l'exploitation des fronts, nous citons notamment l'exploitation avec des cordes suspendues sur des fronts qui atteignent 30 à 40 m de hauteur. Les ouvriers travaillent durant 8 heures voire 10 heures aux marteaux perforateurs, parfois sans cordes, perchés sur une petite plateforme de 50 cm sur 50 cm aménagée pour les besoins de travail.

Ce genre d'exploitation, est à éliminer, car certains exploitants ignorent la législation et font peu de cas des dangers qui guettent les ouvriers en cas de malaise (vertige, déséquilibre...), alors que la pratique exige que ces ouvriers soient maintenus par des ceintures de sécurité ou autres moyens, dès que la hauteur du front dépasse 4 m.

- 1 - 5/ Le port du casque est dans l'esprit des carriers lié généralement au travail de la mine. Cet état d'esprit doit évoluer et la notion de sécurité doit se généraliser et englober les travaux dans les carrières, car elles sont assimilées à des mines à ciel ouvert.

2 - TECHNIQUES D'EXPLOITATION

- 2 - 1/ Les plans d'exploitations doivent être dressés avant même l'ouverture de la carrière. Or ces plans souffrent de l'absence de fond topographique, et ne font pas pratiquement mention de sondages de reconnaissances du gisement (géologie, géotechnique). Le législateur devrait réclamer des plans plus détaillés décrivant le ou les directions des fronts d'exploitations avec les pistes et rampes d'accès en conformité avec la législation en vigueur notamment, la hauteur de front qui doit être inférieure à 15 m. Comme vu précédemment, cette hauteur est souvent dépassée par les carriers.

- 2 - 2/ Le sous-cavage malgré son interdiction existe toujours, car les opérations de tir de relevage (pied du front) sont mal exécutées. Rares sont les mines de relevage forcées et chargées correctement de manière à aider les mines verticales à un bon découpage du pied du front.
- 2 - 3/ Les carrières en Tunisie ne sont pas suffisamment documentées sur les nouvelles techniques de forage, comme les forages inclinés de 20 à 30°. Car indépendamment des avantages de ces techniques en matière d'exploitation (un bon découpage du pied, atténuation des vibrations sismiques.) Les fronts inclinés présentent moins de danger pour le potentiel humain et matériel que les fronts verticaux ; on éliminera beaucoup de risque de chute de blocs qui guettent le matériel et les ouvriers qui opèrent au pied du front. Ce point est amplement détaillé au chapitre -VII-.
- 2 - 4/ A part quelques grandes carrières bien organisées qui programment à l'avance une bonne découverte, toutes les autres abattent sans enlever au préalable les stériles. Cela entraîne une pollution des produits et, surtout s'agissant d'un terrain de faible cohésion, des risques de danger permanents pour les ouvriers au pied de la banquette.
- 2 - 5/ Pour les exploitations en hauteur, certaines carrières ne se soumettent nullement aux règlements en vigueur.
Les banquettes de travail sont inférieures à 2 m, les itinéraires des engins présentent des pentes tout à fait raides (15 à 20 %).
- 2 - 6/ Le forage sur une hauteur supérieure à 6 m, avec des marteaux perforateurs ne permettant pas de s'écarter au maximum du front de taille, devrait être fait par un matériel adéquat - exemple : foreuse.
Ce genre de travail doit, en outre, être surveillé par un chef de chantier qualifié pour apprécier la tenue des terrains. Tout forage est interdit si le front présente des surplombs dangereux, ou si les conditions climatiques (forte pluie) peuvent faire craindre des chutes de blocs.
- 2 - 7/ L'encadrement technique dans les carrières en Tunisie, est pratiquement inexistant. Les tirs doivent être effectués de manière à éviter les mines de pied et les gros blocs; pour cela on doit notifier

De même, à Djerissa, au cours du nettoyage de la carrière à ciel ouvert pour les minerais de fer, un bull à chuté avec son conducteur dans la cheminée d'extraction abandonnée sans aucune signalisation. Cet accident mortel est survenu la nuit et l'éclairage était défectueux.

4 - C O N C L U S I O N

On remarque ici que l'exploitant est laissé libre à l'intérieur de sa carrière. Ce qui explique les excès et les pratiques illégales. L'absence totale du contrôle de l'administration des mines en est la cause. Ce contrôle devrait permettre à coup sûr de limiter les négligences de la législation en vigueur par certains exploitants.

De même s'agissant d'un métier dur, l'encadrement défaillant est également une deuxième raison.

La législation devrait se pencher sur cette question en vue de relever le niveau intellectuel des carriéristes.

C H A P I T R E -III-

LEGISLATION EN MATIERE D'EXPLOSIFS

DANS LES CARRIERES

Le décret du 16 Octobre 1938 et son arrêté d'application du 20 Octobre 1938 fixent les différentes règles juridiques et techniques relatives à la conservation, la vente et l'importation des explosifs. L'arrêté du 12 Octobre 1953 concernant l'exploitation des mines et carrières et notamment son Titre -IX- réglementent la manutention des explosifs. Ces trois textes sont les principales références en la matière.

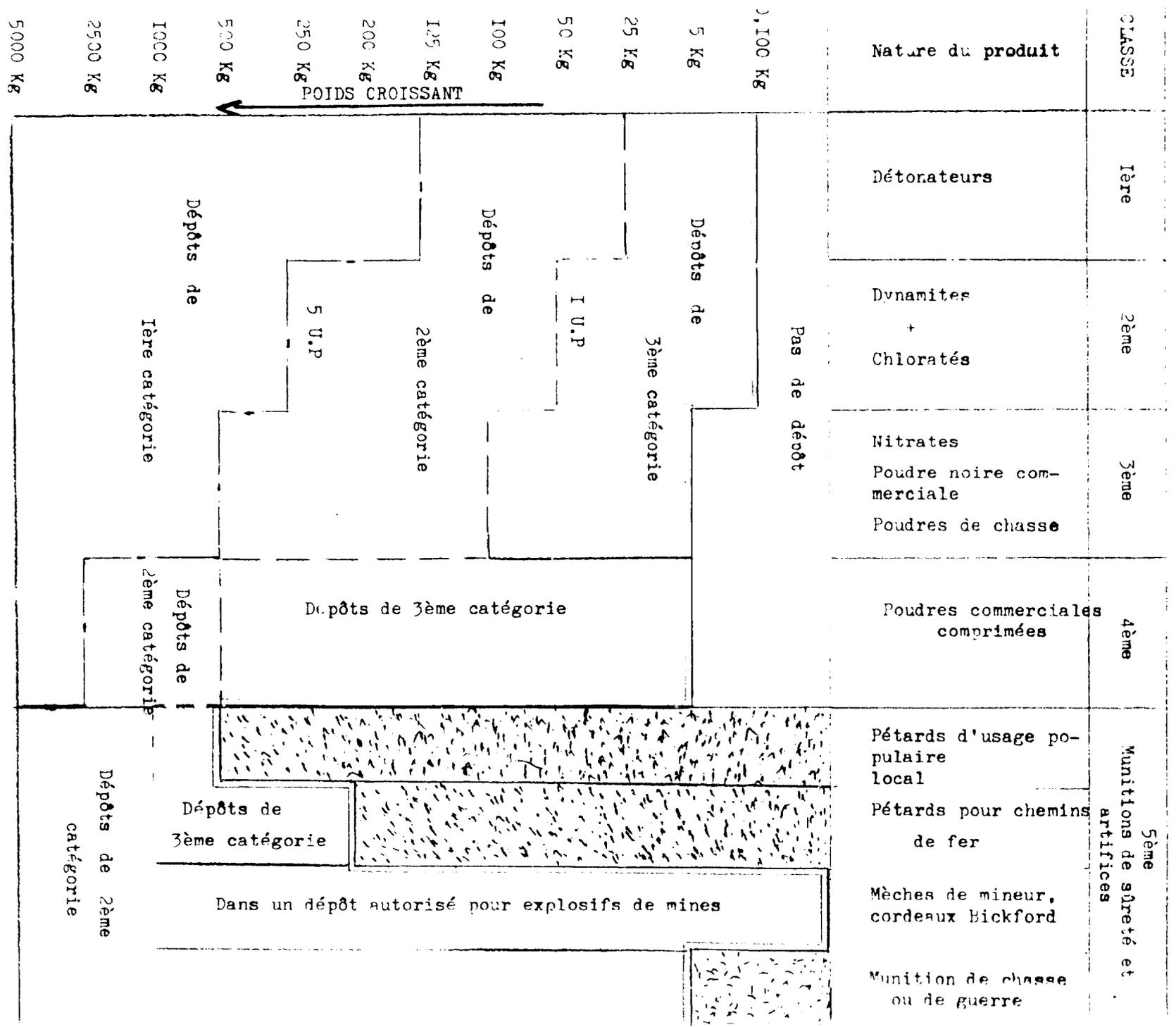
1 - DECRET DU 16 OCTOBRE 1938

Les principaux articles de ce décret sont les suivants :

- 1 - 1/ Classement des explosifs en 5 grandes classes (article 3) d'après le degré de danger.

CLASSE	1ère	2ème	3ème	4ème	5ème
Nature des produits	Détonateurs	Explosifs nitrés et chloratés	poudre noire commerciale explosif de sûreté type N.P poudre commerciale de chasse	poudre commerciale comprimée	pétard d'usage populaire mèche lente et cordeau munition de chasse ou guerre.

- 1 - 2/ Interdiction formelle de l'utilisation des explosifs qui ne figurent pas dans le tableau sus-mentionné (Article 4).



Pas de format Pas de format/lité administrative
U.P. U. P = Unité - poids
3ème catégorie 3ème catégorie
2ème catégorie 2ème catégorie
1ère catégorie 1ère catégorie

- 1 - 3/ Classement des dépôts d'après deux critères :
- emplacement et construction
 - contenu (Articles 19-20)

(voir tableau récapitulatif ci-après)

1 - 4/ L'EMBALLAGE - LE CHARGEMENT ET LE TRANSPORT DES EXPLOSIFS

Ces trois opérations sont sévèrement réglementées et font l'objet de huit (8) articles allant du n° 34 au n° 41.

- 1 - 4-1/ L'ensemble des conditions imposées au matériel de transport est résumé dans l'article 34. On y lit notamment :
- interdiction de véhiculer l'explosif et artifices dans un même moyen de transport.
 - des dispositions particulières sont appliquées aux véhicules transporteurs pour éviter tout vol.
 - un extincteur d'incendie doit être placé à bord.
- 1 - 4-2/ La surveillance du transport est traitée par l'article 35 :
- toute la responsabilité incombe au transporteur qui délègue la surveillance à un préposé désigné par ses soins.
 - escorte obligatoire en cas de transport des quantités supérieures à 150 Kgs pour les explosifs et 4 Kgs de détonateurs.
- 1 - 4-3/ Un emballage spécial est imposé au transport des détonateurs et explosifs de mine (se référer à l'Article 36).
- 1 - 4-4/ Les règles de chargement et de manutention, reprises par l'Article 37, sont précisées en ce qui concerne :
- les compositions des chargements
 - les dispositions et précautions
- 1 - 5/ REGLES SPECIALES RELATIVES AUX TRANSPORTS PAR VOIE DE TERRE OUTRE QUE LA VOIE FERREE
- 1 - 5-1/ L'Article 38 qui s'intéresse aux règles sus-indiquées fixe les dispositions administratives spéciales concernant :

- la manutention sur la voie publique qui est interdite sauf pour les explosifs de 3ème classe (sûreté)
- les itinéraires, escortes et heures de passage qui sont réglementés de la part des autorités administratives des agglomérations respectives.

1 - 5-2/ Les règles techniques spéciales sont explicitées par l'Article 39.

AINSI SONT REGLEMENTES

- la hauteur de chargement à l'intérieur du véhicule, hauteur qui doit être inférieure ou égale à 1,5 m.
- un drapeau spécifique portant la lettre (E)
- matériel de transport adéquat au point de vue poids de charge utile
- la circulation : * vitesse de véhicule inférieure ou égale à 30 Km
* intervalles entre véhicules (50 m)
- stationnement interdit dans les agglomérations sauf autorisation de l'administration compétente, 20 m de distance entre les véhicules stationnés.

1 - 6/ REGLEMENTATION SPECIALE SUR TRANSPORT - MANUTENTION DES DETONATEURS ET EXPLOSIFS DANS LES PORTS MARITIMES

- 1 - 6-1/ Déclaration de cargaison à faire au moment du débarquement par le responsable du convoi (Article 40).
- 1 - 6-2/ Les directives générales (II) intéressant les règles de sécurité dans ces ports sont détaillées par l'Article 4I.

2 - L'ARRETE DU 20 OCTOBRE 1938

L'Arrêté du 20 Octobre 1938 régleme les conditions techniques générales aux quelles sont soumis l'établissement et l'exploitation des dépôts et produits ; on y lit notamment que :

- 2 - 1/ Le dépôt doit être fermé, bien dimensionné, bien aéré et bien entretenu (Articles 3-5). Il sera protégé contre les eaux pluviales (Article 4).
- 2 - 2/ Le dépôt doit être éclairé avec des lampes de sûreté portatives à l'exclusion de toute autre forme d'éclairage (Articles 6 et 7).

2 - 3/ Le personnel de surveillance doit être nommé désigné à l'autorité qui l'approuvera ou le refusera (Article 12).

2 - 4/ Le dépôt superficiel doit être isolé :

a - contre l'extérieur par des merlans entourant une clôture défensive de 2 m de hauteur au moins (Articles 23-24).

b - des habitations, agglomérations, bâtiments industriels, on définit dans ce cas :

- la distance afférente à une unité-poids fixée arbitrairement à 17,5 m.
- la distance caractéristique de protection (D.C.P) comme le produit de la distance afférente à une unité-poids (17,5 m) par la racine carrée du nombre maximum d'unités-poids que le dépôt peut recevoir.
- la distance de toute habitation fixée à six (6) fois la DCP pour les explosifs chloratés, trois (3) fois pour les explosifs de sûreté ou nitraté d'ammoniaque et quatre (4) fois pour les autres explosifs.

Cette distance est réduite de moitié quant le dépôt est entouré d'un merlan.

2 - 5/ Le dépôt enterré doit être isolé de l'extérieur par un recouvrement dont l'épaisseur est définie comme suit (Article 31), on définit d'abord l'épaisseur afférente à une unité poids qui est de :

- 7,6 m si le recouvrement est fait de terre légère ou de terre ordinaire non mêlée de pierres.
- 6,8 m s'il est fait de terre ordinaire mêlée de pierres ou de sable fort.
- 6,2 m s'il est formé par un terrain très argileux ou par une maçonnerie médiocre.
- 5,6 m s'il est constitué par du rocher ou une bonne maçonnerie.

On obtient l'épaisseur caractéristique de protection (E.C.P) en multipliant l'épaisseur afférente à l'unité-poids par la racine cubique du nombre maximum d'unités-poids que le dépôt peut recevoir. L'unité-poids dans ce cas est égale à 50 Kgs d'explosif, elle est portée à 100 Kgs pour la grisou-dynamite et 200 Kgs pour les explosifs de sûreté au nitrate d'ammoniaque (Article 32).

- 2 - 6/ Pour les dépôts enterrés à charge condensée, ce qui est souvent le cas, l'épaisseur minimum de protection est égale au $\frac{9}{10}$ de l'ECP diminué de I m.

$$E M P_{(c)} = \frac{9}{10} E C P - I$$

- 2 - 7/ Pour les dépôts enterrés à charge allongée, c'est à dire si le magasin est constitué par une galerie le long de laquelle la charge est répartie d'une manière uniforme, l'épaisseur minimum peut être réduite de tiers.

$$E M P_{(a)} = \frac{2}{3} E M P_{(c)}$$

Dans ce cas, la longueur de la galerie doit être égale au triple de l'épaisseur minimum à charge condensée.

$$L = 3 E M P_{(c)}$$

- 2 - 8/ Les dépôts enterrés doivent être distants de 20 m de toute voie de communication, marches et autres lieux de communication avec le public (Article 36).
- 2 - 8/ Pour les dépôts souterrains, il est prescrit : d'assurer une bonne circulation du personnel de service et de lui seul, de n'y accumuler que des explosifs encartouchés qui doivent être placés dans des logements ne recevant pas plus de 25 Kgs. En aucun cas les dépôts ne doivent contenir plus de 150 Kgs d'explosifs.

3 - ARRETE MINISTERIEL DU 12 OCTOBRE 1953

Cet Arrêté qui règle l'exploitation des mines et carrières régit aussi la manutention des explosifs et artifices sur les chantiers (Titre -IX-) en 15 articles.

- 3 - 1/ La distribution des explosifs et artifices ainsi que le chargement, le bourrage, l'amorçage, la mise à feu et le retour au chantier après le tir sont consignés par l'exploitant et approuvés par l'administration compétente.
- 3 - 2/ Il est interdit de faire usage d'explosifs et d'artifices et d'accessoires de tir autres que ceux fournis par l'exploitant ; les bourroirs doivent être exclusivement en bois.
- 3 - 3/ Il ne doit être remis aux mineurs que la quantité d'explosifs nécessaire à l'abattage de la journée, tout excès sera restitué dans les mêmes conditions de sortie à la poudrière. Il est interdit d'emporter à domicile des explosifs ou artifices.
- 3 - 4/ Sur le chantier, les explosifs ne peuvent être conservés que dans des emballages et les détonateurs dans des boîtes ou cartouches. Les détonateurs doivent être toujours séparés des cartouches d'explosifs. Les explosifs et détonateurs doivent être tenus à l'écart des lampes de foyers, du feu et de toute chute, des éboulements, de l'explosion des coups de mine, de l'humidité et de tout choc violent.
- 3 - 5/ Les explosifs encartouchés ne peuvent être utilisés qu'en tant que tels. Toute cartouche ne doit être amorcée qu'au moment de la mise à feu. Toute cartouche amorcée, et non utilisée, doit être séparée de son amorce et mise en lieu sûr.
- 3 - 6/ Il est interdit d'abandonner sans surveillance un coup de mine chargé et raté. Seuls peuvent être tirés les coups de mine dont la charge a été introduite dans des trous préalablement forés, sauf dérogation de l'administration compétente. Avant l'introduction de l'explosif, le trou de mine doit être nettoyé.

3 - 7/ Les coups de mine doivent être soigneusement bourrés. Les bourres doivent être faites d'argile ou mieux de matières pulvérulentes. En cas d'explosif détonant, la détonation de la cartouche est provoquée par une amorce suffisamment énergique pour assurer la détonation de toute la charge. L'amorçage doit être fait soit :

- à l'avant de la charge = amorçage antérieur, pour les mines profondes
 - en fond du trou de mine = amorçage postérieur, pour les mines peu profondes
- Mais jamais au milieu (amorçage inverse).

3 - 8/ Aucun coup de mine, qu'il ait été allumé ou non, ne doit être débourré.

3 - 9/ A défaut de tir électrique, l'allumage des coups de mine doit se faire exclusivement au moyen de cordeau détonant et même de sûreté. La longueur de la mèche utilisée est réglementée par une consigne de l'administration en tenant compte de la vitesse de combustion de celle-ci. Cette longueur doit être égale au moins à 1 m à partir de la cartouche antérieure, pour s'assurer de la bonne qualité de la mèche on procède à un essai de 1 % de la fourniture. La vitesse de combustion ne doit pas dépasser 1 m/mn.

3 - 10/ Des mesures de sécurité doivent être prises avant chaque tir en mettant à l'abri tous les ouvriers du chantier et ceux du voisinage. Après chaque tir, une visite du chantier par le responsable de la carrière est imposée pour juger les résultats du tir et décider de la suite des travaux en cas de raté.

3 - II/ On ne doit pas laisser un coup de mine chargé au voisinage d'un autre coup dont l'explosion pourrait la faire sauter.

3 - 12/ En cas d'allumage à la mèche pour l'explosion de la mine, il est absolument interdit de revenir sur le chantier avant une heure de temps, le surveillant du chantier doit être mis au courant, le ou les coups de mines ratés sont repérés avec soin.

3 - 13/ Les trous de mine de remplacement sont forés soigneusement par des agents compétents, à côté des ratés à 0,20 m d'intervalle. Les mêmes mesures de sécurité sont à observer dans le cas de mines ayant fait canon ou un fond de trou sauf quand on a la certitude qu'il n'y reste plus d'explosif.

3 - 14/ Il est interdit :

- d'approfondir des trous ayant fait canon
- d'approfondir les fonds de trou restés intacts après l'explosion ou d'en tirer de l'explosif non brûlé.

3 - 15/ Le traitement de mines qui ont fait canon et des fonds de trou, doit être fait par un ouvrier spécialisé ; un peu de bourre doit séparer l'ancienne et la nouvelle charge afin d'éviter tout choc préjudiciable.

4 - C O N C L U S I O N

Encore une fois, la législation tunisienne en matière d'explosif est encore beaucoup plus ancienne que celle régissant l'exploitation des carrières. On parle encore d'explosifs gelés, grisou, dynamite, poudre-noire etc... alors qu'actuellement les pays industriels utilisent de plus en plus des explosifs plus performants tels que les "bouillies".

La refonte de la législation est un impératif socio-politique.

C H A P I T R E - I V -

LIMITATION DE LA LEGISLATION ET REGLEMENTATION

EN MATIERE D'EXPLOSIF

1 - INTRODUCTION

Les explosifs et les artifices d'allumage sont des produits dangereux à cause de leur pouvoir de détoner en cas de fausse manipulation dans les chantiers tels que les carrières à ciel ouvert. Ce fait demande de la part du législateur et des exploitants une vigilance et une connaissance parfaite en la matière.

Un certain niveau de technicité est exigé et particulièrement auprès du boutefeu; ses connaissances sont appelées à être enrichies par l'évolution des techniques et des normes de sécurité; à ce propos et d'une manière générale il est à noter que la législation tunisienne en la matière est muette à ce sujet puisqu'elle même n'a pas subi d'évolution. étant toujours régie par le décret du 16 Octobre 1953. Dans ces conditions le législateur a dû élaborer, en fonction des cas et du moment, des consignes particulières afin de combler quelques insuffisances jugées dangereuses.

Ainsi, il a été constaté que cette réglementation est quelque fois mal appliquée ; d'ailleurs le manque de contrôle de l'administration n'a fait qu'encourager l'exploitant à chercher le profit immédiat même au détriment de la sécurité.

2 - LIMITATION DE LA LEGISLATION RELATIVE :

2 - 1/ A la mise en oeuvre des substances explosives et l'exécution des tirs par mines profondes verticales

2 - 1-1/ Responsabilité : le législateur ne fait pas allusion, dans ses textes, à l'importance qui doit être accordée à la désignation d'un ou de plusieurs responsables de l'opération de tir à la carrière. Cette (ou ces) personne dirigera sous sa responsabilité et sa surveillance directe la mise en oeuvre des mines profondes, elle choisira les boutefeux et leurs aides (approvisionnement et chargeurs) parmi les ouvriers les plus sérieux et les plus expérimentés.

- 2 - 1-2/ Documentation : l'absence d'une législation particulière qui définit les obligations de l'exploitant au niveau des documents devant préciser le plan de chargement et le plan de tir à établir à chaque opération par le responsable désigné; ces plans définissent :
- la surprofondeur à atteindre et la hauteur de la tranche à abattre
 - l'exécution éventuelle de mines de relevage avec les précautions nécessaires de manière, à ne pas créer des sous-cavages et des surplombs.
- 2 - 1-3/ Forage et chargement : Les textes de loi ne précisent pas les précautions à observer pour forer et charger correctement des mines profondes verticales telles que :
- le calibrage du trou
 - la protection du trou par un moyen approprié
 - les opérations de sécurité avant le chargement
 - * nettoyage des abords de l'orifice
 - * dégagement à l'air comprimé de l'eau ou de la boue continues dans le trou.
 - * vérification de la mine pour un passage libre de la charge.
- Toutes ces opérations doivent se dérouler sous la responsabilité directe du chef de carrière.
- 2 - 1-4/ Cartouche amorce : des dispositions techniques complémentaires concernant la cartouche amorce, doivent être notifiées par des textes de loi. Afin de garantir la sécurité de chargement du trou, il y aurait lieu de préciser la technique des ligatures de la cartouche amorce avec le cordeau détonant et de sa descente au fond du trou. Avant l'introduction d'une cartouche, le chargeur doit attendre, d'avoir perçu le bruit de l'arrivée au fond de trou, de la cartouche précédente, en cas de doute, il y aurait lieu de descendre immédiatement le bourroir.
- 2 - 1-5/ Bourrage : les opérations de bourrage ne sont pas bien explicitées par le législateur notamment :
- le bourrage pourra être exécuté avec les sables de forage (cuttings)
 - la longueur du bourrage doit être au moins égale à la largeur moyenne de la tranche à abattre.

- pendant l'opération de bourrage, des précautions sont à prendre pour ne pas détériorer le cordeau détonant. Ceci permettra d'éviter tout angle vif ou toute boucle en maintenant le cordeau tendu et par conséquent éliminera les mines "ratées".
- 2 - 1-6/ Mèche lente : le législateur devrait se prononcer sur l'éventuelle élimination des tirs exécutés à l'aide de la mèche lente. En effet certains pays industrialisés ont totalement abandonné ce procédé et utilisent les tirs électriques. Ceci est de nature à permettre le développement des techniques d'abattage (micro-retard...) et par voie de conséquence d'améliorer la fragmentation et les coûts d'exploitation.
- 2 - 1-7/ Tirs électriques : certains articles de la législation font allusion aux tirs électriques sans pour autant préciser les prescriptions d'utilisation et principalement :
 - maintien d'un bon contact entre détonateurs électriques et cordeau détonant.
 - raccordement des détonateurs entre eux et la ligne de tir aux fils des détonateurs
 - vérification à l'ohmmètre du circuit
 - mise à l'abri du personnel et garde du périmètre dangereux
 - utilisation d'un exploseur d'une puissance largement supérieure au nombre de mines à tirer, pour assurer la mise à feu.
 - le tir proprement dit, la reconnaissance du tir et le retour au chantier du personnel.
- 2 - 1-8/ Signalisation : par souci de sécurité du personnel opérationnel et environnant, le législateur devra élaborer des consignes réglementant le début et la fin de l'exécution d'un tir. L'expérience a montré que certains exploitants, ne respectent aucune mesure de sécurité pour annoncer leurs tirs. Même les panneaux de consignes de sécurité sont inexistantes. Ces défaillances en moyens de sécurité tels que, les avertisseurs sonores, les gardiens porteurs de drapeaux ou autres moyens appropriés, peuvent porter des préjudices sérieux à toute la collectivité.
- 2 - 1-9/ Préposés aux tirs : la législation en Tunisie est très souple en matière de manutention et emploi des explosifs et détonateurs de telle sorte

que l'administration responsable n'exige en aucun cas que les préposés au tir nommément désignés par l'exploitant soient les seuls chargés du transport et l'emploi des explosifs et détonateurs. quant au niveau exigé, la législation fait également défaut il est préconisé que ces préposés doivent être titulaires :

- soit d'un certificat d'aptitude au minage délivré par un organisme spécialisé en la matière,
- soit d'un permis de tir délivré par les grands exploitants, naturellement après une formation professionnelle appropriée et un examen probatoire.

2 - I-10/Manutention des explosifs : une carence des lois relatives à la manutention des explosifs et détonateurs, associée au manque de contrôle de l'administration, amène souvent des inconvénients qui peuvent se traduire par des accidents graves. Il a été constaté :

- la distribution et l'utilisation parfois d'explosifs détériorés
- certains boutefeux coupent les cartouches pour en retirer de l'explosif alors qu'il est strictement interdit de les ouvrir ou de les mettre à nu. Ces malversations s'ils n'occasionnent pas des accidents certains causent quant même un mauvais rendement de l'explosif et parfois des ratés.

Les textes de loi ne définissent pas en détail les responsabilités au moment de la distribution et le transport des explosifs et de détonateurs à l'intérieur du chantier, ainsi que les précautions à prendre. Certains préposés au tir, ignorent le danger qu'ils peuvent encourir en pénétrant dans le dépôt d'explosif ou son local de distribution avec des détonateurs et réciproquement; la législation devrait être rigoureuse à ce sujet.

2 - 1-II/Tirs spéciaux : le législateur ne fait, en aucune manière, allusion à l'exécution de certains tirs qualifiés de spéciaux, bien que la nécessité d'en faire usage soit largement justifiée ;
notamment :

- les tirs par charges superficielles (tirs à la glaise) qui constituent un moyen adéquat pour débiter des blocs durs et compacts non susceptibles de très grandes fragmentations.

- les tirs fissures et tirs fentes qui sont pratiqués également comme un moyen susceptible de remplacer les ouvriers dans les opérations de purge des fronts ; une préparation préalable de la fissure pour recevoir la charge explosive est recommandée.

2 - 1-12/ Recommandation générale : la législation continue à mentionner tout type d'explosif même si son utilisation est abandonnée depuis bien longtemps par exemple le dynamite grisou. La législation ne doit se préoccuper que de l'utilisation des explosifs appartenant à la classe-III- à base de nitrate appelés explosifs de sûreté.

2 - 2 / Au chargement en vrac par gravité de mines verticales avec certains explosifs non encartouchés :

La législation actuelle se trouve dépassée par les techniques nouvelles en matière d'explosifs et artifices d'allumage, par exemple l'utilisation de l'explosif en vrac. Le souci majeur de tout exploitant est le prix de revient du m³ abattu. Certains explosifs en vrac qui possèdent des caractéristiques techniques (vitesse de détonation, densité) proches de celles ^{des} explosifs classiques encartouchés donnent satisfaction quant aux résultats escomptés et méritent par conséquent l'attention du législateur. Les textes de loi doivent préciser les points suivants :

2 - 2-1/ Nomenclature : la nomenclature des explosifs pouvant être chargés en vrac par gravité doit être rigoureusement précisée. Les modes de livraison, de transport et de chargement dans les carrières doivent retenir l'attention du législateur. Les explosifs les plus sensibles au frottement, ou au choc, les plus aptes à la déflagration ou détonation comme les dynamites et les chloratés ne doivent pas être utilisés en vrac quelles que soient leurs caractéristiques.

2 - 2-2/ Inclinaison du trou : pour permettre une chute la plus libre possible de l'explosif non encartouché, le chargement par gravité est limité aux mines dont l'inclinaison est supérieure ou égale à 70 ° par rapport au plan de la carrière.

2 - 2-3/ Profondeur efficace : par souci de sécurité, et surtout d'efficacité, on pourrait limiter l'usage de l'explosif en vrac aux mines profondes de plus de 6 m.

- 2 - 2-4/ Amorçage : pour éviter les ratés, l'amorçage des mines profondes verticales est à réaliser obligatoirement au cordeau détonant d'un seul tenant à l'exclusion de tout autre artifice dans le trou.
- 2 - 2-5/ Mixage : le chargement dans un même trou de mine de l'explosif encartouché avec un autre explosif non encartouché ayant déjà donné satisfaction à l'étranger, doit être autorisé par le législateur tunisien à la condition expresse que les explosifs soient de même classe conformément aux dispositions du Titre -IX- de l'arrêté du 12 Octobre 1953.
- 2 - 2-6/ Trous humides : les trous dans lesquels une venue d'eau est constatée ne seront pas chargés. Le constat est effectué par le chef de carrière comme stipulé au paragraphe 2-I-3. Les trous naturellement humides constatés par le foreur pourront être chargés sous réserve que le délai compris entre le chargement et le tir doit être aussi réduit que possible; la décision de chargement doit être prise par le chef de carrière.
- 2 - 2-7/ Chargement : le chargement s'effectuera à l'aide d'un entonnoir en cuivre ou en matière plastique, l'explosif est tassé convenablement au bourroir et la progression du chargement constamment contrôlée. La relation quantité d'explosif et hauteur réelle est un élément déterminant dans la qualité du chargement du trou.
- 2 - 2-8/ Nitrate-fuel : le législateur devrait examiner la possibilité de faire préparer le nitrate-fuel sur chantier, moyennant une autorisation spéciale de l'administration des mines afin de respecter le dosage entre fuel et nitrate.
- Celui-ci doit être maintenu aux valeurs suivantes pour avoir le meilleur rendement :
- | | |
|---|-------|
| - explosif (à base de nitrate d'ammonium) | 95 % |
| - f u e l | 5 % |
| | <hr/> |
| | 100 % |
| | ===== |
- 2 - 2-9/ Recommandation : le vrac attaque la peau, par conséquent, les manipulateurs doivent obligatoirement porter des gants.

2 - 3 / A L'emploi des détonateurs à micro-retards :

Parallèlement à l'utilisation de l'explosif en vrac qui constitue une évolution des techniques d'abattage, l'amorçage a connu également le même essor. Toutefois, le législateur n'a jamais indiqué les règles relatives à l'exploitation des détonateurs micro-retards ou à retards dans l'exploitation des carrières à ciel ouvert.

Outre les avantages d'ordre économique (une bonne fragmentation sans débitage secondaire), ce type d'amorçage réduit les nuisances à l'environnement en atténuant considérablement les niveaux de vibrations transmises (voir chapitre -VI-). Nous citons ici quelques réglementations susceptibles d'être étudiées par le législateur :

2 - 3-1 / Conservation : l'exploitant doit prendre pour le stockage et la distribution des détonateurs à micro-retards ou retards, toutes mesures propres à assurer leur bonne conservation.

2 - 3-2 / Emplacement : avec des détonateurs à micro-retards, l'amorçage doit être postérieur à la cartouche amorce, celle-ci étant placée au fond du trou, le détonateur étant hors de trou. Cette technique est mieux explicitée dans le chapitre -VII-"tir avec micro-retard"

2 - 3-3 / Préposés au tir : le permis d'aptitude au minage du préposé au tir doit l'habiliter à l'emploi des détonateurs à micro-retards.

2 - 3-4 / Précaution : le tir avec détonateurs à micro-retards doit être interdit dans les terrains présentant une surface de décollement (fissures par exemple) susceptibles de provoquer sous l'effet des premières détonations, la détonation ou la fragmentation des charges non encore explosées.

En cas de menace d'orage ou d'orage déclaré, les opérations de chargement et de branchement des détonateurs électriques doivent être interrompues. Si les trous sont déjà chargés et amorcés, les ouvriers doivent être mis à l'abri ; le retour au travail est décidé par le chef de carrière.

2 - 3-5/ Recommandation; il serait souhaitable de généraliser la technique des tirs avec micro-retard. Les avantages technico-économiques sont évidents en plus de la réduction certaine des vibrations.

2 - 4 / Au contrôle de l'administration tunisienne :

Si ce contrôle est mentionné dans les textes de loi, sa mise en application souffre de beaucoup d'aléas et notamment :

- l'éloignement de l'administration de contrôle par rapport aux carrières, dissimulées à travers le territoire.
- la dualité des 2 départements Mines et Énergie, l'un contrôlant l'exploitation de carrières et l'autre la conservation et l'utilisation des explosifs.
- et d'une manière générale l'absence d'effectif suffisant. En effet un calcul rapide démontre que pour les 1500 carrières de pierres, argiles, sable, marbre, il faudrait pour un contrôle efficace la disponibilité d'une brigade de 150 contrôleurs hautement qualifiés.

Nous pouvons imaginer un contrôle qui englobe toutes les carrières réparties en zones à travers le pays. Ce contrôle demande la présence physique sur le chantier, au moins une fois par an et pendant une semaine d'un contrôleur de niveau satisfaisant lui permettant de vérifier principalement :

2 - 4-I/ L'exploitation de la carrière :

- vulgarisation de la législation en matière d'exploitation des carrières par des campagnes d'information.
- recommandation et assistance technique pour aider l'exploitant à mieux tirer profit de sa carrière.
- mesures de sécurité prises ou à prendre
- statistiques d'exploitations et incidents

2 - 4-2/ Condition d'emploi des explosifs et détonateurs : le contrôleur doit jouer le rôle de trait-d'union entre l'exploitant, d'une part, et l'Administration, d'autre part, afin de :

- rendre la tâche de l'exploitant, la plus simple possible pour pouvoir appliquer correctement la législation et la réglementation en matière d'explosif.
- introduire les nouvelles techniques d'emploi des explosifs et les artifices d'amorçage, dans les calculs économiques de l'exploitant.

- orienter l'exploitant vers une meilleure utilisation des produits explosifs et amorces en matière de sécurité.
- veiller à ce que les carrières tiennent à jour la documentation nécessaire à un bon contrôle de l'administration compétente telle que :
 - * plans d'exploitation des fronts
 - * plans de chargement et de tir de mines
 - * et registre pour la comptabilité des explosifs.

Dans l'état actuel des choses, ce contrôle s'avère difficile dans la pratique car même si l'administration arrive à recruter le nombre d'ingénieurs contrôleurs, les difficultés inhérentes aux moyens de transport et d'hébergement font que ce contrôle ne peut jamais s'exercer efficacement ; aussi il est recommandé vivement de suivre une politique de décentralisation et répartir par zones, les contrôles des différentes carrières afin de rapprocher l'administration du carriériste. On constatera sûrement des améliorations au niveau :

- des techniques d'exploitation et manipulation des explosifs
- du coût d'exploitation
- un meilleur respect des normes de sécurité
- une consommation raisonnable des espaces naturels

2 - 4-3/ Remarque : l'Administration devra se rapprocher du Centre Technique des Matériaux de Construction, de la Céramique et du Verre en vue d'une assistance technique appropriée.

3 - LIMITATION DE LA REGLEMENTATION EN MATIERE D'EXPLOSION

3 - I / Chargement des mines

Dans la plupart des exploitations à ciel ouvert, le chargement des trous de mine se fait dans des conditions douteuses notamment :

- le manque total de plan de chargement et de plan de tir
- l'utilisation de bourroirs, tels que les bourroirs en acier, non conformes aux prescriptions des règlements en vigueur
- l'absence très souvent de protections du cordeau détonant, pendant les opérations de chargement; des mines ratées sont ainsi constatées à la suite de la détérioration du cordeau par un bourroir en acier, parce qu'il est mal tendu.
- la réduction de la hauteur des bourrages faite dans un souci d'économie, mais provoque en réalité, le phénomène de mines canon ; cela se traduit inévita-

blement par la dispersion de l'énergie sous forme d'ondes sonores et par un mauvais rendement de l'explosif en conséquence.

- certaines cartouches sont introduites quelquefois par force alors que, pour des raisons de sécurité et d'efficacité de l'explosif, il est strictement interdit d'introduire les cartouches de force ou de les écraser .

3 - 2 / Cordeau détonant

Le cordeau détonant ayant une longueur hors trou inférieur aux normes prescrites peut chuter dans le trou provoquant ainsi l'abandon pure et simple de la mine.

3 - 3 / Manutention

Certains boutefeux agissent par ignorance en coupant les cartouches d'explosifs, alors que celles-ci ne doivent en aucun cas être employées dans un état autre que celui de la livraison et ce pour des raisons de sécurité et rendement.

3 - 4 / Sécurité

On peut généraliser, en disant que tous les ouvriers ne sont pas assez motivés sur les risques de dangers du feu (thé, cigarettes...) en cours de chargement des mines. En effet bien qu'il est interdit de fumer pendant la distribution, le transport et la manipulation des explosifs et des détonateurs, d'approcher toute flamme ou objet en ignition de l'orifice d'un trou de mine en chargement, les boutefeux continuent à bafouer la réglementation sous l'oeil indifférent de quelques exploitants.

Pendant le chargement certains exploitants continuent à travailler dans le périmètre dangereux alors que tout travail doit normalement cesser dans la partie du front minée.

3 - 5 / Exploseur

En cas d'allumage par l'électricité le préposé au tir, agissant par ignorance, ne procède pas à la mesure de la résistance de la ligne de tir, alors que cette opération est souvent obligatoire pour vérifier

que l'exploseur a une puissance suffisante pour l'allumage de toutes les mines à tirer. Les caractéristiques électriques de l'exploseur ne sont jamais vérifiées, alors qu'elles doivent être contrôlées au moins tous les 6 mois. On ne cessera jamais de répéter que les boufeux doivent avoir quelques notions rudimentaires d'électricité, ce qui n'est pas le cas en Tunisie.

3 - 6 / R a t é s

Les trous de mines ratés sont abandonnés sans surveillance et sans pour autant intervenir au niveau des engins de chargement (pelle, trax etc...) pour arrêter toute activité dans la zone dangereuse. Pourtant la législation est claire quant au sort à réserver aux ratés; ici c'est donc le contrôle qui fait défaut.

3 - 7 / Signalisation

Pendant l'allumage, certains préposés au tir prennent le risque de procéder au tir sans s'assurer personnellement que tous les ouvriers sont hors d'atteinte et ont rejoint les abris désignés par le responsable de la carrière.

Certains signaux particuliers font défaut également alors qu'il est strictement nécessaire de prévenir le personnel de la carrière et les habitations environnantes, du début et de la fin de chaque tir.

Ce manque de mesures de sécurité élémentaires peut provoquer des accidents mortels. La législation doit fixer, d'autorité, un horaire de tir d'hiver et d'été.

3 - 8 / Défaillance des exploitants

Certains dépôts d'explosifs ne sont pas réglementaires, leurs contenus dépassent les capacités limitées de stockage. L'isolement et la protection ne sont pas conformes à la réglementation notamment la distance caractéristique de protection (D.C.P) et l'épaisseur caractéristique de protection (E.C.P). Il a été constaté que des dépôts sont mal fermés et mal aérés, d'autres mal dimensionnés. La protection contre les eaux de pluies est souvent absente, certains dépôts sont mal éclairés ou éclairés par des sources non réglementaires.

Par ailleurs, le transport des explosifs et détonateurs obéit rarement à la réglementation en vigueur ; la hauteur de chargement est souvent dépassée, la charge mal disposée ; les vitesses de circulation ainsi que le stationnement à l'intérieure des agglomérations ne sont pas conforme aux règlements prescrits. Ici c'est encore un problème de contrôle et surtout de sensibilisation de l'exploitant au respect de la législation.

4 - CONCLUSION

On peut remarquer que les insuffisances de la législation tunisienne en matière d'explosif dans les carrières, jointes à un contrôle défaillant de l'administration constituent des graves lacunes au niveau de :

- la sécurité pour l'emploi des explosifs et artifices
- la sauvegarde de l'environnement
- l'économie d'énergie

Une action rapide est à engager afin de sensibiliser tous les acteurs entrant dans l'exploitation des carrières aux dangers que représente ce laisser aller.

C H A P I T R E - V -

EXPLOSIFS ET NOTIONS DE DETONIQUE

1 - INTRODUCTION

L'étude des phénomènes qui provoquent la destruction d'une roche par l'explosif permet de comprendre son mode d'action et son choix pour une utilisation rationnelle. Elle permet en outre, de dégager les conditions de réussite ou d'échec d'un tir. Certains termes techniques tels que la combustion, l'explosion, la détonation, la déflagration donnent parfois lieu à des confusions. Il est judicieux de les définir clairement avant même de développer ce chapitre.

2 - DEFINITION

2 - 1/ Combustion

C'est l'ensemble de réactions chimiques d'oxydation d'un combustible avec un comburant accompagnées d'un dégagement de chaleur.

2 - 1-1/ Combustible

Une matière susceptible de dégager de la chaleur par réaction chimique ou nucléaire.

Exemple : le fuel-oil constitue un combustible chimique qui rentre dans la composition des nitrates-fuel. Le plutonium et l'uranium sont des combustibles nucléaires.

2 - 1-2/ Comburant

C'est un corps chimique qui par combinaison avec un combustible en présence du feu, donne lieu à une réaction chimique exothermique.

2 - 2/ Explosion

C'est un phénomène physique déclenché par la montée en pression d'une substance explosive jusqu'à ce que cette pression s'égalise avec la contre-poussée d'un milieu connexe.

On entend par substance explosive, le mélange intime du combustible et du comburant, qui, par réaction chimique explosive, dégage un grand volume de gaz dans un temps extrêmement court et sous des conditions de pression et de température élevées. Par exemple, le fuel intimement mélangé au nitrate d'ammonium constitue une substance explosive. Par contre, la thermite, mélangé d'oxyde de fer et d'aluminium qui réagissent chimiquement, dégage beaucoup de chaleur mais ne constitue pas une substance explosive, car il n'y a pas de dégagement de gaz.

2 - 3/ Détonation

C'est une réaction maintenue par l'association de 2 phénomènes continus dans le temps :

- un processus physique (propagation de l'onde de choc dans la substance explosive).
- un processus chimique (la détonation du mélange explosif).

L'amorçage d'une telle réaction se fait en un point, ensemble de points (ligne) ou ensemble de lignes (plan). Une onde réactionnelle prend naissance dans les endroits d'amorçage et se propage dans le milieu à une vitesse relativement constante appelée (vitesse de l'onde de choc - courbe -I- fig 5.) Cette vitesse est comprise entre 2000 et 9000 m/s. Le passage de cette onde crée une perturbation de l'ensemble des caractéristiques du milieu et notamment le volume, la pression et la vitesse ; cette dernière est appelée vitesse matérielle, particulière ou de vibration.

2 - 4/ Déflagration

C'est une réaction chimique explosive qui se propage par effet thermique.

Une particule brûle et chauffe d'autres particules voisines jusqu'à atteindre la température d'auto-inflammation, ces particules en chauffent d'autres à leur tour. Le phénomène se poursuit à travers le milieu par élévation successive de température. La vitesse de l'onde de choc (courbe -2- fig 5) est inférieure à 1 mach. ou 330 m/s.

Exemple : poudre noire : la vitesse de déflagration est comprise entre

10 - 100 m/s

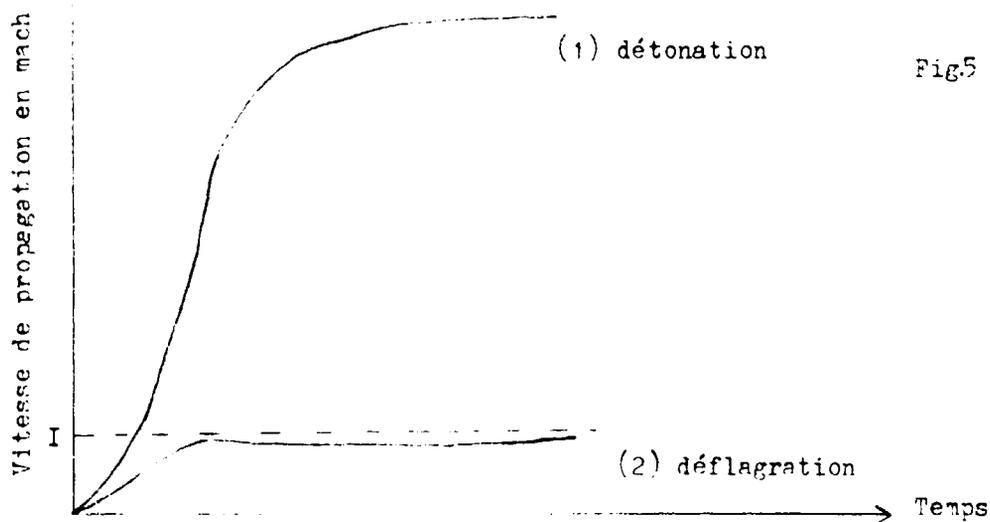


Fig5

2 - 5/ Détonation/Déflagration

Dans la détonation, le maintien de la réaction chimique se fait après amorçage par la propagation de l'onde de choc dans le milieu, cette perturbation est elle même entretenue par la chaleur de réaction et ainsi de suite ; il s'agit d'un phénomène mécano-chimique (mécanique vibratoire) alors que dans le cas de la déflagration, la réaction chimique, une fois amorcée est maintenue par élévation de température, il s'agit ici d'un processus thermodynamique.

TABLEAU RECAPITULATIF

DESIGNATION	VITESSE EN M/S	T° en C°
Détonation	2000/9000	2500/4000
Déflagration	10 /100	1200/1500

3 - DESCRIPTION DES DIFFERENTES PHASES D'UNE EXPLOSION PRODUITE PAR UN EXPLOSIF CHIMIQUE

3 - 1/ La Microfissuration

L'expérience consiste à mettre de l'explosif dans un milieu (cavité) et à procéder à l'amorçage de la réaction explosive (détonation ou déflagration) par un moyen susceptible de générer une onde de choc suffisante.

L'énorme pression de l'ordre de 1000 MPa, engendrée à l'intérieur de la cavité (voir courbe des pressions - fig 6) se développe dans tous les sens et donne naissance à des contraintes.

On distingue des contraintes tangentiels σ_T et des contraintes radiales σ_R la projection de ces contraintes donne la diagramme des contraintes (fig 7).

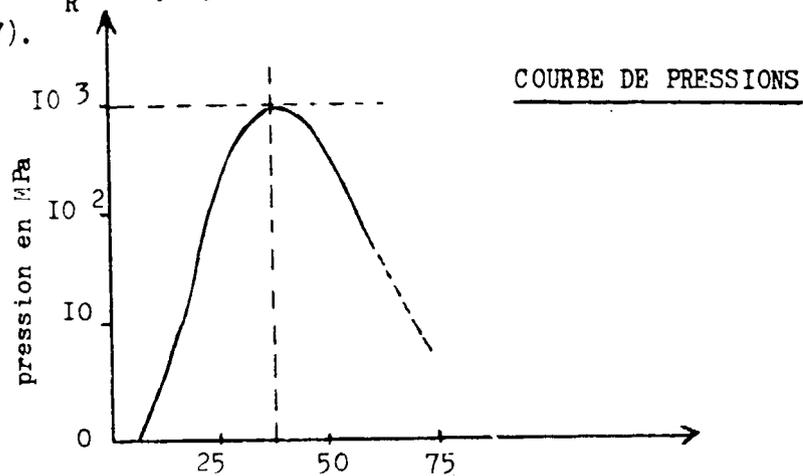


Fig.6

Temps en m.s

DIAGRAMME DES CONTRAINTES

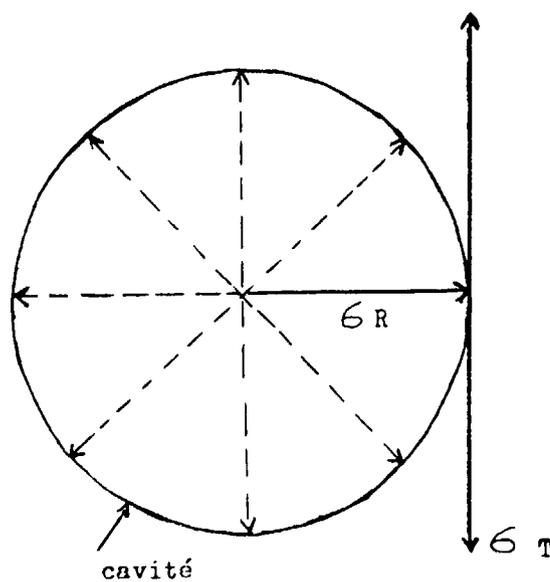


Fig.7

Des contraintes de cisaillement et de traction peuvent prendre naissance suite à la composition des contraintes σ_T et σ_R .

Toutes ces contraintes vont agir sur la cavité et provoquer ainsi un réseau de microfissures disposées à la manière de roues de bicyclette (fig 8).

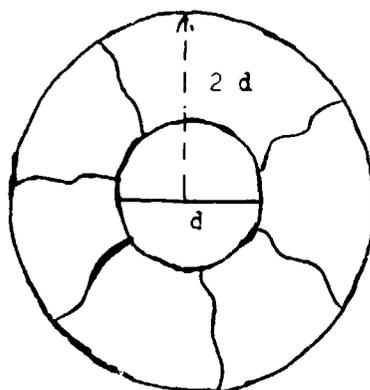


Fig. 8

L'élasticité de la roche, joue le rôle d'amortisseur et ces contraintes sont amorties à une distance égale à 2 d environ (d étant le diamètre de la cavité). A cette distance la microfissuration cesse.

Cette microfissuration donne un image de la première action de destruction de la roche par l'explosif.

3 - 2/ La propagation des fissures par pression de gaz

L'action des gaz sous pression au niveau de la cavité fait progresser ces fissures suivant une loi fonction de la vitesse de l'onde de choc d'une part, et de la nature de la roche (lithologie, structure) d'autre part. Cette phase de fissuration s'arrête à une distance supérieure à 2 d et constitue la 2ème phase de destruction de la roche.

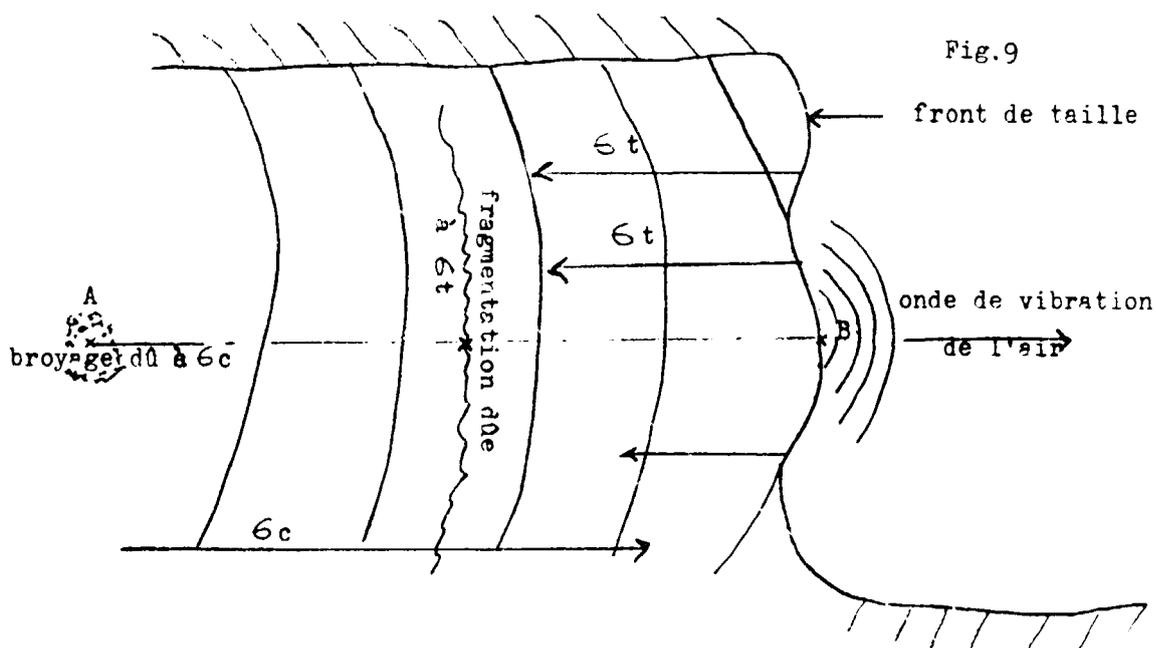
3 - 3/ La poussée des gaz

Les fissures béantes provoquées dans la roche par les deux phases précédentes, facilitent davantage le travail des gaz en cours de détente. La chute des pressions est telle que les contraintes développées précédemment sont suffisantes pour projeter la roche ainsi disloquée suivant une surface de dégagement (front).

3 - 4 / Action de fragmentation (fig 9)

La détonation, au point A d'une charge explosive donne naissance à une contrainte de compression σ_c , qui se développe et se propage, dans le milieu environnant, au point B (zone libre), il y a réflexion de l'onde de choc et formation d'une contrainte de traction σ_t qui remonte le massif dans le sens inverse. C'est cette contrainte σ_t qui a l'action destructrice la plus importante. A noter la zone de broyage due à l'action de σ_c au point A et la vibration de l'air environnant au point B.

Cette destruction de l'onde réfléchie est parfaitement illustrée par l'expérience décrivant l'effet HOPKINSON



4 - ONDE DE CHOC - DETONATION IDEALE

Une détonation est dite idéale quant elle réunit trois conditions principales :

- la substance explosive constitue un milieu infini ; c'est le cas de cartouche de diamètre ϕ élevé (supérieur à 100 mm).

- L'explosion se passe dans un même plan, on l'appelle plan de CHAPMAN - JOUGUET.
- L'explosion se passe dans un point loin du point d'amorçage.

Dans le cadre d'une détonation idéale, des calculs mathématiques qui ne font pas partie de la présente étude et qui reposent sur les trois principes fondamentaux de la mécanique, permettent d'aboutir à l'équation suivante dite de HUGUENIOT - RANKINE.

$$\hat{E} - E_0 - \frac{1}{2} (\hat{P} + P_0) (V_0 - \hat{V}) = 0$$

qui se traduit par l'hyperbole

$$P = \frac{Cte}{\hat{V}} \quad (\text{fig 10})$$

\hat{E} = Energie interne libérée au cours de la réaction chimique explosive

E_0 = Energie interne aux conditions initiales

\hat{P} = pression des gaz dans le plan CHAPMAN - JOUGUET

P_0 = pression du milieu explosif dans les conditions initiales

\hat{V} = volume spécifique des gaz dans le plan CHAPMAN - JOUGUET

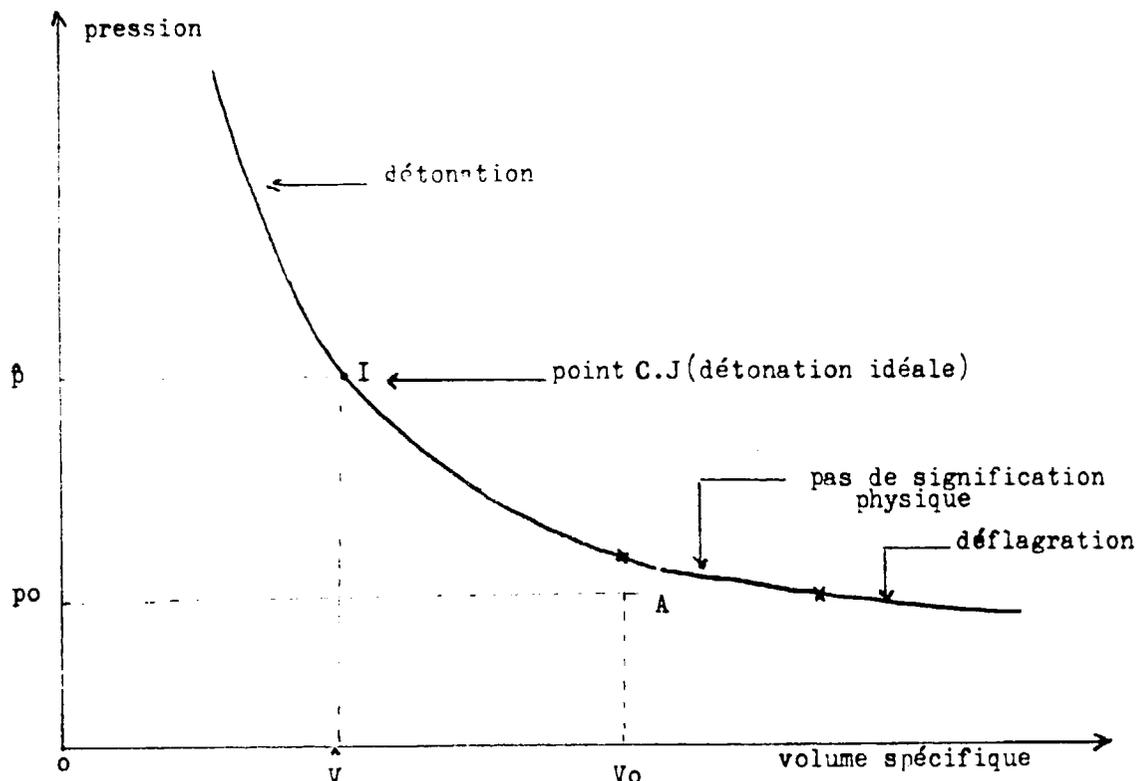
V_0 = volume spécifique du milieu explosif dans les conditions initiales

En réalité cela ne se passe pas ainsi, la réaction n'est pas adiabatique complètement mais plutôt exothermique.

COURBE ADIABATIQUE DE DETONATION

$$f(P, V) = 0$$

Fig.IQ



Remarques importantes

- a - la branche de courbe $f(P, V)$ caractérisée par les conditions
 - V inférieur à V_0
 - P supérieur à P_0
 correspond à la détonation (branche supérieur)
- b - la branche de courbe caractérisée par
 - V supérieur à V_0
 - P inférieur à P_0
 correspond à la déflagation (branche inférieure)
- c - l'arc médian P supérieur à P_0 n'a pas de signification physique
 V supérieur à V_0
- d - P_0, V_0 coordonnés du point A où l'adiabatique $f(P_0, V_0)$ est négative, correspond à le réaction chimique avec variation de l'énergie à volume constant .
 Dans la réalité la détonation est non idéale.

5 - DETONATION NON IDEALE

5 - 1/ Importance du diamètre de la cartouche : diamètre critique

On a vu qu'au cours de la détonation idéale les gaz se détendent suivant une seule direction car le milieu est illimité (ϕ élevé) alors qu'en réalité, il se produit en plus de cette détente selon un axe privilégié une détente latérale qui aura comme effet une diminution de l'énergie libérée, cette diminution est perdue pour le travail de fragmentation de la roche par l'explosif. Le calcul montre que le rapport entre l'énergie perdue (milieu interne) et l'énergie libérée (milieu externe) dépend du diamètre de la cartouche.

$$R = \frac{\text{Energie perdue}}{\text{Energie libérée}} = \frac{4}{\phi}$$

Dans le cas de la détonation idéale où le diamètre ϕ est considéré illimité ($+\infty$), il n'y a pas de détonation latérale et $R = 0$.

Si par contre R devient important on constate une perturbation de la détonation. L'amorçage d'une cartouche ayant la forme tronconique permet de déterminer expérimentalement ce rapport. On tracera la courbe de la vitesse de détonation en fonction du diamètre (fig 11). On constate que la détonation s'effectue normalement jusqu'à une valeur à partir de laquelle il y a une perturbation dans le déroulement de la réaction chimique explosive et même un arrêt de la détonation au dessous de ce diamètre. Celui-ci est appelé diamètre critique.

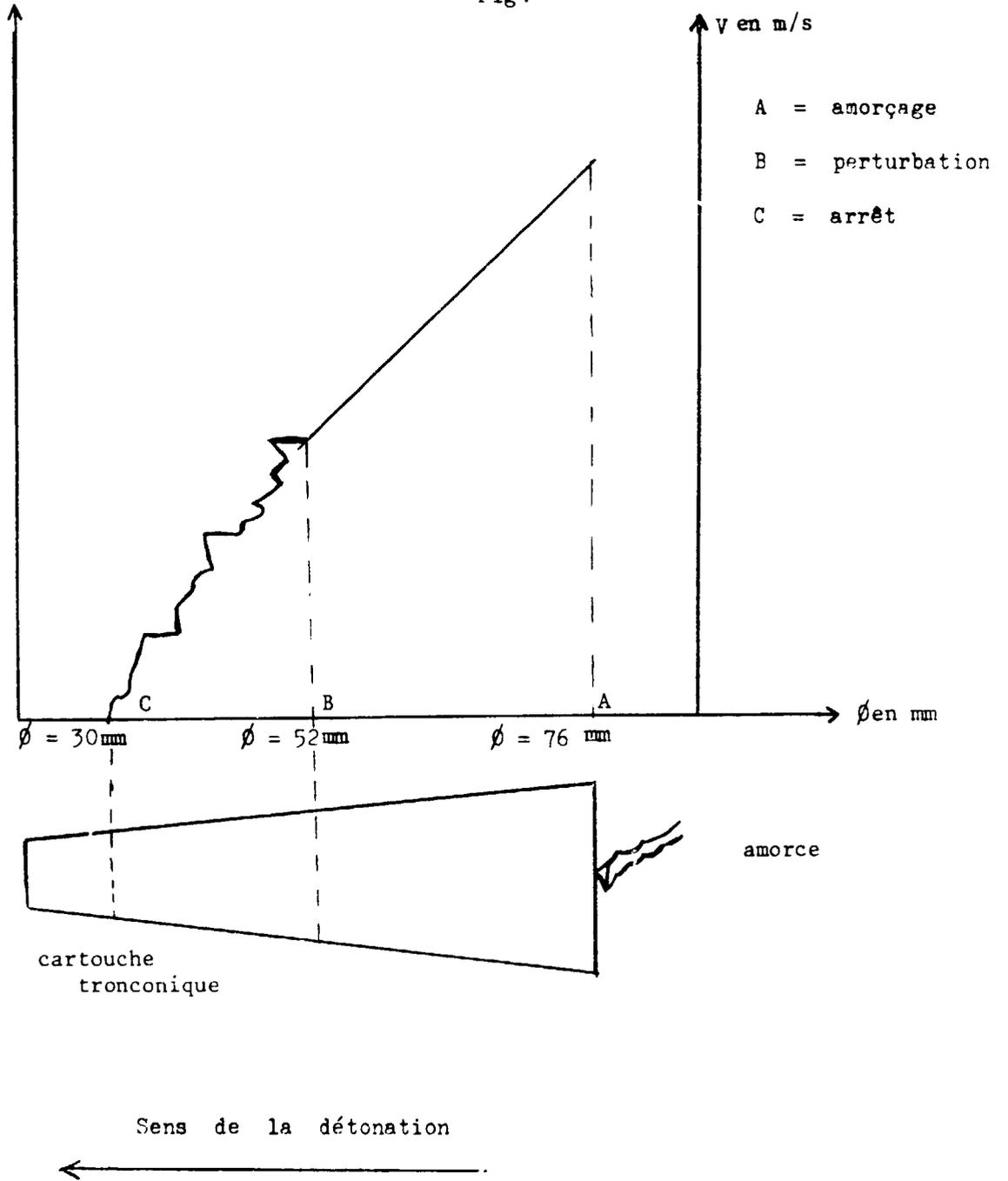
5 - 2/ Expérience permettant de déterminer le diamètre de la charge optimum

En se basant sur les travaux de Messieurs DUMAS et de JONES, nous avons pu déterminer le rapport $\frac{\text{vitesse de détonation non idéale}}{\text{vitesse de détonation idéale}} = \frac{D}{D_i}$ = rendement

en fonction de la longueur de la zone de réaction ℓ et du diamètre ϕ de la cartouche. On a utilisé des cartouches en nitroglycérine très fort ($\ell = 2\text{mm}$) et des cartouches nitratées courantes ($\ell = 5\text{mm}$) de différents diamètres.

Les résultats figurent dans le tableau suivant :

Fig. II



Nitrates ($\ell = 5 \text{ mm}$)		Rendement	Nitroglycérine ($\ell = 2 \text{ mm}$)	
ϕ en mm	ℓ / ϕ	$\frac{D}{D_i} \%$	ℓ / ϕ	ϕ en mm
50	0,1	99,5	0,1	20
25	0,2	95	0,2	10
16,7	0,3	86	0,3	6,7
12,7	0,4	74	0,4	5
10	0,5	62	0,5	4

Les enseignements dégagés de ce tableau sont les suivants :
 Le rendement ne dépend pas de la nature de l'explosif. Il dépend surtout du rapport ℓ / ϕ . En d'autres termes, la détonation peut tendre vers l'idéal si à chaque explosif correspond un diamètre de cartouches le plus grand possible. Dans la pratique le rendement optimum correspond à un diamètre dix fois supérieur à la longueur de la zone de réaction.

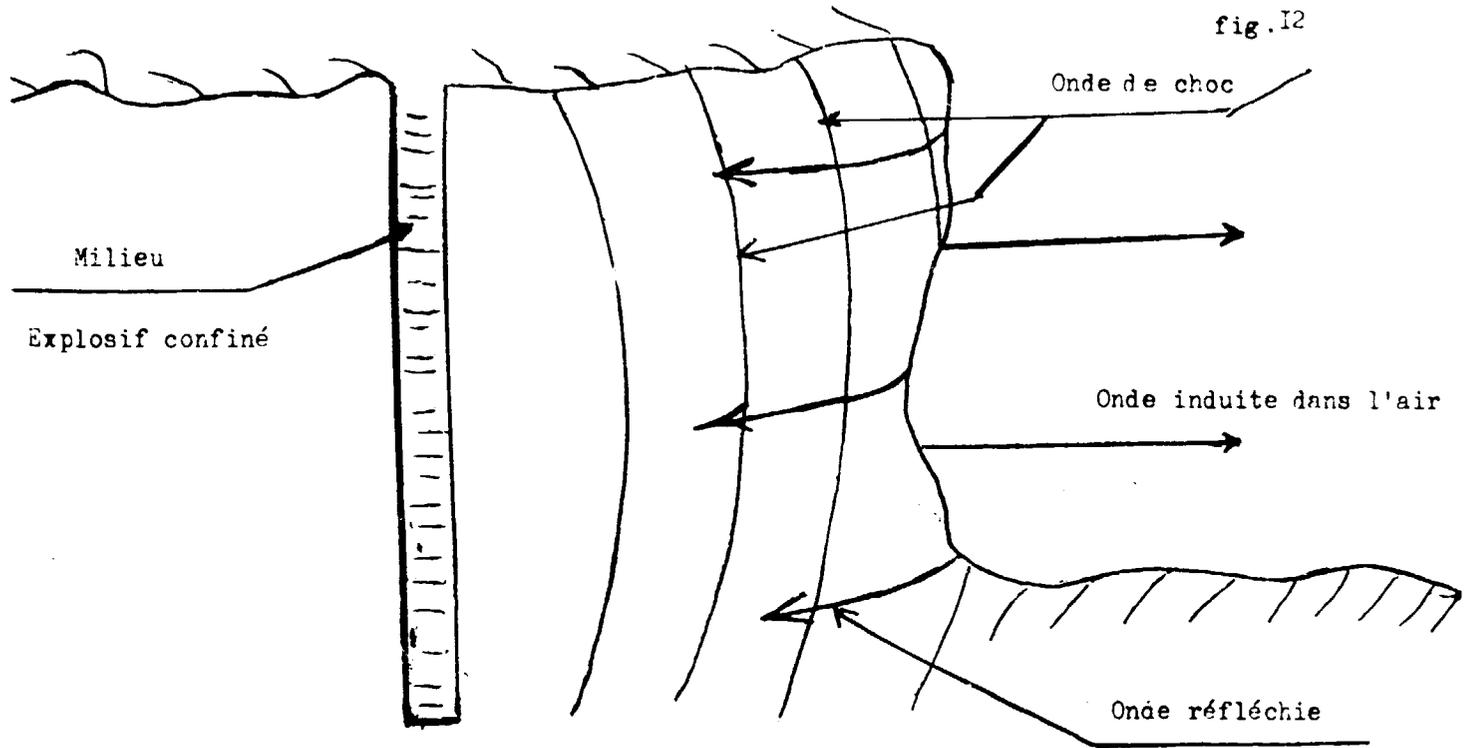
Dans le cas où les diamètres optimums ne se trouvent pas dans le commerce, ou bien le forage par des moyens puissants est impossible faute de matériel, une baisse de rendement de 15 à 20 % est tolérable.

Par conséquent, les carriéristes sont invités à travailler avec des cartouches dont le rapport ℓ / ϕ soit inférieur à 40 %.

Au delà, il y a risque d'arrêt total de la détonation et par conséquent des mines peuvent être ratées.

6 - EFFET DE CHOC DANS LES SOLIDES

Nous savons qu'au moment de l'explosion, une onde de choc naît avec une vitesse V appelée vitesse de propagation (fig I). A côté de ce milieu où a eu l'explosion, se trouve généralement le massif à abattre. Cette onde heurtant la surface libre se décompose en 3 ondes : l'une est absorbée, cette absorption d'énergie se transforme en une vibration dont la vitesse est appelée vitesse particulière. L'autre est transmise au milieu environnant. Elle sera probablement dissipée en énergie calorifique ou sonore, la 3ème est réfléchiée et occasionnera des dégâts que nous verrons dans le phénomène de HOPKINSON.



6 - I/ Effet HOPKINSON

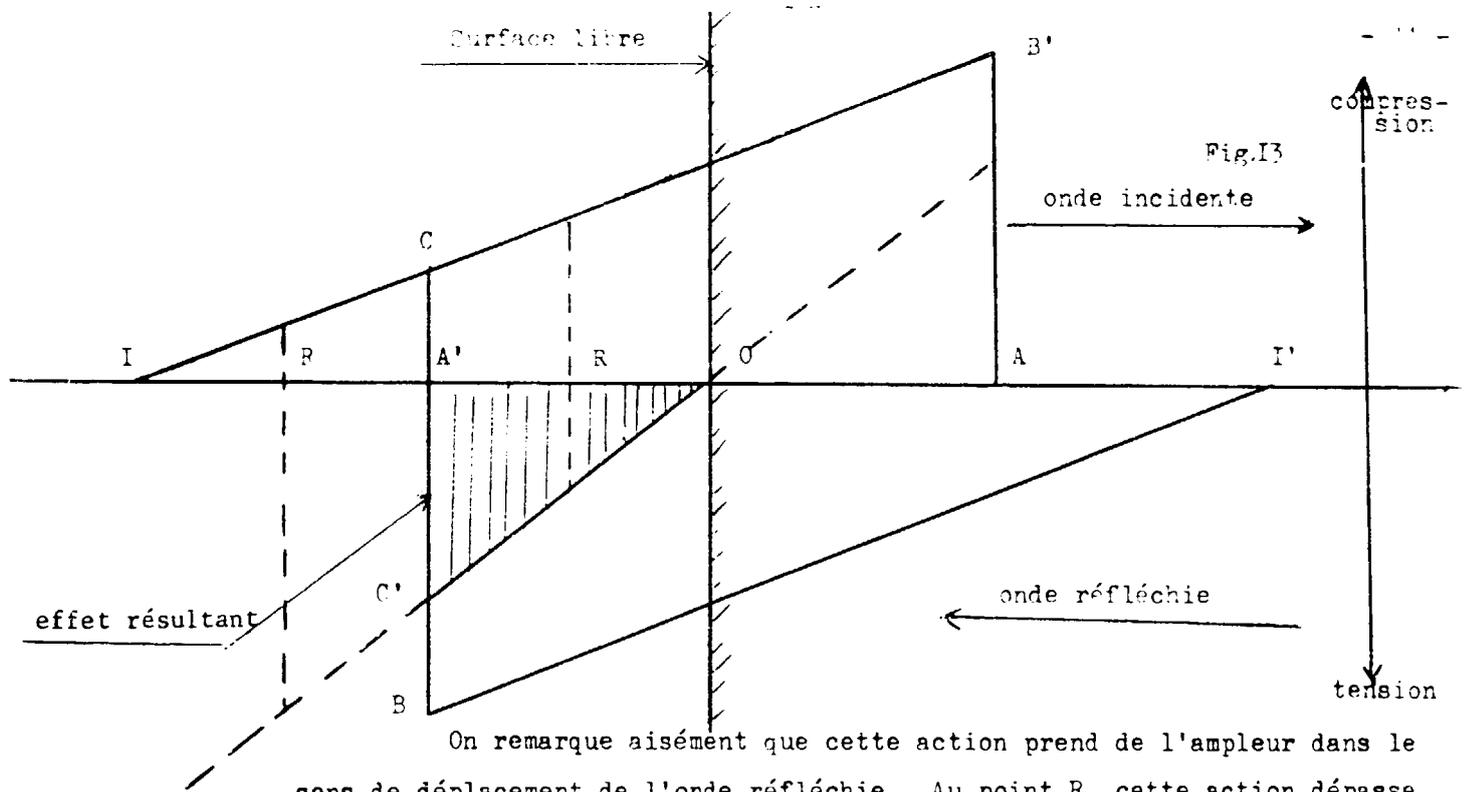
HOPKINSON a constaté que l'onde se propage rapidement dans le massif, aboutit à la surface libre (front de taille pour une carrière) où elle subit une perte légère sous forme d'ondes sonores et une réflexion très importante.

Cette onde réfléchie va elle même devenir incidente sur les parois du trou.

Ce va et vient de cette onde tantôt incidente tantôt réfléchie va rapidement mettre sous pression les parties du massif, avoisinant les surfaces libres. Si l'on néglige, l'onde sonore, on peut en première approximation supposer que :

$$\text{L'onde incidente} = \text{L'onde réfléchie}$$

Une construction géométrique simple permet d'expliquer facilement l'action de ces ondes (fig I3).



On remarque aisément que cette action prend de l'ampleur dans le sens de déplacement de l'onde réfléchi . Au point R, cette action dépasse la résistance à la rupture du matériau, c'est la première zone de fracture dûe essentiellement à l'action de l'onde réfléchi.

La distance OR est caractéristique de l'explosif utilisé et du massif à abattre.

Cette rupture est généralement accompagné d'un écaillage franc de la partie avant du front suivi d'une projection d'une véritable plaque appelée "assiette".

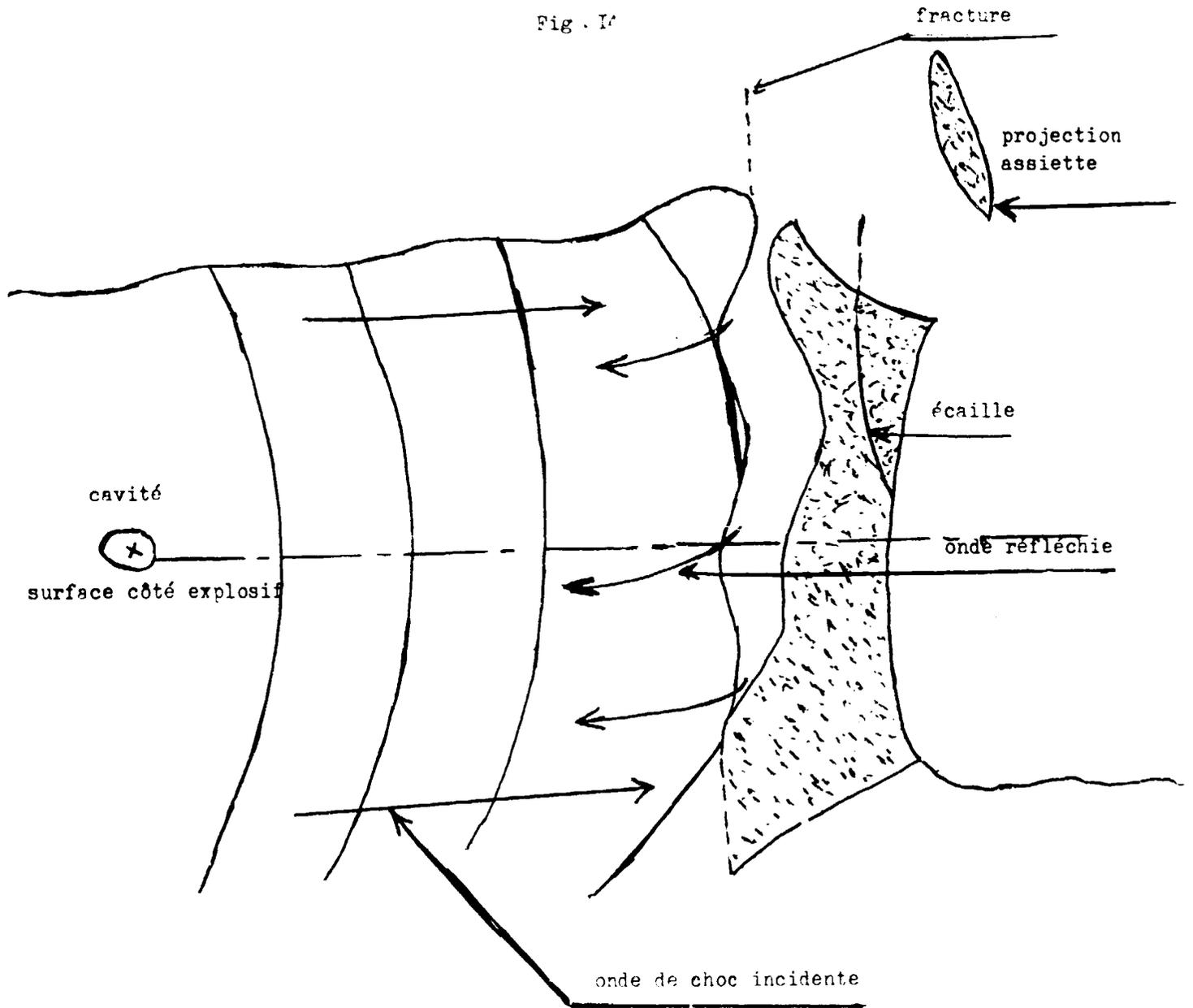
Cette première onde réfléchi devient incidente lorsqu'elle aboutit au trou de minage. Elle sera alors réfléchi de nouveau jusqu'à la nouvelle surface libre qu'est au niveau de R.

Ce processus continue dans le temps avec formation d'un autre point de rupture R', telque RR' supérieur à OR écaillage dans la zone initiale de rupture et projection d'une nouvelle assiette.

- C'est l'effet HOPKINSON -

L'inégalité RR' supérieure à OR a été clairement observée dans les fractures de la barre de HINO réalisée au laboratoire (fig I').

Fig. 10



EFFET HOPKINSON

7 - C O N C L U S I O N

On peut conclure ce chapitre en mettant en évidence quelques idées directrices relatives à l'exploitation ou le choix rationnel des produits explosifs et notamment :

- 7 - 1/ L'explosif est un réservoir d'énergie susceptible en se décomposant de libérer en un temps extrêmement court un volume très important de gaz.
- 7 - 2/ C'est la vitesse de l'onde de choc qui caractérise la puissance d'un explosif, et non pas la vitesse de détonation qui traduit seulement la vitesse de la réaction chimique.
La vitesse de l'onde de choc évaluée en m/s , et qui correspond à la vitesse du son dans le milieu de propagation, dépend essentiellement de la nature géologique de ce milieu et bien entendu de l'explosif. Le choix de l'explosif à utiliser dans une carrière, en fonction de la nature de la roche, est un critère fondamental dans l'obtention d'un rendement et d'un travail de fragmentation optimum.
- 7 - 3/ Pour avoir une détonation idéale, il faudrait réunir des conditions très difficiles à obtenir dans la pratique. Toutefois le carriériste peut s'en rapprocher par exemple en forant à un diamètre élevé (76 et même 104 mm) et en amorçant au fond de trou. Ces actions permettent une économie d'énergie appréciable.
- 7 - 4/ Toutefois, les carriéristes équipés de petits concasseurs forent avec des marteaux pneumatiques manuels dont le diamètre de fleuret ne dépasse guère, les 40 mm.
On assiste alors à une augmentation de la consommation spécifique de l'explosif du fait de la réduction du diamètre du trou. Ce qui prouve bien l'existence d'un diamètre critique énoncé précédemment.
- 7 - 5/ Une onde sonore est induite dans le milieu environnant (air), au niveau de la surface libre du front de taille.
Le niveau de surpression de l'air atteint est inversement proportionnel à la qualité du confinement de l'explosif et par conséquent du rendement et de l'énergie de l'onde réfléchie décrite dans les expériences de HOPKINSON et HINO.

7 - 6/ En définitive, la réaction chimique explosive libère beaucoup d'énergie au contact du milieu connexe. Cette énergie disponible se transforme en travail de fragmentation de la roche, en chaleur et en vibration. Une parfaite connaissance de la géologie du terrain et des techniques de tir permet d'utiliser la majeure partie de cette énergie en travail d'abattage et de minimiser par conséquent les transformations en énergie calorifique et sismique. Cette dernière nuit beaucoup à l'environnement. Cette constatation sera amplement détaillée au Chapitre -VI-

C H A P I T R E - V I -

IMPACT DES TIRS DE MINES SUR LES
CONSTRUCTIONS ET LA POPULATION

L'emploi des explosifs occasionne des nuisances parfois graves dont les principales sont :

- * les projections de roche
- * le bruit
- * les vibrations du sol
- * les fumées de tir et les poussières
- * les excavations même

Pour évaluer grossièrement l'importance de leurs effets on peut dire que :

Les nuisances dues aux projections, poussières et excavations d'une part et celles dues aux bruits des tirs de mine, des usines de concassage et des véhicules de transport d'autre part, sont respectivement dans les rapports 100 et 10 si l'on prend comme base 1 les nuisances dues aux vibrations du sol.

Ces rapports traduisent le souci de supprimer d'emblée des idées erronées, colportées depuis des siècles et qui consistent à confondre, bruits, ébranlements et vibrations alors que si leurs causes peuvent être les mêmes, leurs effets sont différents.

Le bruit est un phénomène acoustique lié de façon plus ou moins uniforme au milieu air, alors que la vibration et l'ébranlement sont des phénomènes liés au milieu solide.

La présente étude exclut les dangers auxquels est exposé le personnel manipulant, les explosifs en cas de départ intempestif de l'amorce.

1 - P R O J E C T I O N

Il s'agit des éclats de roches qui sont projetés par la détente violente des gaz de tir juste après l'explosion. Ce phénomène a été bien explicité dans le chapitre précédent : effet HOPKINSON. On a pu mesurer des vitesses initiales de blocs supérieures à 50 m/s. Ces blocs, peuvent être projetés à des distances de plusieurs centaines de mètres et occasionner alors des blessures aux personnes et des dégâts aux constructions et aux véhicules. Les projections se font le plus souvent dans la direction de travail donc en face du front de dégagement.

2 - B R U I T (onde sonore dans l'air)

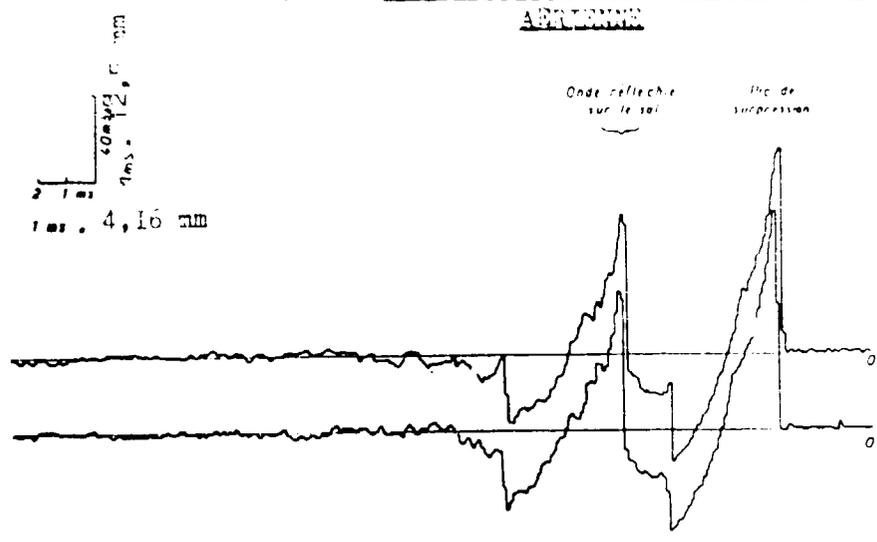
Il s'agit de vibrations acoustiques transmises par l'air et provenant des gaz de l'explosion. Ces gaz se dissipent à travers les fissures du massif rocheux et du cordeau maître, comme explicité dans le paragraphe du chapitre -V-, relatif à la microfissuration.

Quant une charge d'explosif détone, une onde de choc à front raide se forme à l'air libre et se propage avec une vitesse supersonique (V est supérieure à 1 mach) jusqu'à une distance de l'ordre de 20 à 30 fois environ le ϕ de la mine.

Au delà de cette distance, l'onde aérienne se propage à la vitesse du son dans l'air, soit environ 330 m/s et crée un milieu en surpression. Près de la mine, les vibrations de cette onde sont comprises dans une large bande de fréquences (jusqu'à 100 Hz) ; quelques mètres plus loin, seules les fréquences les plus basses (quelques Hz) se propagent.

Ainsi, il apparaît que le bruit plus ou moins violent entendu par la population environnante est en réalité, une onde de surpression aérienne caractérisée par une crête très brève suivie d'un pic représentatif de la réflexion de l'onde sur le sol et d'une série d'oscillation comme il est démontré dans la figure 15 extraite des annales des mines Mars- Avril 1981.

Fig. 16 - ENREGISTREMENT DE LA SURPRESSION AERIENNE



L'intensité de cette onde aérienne s'amortit selon une loi fonction de la distance et de la racine cubique de la charge d'explosif utilisée (fig I6).

Elle peut se mesurer en décibels, mais le plus souvent en pascals, puisqu'il s'agit d'un phénomène de surpression.

Le rapport $\frac{\text{distance}}{\sqrt[3]{\text{charge}}}$ est appelé distance pondérée.

La figure I6 donne la valeur maximum de la surpression incidente mesurée dans un certain nombre de cas pratiques en fonction de la distance pondérée. Les résultats proviennent essentiellement d'essais au CERCHAR (Centre d'Etudes et de Recherches des Charbonnages de France) et le bureau des Mines Américain.

Les résultats obtenus pour les tirs non confinés, sont assez concordants, les légères différences proviennent de la nature des explosifs utilisés.

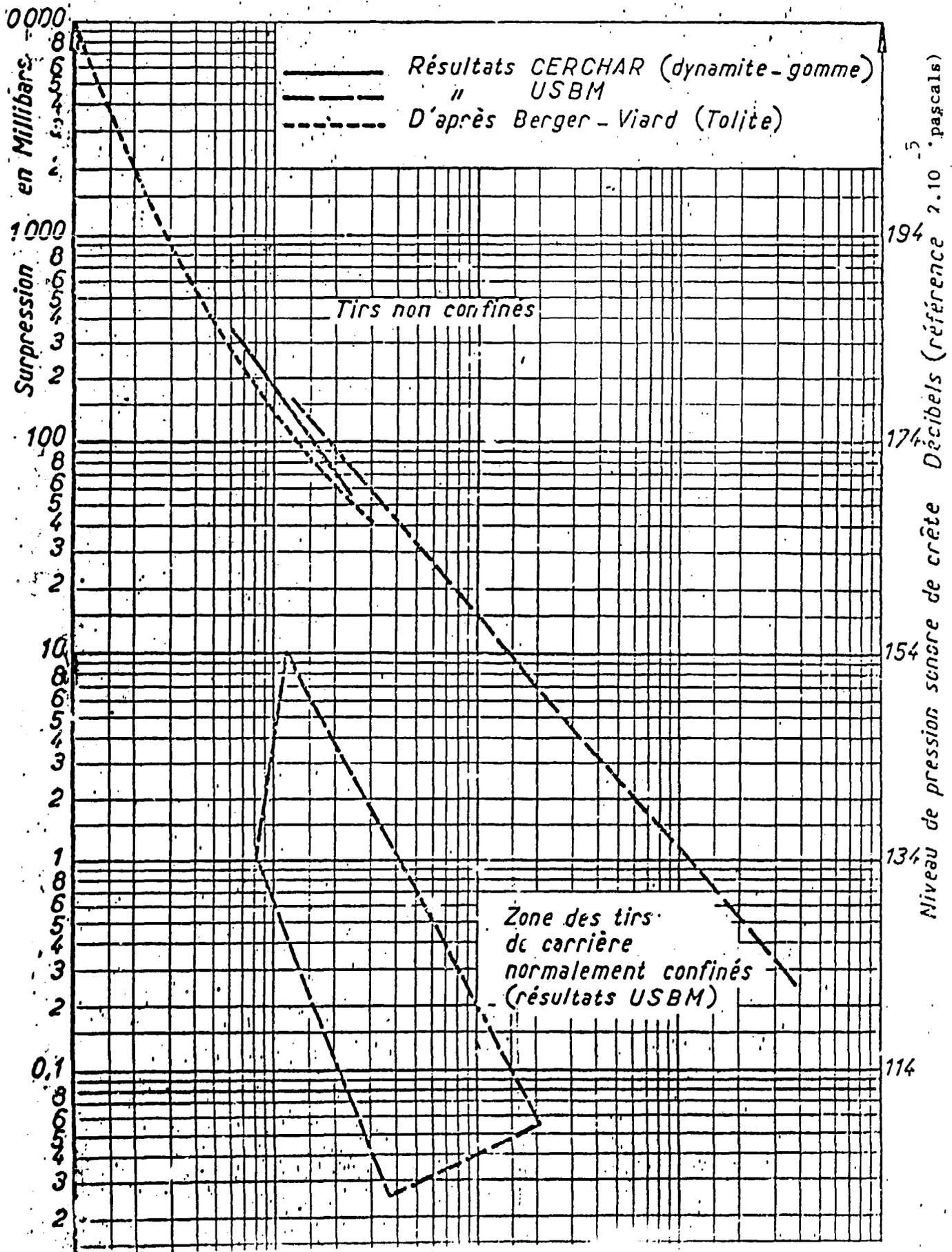
Pour les tirs confinés, on trouve une zone de points; le confinement de la charge d'explosif joue un grand rôle, dans la réduction de la surpression pour les tirs d'abattage. Cette réduction provient essentiellement de la qualité de bourrage et du type d'amorçage. On constate qu'entre un tir confiné et un autre non confiné, la réduction du niveau sonore peut aller jusqu'à 100 fois.

N . B : le passage entre la surpression de crête en mb et le niveau de surpression de crête (en dB) est indiqué par la formule suivante :

$$L = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

Fig. 16 VALEUR DE LA SURPRESSION PRODUITE PAR UN TIR D'EXPLOSIF
 EN FONCTION DE LA DISTANCE PONDEREE

mètres / $\sqrt[3]{Q}$



En ce qui concerne le bris des vitres par la surpression aérienne, ce phénomène dépend de l'épaisseur et de la qualité du verre utilisé, de la surface de la vitre et de son orientation par rapport au lieu de l'explosion. On sait bien que lorsqu'une fenêtre est ouverte, la pression s'équilibre plus rapidement de part et d'autre de la vitre, empêchant ainsi sa rupture ; ceci montre qu'il est difficile de donner une limite précise pour le seuil de rupture des vitres.

On constate dans la pratique que le bruit devient gênant pour le voisinage avant que le danger du bris de vitre n'apparaisse. Les tirs de carrières correctement exécutés ne produisent les bris de vitres qu'exceptionnellement.

Signalons en outre qu'il y a actuellement très peu de pays qui respectent une réglementation ou une norme concernant les niveaux admissibles pour cette onde sonore.

La mesure de cette onde aérienne se fait soit avec des capteurs de surpression dynamique, soit avec des sonomètres.

3 - VIBRATION DU SOL ET EFFETS SISMQUES LIES A L'EMPLOI DES EXPLOSIFS

3 - 1/ Généralités

Lors de la mise à feu d'un explosif dans un trou de mine l'augmentation brutale de pression sur les parois provoque un choc qui fissure la roche autour du trou. C'est la phase brisante de l'explosif. Ce microseisme engendre toute une série d'ondes qui se propagent dans le sol en s'atténuant peu à peu.

3 - 2/ Notion de mécanique vibratoire

Pour étudier les problèmes liés aux vibrations induites dans le sol, il est judicieux de jeter un coup d'oeil rapide en arrière sur les fondements physiques du mouvement des ondes, avant d'en décrire les particularités.

On peut idéaliser l'oscillation du sol comme un mouvement harmonique représenté par l'équation (I) fig I7.

$$d = d_0 \sin wt \quad (1)$$

où d = amplitude en un point au temps t

d₀ = amplitude maximum

w = 2πf, la fréquence angulaire

wt = la pulsation

T = $\frac{1}{f}$ = période

f = $\frac{1}{T}$ = fréquence

Ceci donne la forme de base d'un mouvement sinusoidal.

* la dérivée première de l'amplitude d'après le temps est appelée vitesse particulière.

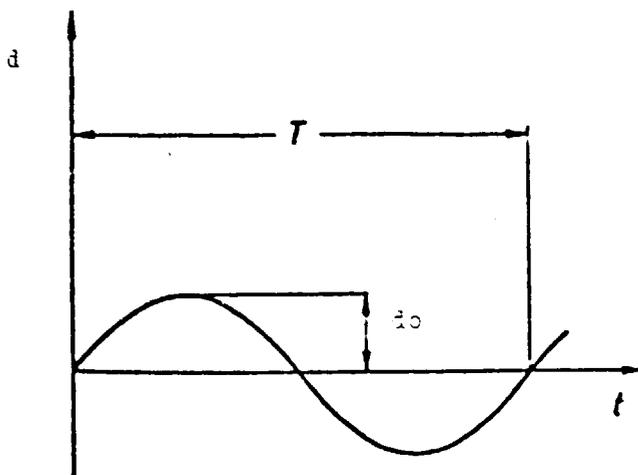
$$V_p = \frac{d}{dt} = w d_0 \cos wt = V_0 \cos wt$$

Attention : ne pas confondre cette vitesse avec la vitesse de propagation qui est la vitesse de l'onde de choc telle que vue au chapitre -V-.

* la dérivée seconde de l'amplitude est appelée accélération de l'oscillation.

$$\gamma = \frac{d^2(d)}{dt^2} = \frac{d^2(v_p)}{dt} = -w^2 d_0 \sin wt = -\gamma_0 \sin wt$$

Fig. 17 - VIBRATION HARMONIQUE



où v = vitesse au temps t

v_0 = vitesse maximum

γ = l'accélération au temps t

γ_0 = l'accélération maximum

Les valeurs maximales se donnent par :

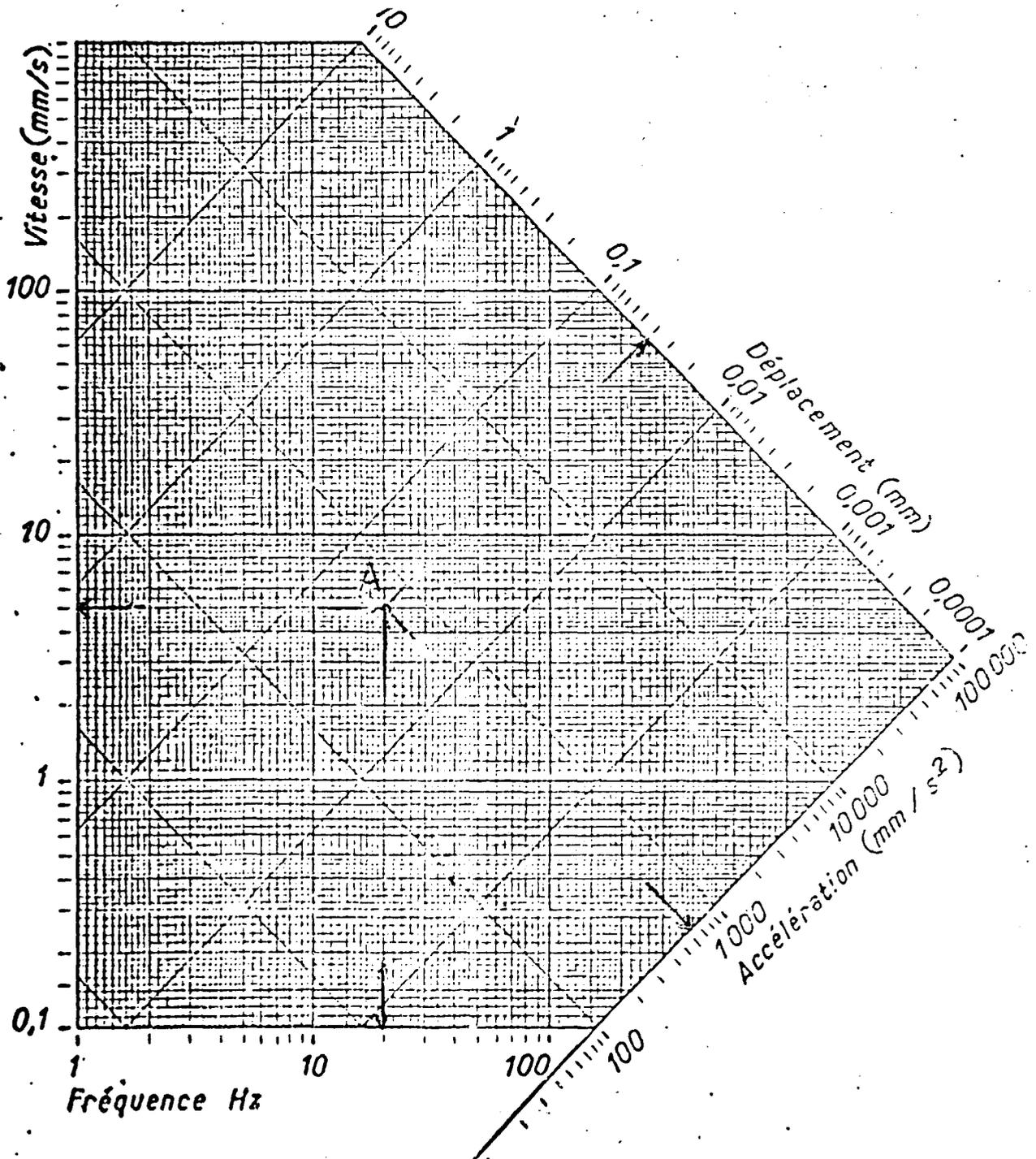
$$d_{\max} = d_0$$

$$v_{p \max} = 2 \pi f d_0 = \omega d_0 = v_0$$

$$\gamma_{\max} = 4 \pi^2 f^2 d_0 = 2 \pi f v_0 = \omega v_0 = \gamma_0$$

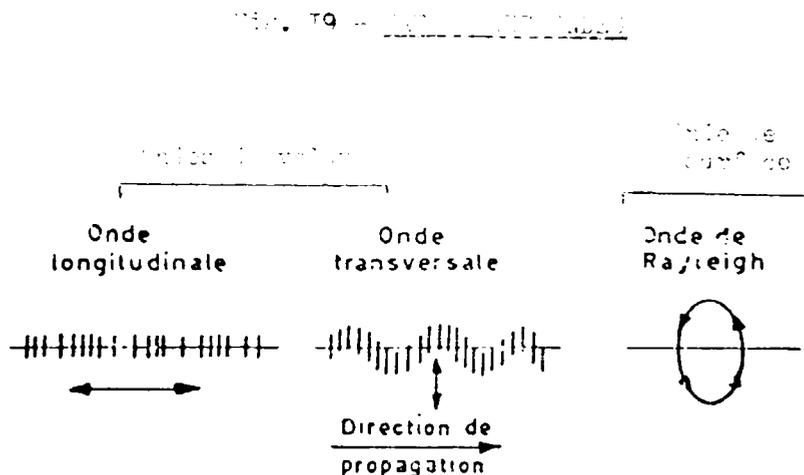
on voit que d et f c'est à dire l'amplitude et la fréquence constituent les grandeurs de base d'une oscillation et que toutes les autres s'en déduisent d'après l'abaque - Fig 18.

Fig. 18. ABAQUE RELIANT LA FREQUENCE ET LES VALEURS MAXIMA
DU DEPLACEMENT , DE LA VITESSE ET DE L'ACCELERATION
D'UN MOUVEMENT SINUSOÏDAL



3 - 3/ Ondes de propagation

On distingue 2 types d'ondes :



Les ondes de volume et les ondes de surface :

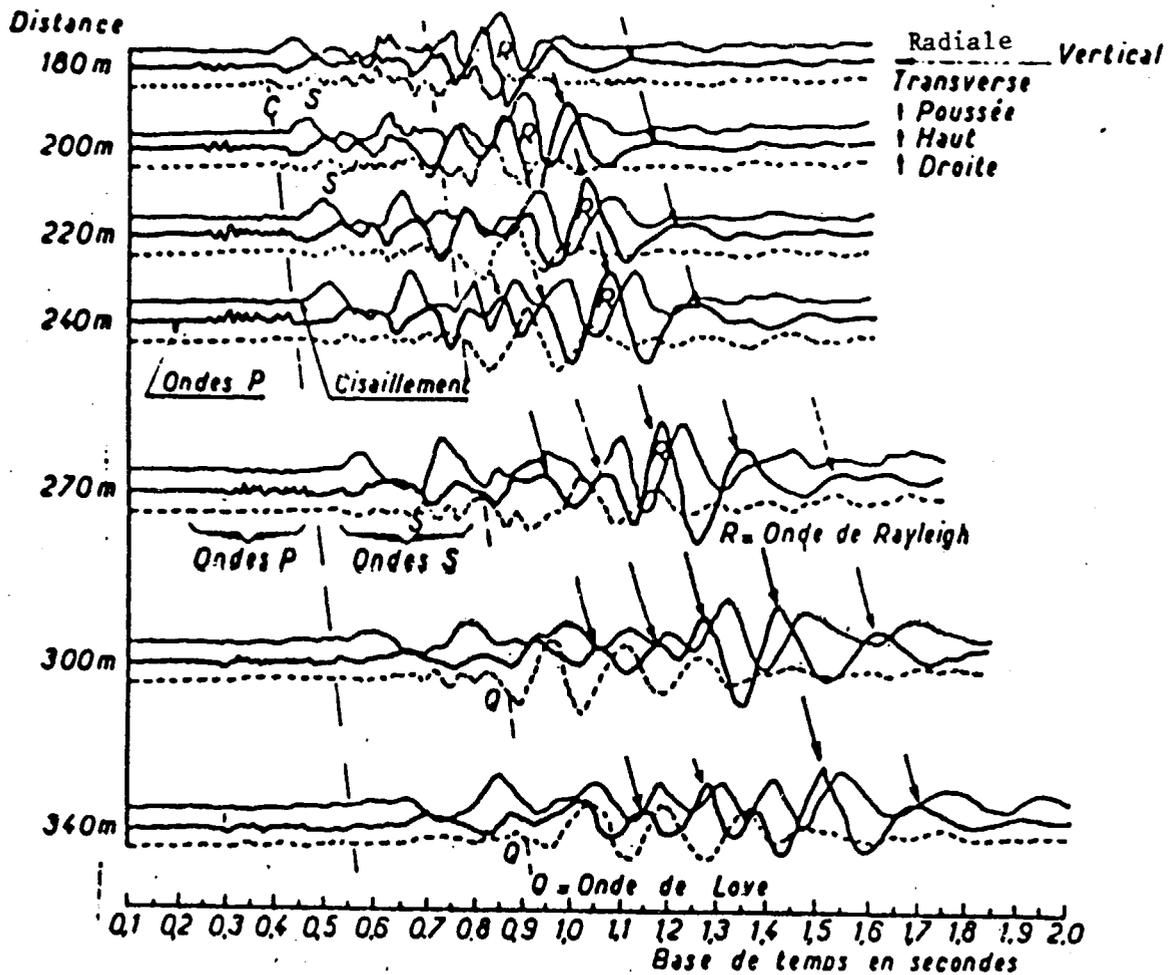
- les ondes de volume sont de 2 sortes :

- * Les ondes primaires dites également ondes longitudinales ou ondes de compression et dont les vitesses de propagation sont élevées.
- * Les ondes secondaires dites également des ondes transversales ou ondes de cisaillement qui arrivent après les ondes primaires et dont la vitesse de propagation est plus faible (60 %).

- les ondes de surface :

Elles se propagent plus loin que les ondes de volume, mais ont une vitesse de propagation plus faible (environ 90 % de celle des ondes secondaires) et une fréquence plus basse, elles sont difficiles à différencier. LON Leet en 1960 a pu enregistrer les deux types d'ondes de surface déjà étudiée par RAYLEIGH en ce qui concerne les ondes à mouvement elliptique rétrograde et par LOWE en ce qui concerne les ondes à mouvement superficiel à cisaillement (fig 20).

(DON-LEET 1960)



Ces ondes provoquent en un point du sol un ébranlement que l'on peut caractériser par son amplitude, sa vitesse et son accélération. La vitesse de transmission de ces ondes varie selon leur nature et l'élasticité du terrain (de 1500 à 5000 m/s pour les terrains usuels).

Cette vibration induite peut être schématisée par une sinusoïde amortie en fonction du temps. On peut la comparer à ce qui se passe après la chute d'un caillou, dans un bassin d'eau calme dans lequel est plongé un morceau de bois. Des rides circulaires se forment autour du point de chute et caractérisent l'évolution de l'onde sonore qui s'amortit rapidement. Par contre l'oscillation du corps flottant, figurant l'ébranlement du sol en un point, s'amortit moins vite.

Ce mouvement vibratoire appelé vibration particulière peut être enregistré en tout point suivant ses 3 composantes (fig 2I):

Verticale - radiale et transversale, cela est possible car les ondes de volume ont été déjà amorties (P et S dans la figure 20).

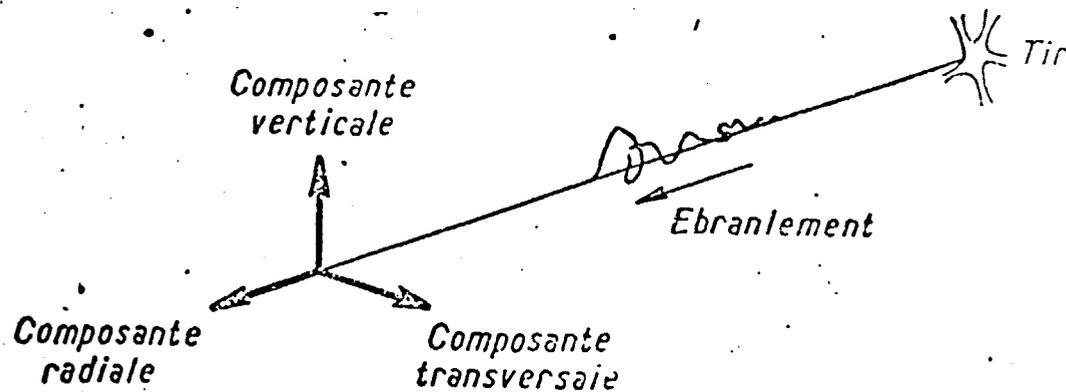


Fig. 2I - DECOMPOSITION DE LA VIBRATION PARTICULAIRE

3 - 4/ Critères de dommage

Toutes les études ont été axées ces dernières années sur le choix d'un critère de dommage simple et représentatif parmi les 4 paramètres étudiés dans l'ordre, à savoir l'amplitude, l'accélération, la vitesse et la fréquence de la vibration particulière.

3 - 4-1/ Critères en fonction de l'amplitude particulière : en 1951, SARTORIUS (France) estimait qu'une amplitude maximale de vibration de 200μ n'influe en aucune façon sur une construction en bon état. En 1957 TEICHMAN et WESTWATER proposaient de ne pas dépasser 125μ comme amplitude maximale de vibration. Cette limite était établie sur la base des travaux de SARTORIUS et en tenant compte des effets psychologiques de la population environnante.

3 - 4-2/ Critère en fonction de l'accélération particulière

L'association des paramètres amplitude maximale / fréquence a été utilisée, pendant plus de 20 ans aux Etats-Unis, comme critère valable pour l'estimation des effets des vibrations de tir sur les constructions. Le bureau des mines américain a observé, après une étude expérimentale (vibration mécanique en laboratoire) et pratique (tirs réels en carrière), que les limites sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \gamma < 0,1 \text{ g} &\longrightarrow \text{pas de dégats} \\ 0,1 \text{ g} < \gamma < 1 \text{ g} &\longrightarrow \text{précautions à prendre} \\ \gamma > 1 \text{ g} &\longrightarrow \text{danger} \end{aligned}$$

où g représente l'accélération de la pesanteur et γ celle de la vibration comme définie au paragraphe 3-2.

THOMAS et WINDES estimaient que l'on se trouvait dans la zone de sécurité pour autant que l'on ait f^2 do $\leq 25,4 \text{ mm/s}^2$, f^2 do étant l'élément variable de la formule donnant l'accélération du mouvement $\gamma = 4\pi^2 f^2$ do (voir paragraphe 3-2).

Cette valeur limite correspondait à une accélération particulière sensiblement égale à $\frac{1}{10}$ de g .

3 - 4-3/ Critères en fonction de la vitesse particulière

a - critère du bureau des mines américain : Depuis 1963, le bureau des mines américain, après une étude, par la méthode statistique de toutes les données obtenues expérimentalement au cours des tirs en carrière, estime que le paramètre de la vitesse particulière peut être considéré comme étant le plus représentatif des dommages dus aux vibrations de tir.

- seuil limite recommandé $V_1 = 50 \text{ mm/s}$
- dégats minimes $V_2 = 135 \text{ mm/s}$
- dégats importants $V_3 = 150 \text{ mm/s}$

Ce dernier critère peut être comparé avec les critères similaires proposés par d'autres chercheurs LANGEFORS (1958) recommande une vitesse particulaire limite de 70 mm/s, EDWARDS et NORTHWOOD (1960) proposent une vitesse particulaire limite de 50 mm/s (voir fig 22).

b - Critères de CRANDELL

b - 1/ f d o : A ses débuts, CRANDELL, travaillant en relation avec une compagnie américaine d'assurance suggèrerait initialement la limite de sécurité fdo inférieure ou égale à 13,4 mm/s, le facteur fdo constituant l'élément variable de la formule de la vitesse particulaire ($V = 2 \pi f d o$). La limite proposée correspond donc à une vitesse particulaire limite de 84 mm/s.

b - 2/ ENERGY-ratio : plus tard, CRANDELL proposa des critères limites basés sur l'énergie cinétique développée par la vibration de tir. Il considèrerait que la vibration du sol était de nature simplement harmonique. En partant de la formule de l'énergie cinétique.

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} m (4 \pi^2 f^2 d o^2)$$

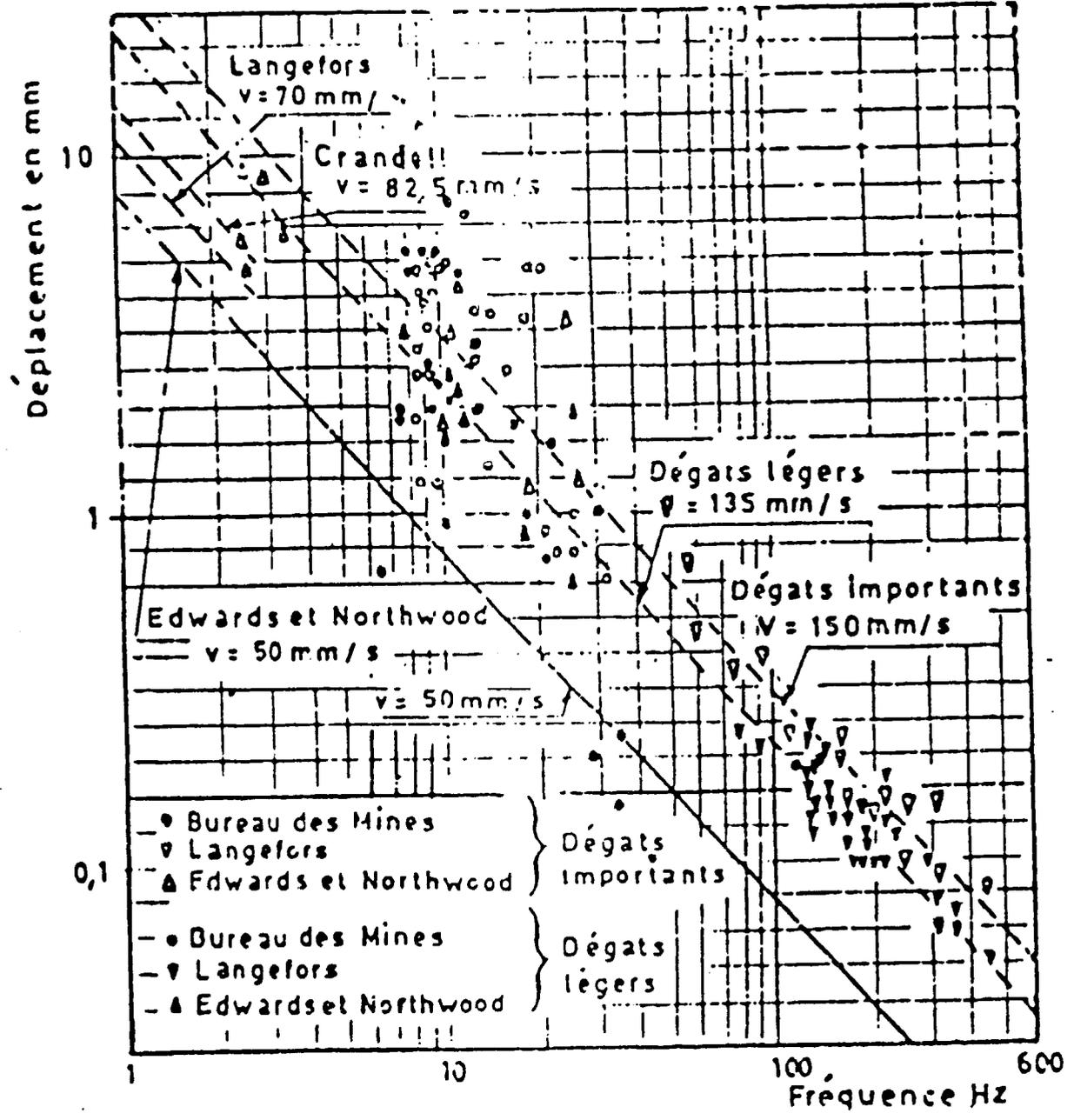
Il éliminait, de celle-ci, les facteurs constants, considèrerait en outre, que la masse mise en oeuvre par les vibrations des tirs pouvait être considérée comme constante, il proposait alors le facteur variable $\frac{\gamma^2}{f^2}$, qu'il appelle energy-ratio.

Les seuils limites sont les suivants :

limitation suivant	$\frac{\gamma^2}{f^2}$ en cm^2/s^2	vitesse particulaire correspondante
$\frac{\gamma^2}{f^2} \leq 2\ 700$	→ zone sûre	V 1 \leq 84 mm/s
$2\ 700 \leq \frac{\gamma^2}{f^2} \leq 5\ 400$	→ dégats minimes	V 2 \leq 119 mm/s
$\frac{\gamma^2}{f^2} > 5\ 400$	→ zone dangereuse	V 3 $>$ 119 mm/s

On observe une assez bonne concordance entre les critères de CRANDELL et ceux du bureau des mines, de LANGEFORS EDWARDS et NORTHWOOD.

Fig. 22 - CRITERES DE NUISANCES DES VIBRATIONS
ADOPTES PAR LE BUREAU DES MINES
U. LANGEFORS et AT. EDWARDS et T.D. NORTHWOOD.



Le souci majeur des chercheurs a été en définitive de proposer avant tout un critère simple de dommage. A l'heure actuelle la vitesse particulaire peut être retenue comme le critère le plus représentatif des effets de vibration de tir sur les constructions.

3 - 4-4/ Critères en fonction de la fréquence (phénomène de résonance)

On peut assimiler une habitation à un système oscillant avec une masse (m) et une fréquence propre f_0 .

Les caractéristiques élastiques de la roche jouent le rôle de ressort.

Pour étudier le phénomène de résonance de la structure, on considère une vibration caractérisée par son amplitude et sa fréquence et qui transmet une déformation à cette structure affectée d'une amplification dynamique (λ) telle que :

$$(d_0) \text{ structure} = \lambda \times (d_0') \text{ sol}$$

on démontre que :

$$\lambda = \frac{1}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$$

où d_0 = amplitude maximum de la vibration de la structure

d_0' = amplitude maximum de la vibration du sol

λ = facteur d'amplification dynamique

f = fréquence de la vibration

f_0 = fréquence propre de l'ouvrage.

Dans le cas des vibrations entretenues et pour l'égalité $f = f_0$, cette coïncidence des fréquences provoque à coup sûr la destruction totale de l'ouvrage c'est le phénomène de résonance.

Dans la pratique, la fréquence de résonance des ouvrages (f_0) est comprise entre 1 et 5 Hz, alors que f est toujours supérieur à 10 Hz.

λ est donc toujours négative.

3 - 5/ Prénorme DIN 4150

La prénorme DIN 4150 peut être considérée actuellement comme la seule directive technique à laquelle se réfèrent tous les intéressés.

3 - 5-I/ Limitation suivant la vitesse particulaire : cette norme utilise la vitesse résultante maximum obtenue par la formule.

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

(voir fig 23)

Elle cite des valeurs de référence de 4 à 30 mm/s en ce qui concerne l'action des vibrations sur les constructions, suivant le tableau ci-dessous :

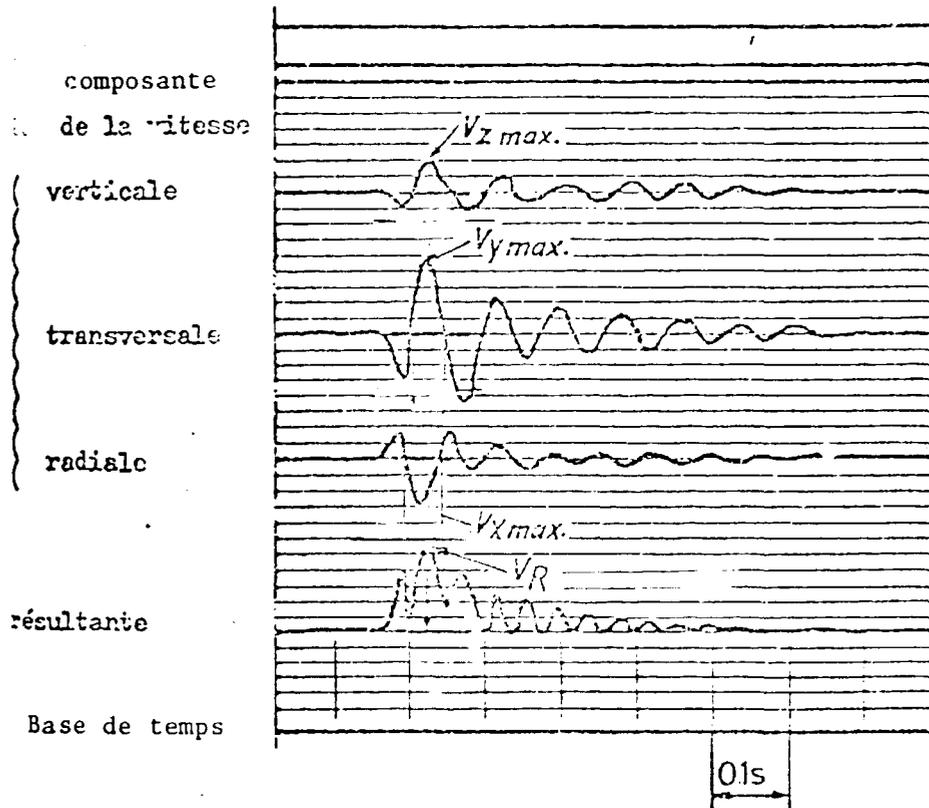
<u>Type de constructions</u>	<u>Valeur seuil</u>
- Constructions bien contreventées	30 mm/s
- Bâtiment d'habitation ou de commerce se trouvant dans un état d'entretien conforme aux règlements	8 mm/s
- Monuments peu solides et constructions en plus mauvais état que dans les groupes précités.	4 mm/s

Ces valeurs sont valables pour des tirs dont la cadence ne dépasse pas trois par jour et dans un intervalle de fréquence compris entre 15 et 60 Hz.

Remarques :

- pour une vitesse particulaire inférieure ou égale à 2 mm/s les dégâts aux constructions ne doivent pas être imputés à l'effet des tirs de mine.
- les valeurs seuils sont réduites de $\frac{1}{3}$ pour les tirs dont la cadence dépasse les 3 par jour.
- au delà de 60 Hz, ces limites de vitesse peuvent être majorées compte tenu des cas étudiés, toutefois la norme DIN ne précise pas les valeurs.

Fig. 23 - EXEMPLE D'ENREGISTREMENT DES VIBRATIONS



3 - 5-2/ Limitation suivant les effets psychologiques : l'être humain est sensible aux vibrations transmises par le sol quand leur fréquence est faible et quand il se trouve en position debout. La gêne due à ces vibrations est ressentie dès que leur accélération atteint une valeur de quelques fractions de g. Certains auteurs fixent le seuil du désagrement à une vitesse $V_p = 2,5$ mm/s, correspondant à une accélération voisine de 0,02 g, alors que l'organisme peut résister certainement à des valeurs largement supérieures. DIEK MENN propose une formule où il fait intervenir un facteur de nuisance N telque

$$N = V_p \frac{0,13 f}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

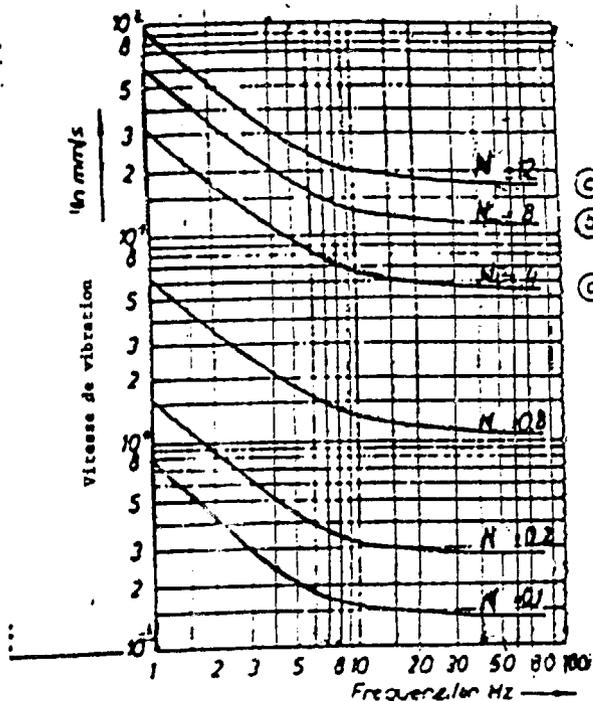
où V_p = vitesse particulaire

f = fréquence de la vibration

f_0 = fréquence de resonance de l'ouvrage

Pour les cas étudiés où $f_0 = 5,6$ Hz, la norme DIN 4150 reprend la formule de DIEK MENN et établit une répartition de la gêne par zone d'habitation, on trouve :

Fig. 24 - FACTEUR DE NUISANCE N



- a - Zone habitation 3 tirs/jour - $N < 4$
- b - Zone habitation, industrie 3 tirs/jour - $N < 8$
- c - Toutes zones, 2 tirs/semaine $N < 12$

La courbe $N = 0,1$ traduit le seuil de perception de la gêne. Afin d'éviter l'effet de surprise dû aux explosions et qui amplifie généralement les plaintes des niverains, il est vivement recommandé d'annoncer ces tirs et d'appliquer un horaire fixe.

3 - 5-3/ Insuffisances de la norme : Il faut remarquer que les valeurs citées par la norme DIN 4150 doivent être considérées comme des valeurs de référence. Cette notion de référence rappelle que l'appréciation est très difficile et qu'il est impossible de fixer des valeurs limites nettes ou précises. Cette incertitude quant à l'appréciation ne provient pas seulement des conditions initiales (géologie etc...) ou des techniques de mesures utilisées. Elle est due en bonne partie à la construction elle-même. Un bâtiment sollicité par des ébranlements présente en règle générale des tensions originelles qui sont conditionnées par la qualité de l'ouvrage, fondation, matériaux de construction, architecture, âge, etc...

Il suffit fréquemment d'une force de déclenchement relativement faible pour provoquer un dégât. Il est vain dans ces conditions de vouloir fixer des valeurs limites.

Une appréciation objective devient encore plus difficile lorsqu'il s'agit de la gêne ressentie par une personne humaine. Cette gêne telle que formulée par la norme DIN 4150 est tellement imprégnée de sensations subjectives qu'une appréciation objective devient très difficile sinon impossible.

3 - 6/ Mesures et évaluations des vibrations sismiques

Pour évaluer les ébranlements, il faut pouvoir les mesurer. BAULE a développé un procédé de mesure dans lequel la vitesse d'oscillation sert de critère d'évaluation ; techniquement parlant, la vitesse d'oscillation est relativement facile à mesurer elle présente la dimension mm/s ; les appareils utilisés pour la mesure se composent d'une chaîne comprenant :

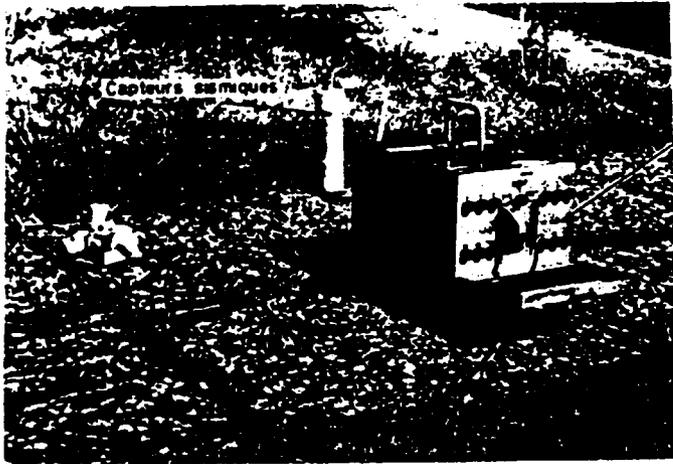
- * le capteur de vitesse (géophone) dont le schéma de principe est tracé à la fig 25.
- * l'amplificateur du signal émis par le capteur
- * le dispositif de lecture (enregistreur)

bâti

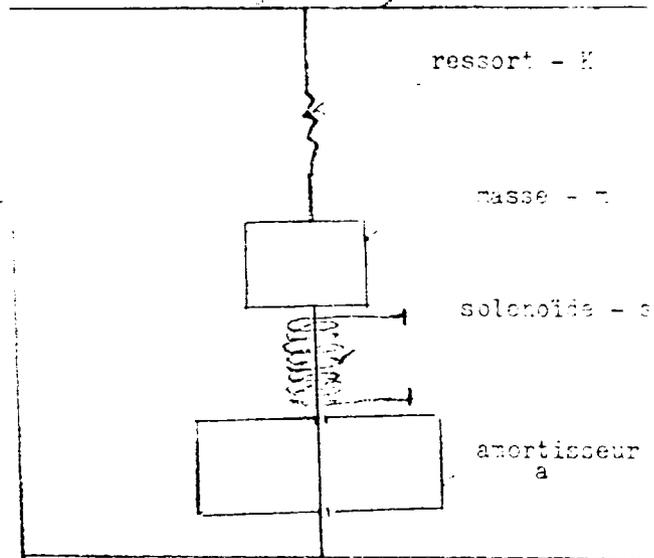
Fig.25 - SCHEMA DE PRINCIPE D'UN GEOPHONE (capteur sismique)

EQUIPEMENT DE MESURE

Fig. 26



Enregistreur avec ampli incorporé



La figure 26 montre la disposition de cet équipement sur le terrain. Il apparaît 2 types de capteurs sismiques : celui de droite enregistre la composante verticale alors qu'on constate l'orientation tridimensionnelle de celui de gauche qui enregistre la vitesse selon les axes x, y, z.

Ces capteurs de vitesses, préalablement scellés aux bâtiments produisent un courant dont la tension est fonction de la fréquence et de la vitesse particulière de la vibration reçue. Cette tension est amplifiée puis enregistrée. Connaissant la courbe de réponse en fréquence du géophone, le gain de l'amplificateur et le coefficient de l'enregistreur, on déduit à partir des enregistrements, la vitesse particulière pour les fréquences principales de la vibration reçue.

Pour retrouver la vitesse maximale, il s'agit de prendre chaque fois la mesure la plus grande d'une composante de la vitesse et d'appliquer la formule suivante :

$$V_{\text{max}} = \sqrt{V_{x \text{ max}}^2 + V_{y \text{ max}}^2 + V_{z \text{ max}}^2}$$

La vitesse ainsi obtenue est appelée résultante de remplacement ou résultante par excès, parce que dans un cas normal les 3 maxima utilisés n'apparaissent pas simultanément (voir fig 27 et tableau correspondant). La vitesse réelle est comprise entre la V_{Rex} et la vitesse composante maximale.

3 - 7/ Amortissement des vibrations

Si à un endroit quelconque, on observe des ébranlements c'est à dire si on les mesure, on enregistre toujours un mélange de types différents d'ondes (voir graphique de DONLEET 1960 fig 20).

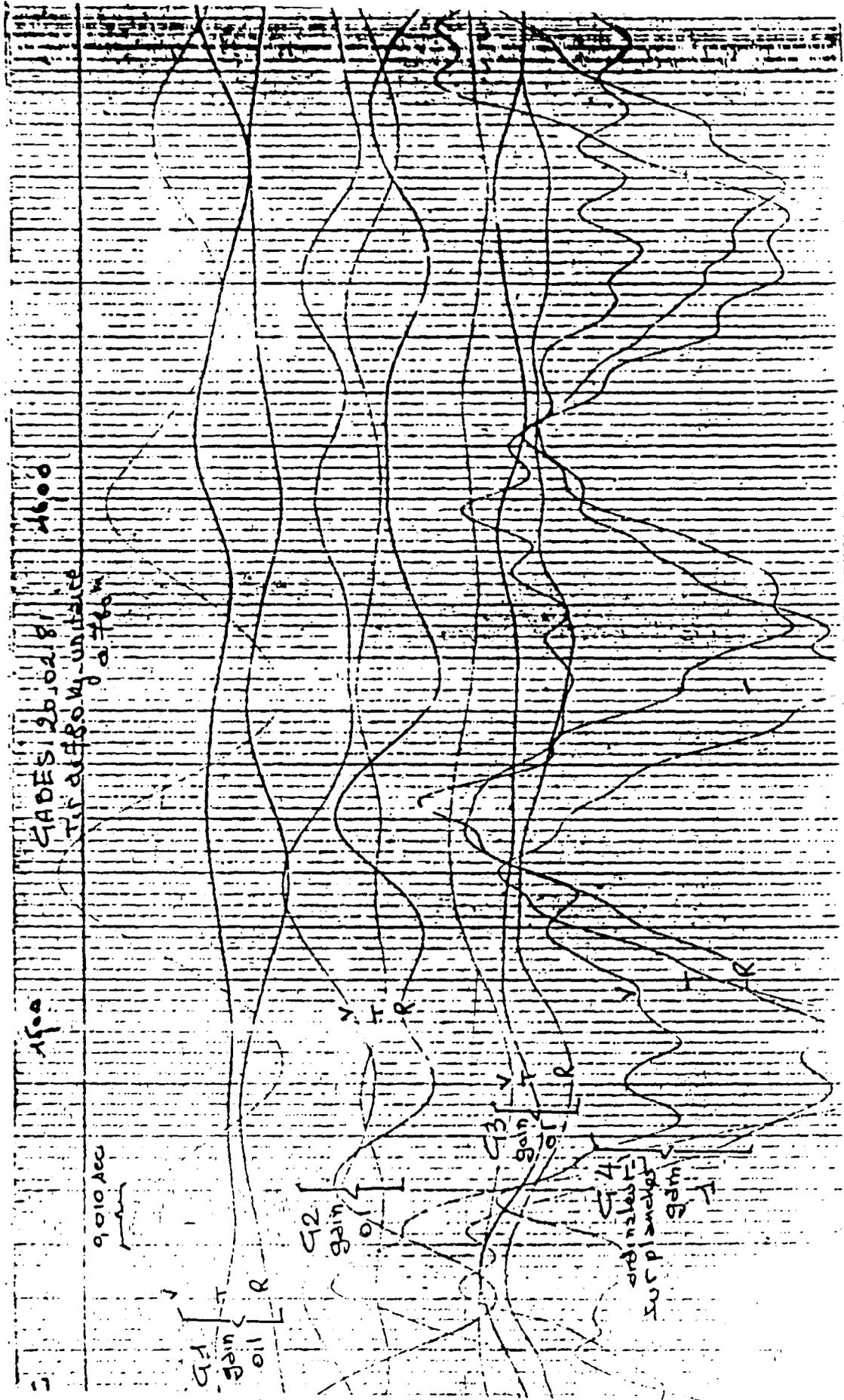
L'image que l'on obtient des oscillations dépend de plusieurs facteurs :

- la distance du point de tir
- la qualité de l'explosif
- la nature de l'explosif
- le délai d'amorçage
- le rendement du tir.

3 - 7-I/ Influence de la distance du point de tir : l'explosion d'une charge provoque, à la paroi d'un trou de mine, une augmentation des contraintes résultant de l'expansion des gaz, d'une intensité d'autant plus grande que la vitesse de détonation, caractéristique du type d'explosif et de sa densité, est élevée. Ces contraintes engendrent des ondes de choc qui se propagent en s'atténuant progressivement loin du point de tir, sous forme d'ondes de vibration.

Une sélection des fréquences s'observe en fonction de la distance : les ondes dont les fréquences sont les plus élevées sont amorties rapidement alors que celles présentant des fréquences basses sont enregistrées à des distances beaucoup plus éloignées. Les fréquences couramment enregistrées très près du tir sont de l'ordre de 500 à 800 Hz, mais dès que la distance atteint plusieurs centaines de mètres, cette fréquence se stabilise autour de 80 à 150 Hz pour les bons terrains et 15 à 30 Hz pour les mauvais terrains.

Fig. 27



T A B L E A U

METHODE DE LA DETERMINATION DE LA VITESSE PARTICULAIRE V_p

TIR REEL-CALCAIRES MARNEUX

Site : Dj Sidi Selch - GABES

Date : 20 Février 1981

Charge : unitaire (100 kg)
totale (1000 kg)

Capteur	G 1			G 2			T 1			G 4		
	x 0,1			x 0,1			x 0,1			x 1		
Gain	770 m											
	V	T	R	V	T	R	V	T	R	V	T	R
Fréquence hertz	14	12	12	14	20	20	14	15	11	13	15	17
Déviaton en mm	24	6,5	6,5	18	6,5	30,9	5	6,5	6	5,5	5,7	3
Coeff. d'atténuation	0,063	-	-	-	-	-	-	-	-	0,063	-	-
V_p en mm/s	1,5	0,34	0,34	1,13	0,41	1,92	0,31	0,31	0,40	0,31	0,36	0,39

Phase évaluable par excès en rad/s : 2,48

2,26

0,71

0,55

Durée de vibration : 3,5 s

$$1,5 < V_p \text{ réelle} < 2,38 \\ \text{en mm/s}$$

$$1,92 < V_p < 2,26$$

$$0,5 < V_p < 0,71$$

$$0,36 < V_p < 0,55$$

Observations : entrée en phase des 3 composantes G1 pendant l'amortissement

3 - 7-2/ Influence de la charge : L'amortissement des vibrations suit une loi semblable à l'amortissement des ondes aériennes en fonction de la distance réduite. Celle-ci est le quotient de la distance réelle par la racine carrée de la charge.

Cette loi est la suivante :

$$V_p = f (D_r)^\alpha$$

où V_p = vitesse particulière de la vibration

$$D_r = \text{distance réduite} = \frac{D}{\sqrt{Q}}$$

α = coefficient qui dépend de la nature du terrain

Q = charge d'explosif

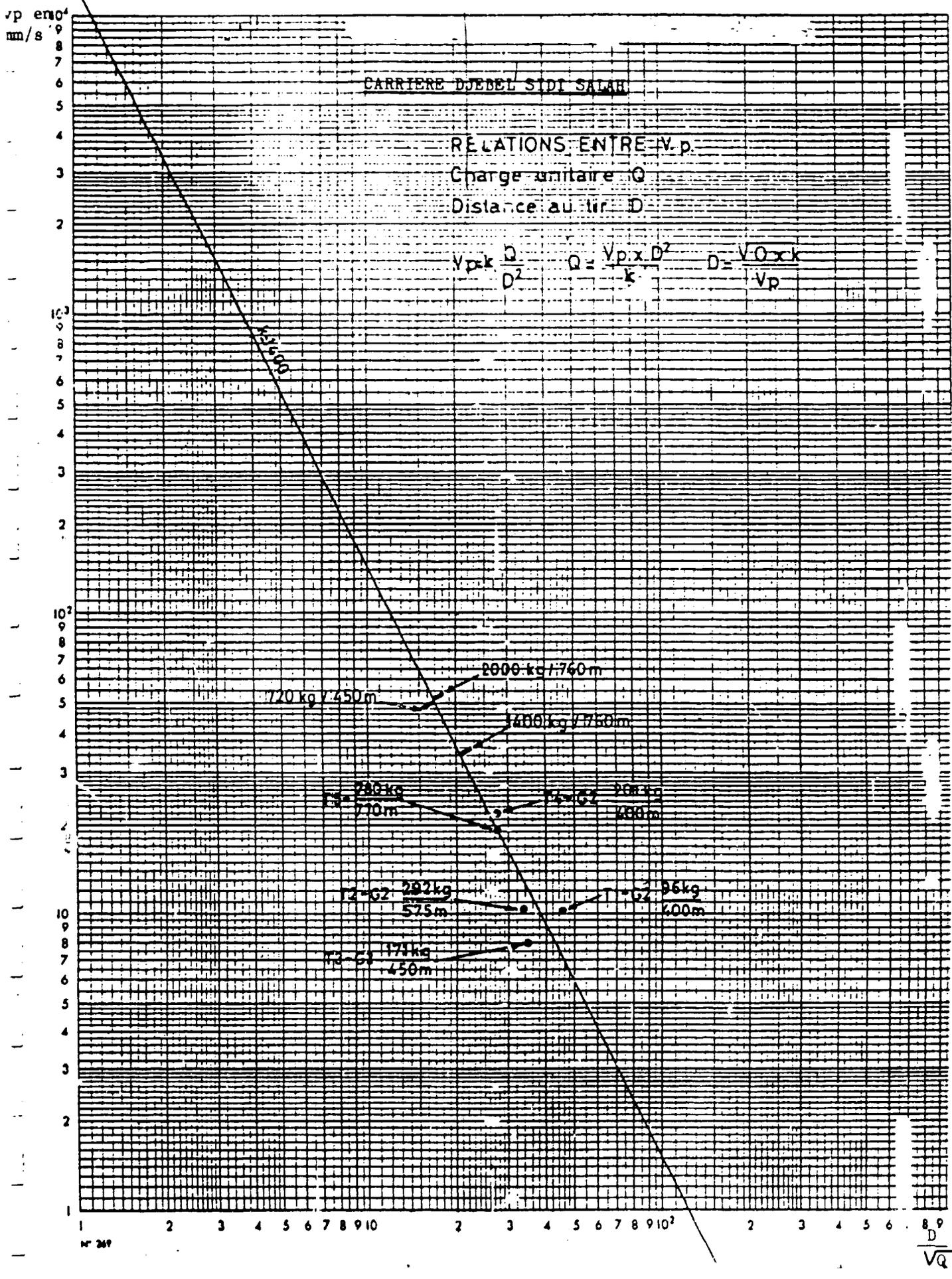
La figure 28 montre que pour le massif de Sidi Salah en Tunisie, cette formule devient $V_p = K. D_r^{-1/2}$ en coordonnées logarithmiques.

3 - 7-3/ Influence de la nature de la roche : Conformément aux fortes variations que présente la vitesse de propagation dans les différentes matières, comme le montre le tableau ci-après :

T A B L E A U
VITESSE DE PROPAGATION DU SON
DANS DIFFERENTS MILIEUX

<u>Vitesse en m/s</u>	<u>Matières</u>
54	Caoutchouc
330	A i r
1000/1500	Sable/Gravier
2000/3000	Calcaire tendre-Schiste
3500	Brique
4500/6000	Calcaire dur, Grés
5000	A c i e r

On a également un amortissement très différent des oscillations dans le sol; on peut retenir, en première approximation, que l'amortissement des ébranlements de tir est inversement proportionnel à la vitesse de propagation.

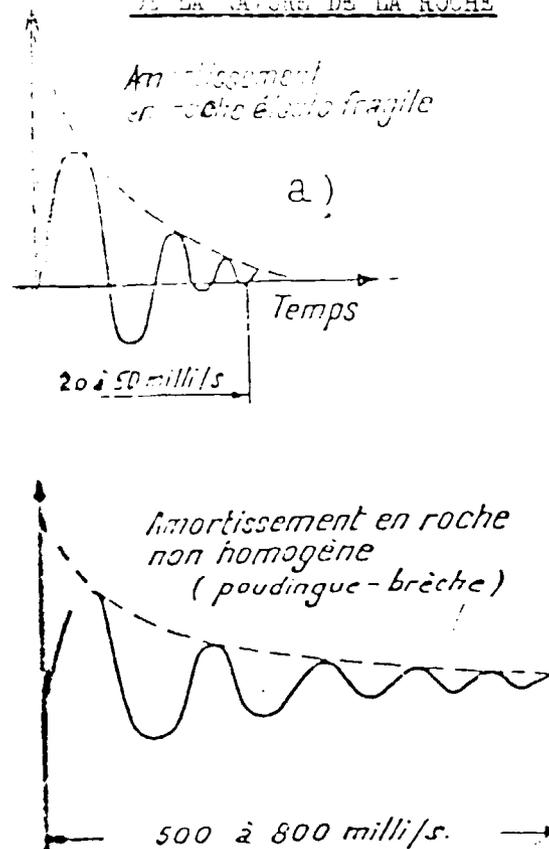


N° 207

$\frac{D}{\sqrt{Q}}$

En outre, dans une roche dure continue, les fréquences sont faiblement amorties, tandis que dans une roche fissurée peu cohérente les fréquences sont fortement amorties (voir fig 29).

Fig. 29 - AMORTISSEMENT EN FONCTION
DE LA NATURE DE LA ROCHE



Il faut signaler dans ce contexte le phénomène particulier de l'eau de la nappe : comme l'eau est un milieu incompressible, elle constitue un conducteur remarquable pour les ébranlements. Il convient d'observer une prudence particulière dans le cas de tir à proximité du niveau de la nappe phréatique et davantage encore sous ce niveau.

Outre le type de roche du sous-sol et les conditions hydrologiques données, la structure tectonique du sous-sol joue également un rôle dans la propagation des ébranlements.

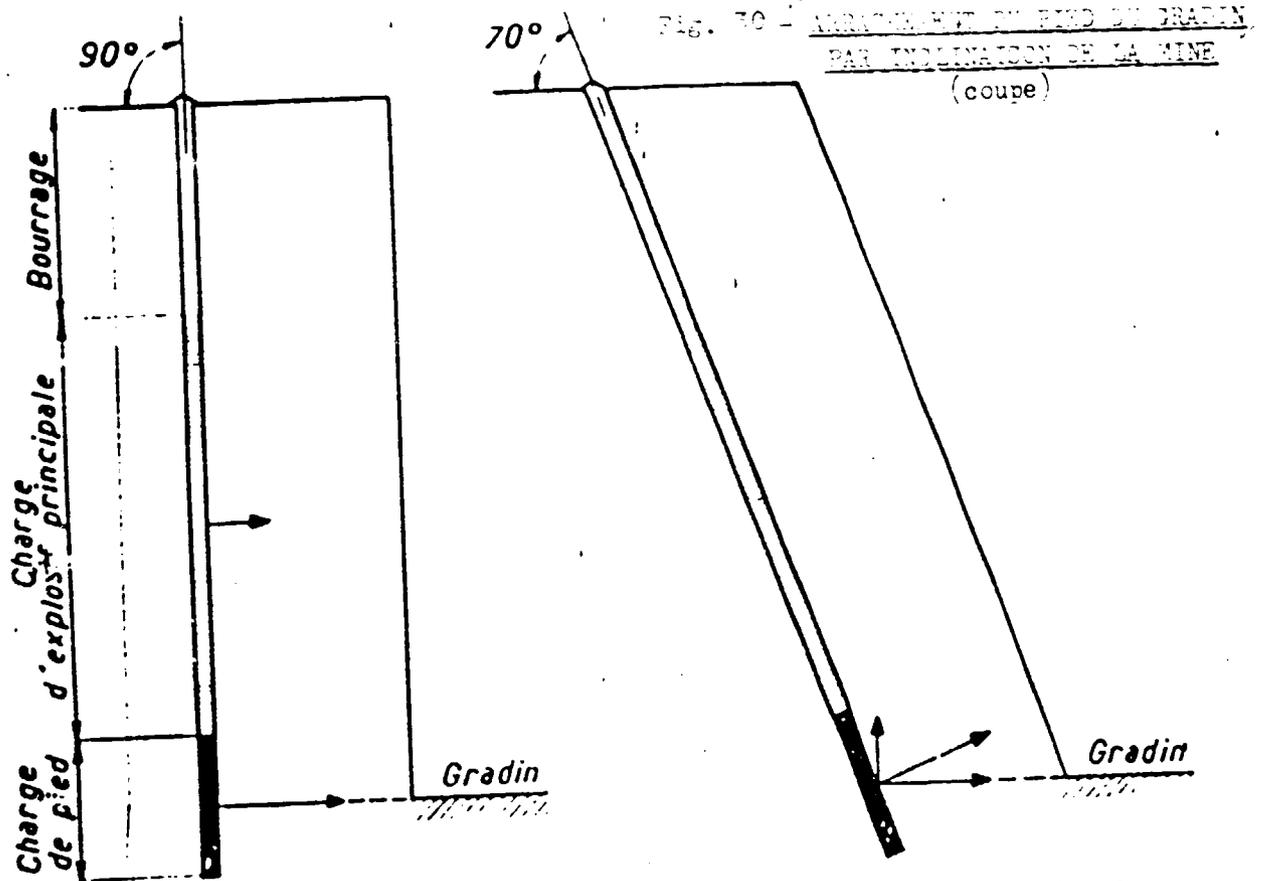
Dans les dépôts qui présentent par exemple une direction privilégiée des fissurations, les observations montrent que la vitesse de propagation parallèle aux fissures est sensiblement plus élevée que celle qui est mesurée transversalement. Cela permet l'orientation des fronts comme explicité dans le Chapitre -VII-

3 - 7-4/ Influence du rendement du tir : on entend par rendement de tir, le rapport entre le travail mécanique et les déperditions calorifiques et sismiques.

Ce rendement dépend de la nature, plus ou moins confiné du tir et de la surface de dégagement disponible. On conçoit qu'un tir qui transforme la plupart de son énergie en travail mécanique pour briser la roche fournit moins d'effets secondaires.

On constate que cette surface de dégagement augmente avec la réalisation des tirs inclinés. En effet, la bonne marche de l'exploitation demande l'arrachement du pied du gradin qui permet d'obtenir une surface régulière sans tir de rectification. L'explosif placé au pied de la mine travaille sur ses angles fermés et doit donc accomplir un travail plus important. C'est pourquoi on place généralement une charge plus importante au pied des mines. Pour positionner convenablement cette charge de pied, le fond de trou doit se situer plus bas que la surface théorique du gradin désiré. Par expérience, cette profondeur est de l'ordre de $1/3$ à $1/5$ de la largeur de la banquette à abattre.

Ainsi, une légère inclinaison de la mine vers le gradin de l'ordre de 80 à 70° comme explicité sur la figure 30 permet de faciliter le travail de l'explosif dans le terrain et réduit les tirs de rectification par pétardage des pieds, ainsi que la nuisance par vibrations transmises.



3 - 7-5/ Influence de la nature de l'explosif : les nitrates et les nitrate-fuels produisent généralement moins de vibrations que les dynamites. En théorie, plus l'explosif est lent, moins il est générateur d'effets secondaires. C'est le cas de nitrates.

Pour les explosifs en vrac, le coefficient de remplissage est élevé, car l'explosif épouse mieux la forme du trou de foration et le rendement mécanique est par conséquent meilleur. C'est le cas des nitrate-fuels.

3 - 7-6/ Influence des délais d'amorçage : l'utilisation de retards et de micro-retards pour l'amorçage d'un tir permet d'employer dans une même volée une charge beaucoup plus importante. Les vibrations dues à une charge unique sont amorties après un intervalle de temps t égal à environ 3 périodes d'oscillation T ($t=3T$); c'est à dire que les charges dont la mise à feu sont espacées d'un intervalle de temps t supérieure à 3 périodes, ne se combinent pas. En effet, les vibrations créées par la première charge sont amorties lorsque celles dues aux charges suivantes arrivent. Elles se succèdent sans s'additionner.

Fig. 31 - ENREGISTREMENT DES VITESSES DES VIBRATIONS DUES
A UN TIR DE SIX MINES DE 1,5 kg ESPACEES PAR
DES MICRO-RETARDS DE 25 m/s
 (brèche calcaire - fréquence 200 Hz)



Base de temps: \longleftrightarrow 10 ms

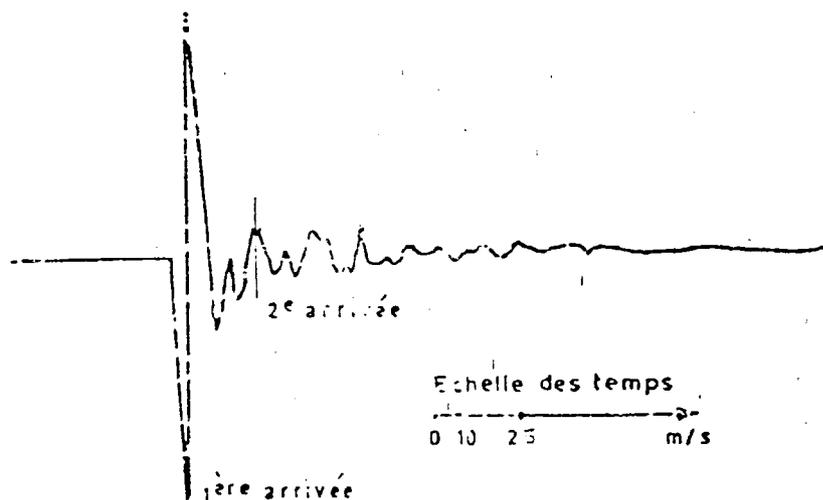
Dans le cas d'une brèche calcaire, où la fréquence des vibrations est de 200 Hz ($T = 4,5$ ms) l'enregistrement de la fig. 31, montre qu'il n'y a pas de coopération entre les charges dont la mise à feu est espacée par des micro-retards de 25 ms (25 ms $>$ $3 \times 4,5$ ms).

Si la mise à feu de 2 charges espacées par un temps t inférieur à trois périodes, il y a coopération plus ou moins importante. La coopération est totale si le temps est rigoureusement égal à une ou deux périodes.

Au contraire, les vibrations tendent à s'annuler si $t = \frac{T}{2}$ ou $\frac{3}{2} T$. Ainsi dans un gneiss où la fréquence des vibrations est de 100 $\frac{2}{3}$ Hz ($T = 10$ ms), des micro-retards de 25 ms ont mis pratiquement en opposition de phase les vibrations créées par deux charges successives de 10 Kgs de tolamite, si bien que les vibrations dues à la 2ème charge sont très atténuées (fig 32). En prenant certaines précautions, il est donc possible de réaliser des volées importantes même à proximité d'habitations.

Fig. 32 - ENREGISTREMENT D'UN TIR AVEC MICRO-RETARD

A PROXIMITE DU TUNNEL DE FRANCE
(un gneiss - fréquence 100 Hz)



Cependant pour excécuter ces travaux dans les meilleures conditions, des essais préliminaires sont indispensables pour déterminer le niveau des vibrations créées par des charges successives croissantes c'est à dire la vitesse des vibrations les plus dangereuses et leur fréquence. Il ressort de ce qui précède qu'un grand nombre de facteurs influencent la propagation d'ébranlements dans le sol. C'est pourquoi, il n'est pas possible de prédire l'ampleur probable des ébranlements sans connaître ces facteurs. L'obtention de résultats fiables doit passer nécessairement par la réalisation d'essais et de mesures correspondants.

Toutes les formules qui expriment les rapports entre la vitesse de l'ébranlement, la quantité de charge et la distance du point de tir, doivent être considérées comme des formules approximatives qui n'ont de valeur que pour des conditions locales déterminées.

L'équation générale de l'ébranlement se formule comme suit :

$$V_{max} = a \left(\frac{D}{\sqrt{G}} \right)^2$$

avec

V max = maximum de la vitesse de vibration en mm/s
D = distance de lieu de l'explosion en m
a = coefficient numérique
b = coefficient numérique
Q = charge unitaire d'explosif en kg

4 - FUMÉES DE TIR ET POUSSIÈRES

L'explosif en se décomposant produit des gaz dont certains sont toxiques comme l'oxyde de carbone ou les vapeurs nitreuses. D'autre part, l'explosion provoque le soulèvement d'un nuage de poussière dont les fines restent en suspension dans l'air. Cette poussière provient de la pulvérisation de la roche, des stériles et du bourrage. Les gaz toxiques et les poussières s'ils sont respirés peuvent provoquer dans l'organisme des lésions plus ou moins graves.

LAZAROV dans sa communication à la conférence internationale de Washington sur "Les explosifs et la formation des gaz toxiques lors des explosions massives" fait état de mesure dans les carrières Bulgares où après les tirs de quantités importantes (jusqu'à 100 T) d'explosif, on a observé que les gaz toxiques peuvent rester emprisonnés dans la masse abattue 24 heures après le tir et se dégager au fur et à mesure du chargement.

En Tunisie on ne met jamais en oeuvre des quantités semblables d'explosifs dans les exploitations à ciel ouvert, et la protection contre les fumées de tir des explosifs concerne surtout les chantiers souterrains. On peut néanmoins recommander d'observer un certain délai avant le début des opérations de chargement pour permettre aux gaz toxiques de s'évacuer dans l'atmosphère.

5 - LES EXCAVATIONS MÈME

On a vu précédemment que lors de l'exploitation d'une carrière par tirs à l'explosif, des terrains sont consommés d'une manière irrévocable laissant des trous et des falaises qui imprègnent d'une façon remarquable le paysage naturel. Cette forme d'impact constitue un danger certain pour la sécurité de la population en pleine cité urbaine. Le brigandage, la délinquance juvénile,

les accidents mortels dûs aux chutes sont autant de facteurs qui perturbent l'ordre public.

On se souvient de l'accident mortel survenu aux années 1969 dans une carrière d'argile en site sensible (Ben Arous), suite à une exploitation sans obligation de réaménagement par comblement pur et simple des excavations.

Ces excavations peuvent constituer également des parcelles abandonnées qui conduisent les gens à y entasser les produits de pollution. Une carrière mal exploitée ou totalement abandonnée donne lieu certainement à une mauvaise circulation des eaux pluviales ce qui constitue des endroits propices pour la prolifération des microbes et des insectes.

Jusqu'à présent le réaménagement des carrières à l'issue de leur exploitation est encore absent des esprits des tunisiens en général. Ce réaménagement s'imposera de lui même au cours des années à venir en même temps que s'affirmera l'aspiration de chaque citoyen à une meilleure qualité de la vie. Le remblayage de ces excavations doit être une obligation, du moins dans les sites sensibles.

Le législateur tunisien devrait l'imposer aux carriéristes par une réglementation judicieuse. Les collectivités locales et l'administration compétente doivent jouer ici un rôle primordial dans son application et ce d'une manière évolutive compte tenu de l'impact économique certain sur l'industrie de concassage.

- 50 -

C H A P I T R E - VII -

MESURES PRECONISEES POUR UNE LIMITATION
DES EFFETS NOCIFS SUR LES CONSTRUCTIONS
ET LA POPULATION

1 - LIMITATION DES PROJECTIONS

Les projections de roches sont difficiles à éviter. Toutefois leurs effets peuvent être limités dans certains cas surtout en réduisant les tirs surchargés, les minages secondaires et les mines canon.

1 - 1/ Réduction des tirs surchargés

L'observation du tir de mine par cinématographie à grande vitesse montre que lorsqu'une mine est surchargée (par exemple 200 g d'explosif par m³ de calcaire de dureté moyenne), la granulométrie des produits obtenus est faible et la vitesse de projection est grande. Au contraire, avec une mine peu chargée (60 à 70 g), il y a formation de gros blocs : les projections sont pratiquement inexistantes. Donc un tir normalement chargé est vivement recommandé pour réduire les projections. La recherche d'une granulométrie optimale peut être atteinte par d'autres techniques.

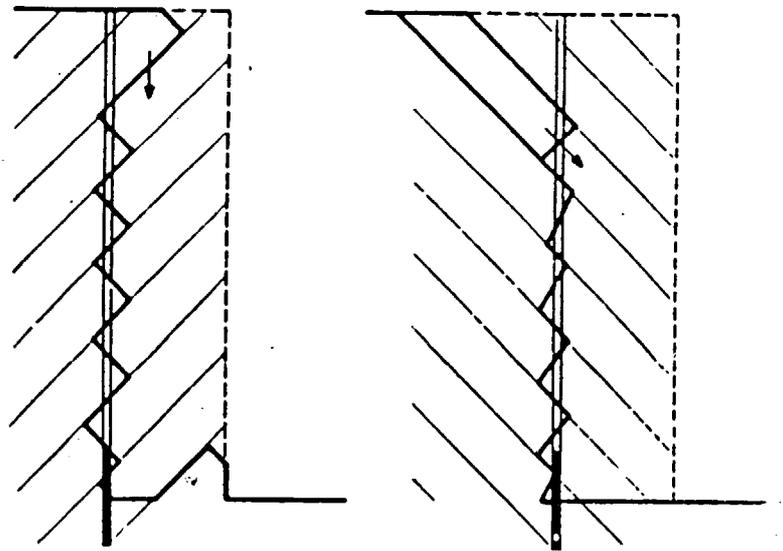
D'une manière générale la connaissance de tous les paramètres (nature du terrain, qualité et quantité d'explosif utilisés, hauteur gradin, maille, etc...) suivie d'essais sur le terrain est la seule façon capable de déterminer correctement les caractéristiques d'un tir le plus soigné possible.

1 - 2/ Méthodes pour réduire le minage secondaire par retardage des blocs et mines de relevage

Tout carriériste, un tant soit peu informé, cherche à optimiser le rapport distance entre trous E et l'épaisseur de la barquette à abattre V, afin d'éviter les blocs et les buttes. Cependant la nature du terrain, l'épaisseur et surtout le pendage des couches font que le résultat des tirs peut être très différent d'un endroit à un autre.

a - PENDAGE DESCENDANT

b - PENDAGE MONTANT



Dans le cas de l'exploitation des couches à fort pendage (fig 33), on observe une mauvaise tenue de la butte, si on exploite dans le sens du pendage descendant. Le danger est encore augmenté si les diaclases de la roche sont remplies d'argiles que ce soit dans le pendage descendant ou le pendage montant. Il est recommandé dans ces deux cas que le front de carrière, soit parallèle à la ligne de la plus grande pente.

Dans le même souci de limiter les minages secondaires, il est également avantageux de mettre à la base du trou une charge encartouchée brisante.

1 - 3/ Réduction de la mine canon

Le bourrage terminal des trous de mine doit être soigné surtout si l'on est amené à réduire sa hauteur pour éviter la formation de gros blocs en haut du gradin. Ce soin consiste à :

- choisir une qualité de bourre correcte (argile, cutting), et éviter les sables de concassage qui ne se tassent pas bien.
- bourrer jusqu'à atteindre une réduction de hauteur de l'ordre de 25 %.

En règle générale, la hauteur devrait être égale au moins à l'épaisseur de la tranche à abattre.

Comme on le voit à travers ces trois (3) possibilités de réduction, on peut dire qu'il est difficile d'édicter des règles valables pour tous les

cas d'exploitation tant les paramètres sont différents et variables d'un front de carrière à un autre.

D'une manière générale, et dans la mesure où l'orientation des fronts n'est pas imposée par d'autres considérations, on peut essayer d'orienter les plans de tir de telle manière que des projections se fassent dans une direction privilégiée, c'est à dire non dangereuse.

2 - LIMITATION DE BRUIT

2 - 1/ Réduction du bruit dû aux charges explosives

Le bruit provenant de l'explosion des charges non confinées (cordeau d'amorçage ou charges superficielles) est celui qui a le niveau sonore le plus élevé, car l'expansion des gaz n'est pas freinée.

Comme première mesure pour la réduction du bruit, on doit diminuer, ou même supprimer, l'explosif tiré directement à l'air libre pour les tirs d'abattage; ceci concerne particulièrement le cordeau détonant.

Des expériences d'abattage par explosif confiné font état d'une nette réduction d'un bruit si :

- on recouvre le cordeau d'amorçage de terre sur toute sa longueur.
- on supprime totalement le cordeau-maître reliant les différents trous de mine par l'amorçage individuel de chaque charge avec un détonateur séparé, ce qui impose d'ailleurs le tir électrique afin d'assurer une séquence convenable entre plusieurs charges. Une étude socio-économique approfondie (investissement et formation professionnelle) devra établir un calendrier pour le passage obligatoire de l'amorçage pyrotechnique à l'amorçage électrique.
- la surprofondeur atteint une hauteur égale au tiers de la banquette. En effet pour que les gaz provenant de l'explosif confiné ne s'échappent pas trop rapidement dans l'atmosphère et ne constituent pas par conséquent une source de bruit, il faut veiller à ce que les trous ne s'approchent pas anormalement d'une surface libre. Une perforation en dessous du niveau de la plate-forme de travail est d'ailleurs vivement recommandée pour accroître l'efficacité des tirs.

2 - 2/ Réduction du bruit dû aux traitements des blocs

Les gros blocs, refusés par l'exploitation ou triés par le mineur, doivent être fragmentés pour pouvoir traverser le gueulard du concasseur. Cette fragmentation est assurée actuellement en Tunisie par trois (3) méthodes :

- la première consiste à faire des tirs par charges superficielles dites méthode de tir à la plaie
- la deuxième réalise des trous dans la roche même par perforation au marteau manuel et pétardage
- la troisième, relativement récente, fait appel à la fragmentation mécanique par un marteau bris-roche.

Les tirs par charges superficielles sont particulièrement bruyants puisqu'ils ne sont pas confinés. Ils augmentent considérablement la consommation spécifique des explosifs (4 à 5 fois par rapport à la deuxième méthode) et doivent par conséquent être proscrits. Pour les deux autres méthodes, le législateur devrait favoriser la méthode mécanique de pétardage qui présente beaucoup d'avantages surtout dans les sites sensibles à savoir :

- suppression des explosifs avec toutes leurs nuisances
- utilisation d'un engin de réserve (trax, pelle, etc...)
- utilisation du circuit d'huile de cet engin pour faire fonctionner le marteau brise roche
- nette économie d'énergie

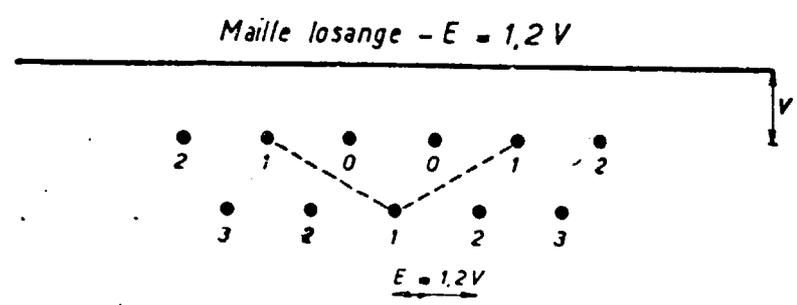
En tout état de cause, le minage secondaire doit être limité par :

- l'optimisation du rapport $\frac{E}{V}$, comme vu précédemment dans la limitation des projections.

Les différents essais ont permis de calculer ce rapport optimum à $\frac{E}{V} = 1,2$.

- l'alignement des rangées de trous en quinconce comme schématisé à la figure 34 qui assurera certainement une meilleure fragmentation, car l'explosif est ainsi mieux réparti dans le volume à abattre.
- l'emploi des micro-retards améliore également la granulométrie moyenne des produits. Si les blocs proviennent du haut de gradin, on pourra être amené à réduire la hauteur du bourrage moyennant une dérogation aux règles édictées dans le paragraphe 1-3 du présent chapitre. Sinon il va lieu de forer des courtes mines au centre de la maille.

Fig.34 - PLANS DE TIR UTILISES COURAMMENT EN CARRIERE



Ces trois recommandations sont valables en général, mais le carriériste peut être amené à s'en écarter suivant les caractéristiques propres du terrain et notamment le pendage des couches et la présence des diaclases naturelles.

3 - LIMITATION DES VIBRATIONS DU SOL

On a vu précédemment l'influence néfaste, des explosions sur les constructions et la population, causée par les vibrations.

Les recherches effectuées en vue de limiter cette nuisance ont abouti à la définition de quatre méthodes appropriées à savoir :

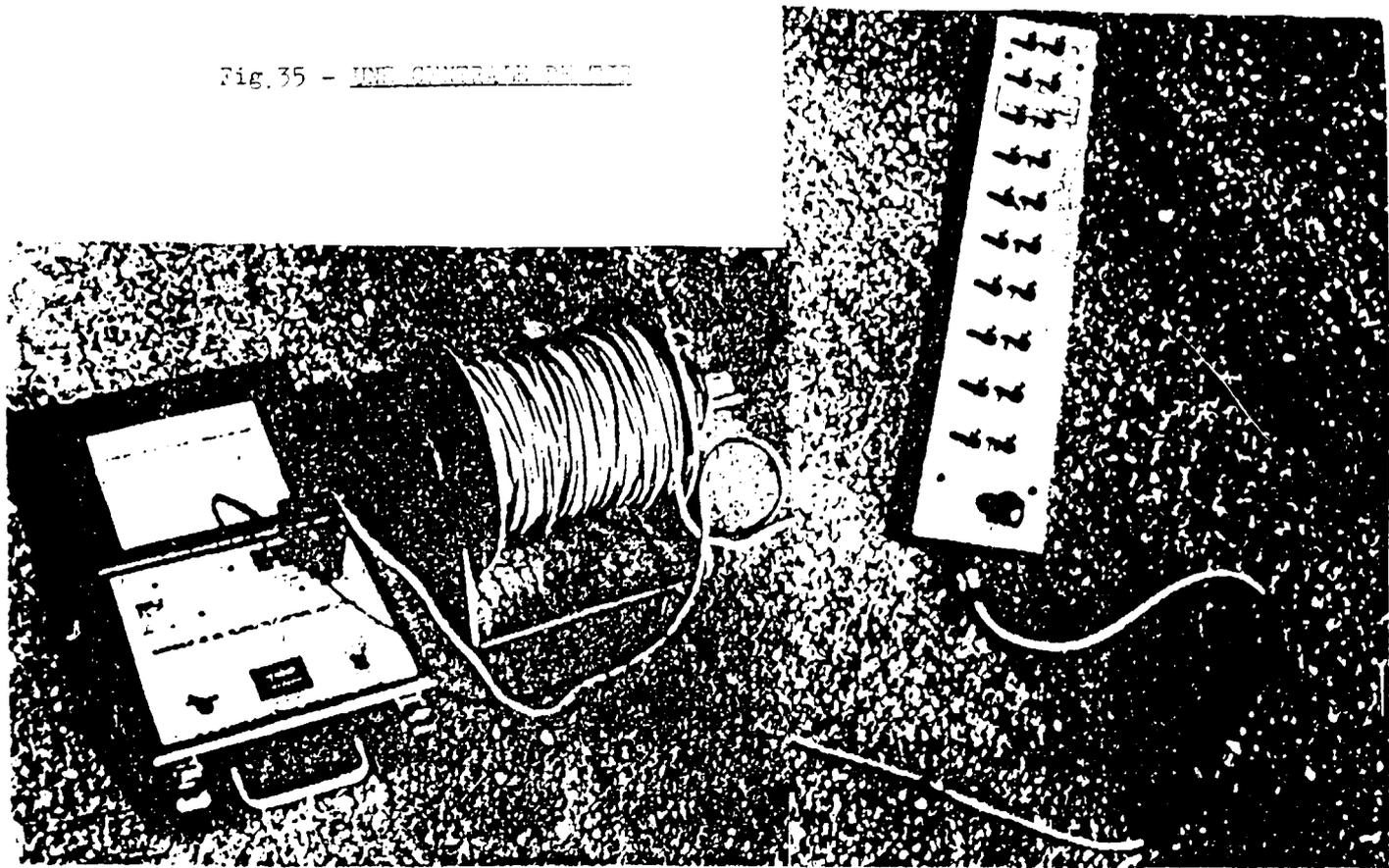
- tir avec micro-retard
- tir avec prédécoupage
- tir avec protection par barrière de trous
- tir sous pression d'eau

3 - I/ Tir avec micro-retards

Les enregistrements de vibrations opérés au moment du tir d'une charge unique d'explosif, montrent que la vitesse, de la vibration produite en un point, s'amortit, très vite, après les premières oscillations. Au delà de quelques dizaines de mètres, les terrains écartent les fréquences élevées, on ne trouve plus en pratique que des fréquences comprises entre 7 et 100 Hz, ce qui correspond à une demi-période de l'oscillation ($\frac{\pi}{2}$) comprise entre 5 et 70 m.s.

Lorsqu'on tire deux mines explosives, avec un intervalle de temps supérieur à 20 m.s. les vibrations produites par chacune des charges en un point peuvent être perçues séparément (voir chapitre impact sur environnement des tirs à l'explosif partie délai d'amorçage) et en général elles se composent de telle manière qu'on ne note pas d'accroissement de l'amplitude maximum. Pour réduire le niveau des vibrations induites en un point, on peut donc échelonner le départ des charges constamment la volée, soit au moyen de détonateurs électriques à micro-retards (échelonnement de 25 ou 30 m.s) soit avec des relais retardateurs sur le cordeau maître de 20 à 50 m.s. On peut ainsi fractionner la volée complète en rangées successives ou en demi-rangées ou même tirer chaque trou avec un retard différent. L'étude de la composition des vibrations peut conduire dans certains cas à sauter un numéro de micro-retards sur deux quand on désire obtenir un échelonnement de 50 m.s. Il apparaît ainsi que ce procédé est intéressant. Il est cependant limité par le nombre de micro-retards disponibles dans le commerce c'est à dire 10 à 15, suivant le fabricant.

Fig. 35 - UNE CHARGE DE TIR



EXPLOSEUR PORTABLE

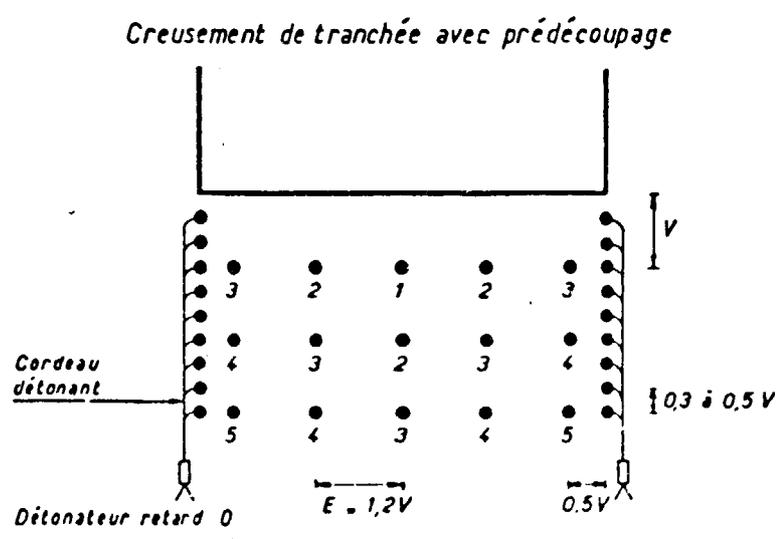
CORDEAU MAÎTRE

Cependant la réglementation tunisienne en vigueur ne permet pas la présence de détonateurs à l'intérieur des trous de mines verticales profondes, il y a lieu de se documenter sur cette technique afin de l'introduire en Tunisie, vu ses avantages à savoir une bonne fragmentation des produits dès l'abattage primaire et une réduction notable des vibrations du sol.

3 - 2/ Tir avec pré-découpage

Il s'agit de créer préalablement au tir d'abattage proprement dit des fissures qui épousent le profil final de l'excavation. Ces fissures sont engendrées par le tir simultané de charges d'explosifs dans des trous de mines, à la périphérie la surface de fissuration présente alors une discontinuité dans le terrain qui affaiblit fortement la transmission de l'onde de choc provenant du tir d'abattage principal (voir Fig. 37).

Fig. 37 - PLANS DE TIR POUR UTILISATIONS SPECIALES



A noter que la surface de pré-découpage est engendrée par des trous de mines plus rapprochés et moins chargés que ceux du plan de tir principal. Le rapport entre l'écartement des mines (E) et l'épaisseur de la banquette (V) doit être inférieur à 1 ; on peut aller jusqu'à 0,5 . Il est très important, pour le succès de cette technique que toutes les mines de prédecoupage soient tirées simultanément, ce qui impose l'emploi de cordeau détonant pour leur amorçage.

La dispersion de fonctionnement des détonateurs électriques instantanés peut atteindre plusieurs milli-secondes, délai suffisant pour que les ondes de choc des mines principales ne puissent plus se renforcer, on obtient ainsi l'effet de découpage

On constate que cette technique permet la réduction des vibrations du sol et l'obtention d'une surface d'excavation très nette sans hors profils. L'utilisation convenable de cette technique suppose cependant une certaine habitude dans l'emploi des explosifs.

3 - 3/ Protection par barrière de trous

La transmission des vibrations est atténuée par l'existence de discontinuités dans le terrain. Une discontinuité efficace peut être créée par une barrière de trous forés comme écran entre le lieu des tirs et la construction à protéger.

Les trous sont forés très près les uns des autres avec un écartement qui équivaut 3 à 5 fois le diamètre des trous. L'écran ainsi constitué doit excéder les dimensions des fondations en largeur et en profondeur, et être situé en général à la limite de la carrière proche des constructions à protéger.

Ce procédé est à éviter lorsqu'il existe déjà une discontinuité naturelle dans le terrain entre le lieu de tir et les constructions. Il a l'inconvénient d'être assez cher à cause de la grande longueur de foration à effectuer.

3 - 4/ Tirs sous pression d'eau-bouillies

L'eau, étant un milieu incompressible, transmet bien les pressions. Sa présence à l'intérieur des trous de mine assure un excellent couplage entre l'explosif et le terrain. L'onde de choc produite par la détonation est transmise sans atténuation, contrairement au cas classique où il y a de l'air entre les cartouches d'explosif et les parois du trou.

De plus, au moment du tir, l'eau est poussée dans les fissures et aide à leur agrandissement. Ainsi et pour un même effet d'abattage, on peut donc utiliser moins d'explosif : le niveau des vibrations à distance s'en trouve réduit.

En pratique on a tiré sous une pression d'eau pouvant aller jusqu'à 40 bars, en utilisant un matériel approprié et un explosif agréé pour le tir sous pression d'eau. En fait, on pourrait tirer avec de l'eau sans pression si le terrain était suffisamment homogène.

La complexité de ce matériel spécialisé ne permet pas d'en envisager son utilisation systématique. Aussi, utilise t - on de plus en plus à l'étranger, un explosif visqueux appelé bouillies qui assure un bon couplage explosif-terrain sans faire appel à un matériel sophistiqué. L'emploi de ce type d'explosif est ignoré par les carrières tunisiennes. Il est vivement recommandé au législateur et aux centres techniques spécialisés d'en encourager l'utilisation.

4 - LIMITATION DES POUSSIÈRES

On a vu dans les chapitres précédents que les émissions de poussière et le bruit peuvent être dans un rapport de 100 et 10 si l'on prend comme base I les nuisances dues aux vibrations.

Les poussières constituent par conséquent une source importante de nuisances dont il y a lieu de limiter considérablement le niveau. Ces poussières sont émises particulièrement par des sources différentes, on note :

- les poussières émises par les tirs de mines
- les poussières émises par les installations fixes
- les poussières émises par les engins mobiles.

4 - 1/ Limitation des poussières émises par les tirs de mines

Les poussières émises par les tirs de mines sont les émanations les moins importantes, car elles sont dûes principalement à la présence de la découverte argileuse et au bourrage des fourneaux des mines (voir Chapitre -VI-). L'étude d'un schéma de tir soigné, et une bonne découverte, réduit nettement ces émissions.

4 - 2/ Limitation des poussières émises par les installations fixes

Ce sont les plus importantes en quantité. On peut préconiser les mesures suivantes, pour réduire leur acuité et notamment :

- le capotage des appareils de criblage
- la réduction des hauteurs de chute, particulièrement des stériles sous scalpeur et des sables sous sauterelle.
- l'aspiration par filtres efficaces au niveau des chûtes des produits concassés et criblés
- la pulvérisation d'eau sous forme de vapeur sur les produits fins à la sortie

4 - 3/ Limitation des poussières émises par les engins mobiles

Le transport de matériaux à l'intérieur et à l'extérieur du chantier rend l'ambiance très poussiéreuse et constitue une gêne certaine pour la circulation et pour l'environnement. On peut recommander dans ce cas l'arrosage des carreaux et pistes de la carrière surtout par temps sec, suivi d'un entretien systématique. La limitation de la vitesse de circulation des engins est souhaitable également.

4 - 4/ Recommandations générales

- Une barrière d'arbres constituant un rideau efficace pour retenir les poussières
- l'exploitation des fronts de carrière dans une direction privilégiée, en opposition par rapport à la situation des constructions et la population environnante.
- L'évolution de cette exploitation, compte tenu de la direction des vents dominants

Ces trois recommandations aident beaucoup à limiter les émissions de poussières et constituent une solution plus ou moins radicale à la résolution de cette forme de nuisance à l'environnement.

5 - LIMITATION DES EXCAVATIONS

Comme il a été remarqué précédemment, l'exploitation d'une carrière aboutit généralement à une excavation, source importante de nuisances sur la population environnante.

Ces nuisances seront détaillées au Chapitre -VIII-. Comme on pense limiter ses effets, il faudrait dorénavant élaborer des supports juridiques et trouver les moyens matériels et techniques pour limiter les dangers de ces excavations.

Techniquement, les possibilités de réaménagements de ces excavations sont très nombreuses et le choix se fait en fonction du contexte socio-économique de la région.

Les différentes possibilités de réaménagements sont confiées dans le tableau ci-après. Il serait souhaitable que ces excavations soient limitées dès le démarrage de l'exploitation. En effet au fur et à mesure de l'évolution du front, les carriéristes peuvent combler les excavations créées par un repandage des produits stériles et de découverte. C'est le procédé le plus simple et le moins coûteux.

TABLEAU RECAPITULATIF DES REAMENAGEMENTS
POSSIBLES

Etat de l'exploitation	Carrière	Environnement	Possibilités de réaménagement	Observations
carrière à sec	en fosse	r u r a l	<ul style="list-style-type: none"> - reconstitution de terrain agricole - reboisement 	moyenne et grande excavation
		u r b a i n	<ul style="list-style-type: none"> - remblayage - décharge contrôlée 	problème de pollution possible
	sur parois et planchers rocheux	r u r a l	<ul style="list-style-type: none"> - traitement de la paroi par végétalisation - remise en végétation (prairie) 	techniques très coûteuses
		u r b a i n	<ul style="list-style-type: none"> - traitement de la paroi par végétalisation - zone verte - zone résidentielle - zone industrielle 	suivant le contexte socio-économique

C H A P I T R E -VIII-
ETUDE DES CAS DE SITES SENSIBLES
CARRIERES DU GOUVERNORAT DE BEN AROUS

1 - SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le gouvernorat de Ben Arous est une région relativement peuplée (zones résidentielles et industrielles). Elle est composée de plusieurs communes et en particulier celles de Ben Arous et Hammam-Lif. Ce gouvernorat constitue la banlieue sud de Tunis et renferme un grand nombre de carrières situées en pleine zone urbaine. Celles-ci sont ainsi sujettes aux nuisances émises et notamment :

- les poussières de tirs et des stations de concassage installées dans ces carrières
- le bruit, les vibrations sismiques et les projections de blocs engendrés par les tirs à l'explosif au cours de l'exploitation de ces carrières
- les carrières abandonnées sous forme d'excavations.

Les carrières de cette zone sont en majorité localisées dans des sites calcaire d'âge jurassique à Eocene, (ex: Sidi Fathallah - Kharouba - Boukornine) Indépendamment des nuisances physiques (bruit et vibration) les extractions anarchiques des matériaux ont créé des gouffres et des falaises, sans réaménagement possible car non prévu par la législation, donnant ainsi au paysage un aspect désolant.

2 - RECENSEMENT DES CARRIERES EN ACTIVITE ET LEURS FICHES TECHNIQUES

2 - 1/ La société "Les Carrières Tunisiennes"

Cette société gère deux carrières importantes dans la région.

a - Carrière Ben Arous

L'accès vers cette carrière se fait actuellement à travers l'agglomération de Sidi Fathallah, ce qui constitue un danger pour la sécurité et l'hygiène des habitants environnants ; les fronts de cette carrière sont aménagés en gradins de 10 à 15 m de hauteur et sont formés d'un calcaire blanc à beige tendre en bancs plus ou moins massifs et subhorizontaux. Les gradins sont suffisamment larges ce qui donne une grande souplesse au niveau de l'exploitation. Cette carrière est la plus importante en effectif et en production (3000 m³/j) dans la région. La principale activité est orientée vers la production de granulats et l'alimentation de la cimenterie de Dj. Djelloud.

Les fronts de cette carrière se rapprochent très vite des habitations, on trouve actuellement aux abords même de la carrière :

- à l'Est des maisons d'habitations individuelles
- au Nord les réservoirs d'eau de la SONEDE
- au Nord-Ouest des logements sociaux
- au Sud-Ouest l'usine de préfabrication OYP

Cet "encercllement" progressif de la carrière fait en sorte que l'extraction se trouve limitée à un seul gradin inférieur condamnant, à plus ou moins brève échéance, l'exploitation de cette carrière.

Toutefois et avant cette échéance, des mesures adéquates doivent être prises afin de réduire les nuisances (bruits, poussières, vibrations...) dues à l'utilisation des explosifs et des installations de concassage. Des études urgentes, des schémas de tir devront être rapidement élaborées pour remédier à cette situation préjudiciable à l'environnement.

b - Carrière Kharouba

On accède à cette carrière soit par la route Grand Parcours numéro 1 (GP 1) du côté Est, soit en traversant des habitations et des locaux industriels du côté Ouest.

Comme cette carrière est destinée à l'approvisionnement de la cimenterie de Tunis, elle offre une exploitation étagée et des fronts suffisamment larges, pour permettre un choix rationnel du matériau. la série formée de



Carrière SOTIMACO
Gouvernerat de Ben Arous
(Djebel Kharrouba)

- Encerclement de la carrière par les habitations
- Atteinte à l'environnement par le bruit et les poussières



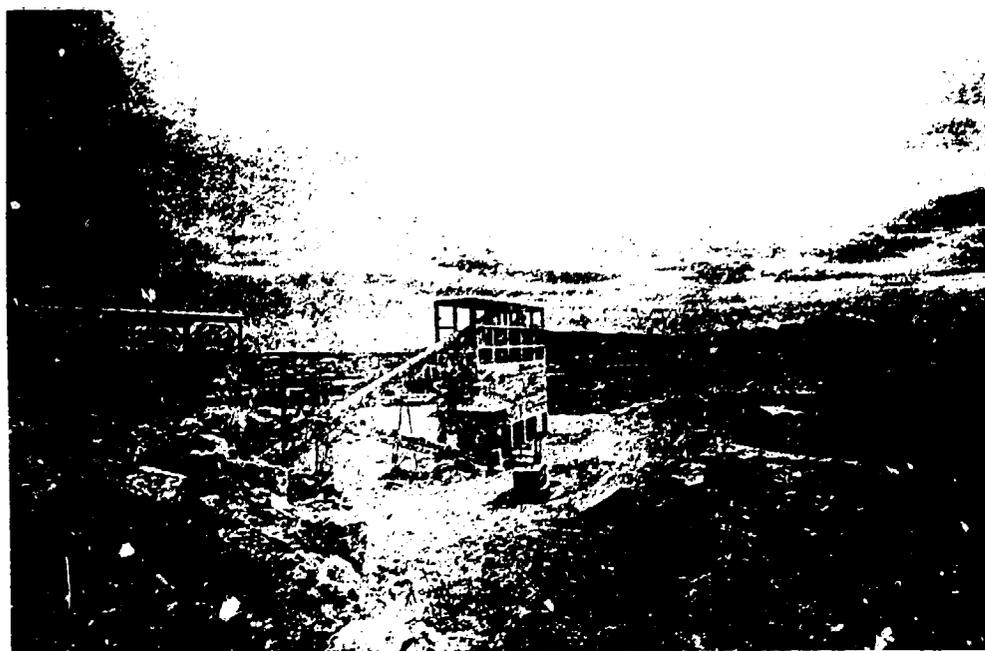


Carrière SOTIMACO

Gouvernerat de Ben Arous

(Djebel Sidi Fathallah)

- Encerclement de la carrière
- Epuisement des réserves superficielles
- Nuisances par les poussières, le bruit et les vibrations très aigues



bancs calcaire - marneux tendres en alternance avec des bancs de calcaires durs constitue le gisement de Dj. Kharouba en voie d'épuisement. On conçoit pour ce type de roche, une consommation spécifique en explosif moindre, donc une nuisance par les vibrations transmises, relativement faible. Toutefois, l'extension de la carrière en surface est devenue impossible vu la proximité des logements. La carrière est en effet encerclée :

- au Nord par les agglomérations - Dubosville et Bellevue
- à l'Est par l'agglomération - El Afrane, l'usine de carreaux et le grand parcours n° I
- à l'Ouest par l'agglomération - Kharouba et l'autoroute Tunis-Sousse
- au Sud par l'agglomération - Garjcuma et des dépôts industriels.

A brève échéance seule une exploitation en profondeur et à une distance de protection minimum des habitations environnantes est envisageable.

L'évolution de cette exploitation pose des problèmes de nuisances à l'environnement notamment par le bruit. Heureusement que cette carrière cessera toute activité d'ici 1990.

2 - 2/ Carrière Thabet

L'accès définitif de cette carrière qui traversera la Cité El Mourouj en cours de construction, posera certainement des problèmes de pollution par les poussières, et sera même un danger pour la circulation de la population.

Cette carrière aménagée en deux fronts, hauts de 20 à 30 m, est formée par un calcaire appartenant à la formation du Dj. Sidi Fathallah. Les bancs subhorizontaux de faible épaisseur (30 à 50 cm) donnent à l'abattage des produits pas assez durs. Toute l'exploitation est destinée à la production des granulats. Il est à signaler que les fronts ne sont pas assez larges et l'extraction se fait sans plan d'exploitation. On trouve aux abords même de la carrière :

- au Nord le château d'eau de la SONEDE et l'agglomération " Mohamed Ali " La Cagna
- à l'Est l'autoroute Tunis-Sousse et la voie ferrée du métro léger
- à l'Ouest et au Sud l'agglomération El Mourouj.

Les problèmes de pollution par les poussières, les vibrations et le bruit sont très aigus.

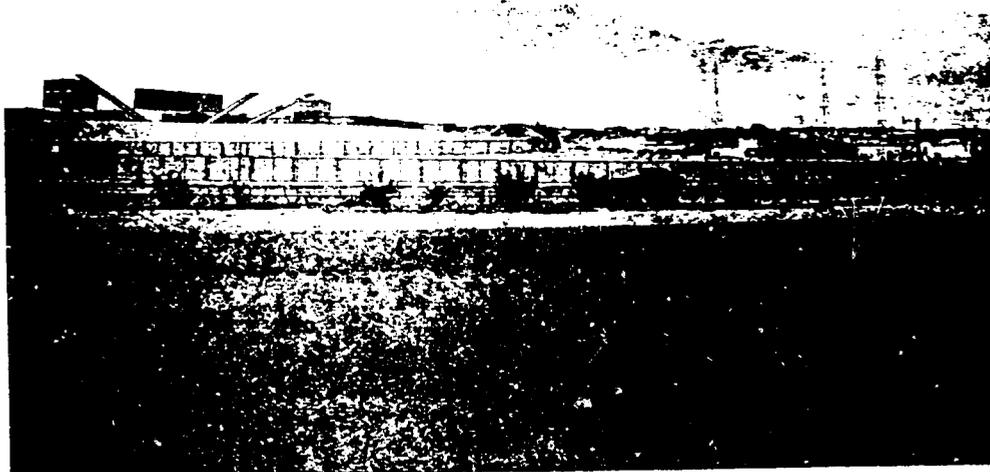


Carrière THABET

Gouvernerat de Ben Arous

(Djebel Sidi Fathallah)

- Exploitation anarchique et dangereuse
du front de taille (possibilité du glissement de terrain)
- Encerclement de la carrière et épuisement des réserves
- Méthode d'exploitation très coûteuse



Carrière THABET

Gouvernerat de Ben Arous

(Djebel Sidi Fathallah)

- Nuisances aigues par :
 - * le bruit
 - * les vibrations
 - * les poussières
- Constructions et population riveraine à la carrière
(quartiers populaires et metro-leger)
- Encerclement de la carrière et épuisement des réserves



Actuellement l'exploitant se trouve obligé d'aller de plus en profondeur pour extraire le matériaux.

Le rendement est faible et l'environnement est atteint irrémédiablement. Pour ce cas précis, et à brève échéance, cette carrière devra être déplacée loin des zones urbaines et le carriériste appelé à rechercher un nouveau site. Son réaménagement s'impose d'une manière urgente.

2 - 3/ Carrière Akacha

L'accès de cette carrière est situé également en pleine zone urbaine. La piste, aménagée vers le front d'exploitation, n'est pas entretenue et la pollution par les poussières émises par les camions de transport gêne énormément la population environnante. L'exploitation se fait dans un calcaire tendre, en bancs de 20 à 50 cm subhorizontaux. La hauteur des fronts est variable et oscille entre 10 et 20 m. La faible largeur des fronts constitue un handicap sérieux pour le développement de l'ensemble de la carrière. L'entreprise a connu une extension sur une carrière adjacente totalement abandonnée par épuisement des réserves superficielles. La production de granulats de cette carrière est consommée exclusivement par l'entreprise Akacha elle-même.

Cependant, comme pour le cas de la carrière Thabet, l'exploitation d'un gradin inférieur sur une surface limitée pose des problèmes certains de productivité et surtout de sécurité pour le voisinage. Ainsi on trouve à proximité même de la carrière :

- au Nord l'agglomération - El Afrane
- à l'Est l'agglomération - Sidi Path-Allah
- à l'Ouest et au Sud l'agglomération - Garjouma

Les poussières, le bruit et les vibrations sont une gêne permanente pour la population environnante.

À plus ou moins brève échéance l'exploitant devrait choisir un site éloigné des zones urbaines.

2 - 4/ Carrière de Potinville

Cette carrière est située sur le flanc nord de D. l'Algérienne en pleine zone urbaine également.



CARRIÈRE RIACHA

Gouvernorat de Ben Arous

District Sidi Fathallah

- Extension de l'Exploitation bloquée par le Site urbain
- Exemple de pollution par :
 - . les poussières
 - . le bruit
 - . Les vibrations





CHANGEMENTS

Management de l'Énergie

Énergie - Développement

- Dangers de l'énergie
- Attentes de l'énergie et des énergies,
bruit et pollution



Carrière POTINVILLE
Gouvernerat de Ben Arous
(Djebel Boukornine - Hammam Lif)

- Nuisances à l'environnement
(population, construction et végétation)
- Exploitation difficile, carrière non aménagée en
gradins





Carrière de POTINVILLE
Gouvernerat de Ben Arous

(Djebel-Boukornire - H.Lif)

- Accès en pleine zone urbaine
(atteinte à la sécurité de la population)
- Nuisances par les poussières, bruit et vibration.

L'accès à la carrière ne constitue pas pour le moment une gêne pour les habitations avoisinantes, vu l'état plus ou moins soigné de la piste d'accès principale.

Les fronts de cette carrières, dépassant 20 m de hauteur, sont constitués par un calcaire dur en bancs massifs et présentent un pendage de couches subvertical. Le propriétaire est en train d'aménager la carrière en gradins afin d'en rationaliser l'exploitation.

L'activité de cette carrière est orientée principalement dans la production de matériaux pour l'alimentation de l'usine à chaux.

Les nuisances par les vibrations, le bruit et les poussières des tirs à l'explosif sont très prononcées. Les habitations peu solides se rapprochent très vite de la carrière du côté Est, les seules possibilités de production à plus ou moins brève échéance se trouvent du côté Ouest de la carrière. L'aménagement de celle-ci en gradins et l'exploitation rationnelle des fronts, sont les seules solutions possibles pour permettre une évolution normale de la production, en respectant les normes de sécurité exigées pour la sauvegarde du personnel et de l'environnement.

2 - 5/ Carrière des thermes des C.A.T

Cette carrière, qui surplombe des habitations individuelles et des logements sociaux sur le flanc Est du Dj. Boukornine, est plus facilement accessible, car la piste d'accès principale à l'usine est bien entretenue. Les fronts à l'intérieur de la carrière sont très hauts (20 à 30 m) et mal exploités, la découverte s'avère très difficile d'autant plus qu'elle n'est pas programmée. La formation calcaire, très dure, en couches subverticales, est composée de pierre de couleurs différentes, ce qui constitue un problème dans le choix du bon matériau. Le concassage est encore manuel. La production est destinée à l'alimentation de l'usine de chaux. L'exploitation de cette carrière pose des problèmes de productivité et de sécurité pour le personnel opérationnel et environnant notamment par les projections de blocs. En effet, la seule possibilité d'évolution de la carrière se trouve dans le prolongement des fronts actuels en largeur donc dans le plan de dégagement du front. L'aménagement de la carrière, en gradins de 15 m de hauteur, et une bonne découverte des stériles offriront une souplesse d'exploitation et garantiront les normes de sécurité requises.

2 - 6/ Carrières SONATRA - CODIR

L'accès se fait par l'autoroute Tunis - Hammamet, loin de toute agglomération. Toutefois, les fronts ouverts, le long de cette même autoroute sont visibles et donnent à la forêt de Boukornine et au paysage un aspect de désolation.

En outre ces fronts, constitués en bancs massifs subverticaux, sont souvent l'objet d'éboulements de blocs au sommet. Ils sont ainsi une source permanente de dangers pour le personnel et le matériel.

Les fronts sont très hauts (20 à 30 m) et posent actuellement des problèmes d'évolution de l'exploitation. La seule possibilité d'extraction à court terme pour cet ensemble de carrières reste l'exploitation en profondeur. Là aussi, un aménagement des carrières en gradins descendants est souhaitable. A moyen terme, il y a lieu de prévoir un investissement important pour l'aménagement de la carrière en gradins.

Toute l'exploitation est orientée pour l'ensemble de ces carrières dans la production de granulats réputés pour leurs caractéristiques physiques appréciables (Coeff Los Angelos - Deval). Bien que ces carrières ne constituent pas une gêne physique pour l'environnement le rythme élevé de la production, associé à une exploitation peu soignée (absence de gradins et piste d'accès, découverte non réalisée comme signalée précédemment), consomme un site naturellement boisé grevant d'une manière fort coûteuse les possibilités de réaménagement de ce site.

Le choix d'un site, où l'exploitation aura moins d'impact sur le paysage, est vivement recommandée dans ce cas précis.

3 - MESURES PRECONISEES

Des mesures concrètes peuvent être prises afin d'atténuer les nuisances dues aux tirs à l'explosif dans ces sites sensibles. Ces mesures concernent les techniques de manipulation des explosifs et artifices ainsi que certaines méthodes d'exploitation et de réaménagement des carrières. Par les méthodes détaillées ci-après on peut lutter contre les principales sources de nuisances à l'environnement à savoir :

- les projections de blocs et l'émission de poussières
- l'émission du bruit

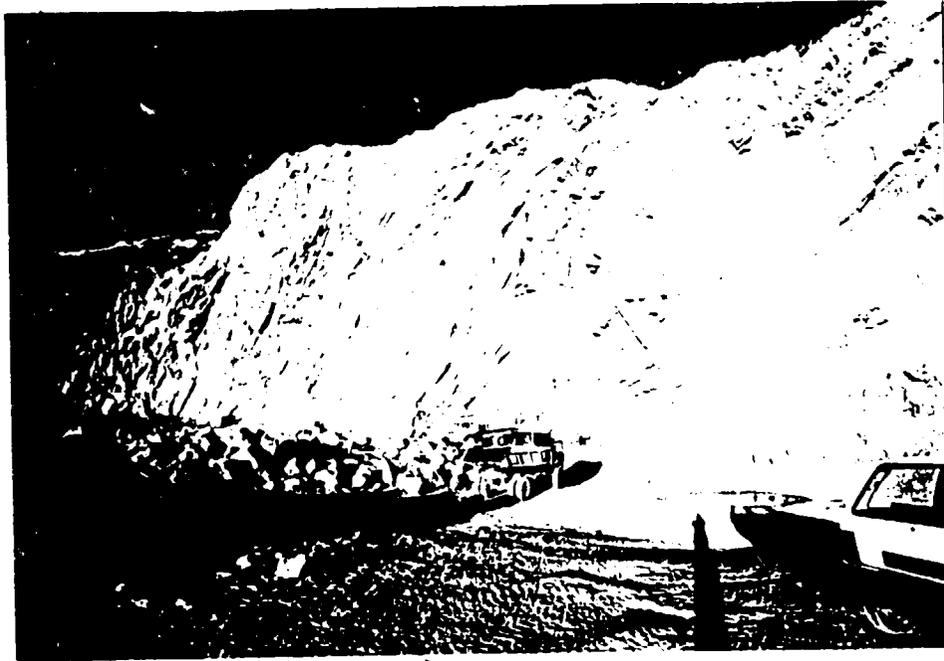


Carrière SOMATRA et CODIR

Gouvernerat de Ben Arous

(Djebel Boukornine, autoroute Tunis-Hammamet)

- Paysage dégradé irrémédiablement
- Consommation d'espace vert naturellement boisé et utile
- Possibilités de réaménagement coûteuses



Carrière SOMATRA

Gouvernerat de Ben Arous

(Djebel Boukornine-autoroute)

(Tunis-Hammamet)

- Exploitation anarchique en pendage montant
- Hauteur gradin très élevée (30 m)
- Extension de la carrière non étudiée decouverture non faite



- l'émission des vibrations
- le danger des excavations.

3 - I/ Lutte contre les projections de blocs et l'émission de poussières

* L'utilisation d'un plan de tir bien adapté, ni surchargé ni sous-chargé en explosif, donne dès l'abattage primaire une granulométrie homogène favorable à la bonne marche de l'exploitation, et réduit le nombre de blocs à traiter par minage secondaire.

* La suppression totale du minage secondaire est techniquement possible grâce à l'emploi de machines connues ayant déjà faits leurs preuves par ailleurs. L'intérêt économique de ces engins, dont le prix d'achat est en général élevé, n'est pas toujours évident pour l'exploitant. Toutefois une comparaison technico-économique entre les coûts d'utilisation de ces engins et les frais inhérents au pétérdage (explosifs, évacuations du personnel, foration supplémentaire, risques propres à la manipulation des explosifs) permettrait certainement à l'exploitant d'opter pour la première solution.

* L'utilisation des micro-retards dans la volée assure une fragmentation plus poussée des produits abattus et élimine les gros blocs susceptibles de minage par pétérdage. Les poussières émises par les carrières proviennent des tirs à l'explosif (découverte végétale, bourrage des trous de mine, argile intersticielle) d'une part et des installations fixes et mobiles de l'exploitation d'autre part.

Si la diminution des poussières des tirs s'avère difficile dans certains cas, on peut cependant limiter les poussières émises par les installations de traitement des matériaux, tels que les concasseurs, les cribles et les engins de manutention. Le capotage efficace des installations fixes, ainsi que l'équipement par des dépoussiéreurs à filtre, rend l'atmosphère plus propre. On peut envisager même le cas de pulvérisation d'eau au niveau de chutes de produits traités. Ce matériel relativement oner devrait figurer dorénavant dans les calculs économiques des entreprises, afin d'éviter la pollution de l'atmosphère des sites environnants.

Un rideau d'arbres dressé au tour des habitations constitue une barrière efficace pour la rétention de la poussière. Ce type de protection en zone urbaine est vivement recommandé.

L'arrosage des pistes, par temps sec notamment, et une limitation de la vitesse de circulation aide beaucoup à réduire les émissions de poussières nuisibles pour le personnel opérationnel et l'environnement. On sait par ailleurs, que cette poussière fine peut être transportée en suspension sur des centaines de mètres constituant ainsi un agent polluant pour l'air ambiant, voire nocif pour la végétation.

3 - 2/ Lutte contre l'émission du bruit

* La couverture du cordeau détonant posé sur le sol par une épaisseur de terre ou de sable calcaire, d'au moins 15 cm réduit le bruit provoqué par la détonation.

L'emploi de détonateurs à micro retard permet de :

- supprimer le cordeau posé sur le sol, source importante de bruit
- rendre le bruit aérien plus roulant

En outre, le risque de bris des vitres est très diminué lorsqu'on ouvre les fenêtres exposées à la carrière au moment du tir. Cela suppose que ce moment est porté à la connaissance du public.

Il faut rappeler aussi que pour des plans soignés le risque de dommage aux vitres par l'onde aérienne est minime devant le risque des dégâts aux constructions.

3 - 3/ Lutte contre l'émission des vibrations

* Le fractionnement de la volée en charges unitaires tirées avec micro-retards, réduit beaucoup le niveau des vibrations transmises par le sol. Des tirs en masse instantanés sont à proscrire.

* L'utilisation du nitrate fuel, ou des explosifs en bouillies, en améliorant le plan de tir, amène indirectement une réduction des nuisances puisque ces explosifs, chargés en vrac, remblissent mieux le trou de mine.

* Lorsqu'on constate que le niveau de nuisances est dangereux, il faut réduire l'effet des tirs, on utilisera les techniques spéciales comme le tir avec pré-découpage ou avec barrière de trous. Ces techniques demandent l'intervention de personnes bien habituées à l'emploi des explosifs.

* Il appartient à l'exploitant d'une carrière de veiller au climat psychologique en entretenant des relations de bon voisinage avec les habitants. Par exemple le choix de l'heure de tir est un facteur à ne pas négliger. Le tir à un moment d'activité artisanale importante où le bruit de fond est élevé, sera ressenti moins fort que lors d'une période plus calme.

En effet, l'acuité avec laquelle sont ressenties les nuisances, dues au tir, dépend beaucoup de l'état d'esprit des populations environnantes.

Pour les problèmes de contentieux, il est très utile de disposer d'un registre de tir mentionnant pour chaque tir effectué la date, l'heure, le lieu, le plan de tir, la quantité et la nature des explosifs et détonateurs utilisés, et le résultat. La tenue d'un tel registre, qui peut être visité régulièrement par les autorités compétentes (contrôleurs de mines), facilite les investigations ultérieures en cas de plaintes et permet de savoir s'il s'agit d'un tir régulier ou anormal.

3 - 4/ Lutte contre les excavations par le réaménagement des carrières

Une méthode simple, et relativement peu coûteuse, consiste au remblayage des excavations au fur et à mesure de l'exploitation de la carrière.

Cette mesure est vivement recommandée auprès des exploitants, ce qui est de nature à éviter tout risque de dangers notamment pour les carrières abandonnées.

Cependant le réaménagement des carrières en harmonie avec le site environnant est souhaitable notamment lorsqu'on se trouve dans une zone résidentielle et sensible telle que le gouvernement de Benin.

On peut citer quelques techniques de réaménagement très développées dans les pays industrialisés notamment.

3 - 4-I/ La réutilisation du sol par sa réhabilitation à l'agriculture

Toutes les formes d'exploitation peuvent être envisagées selon le milieu et le contexte socio-économique local. On peut songer par exemple pour le cas de Benin, la collaboration des administrations locales et des exploitants de carrière en vue d'un retournement de ces terrains, rendus fertiles après le remblayage progressifs en terre végétale.

En effet un coup d'oeil rapide sur la carte au 1:50000ème de la zone de Ben Arous, montre que les habitations et les installations industrielles ont consommé beaucoup d'espace au détriment des zones vertes et que le seul espace vert remarquable est celui du cimetière "Veilley", alors qu'on aura nécessairement besoin dans les années à venir, d'espaces plus importants et aussi utiles.

3 - 4-2/ Les carrières abandonnées

Sont souvent un receptacle pour les déchets produits tant par les ménages que par les industries, pourtant une décharge contrôlée peut être installée dans une carrière en site sensible tel que Ben Arous.

Car outre le fait qu'il n'y a pas la consommation supplémentaire d'espace, on peut rentabiliser ces excavations et leur donner une vocation noble telle que la remise en culture, surtout que le rechargement en terre végétale, s'avère souvent une technique onéreuse.

Bien entendu, les lieux sont choisis selon la nature des dépôts et les conditions optimales de respect d'hygiène et de salubrité. Dans les carrières en eau par exemple, il est impossible de déposer des déchets non inertes susceptibles d'engendrer une pollution, si celles-ci communiquent avec une nappe souterraine.

3 - 4-3/ La création de zones de lotissements industrielles

Elle est seulement possible sur les sites d'anciennes carrières à sec, correctement aménagées en pleine zone urbaine,

3 - 4-4/ Le déplacement progressif des installations de concassage, existant actuellement dans les sites sensibles de Ben Arous, vers une zone de gisements calcaires plus éloignée telle que la zone du Jebel Tegras distant de 30 Km environ de la capitale doit être envisagée.

Le calendrier de déplacement, est à établir sur une commission ad-hoc composée notamment :

- les représentants des pouvoirs publics (Ministère de l'Industrie Nationale, Intérieur, Collectivités Locales...)
- les représentants de la profession et de l'U.C.I.C.M au titre d'Expert.

CONCLUSIONS GENERALES

Nous avons vu au cours de cette étude succincte que la plupart des carriéristes tirent profit des insuffisances flagrantes de la législation actuelle en matière d'exploitation des carrières et explosifs. Ainsi, ces exploitants, en l'absence d'un contrôle approprié à l'intérieur des carrières s'adonnent à des pratiques illicites et même parfois illégales dans l'exploitation de leur carrières et ce au détriment de la sécurité de leur personnel et de l'environnement.

L'intérêt de toutes ces pratiques pour l'exploitant reste le profit immédiat à l'exclusion de toute autre considération. Ce profit est encouragé également par un manque quasi total d'un contrôle rigoureux de la part de l'administration. Pourtant, ce secteur mérite une attention particulière et plus accrue de la part de toute la collectivité en général et du législateur en premier lieu, et ce afin qu'il puisse jouer le rôle socio-économique qui lui est dévolu dans le développement du pays.

De ce fait et en attendant la refonte de la législation actuelle, on peut dorcas et déjà insister sur certains points déterminants et susceptibles d'améliorer la situation de ce secteur à savoir :

1 - EN MATIERE DE SECURITE

Afin d'assurer la sécurité du personnel, à l'intérieur de l'exploitation, et celle de la population environnante, il est primordial qu'un certain nombre de consignes soient appliquées et respectées telles que :

- l'application d'un horaire fixe de tir
- la proscription des tirs en masse instantanés pour les volées importantes
- la fixation avant toute autorisation d'exploitation de carrière d'une "distance réduite" à ne pas dépasser; cette distance peut être déterminée par les experts du C.T.M.C.C.V.
- l'obligation faite pour les camions de livraison de granulats d'être équipés de bennes relevées à l'arrière et / ou de portes bien fermées.

2 - EN MATIERE DE PRODUCTION

Pour une meilleure production avec gain d'énergie, et par conséquent réduction de nuisance, le carriériste devrait opter pour des techniques nouvelles d'exploitation des carrières. Il devrait recourir entre autres à :

- l'utilisation systématique de la technique du tir avec micro-retard.
- la suppression des mèches lentes par la généralisation de l'allumage électrique.
- la réalisation, autant que possible, des tirs inclinés de l'ordre de 80°.
- la foration avec une surprofondeur égale au tiers de la banquette au maximum.
- la nécessité d'exploiter, simultanément, au moins 3 fronts :
 - * un front de forage
 - * un front d'abattage
 - * un front de chargement

Ces fronts doivent être assez éloignés les uns des autres (50 mètres minimum).

3 - EN MATIERE DE FORMATION PROFESSIONNELLE

La formation professionnelle et l'assistance technique sont les deux missions principales du C.T.M.C.C.V. Ainsi le centre est entrain de créer une cellule d'experts en carrière et explosifs afin d'assister systématiquement les exploitants de carrière. De ce fait le C.T.M.C.C.V est en mesure d'offrir actuellement ses services pour :

- le choix de schémas de tir
- la généralisation de l'utilisation du nitrate-fuel, comme explosif secondaire
- l'élaboration des plans d'exploitation à moyen et long terme.

Dans le futur le C.T.M.C.C.V sera équipé pour :

- la formation de foreurs, boute-feux et mineurs.

4 - EN MATIERE D'ENVIRONNEMENT

La notion de sauvegarde de l'environnement prend de plus en plus de place dans la société actuelle et devient une préoccupation importante des gouvernants . Ainsi les carrières n'ont pas échappé depuis quelques années à l'attention des écologistes et autres protecteurs de l'environnement et la présente étude, par l'examen de sites sensibles tunisiens tels que ceux du gouvernorat de Ben Arous, a essayé de trouver un certain nombre de solutions aux problèmes posés par la présence de carrières en milieu urbain.

De ce fait il est apparu au fil de cette étude qu'il importe à tous d'adopter certaines préconisations, afin d'assurer la viabilité à l'intérieur de ces sites sensibles et notamment par :

- la création autour de chaque carrière située en site sensible d'un ensemble de moyens de mesure et d'enregistrement des bruits et des vibrations
- la protection des habitations se trouvant dans la zone critique par une barrière de trous, assurant une discontinuité efficace
- l'implantation en cas de proximité immédiate d'usines de concassage d'habitations placées en outre dans le même sens que les vents dominants, d'un rideau d'arbres tels que pins, eucalyptus etc...
- le réaménagement des excavations existantes par les exploitants au fur et à mesure de leur exploitation et en cas de refus l'expropriation pour cause d'utilité publique ces terrains pourront être réutilisés par exemple comme :
 - * Cimetières
 - * Décharges publiques contrôlées
 - * Espaces verts
- l'établissement d'un calendrier d'évacuation et d'arrêt des carrières nuisantes en fonction d'une part des dangers qu'elles présentent, et d'autre part de la disponibilité de carrières de substitution.

Pour cela des campagnes doivent être menées par le tandem Office National des Mines - C.T.M.C.C.V pour rechercher des carrières appropriées autour du grand Tunis.

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

1 - LEGISLATION TUNISIENNE EN MATIERE D'EXPLOITATION DES CARRIERES ET EXPLOSIFS

- * Décret du 28 Avril 1955
- * Arrêté du 29 Novembre 1955
- * Décret du 16 Octobre 1938
- * Arrêté du 12 Octobre 1938
- * Arrêté du 20 Octobre 1953

2 - C E F I C E M

Mise en oeuvre des explosifs en site sensible. Nuisances -
Protection de l'environnement - Mesures de vibration.

3 - C E R C H A R

Tirs à l'explosif et impact sur l'environnement.

4 - B R G M

Etude d'un cas pratique dans la carrière Djebel Sidi Salah -
GABES - Février 1981.

5 - ANNALES DES MINES

Avril - Mai 1981

6 - ETUDE SUR LES GRANULATS EN TUNISIE

Tunisie-Mines /ONUUDI - Août 1984