

1) Ratés de tir - Explosions incomplètes.

Dans le cas du tir de pétards, si le préposé au tir a repéré un bloc dont la charge n'a pas sauté, le forage d'un second trou de pétard ne peut être entrepris qu'après repérage de la face où le fourneau raté a été foré de façon à pouvoir éviter en toute certitude la rencontre de la charge ratée.

Il est interdit de débourrer une mine, fût-ce partiellement, même si aucune tentative de mise à feu n'a été faite.

Si une tentative de mise à feu a eu lieu et que la mine soit venue à rater, pendant deux heures au moins à partir du moment de l'allumage en cas d'amorçage à la mèche et pendant une demi-heure au moins à partir du moment de l'allumage en cas d'amorçage électrique, l'accès de l'endroit où se trouve la mine est interdit; il en est de même de ses abords, dans la zone de projections possibles.

11.1.2. Les exploitations souterraines.

On peut extraire, dans des exploitations souterraines, diverses substances, notamment: houille, minerais, sel gemme, silex, etc...

La méthode d'exploitation repose sur le percement de galeries. La volée qui est l'ensemble des coups de mine qui sont allumés en même temps dans le but de creuser une galerie comprend deux sortes de coups, les coups de bouchon et les coups de dégraissage dont le départ est échelonné dans le temps grâce à l'emploi de détonateurs à retard.

Les coups de bouchon qui sont ceux qui partent les premiers ont pour but de créer une excavation au centre du front d'attaque. Ils doivent pouvoir arracher un volume de roche ne présentant qu'une surface de dégagement.

Les coups de dégraissage qui partent avec des retards plus importants ont pour but d'agrandir la brèche creusée par le bouchon, mais il y a alors deux surfaces de dégagement, le front avant et la paroi de cette brèche.

On distingue quatre genres de bouchons (illustrations page suivante) :

- *Les bouchons en éventail utilisent comme surface de dégagement initiale le front de la galerie; on incline progressivement chaque trou sur la surface préexistante.*
- *Les bouchons convergents utilisent également le front comme première surface de dégagement, mais on tire simultanément plusieurs coups de manière à découper un cône ou une pyramide.*
- *Bouchons cylindriques à gros trou vide : on creuse mécaniquement un trou de gros diamètre et parallèlement selon une spirale des trous de petit diamètre que l'on charge et tire successivement toutes les 50 millisecondes. Le gros trou sert de surface de dégagement. On peut aussi réaliser des bouchons symétriques.*
- *Les bouchons en arrachement sont constitués par 6 à 10 trous parallèles, perpendiculaires au front, assez rapprochés, tirés simultanément ou presque. On cherche à fragmenter au maximum le volume arraché par les charges; des trous non chargés de même diamètre facilitent la fissuration mais ne fournissent pas de place au foisonnement.*

Dans les exploitations souterraines, on creuse également des puits; les méthodes de creusement sont analogues à celles utilisées pour les galeries.

Pour des raisons de sécurité vis-à-vis du grisou et des poussières, on utilise des explosifs spéciaux dans les mines de houille.

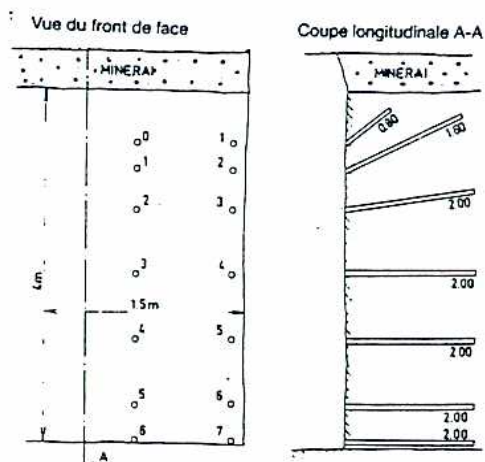
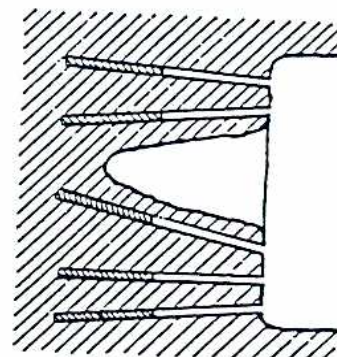


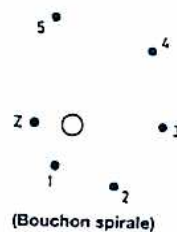
Schéma en éventail dans le tir dans une galerie.



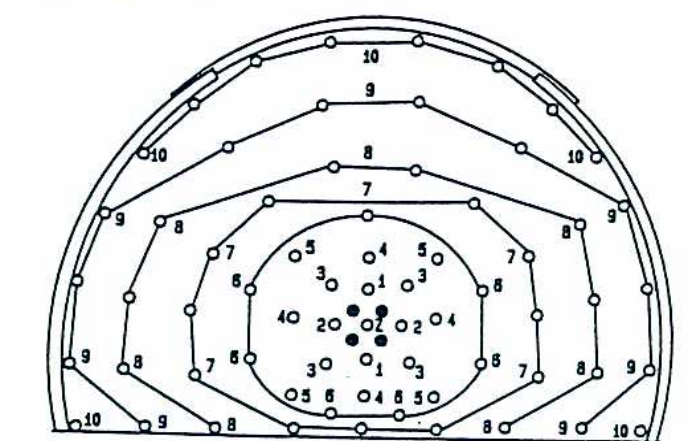
bouchons convergents.



Bouchons à gros trous non chargés.



Section 20 m².
Trous : profondeur 4 m.



Numéro des retards	Nombres de trous	Nombres de cartouches par trou	Charge totale
Z	1	8	8
1	2	8	16
2	2	8	15
3	4	8	32
4	4	8	32
5	4	7	28
6	7	7	49
7	11	7	77
8	10	7	70
9	12	7	84
10	10	7	70



- 6 trous
3 non chargés -

- 9 trous
4 non chargés -

Bouchons à trous parallèles fonctionnant en arrachement.

11.2. Emploi des explosifs dans les travaux publics.

Le pourcentage d'explosifs consommés pour des emplois de ce genre est de l'ordre de 20 %.

11.2.1. Creusement de tunnels de grande section.

Pour le passage des voies de circulation, on a souvent besoin de creuser des tunnels.

Les méthodes ne diffèrent pas de celles qui sont utilisées pour le creusement de galeries dans les mines. On peut ici aussi abattre le rocher sur toute la section souhaitée, ou bien creuser une ou plusieurs galeries d'avancement qui seront ensuite élargies et éventuellement réunies entre elles.

Ces dernières années, on a développé le tir séquentiel, surtout pour le creusement de tunnels de grande section.

11.2.2. Creusement de tranchées, de galeries ou de puits.

Ces problèmes se posent lors des grands travaux routiers, lors du creusement de galeries de captage et d'adduction d'eau, lors de l'installation de conduites et la pose de câbles, etc...

11.2.3. Creusement de trous pour la pose de poteaux.

11.2.4. Travaux de nivellement.

Tous les problèmes de nivellement, notamment les aménagements de plates-formes pour le passage de routes, de canaux ou de voies ferrées, ou encore pour la construction d'un bâtiment, peuvent être facilités par l'emploi d'explosif.

11.2.5. Travaux maritimes.

On utilisera de l'explosif pour aménager les berges d'un fleuve, pour creuser des ports, pour approfondir des voies de navigation.

Evidemment, des difficultés se présenteront dans tous les travaux sous-marins; en particulier, dès que les trous seront forés, ils se rempliront de boue et il faudra avant leur chargement les nettoyer au moyen d'air comprimé.

Pour la pose des cartouches, il sera nécessaire de faire appel à des scaphandriers.

11.3. Utilisation des explosifs pour les travaux de démolition.

11.3.1. Démolition de murs.

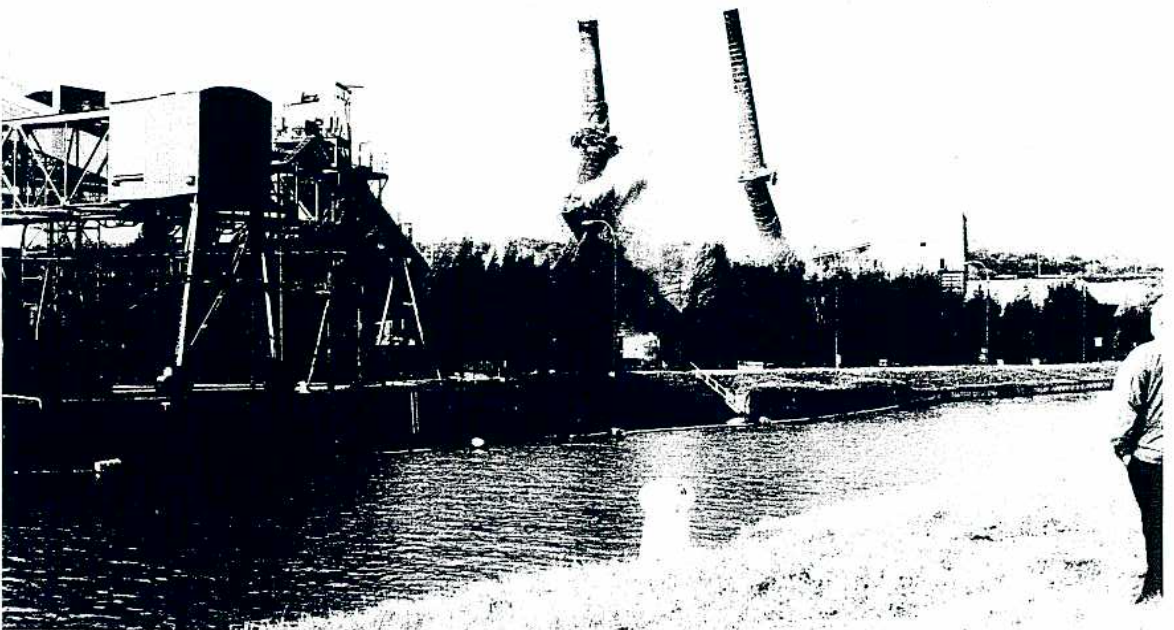
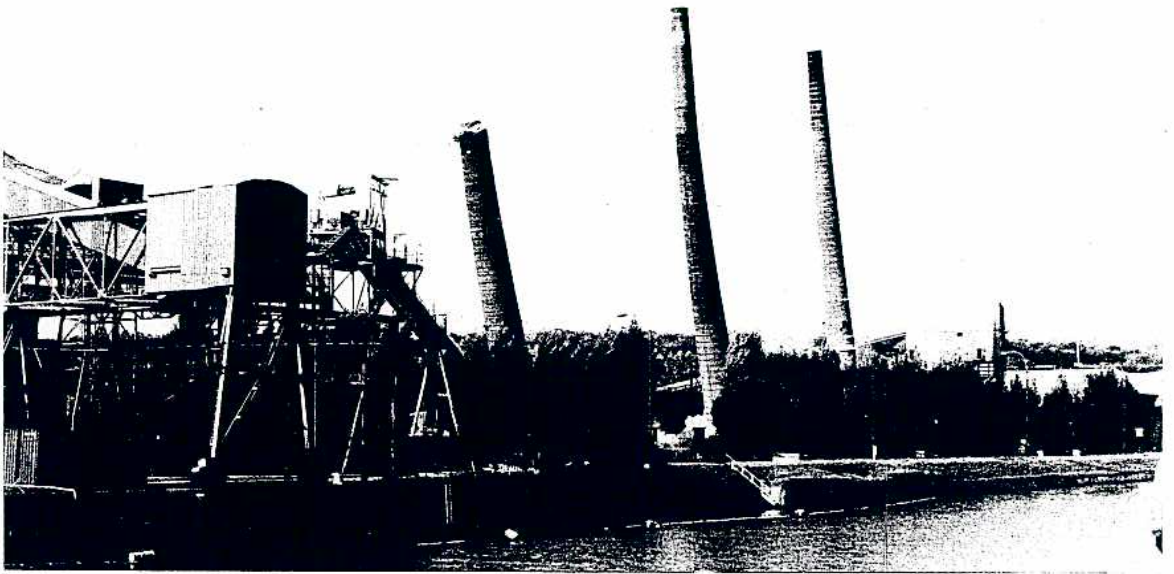
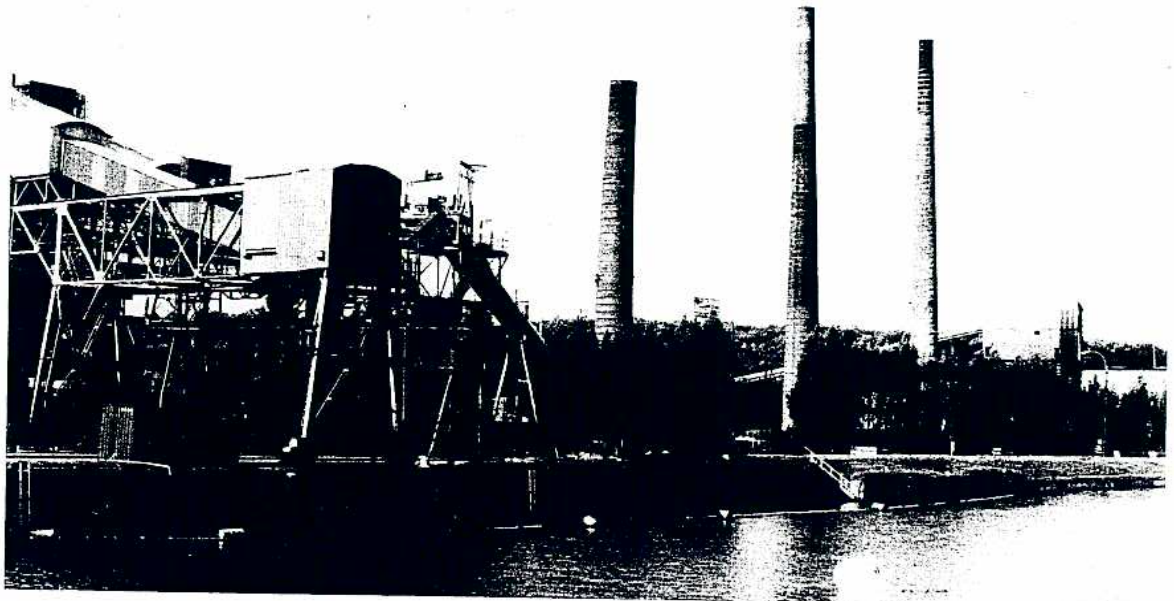
Pour tous les murs dont l'épaisseur est assez grande (supérieure à 50 cm par exemple), c'est l'explosif qui est le moyen de destruction le plus avantageux.

Les trous de mines sont percés horizontalement ou verticalement et disposés en rangées, l'intervalle entre deux trous étant au maximum égal à une fois et demie l'épaisseur du mur à démolir.

Le poids d'explosif nécessaire varie de 150 à 400 g par mètre cube à abattre suivant la nature du matériau.

Lorsqu'il s'agit de béton armé, l'explosif disloque le béton mais les ferrillages métalliques ne sont que tordus et il est nécessaire ensuite de les découper au chalumeau.

11.3.2 . Démolition de cheminées d'usine, de ponts.



11.3.3. Destructions diverses.

De très nombreuses autres destructions peuvent s'effectuer à l'aide d'explosif : destruction d'un trépan qui est resté coincé au cours d'un sondage ou d'un forage de faible diamètre, en faisant détoner une faible charge au voisinage de celui-ci, cassage des blocs de glace qui obstruent une rivière, découpage d'épaves sous-marine, sectionnement de pieux, etc...

11.4. Tir en masse chaude (température supérieure à 100° C).

En sidérurgie à chaud, on utilise régulièrement des explosifs.

Lors de l'arrêt d'un haut fourneau, les lours de creuset doivent être fragmentés pour changer le réfractaire. En cours de fonctionnement, des incidents peuvent amener la formation de garnissages en voûte et de masses en couches épaisses (jusqu'à 3 mètres). Des colmatages peuvent se produire, notamment dans les poches.

Avant de fragmenter les lours de creuset, on peut les noyer à l'eau. Pour le colmatage des poches, on peut transporter les masses chaudes à l'écart et également les refroidir à l'eau. Dans les deux cas, l'utilisation d'explosifs est conventionnelle.

Il n'en est pas de même pour l'élimination des garnissages en voûte, lorsque le haut fourneau est en marche. Le refroidissement par l'eau n'est pas possible en raison du danger de la décomposition de l'eau portée à plus de 1100° C et de l'explosion du mélange hydrogène-oxygène.

Il faut alors isoler thermiquement la charge explosive grâce à des tubes porte-charge, car les explosifs commencent à se dégrader à partir de 75° C et il peuvent déflagrer ou détoner spontanément vers 180° C.

Les trous de tir sont disposés horizontalement et en quinconce (fig. 1). Pour renforcer les fourneaux, il est recommandé d'employer des tubes-guide métalliques à paroi épaisse (44 à 50 mm de diamètre) avec plaques de renfort sur le blindage (fig. 2).

Le tube porte-charge (30 à 40 mm de diamètre) peut être refroidi à l'eau; il maintient constamment la charge à une température inférieure à 100° C et permet d'éliminer l'influence thermique de la masse sur la charge.

Malheureusement, l'emploi de ce système n'est pas toujours possible.

Suivant la température limite d'emploi, le tube porte-charge peut être en amiante (jusqu'à 650° C), en "carton" protégé ou non par une feuille d'aluminium (jusqu'à 800 à 1000° C) ou en fibres céramiques à faible conductivité thermique (jusqu'à 1400° C) (fig. 3).

On peut déterminer par calcul le temps nécessaire pour atteindre à l'intérieur de la gaine une température de 100° ou 200° C en fonction de la température de la masse chaude.

Les charges d'explosifs introduites dans un trou varient de 300 à 1.500 gr. Il convient d'employer une composition à base de nitrate ammonique et de T.N.T., du type luxite. Les cartouches de 50 à 100 gr (30 mm de diamètre) sont conçues de telle sorte qu'elles puissent être amorcées par un cordeau détonant (12 gr/m) introduit dans le canal axial.

En avant et en arrière de la charge, on effectue un bourrage à la terre glaise;

Hors de la cartouche, une protection thermique du cordeau peut être réalisée simplement par une cartouche à trou axial vide d'explosif, ou par un manchon de laine de verre.

Avant chaque tir, on prépare à l'avance le ou les tubes porte-charge, le dispositif d'amorçage et la ligne de tir. Le délai de placement du ou des tubes et le délai de retraite dans l'abri doit être supérieur à 1 minute.

Pour éviter les risques d'inflammation liés aux influences électriques, telles que courants vagabonds, décharges d'électricité statique et champs électromagnétiques, on peut utiliser un détonateur à haute intensité (U ou HU).

En Belgique, les dispositions sont prises pour que la température des parois des fourneaux de mine creusés en masse chaude ou des parois intérieures des tubes porte-charge introduits dans ces fourneaux soit inférieure à 100° C.

A cet effet, le chef-mineur :

- dispose de moyens techniques adéquats pour mesurer la température et consigne les résultats dans un registre spécial tenu à la disposition des fonctionnaires et agents compétents;*
- utilise des explosifs appropriés;*
- ne peut utiliser de détonateur à haute intensité.*

De plus, l'agent responsable et le chef-mineur établissent des consignes particulières adaptées aux circonstances.

Les conditions de minage prévoient notamment :

" L'introduction de l'explosif dans des fourneaux ne pourra se faire qu'après un refroidissement efficace au moyen d'un tuyau à eau introduit au fond du trou.

Le contrôle de la température de l'eau pourra se faire à la main.

Avant de procéder au chargement des mines, le boute-feu s'assurera de la possibilité du tir, tant pour la sécurité du chantier que pour celle du voisinage. "

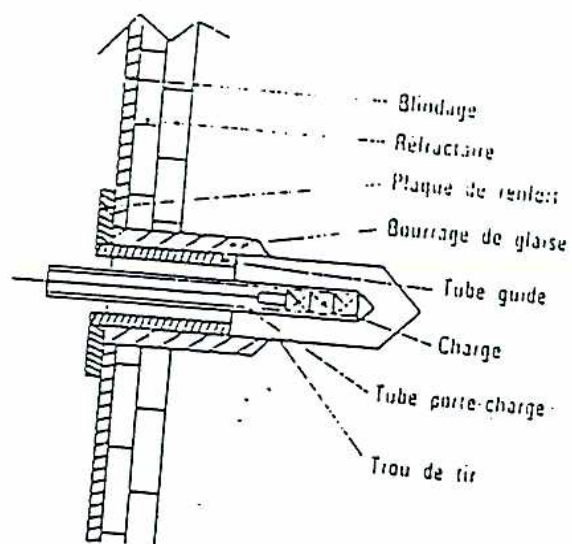


Fig. 2

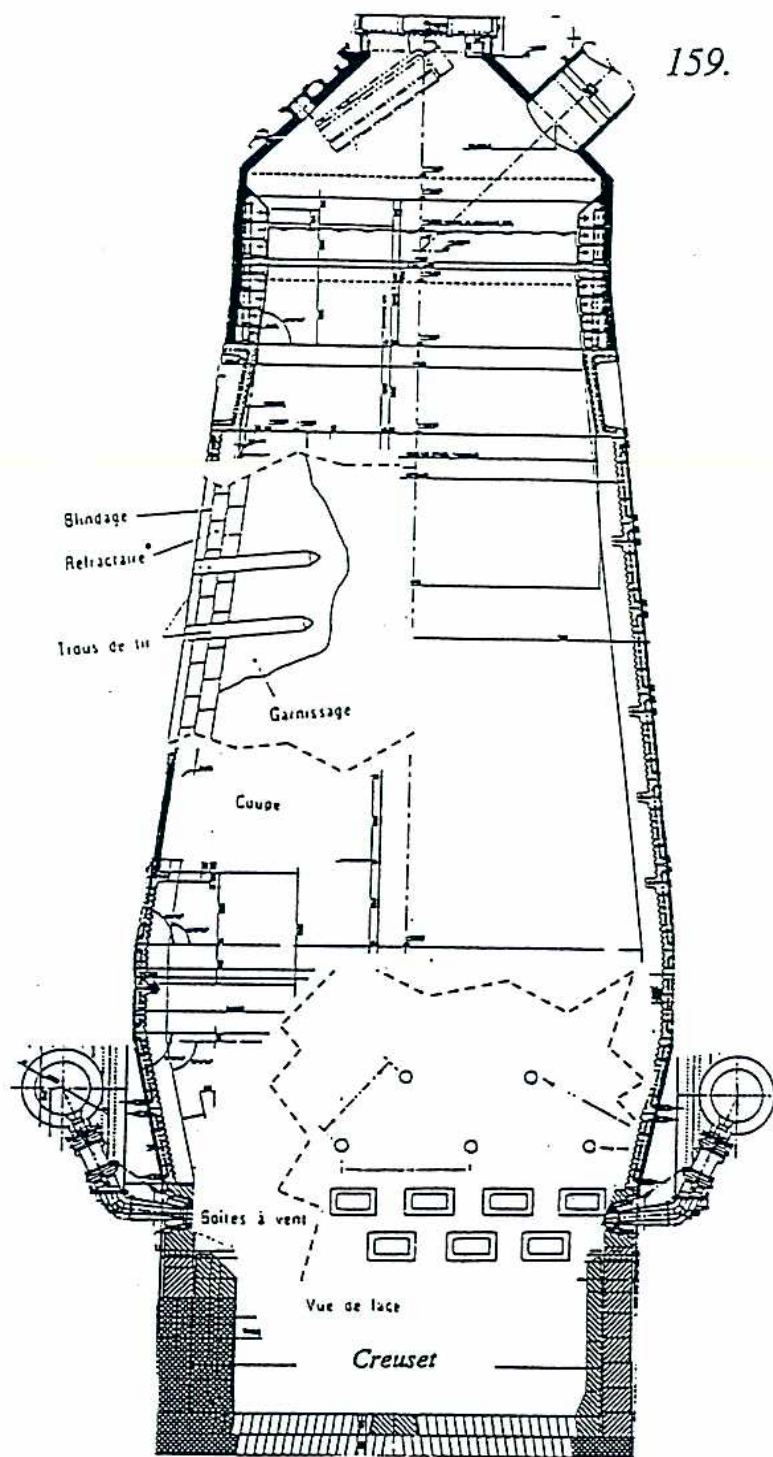
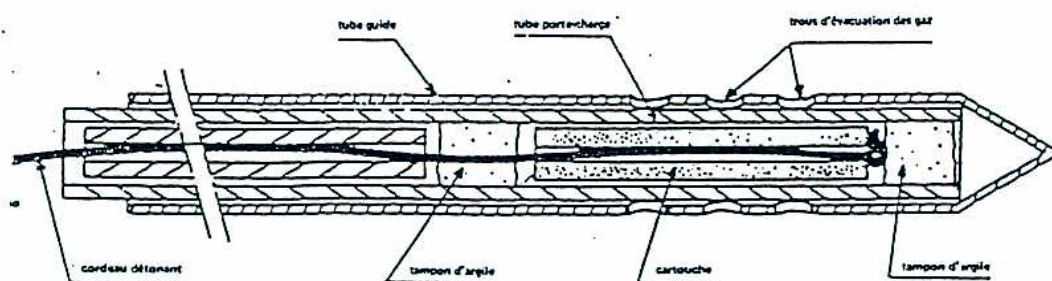


Fig. 1



ENSEMBLE TUBES GUIDE
ET PORTE-CHARGE

Fig. 3

11.5. Utilisation des explosifs en agriculture.

11.5.1. Le dérochage.

On peut utiliser des explosifs pour casser des blocs de pierre. La charge est parfois placée sur une partie dure de la roche préalablement nettoyée et elle est maintenue en place à l'aide d'un mortier de terre qui sert de bourrage. Elle peut être aussi introduite dans un trou pratiqué à l'intérieur du bloc. Si cela est possible, on peut encore diviser la charge en plusieurs parties que l'on répartit sur la surface de la roche que l'on amorce simultanément.

La quantité d'explosif nécessaire dépend de sa brisance, de la position de la charge, de la dureté et de la forme de la roche. Pour détruire un bloc d'un mètre de diamètre, il faut une charge centrale de 50 à 100 g ou une charge superficielle de 500 à 1000 g.

11.5.2. Le drainage.

On peut utiliser de l'explosif pour défoncer une couche d'argile imperméable qui crée un marécage, ce qui permettra, si la couche sous-jacente est perméable, un drainage des eaux.

11.5.3. Le dessouchage, l'abattage d'arbres, la plantation d'arbres, le sous-solage.

11.6. Utilisation des explosifs pour le travail des métaux. (voir fig. page suivante)

Les progrès techniques importants réalisés ces dernières années par l'industrie aéronautique et spatiale ont conduit les spécialistes à rechercher des solutions originales et pratiques aux problèmes que leur posaient tant le travail des métaux de plus en plus spéciaux que la fabrication des pièces de plus en plus compliquées et de plus en plus grandes. Il s'en est suivi un développement de nombreuses techniques nouvelles dont le formage avec ou sans matrice, le placage ou soudage, le découpage, le durcissement superficiel par écrouissage, le frittage de métaux en poudre.

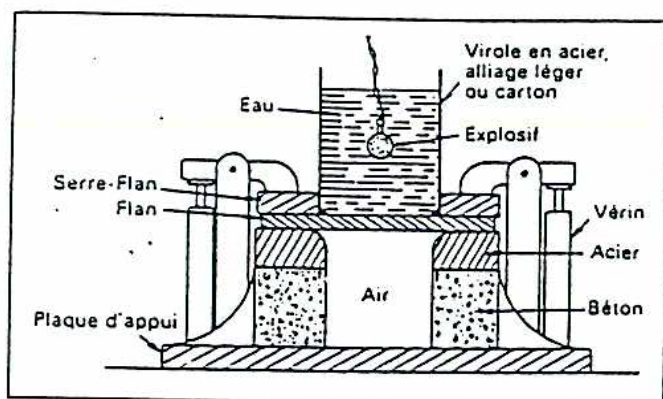
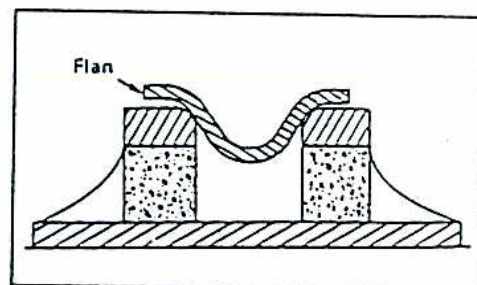


Schéma d'un moule de formage libre.



Pièce après tir de formage (serre flan enlevé).

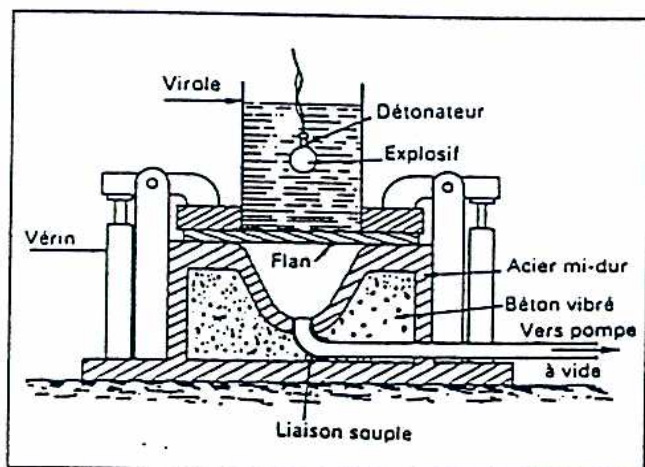
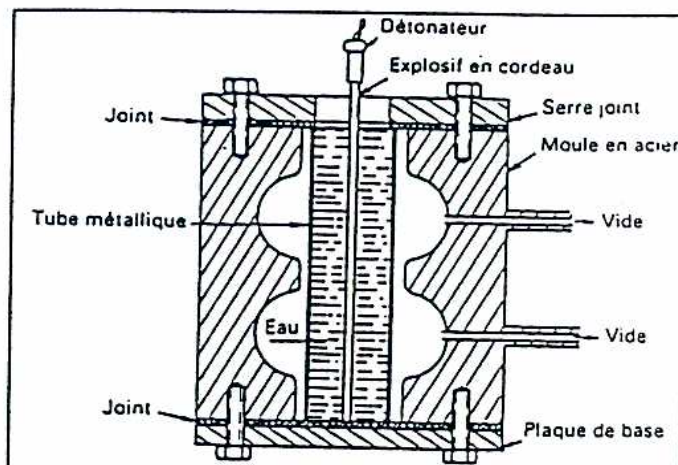


Schéma d'un moule de formage avec matrice.



Moule pour le formage par gontlement.

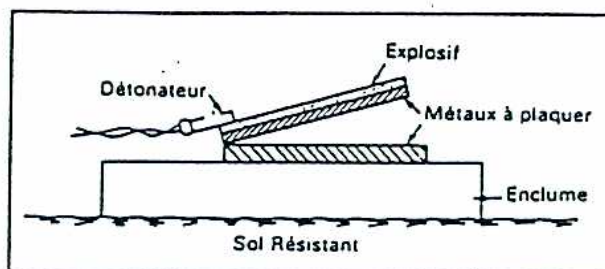


Schéma de principe du placage par explosion.

11.7. Utilisation des explosifs pour la prospection sismique.

11.7.1. Sur terre.

A l'aide des ondes de choc produites par la détonation d'une charge explosive placée sur le sol ou dans un trou de mine, on peut étudier les différentes couches géologiques d'un terrain et cette méthode est employée en particulier pour la prospection pétrolière. La connaissance des failles, des anticlinaux et des synclinaux permet en effet de découvrir les structures susceptibles de contenir du pétrole ou du gaz.

Les charges utilisées peuvent varier de quelques centaines de grammes à plusieurs centaines de kilogrammes et la profondeur des trous peut dépasser 100 mètres.

Les appareils enregistreurs appelés sismographes sont placés à des distances de la charge variant de un à plusieurs kilomètres.

11.7.2. En mer.

On utilise la même technique pour découvrir les gisements offshore que pour rechercher les gisements probables sur terre.

Un navire d'exploration est équipé de quelques douzaines de canons qui produisent les ondes sonores; ces canons sont disposés en batteries, suspendus à des bossoirs de chaque côté du navire et immergés à une dizaine de mètres sous la surface de l'eau.

Toutes les 8 à 10 secondes, une étincelle électronique allume un mélange de propane et d'oxygène et les ondes sonores transmises par les canons immergés sont réfléchies par les couches rocheuses situées à plusieurs kilomètres en dessous du lit de la mer.

En quelques secondes, les ondes sonores sont recueillies et enregistrées par des hydrophones fixés à certains intervalles le long d'un câble sismique, lui-même remorqué sur 3 km derrière le navire.

Le navire d'exploration effectue des parcours parallèles, distants entre eux de 300 à 3000 m. Quand les enregistrements sont terminés dans une direction, ils sont ensuite poursuivis dans une direction perpendiculaire, de manière à couvrir toute une région.

11.8. Applications diverses.

Les substances explosives sont encore utilisées dans de nombreux dispositifs particuliers dans lesquels on recherche une action très brutale pendant un temps très court ou la production subite d'une grande quantité de gaz : boulons explosifs, rivets explosifs, dispositifs de démarrage de moteurs diesel, dispositifs de lancement de gyroscopes, etc...

11. LES NUISANCES DUES AUX TIRS DE MINES. (10)

11.1. Introduction.

Bien qu'étant de pratique courante, l'usage des explosifs, que ce soit en carrière ou en chantier de génie civil, a de tout temps exercé des effets sur leur environnement immédiat. Les nuisances occasionnées par cette utilisation des explosifs sont principalement liées aux effets mécaniques engendrés. L'impact de ces nuisances s'est considérablement accru au cours de la dernière décennie en raison d'une urbanisation rapide, mais également à cause d'une sensibilité accrue du public vis-à-vis de la qualité de l'environnement.

La figure ci-dessous illustre les différents effets induits par les tirs de mines.

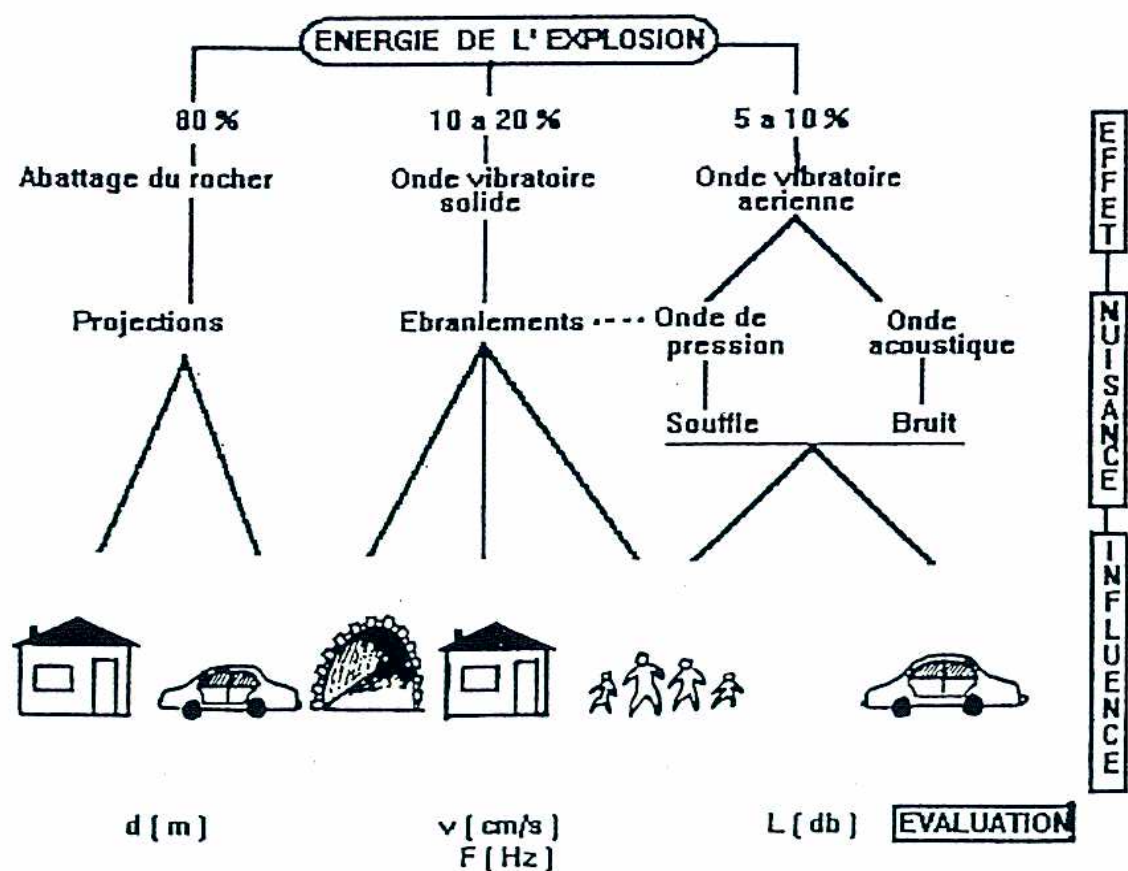


Figure 1. : Effets sur l'environnement induits par les tirs de mines.

Les nuisances dues aux tirs de mines sont de quatre ordres :

- *émissions de fumées et de poussières;*
- *projections de roches;*
- *vibrations acoustiques;*
- *vibrations du sol.*

Pour fracturer et déplacer un mètre cube de rocher en place, l'énergie libérée dans un trou de mine par une charge explosive est de 10 à 100 fois moindre que celle fournie par un engin mécanique de puissance moyenne.

Cependant, la durée de libération de cette énergie par détonation est plusieurs millions de fois plus courte. C'est cette rapidité qui permet de disloquer à l'explosif à peu près n'importe quelle roche, alors que l'emploi de moyens mécaniques d'extraction est impossible quand les roches ont une certaine résistance.

Pour donner un ordre de grandeur, on estime que seulement 80 % de l'énergie développée par l'explosion sert à l'abattage du rocher. Le reste est cédé au terrain sous forme d'ondes vibratoires solides (10 à 20 %) agissant tant sur les fluides que sur les solides, ou sous forme d'ondes vibratoires acoustiques (5 à 10 %). Ces ondes vibratoires sont peu destructrices tant que l'on respecte certains seuils, mais sont psychologiquement désagréables pour les riverains.

12.2. Les émissions de fumées et de poussières.

Les fumées et les poussières résultant d'un tir à l'explosif en chantier à ciel ouvert, ne sont pas des sources habituelles de dangers. Leurs caractères ponctuels, dans le temps, et limités dans l'espace, n'en font pas des nuisances prohibitives pour l'environnement.

Les poussières résultant du tir sont en grande partie entraînées vers le bas par la chute du tas.

Dans les fumées, le gaz produit le plus dangereux pour l'homme est le monoxyde de carbone CO (incolore, inodore, sans saveur et non irritant). Elles contiennent de 2 % à 15 % de monoxyde de carbone (CO) et de 0,01 % à 5 % de vapeurs nitreuses (NO et NO₂). Ces gaz sont considérés comme toxiques (ils provoquent des maux de tête, toux, irritations, ...) à partir de concentrations très faibles dans l'atmosphère du chantier - de l'ordre de 50 ppm. Dans les chantiers souterrains, ces concentrations sont toujours dépassées pendant une période de quelques minutes immédiatement après le tir. L'expérience acquise en hygiène et toxicologie a conduit à considérer comme satisfaisant un explosif dont l'indice de toxicité est inférieur à 50 l/kg ($IT = CO + 5NO_x$ dans des conditions d'essais déterminées).

La seule façon de limiter les fumées, est d'optimiser la technique de tir pour travailler avec la consommation d'explosifs minimale compatible avec la réalisation des objectifs de tir.

L'émission de poussières en cours de forage est réduite par l'utilisation d'un système de dépoussiérage par aspiration adapté à la machine de foration.

12.3. Les projections de roches.

De par son principe même, l'abattage à l'explosif peut projeter, selon des directions non connues à priori, des fragments de roches à des distances considérables.

La projection contrôlée de la roche à une certaine distance et dans une direction donnée est dans la plupart des cas un des objectifs principaux du tir.

Dans certaines conditions, des projections à distance excessive ou dans une direction inattendue peuvent se produire, compromettant la sécurité des personnes ou des biens à l'intérieur ou à l'extérieur de l'exploitation.

Il ne faut pas non plus perdre de vue le danger présenté par les projections pour le système d'amorçage lui-même : elles peuvent occasionner un raté de tir par suite du sectionnement des dispositifs de surface (cordeau maître, tube Nonel, ligne électrique).

Lorsque des projections indésirables se produisent, elles sont généralement la conséquence d'une conjonction de paramètres dont certains sont maîtrisables (ceux ayant trait au schéma de tir) et d'autres difficilement contrôlables (ceux découlant de la structure géologique du massif).

Il vaut mieux proscrire l'abattage par mines horizontales, car il est source d'un risque élevé de projections.

Les tirs effectués dans des conditions particulières, comme les tirs secondaires ("pétardarges"), les tirs de rectification de front et de pied, l'abattage de "chandelle", présentent également des risques élevés de projection et doivent être limités au strict minimum.

Une étude approfondie des schémas de tir primaire permet d'atteindre ce but, par l'obtention d'une bonne blocométrie (d'où pétardage réduit), d'un bon dégagement du pied et d'un profil régulier du front (d'où moindre nécessité de tirs de rectification).

D'une manière générale, on peut craindre des projections horizontales ou sub-horizontales chaque fois que la quantité d'explosif utilisée est trop importante vis-à-vis de la tranche à abattre ou de la résistance de la roche.

Inversément, si l'épaisseur de la tranche est trop importante, on peut craindre la projection verticale ou sub-verticale des bourrages de tête due à un véritable effet de canon.

La technique d'abattage par mines verticales est particulièrement sûre.

La suite de ce paragraphe s'attache à décrire les causes principales de projection et les moyens de prévention, pour l'abattage par mines verticales effectué dans des conditions normales de production dans les chantiers à ciel ouvert.

a) *Le positionnement des fourneaux.*

Lorsque le front d'abattage présente localement une forme irrégulière, il peut arriver que l'épaisseur réelle de la tranche à abattre ne corresponde pas à l'épaisseur de la banquette telle que définie par le plan de tir. C'est la conséquence d'une erreur dans le positionnement des trous (positionnement uniquement par rapport à la limite supérieure du gradin). Le risque d'effectuer cette erreur est d'autant plus grand que la hauteur des fronts est importante.

Le type de projections dépend du type d'irrégularités rencontrées :

- *Figure 2. : le front est détérioré dans sa partie supérieure et présente donc un chanfrein. Si les fourneaux de la rangée suivante sont positionnés par rapport à l'angle supérieur du chanfrein, la charge peut s'avérer insuffisante pour l'épaisseur de la tranche à abattre. Les fourneaux peuvent alors "faire canon", c'est-à-dire travailler en cratère en expulsant verticalement leur bourrage avec des fragments rocheux arrachés à proximité de la surface libre.*
- *Figure 3. : si le front présente une concavité située sous un surplomb et que les fourneaux sont positionnés par rapport au bord du gradin, la charge peut être trop importante pour l'épaisseur réelle de la tranche à abattre au pied du front et on risque des projections horizontales importantes.*

Le mode de prévention le plus efficace est ici d'essayer de travailler avec des fronts présentant le moins d'irrégularités possible. Cela nécessitera peut-être un réajustement des schémas de tir, et éventuellement la mise en oeuvre de techniques spéciales (par ex. le prédécoupage, le tir ménagé).

La présence trop fréquente de chanfreins traduit une charge insuffisante par rapport à l'épaisseur de la tranche à abattre, une hauteur de bourrage trop faible, ou bien des déviations des trous vers l'arrière du front. Si le front est souvent en surplomb, c'est que la charge de pied est positionnée trop haut, que la hauteur de bourrage est trop importante, ou bien que les trous sont déviés vers l'avant du front.

Cependant, il peut arriver que l'on n'ait pas pu éviter d'obtenir un front irrégulier (existence de poches de dissolution, zone faillée non-reconnue, raté de tir, effets arrières importants, tir raté, ...). Il importe dans ce cas de positionner les trous de sorte que la banquette minimale réelle soit supérieure, sur toute la hauteur du front, à la banquette définie par le plan de tir, tout en forant à inclinaison variable et banquette de pied constante (et non l'inverse) sur toute la longueur du front. Il faut également utiliser des dispositifs (mécaniques, optiques, ...) de réglage de l'inclinaison de la foreuse.

Si la surface du front présente des défauts importants, il est exclu de se baser uniquement sur un repère arrière pour positionner les fourneaux et il peut être utile de réaliser préalablement un levé topographique du front. Si ce genre de situation se présente trop fréquemment, il sera peut-être nécessaire de réaliser un levé systématiquement. Il existe actuellement sur le marché des profileurs laser permettant de faire ce levé rapidement. L'inconvénient est qu'on ne sait le réaliser que lorsque le chargement du tir précédent sur ce front est terminé, car le front doit être dégagé. Les carrières ayant une fréquence de tirs élevée ont intérêt, encore plus que les autres, à acquérir une bonne maîtrise du minage de façon à obtenir des fronts réguliers pour pouvoir se passer de levé topographique; un nombre de tir élevé est d'ailleurs normalement un facteur favorable à la maîtrise du minage.

b) L'orientation des fourneaux.

Il arrive que la direction réelle des fourneaux ne corresponde pas à ce que l'on recherche à cause d'une déviation de la foration.

En pied de front, l'épaisseur réelle de la tranche à abattre peut dans ce cas devenir très différente de la banquette escomptée, les écarts pouvant en pratique atteindre 15 à 20 % de l'épaisseur de la tranche, vers l'avant ou l'arrière du front.

- *Figure 4. : en cas de déviation excessive du fourneau vers l'avant du front d'abattage, et si on le charge comme si il n'y avait pas de déviation, on travaille avec un pied dont l'épaisseur est nettement insuffisante pour la charge qu'on y a mise et il peut se produire des projections horizontales.*
- *Figure 5. : si le fourneau est dévié vers l'arrière du front et qu'on le charge comme s'il n'y avait pas de déviation, la charge sera insuffisante pour l'épaisseur réelle de tranche au pied et risquera de "faire canon" en provoquant des projections verticales.*
- *Les phénomènes de déviation de la foration affectent bien entendu de la même manière la longueur de l'espacement entre trous d'une même rangée.*

Le mode de prévention le plus efficace est ici d'essayer d'obtenir des fourneaux exempts de déviation. Il existe sur le marché des appareils permettant de contrôler l'orientation et la déviation des fourneaux après foration. Le contrôle et le traitement des données ultérieurs demandent toutefois un certain temps. Cependant, ce contrôle est très utile lorsqu'on a de sérieuses raisons de suspecter une déviation importante.

Les causes de déviation de la foration sont multiples :

- *une mauvaise orientation des tiges à l'amorce du trou, ce qui est plus fréquent lorsque les fourneaux doivent être inclinés (on a donc intérêt à travailler avec des fourneaux verticaux). La machine de foration doit être correctement positionnée en site et en azimuth (le plan vertical passant par la mine doit être perpendiculaire au front de taille, sinon il y a risque de convergence ou divergence des mines).*

Le travail n'est correct que si le front de taille est aligné : s'il ne l'est pas, il faut tracer au sol (bombe de peinture) des alignements pour repérer la position des chenilles par rapport au front de taille. Certaines foreuses sont équipées d'un dispositif permettant de conserver la position correcte en X-Y quelle que soit la position du porteur.

- *La structure géologique des terrains. Les déviations peuvent se faire parallèlement ou perpendiculairement aux discontinuités; c'est l'angle d'incidence du taillant sur les discontinuités (fractures, joints de stratification) qui déterminera le sens des déviations, comme illustré par la figure 6. Il est donc important de bien connaître le gisement.*
- *La hauteur du front : les risques de déviation sont d'autant plus importants que la profondeur des fourneaux est grande. En effet, à partir du moment où une déviation est "amorcée", elle ne fait que s'accroître et ceci de plus en plus rapidement. Il peut parfois être nécessaire de recouper les gradins.*
- *Le type de foreuse utilisé, le diamètre des tiges et l'adaptation du taillant ainsi que des caractéristiques du forage (pression hydraulique, réglage de l'avance automatique, ...) à la nature de la roche ont une influence non négligeable sur l'orientation du fourneau.*

Pour minimiser les risques de déviation, on a intérêt à augmenter le diamètre des tiges, donc en général le diamètre de foration, et utiliser une technique de foration à rotopercussion avec marteau fond de trou, ou bien rotative avec un outil à lames, ou une technique de rotopercussion séparant la rotation et la percussion (qui peut alors être générée par un marteau hors trou sans engendrer de risque supplémentaire de déviation).

c) Le chargement des fourneaux.

La nature et la performance des explosifs ainsi que l'importance et la répartition des charges et ainsi que la qualité et la hauteur du bourrage de tête, doivent être bien adaptées au massif.

- *Un tir dans lequel la consommation d'explosif est excessive par rapport à la quantité de roche à abattre, peut être la source de projections indésirables (excès d'énergie).*
- *Paradoxalement, un tir insuffisamment chargé est tout aussi dangereux. En effet, les fourneaux ne contenant pas assez d'explosif pour fissurer, disloquer puis propulser la roche, peuvent "faire canon" en provoquant des projections verticales. Si l'on estime que des tirs produisent trop de projection du fait de leur "surcharge", il s'avérera maladroit de réduire abusivement la consommation d'explosif.*

Rappelons que certains gels sont sensibles aux basses températures; utilisés dans ces conditions, leur rendement en sera affecté et l'on se retrouvera dans le cas d'un tir insuffisamment chargé.

- *Dans un terrain fracturé, il faut utiliser un explosif à énergie massique modéré et à effet de gaz prédominant (gels, NF, nitrates) puisqu'il n'y a plus qu'un faible travail de fracturation à fournir. L'emploi d'une dynamite dans ce type de terrain est une erreur.*
- *Dans tout type de terrain, il ne faut pas utiliser un explosif type dynamite en colonne; même en terrain dur, des explosifs de type NF donnent de bons résultats, à condition de respecter les énergies massiques requises.*

- *Figure 7. : la longueur du bourrage de tête doit être suffisamment importante pour éviter une expulsion prématurée au cours du tir, ce qui comporte des risques de projections verticales. Cependant, elle ne doit pas être trop importante afin d'éviter la formation de gros blocs dans la partie supérieure du front. La valeur optimale se situe entre 50 et 100 % de l'épaisseur de la tranche abattue, selon l'importance de celle-ci et la nature de la roche.*
- *Il ne faut pas calculer les charges en utilisant une charge spécifique moyenne; c'est une erreur de conserver une énergie massique constante sur toute la hauteur de la mine. Un plan de tir bien conçu comporte au moins deux si pas trois types d'explosifs pour tenir compte des différences de contraintes à vaincre le long de la mine : cisaillement, expulsion du pied, abattage de la colonne.*

Si le schéma de chargement est bien adapté au massif, il reste à respecter ce schéma grâce à la qualité de la mise en oeuvre du chargement. La répartition de la charge dans chaque fourneau doit faire l'objet d'un contrôle scrupuleux au moyen d'un bourroir à corde.

d) *Le type d'amorçage et l'organisation de la séquence d'amorçage.*

Il faut veiller à bien adapter le mode d'amorçage à l'explosif utilisé. En effet, une énergie d'amorçage trop faible (risque existant particulièrement pour les NF et certains gels) diminue le rendement de l'explosif et peut conduire la mine à faire canon (cas de tir insuffisamment chargé).

Lorsque l'amorçage de la volée est effectué au moyen de détonateurs à retard ou à micro-retard, il importe que ceux-ci soient répartis dans les fourneaux conformément au plan de tir. En cas d'inversion de détonateurs de numéros différents, le départ d'un fourneau se produit alors qu'un fourneau voisin, normalement d'ordre antérieur dans la volée, n'est pas encore amorcé.

Selon la disposition respective des deux fourneaux, le premier peut dans certains cas se trouver avec une double épaisseur de tranche à abattre et donc "faire canon".

Comme illustré par la figure 8., lorsque le tir comporte plusieurs rangées, il faut bien étudier le timing d'abattage des rangées les unes par rapport aux autres. En effet, si le délai entre les rangées successives est trop court, le dégagement des rangées avant sera insuffisant lors du départ des rangées arrière. Si ce délai est au contraire trop long, les matériaux abattus dans les rangées avant seront déjà retombés lors du départ des rangées arrière. Dans les deux cas, les fourneaux des rangées arrière sont susceptibles de "faire canon", car ils se trouvent respectivement avec une tranche à abattre excessive, ou bien avec une tranche à abattre correcte, mais bloquée par le tas.

e) La structure géologique du massif.

Les risques de projections liés à la structure géologique du massif sont difficilement maîtrisables.

Il est bon d'instituer une fiche de foration signalant les anomalies de forage, à remplir par le foreur. Cependant, les performances de foration des machines actuelles alliées au fait que le foreur se trouve de plus en plus souvent dans une cabine, rend cela difficile voire impossible par simple évaluation. Certaines machines de foration sont maintenant équipées de systèmes permettant d'enregistrer plusieurs paramètres durant la foration (tels que la vitesse d'avancement, la pression hydraulique, ...). L'exploitation (éventuellement informatisée) de ces données conduit à mieux cerner les hétérogénéités.

Effets des hétérogénéités :

- *Figure 9. : des fissures et des joints remplis d'un matériau de moindre résistance, ou même vides constituent des échappatoires privilégiées pour les fumées de détonation (haute pression, haute température).*