

# Recherches récentes sur la sécurité du tir

par J. FRIPIAT,

Ingénieur en Chef Administrateur-Directeur  
de l'Institut National des Mines.

Le risque d'inflammation du grisou et des poussières par le tir figure toujours au premier rang des préoccupations des stations expérimentales. Il a fait à lui seul l'objet de 19 communications sur les 45 présentées pour examen et discussion à la VIII<sup>me</sup> Conférence internationale tenue du 5 au 10 juillet 1954 à Derne-Dortmund et à laquelle participaient les stations d'essais du Bureau des Mines (Etats-Unis), de Buxton (Angleterre), de Pologne, du Cerchar (France), de Derne (Allemagne), d'Autriche et de Pâturages (Belgique) \*.

Comme il s'agit de recherches pour la plupart encore inédites ou tout au moins peu connues, nous avons jugé intéressant d'en donner ici un compte rendu sommaire en les groupant par chapitres d'après l'objectif visé.

## CHAPITRE I.

### Mécanisme d'inflammation du grisou.

Cette question a fait l'objet de trois communications :

- 1) Inflammation des mélanges méthane + oxygène (M. Vanpée - Institut National des Mines de Belgique).
- 2) Mécanisme d'inflammation du grisou par les explosifs (MM. Grant et Mason - Bureau of Mines des Etats-Unis).
- 3) Méthode nouvelle d'essai des explosifs en présence de grisou (MM. Grant, Mason et Damon - Bureau of Mines des Etats-Unis).

Les recherches effectuées à l'Institut National des Mines ont eu pour but d'analyser les phénomènes d'oxydation qui précèdent l'inflammation proprement dite. Le mélange est porté à la température de réaction par échauffement dans une cellule de quartz disposée dans un four électrique.

L'amorçage de la réaction est donc tout différent de celui qui se produit lors de la détonation d'un explosif.

On trouvera un résumé de ces recherches dans le Rapport annuel de l'Institut National des Mines sur les travaux de 1953 (1).

Les expérimentateurs américains utilisèrent, eux, des petites charges d'explosif (3 g au maximum)

(\*) Les sept premières conférences ont été tenues respectivement à Buxton (Angleterre 1951), Montluçon (France 1953), Derne (Allemagne 1955), Bruxelles-Pâturages (1957), Pittsburgh (Etats-Unis 1948), Verneuil (Cerchar, France 1950), Buxton (Angleterre 1952).

La IX<sup>e</sup> Conférence aura lieu à Heerlen, Bruxelles et Pâturages en 1956.

(1) Voir « Annales des Mines de Belgique », juillet 1954, pages 482 et suivantes.

qu'ils faisaient détoner dans un mortier de calibre réduit en présence de mélanges d'oxygène et d'azote.

La teneur en méthane étant de 8 %, la fréquence d'inflammation, c'est-à-dire le rapport entre le nombre d'inflammations enregistrées et le nombre d'essais, croît avec la teneur en oxygène.

Cette constatation a amené MM. Grant et Mason à prendre, comme critère de sécurité, le pourcentage d'oxygène conduisant à la fréquence d'inflammation 0,5 (5 inflammations sur 10 essais).

Un explosif est d'autant plus sûr que ce pourcentage ou indice d'oxygène est plus élevé.

Partant de là, les auteurs ont fixé une échelle de sécurité, fonction de l'indice d'oxygène, soit :

Indice	< 18	très dangereux
»	18,5 à 21	dangereux
»	21,5 à 23	peu dangereux
»	23,5 à 30	sûr
»	> 30,5	très sûr

Pour une charge donnée d'explosif, l'indice d'oxygène varie avec le poids du bourrage.

On peut s'en rendre compte par les résultats figurant au tableau I. La charge de 3 g de tétryl amorcée à l'arrière était pourvue de bourrages d'argile comprimée de poids croissants.

TABLEAU I

Poids d'argile en g	Indice d'oxygène	Classement (sécurité)
0	18,5	dangereux
0,25	17,5	très dangereux
0,50	20	dangereux
0,75	28,5	sûr
1,00	30	sûr
2,00	32	très sûr

L'indice d'oxygène, qui est de 18,5 pour le tir sans bourrage, diminue d'abord légèrement (17,5), quand l'orifice du mortier est fermé par un bourrage de 0,25 g, puis augmente ensuite régulièrement avec le poids du bourrage.

Une plaque de verre de 0,18 mm d'épaisseur, placée à l'orifice du mortier, produit la même réduction de l'indice que le petit bourrage d'argile.

Les expérimentateurs ont cherché à expliquer cette action irrégulière du bourrage.

Voici d'abord comment, selon eux, se déroule le phénomène de la détonation au mortier.

Lorsque l'onde de détonation arrive à l'orifice du mortier, un jet de gaz s'échappe à très haute température et pénètre dans l'atmosphère ambiante; ces gaz sont suivis d'autres à température moins élevée parce qu'ayant effectué un travail de déformation du métal.

De l'action extinctrice des seconds sur les premiers dépend l'issue du tir.

En fait, la cinématographie à grande vitesse (7500 images par seconde) montre qu'un bourrage très mince accentue la formation du jet de gaz chauds.

Avec l'accroissement du bourrage, au contraire, on observe sur les films une augmentation de la masse des gaz à température moins élevée ainsi qu'un renforcement de leur action extinctrice.

La seconde note du Bureau of Mines a trait au classement de 15 explosifs de natures diverses d'après l'indice d'oxygène.

Les charges (3 g) étaient encore tirées avec l'amorçage postérieur, mais sans bourrage.

Au tableau II, nous donnons quelques-uns des résultats obtenus.

Les auteurs font observer que le classement des explosifs expérimentés est en rapport avec leur composition, mais il est étonnant que la dynamite n° 2 et le mélange fulminate-chlorate soient classés comme étant très sûrs.

On remarquera aussi que le classement des dynamites varie dans de larges limites avec la composition.

## CHAPITRE II.

### Essais en galerie expérimentale.

Comme on pourra en juger, les modes d'essais sont extrêmement divers.

Les expérimentateurs cherchent évidemment à réaliser les conditions qu'ils considèrent comme étant les plus dangereuses.

Après avoir adopté le tir au mortier sans bourrage, qui a le mérite de reproduire l'incident du coup débouillant, les stations ont imaginé d'autres épreuves plus ou moins ingénieuses, soit qu'elles aient été reconnues favorables à l'inflammation, soit qu'elles correspondent à des incidents observés dans la mine.

Le tir au mortier court avec plaquette d'acier en présence du grisou et le tir de charges suspendues dans un nuage de poussières préformé, pratiqués, tous deux par la station française, rentrent dans le premier cas.

Le tir au bloc rainuré des stations allemande et belge reproduit par contre l'incident de la mise à découvert d'une charge non explosée; cette épreuve est utilisée pour vérifier l'efficacité de la gaine de sûreté.

M. Cybulski, Directeur de la Station polonaise, a expérimenté toute une série d'épreuves nouvelles

TABLEAU II

	Indice d'oxygène	Classement (sécurité)
Dynamite n° 5	15,5	Très dangereux
Nitroglycérine      50		
Guhr                    49		
Carbonate de calcium 1		
Dynamite n° 6	17,5	Très dangereux
Nitroglycérine      50		
Guhr                    40		
Farine de bois        9		
Carbonate de calcium 1		
Dynamite n° 3	23,5	Sûr
Nitroglycérine      30		
Farine de bois        18		
Nitrate de soude     51		
Carbonate de calcium 1		
Dynamite n° 2	70	Très sûr
Nitroglycérine      30		
Farine de bois        13		
Nitrate de soude     56		
Carbonate de calcium 1		
Fulminate + chlorate	38,5	Très sûr

pour déterminer le degré de sûreté en présence des poussières.

Enfin, la station anglaise (Communication de MM. Shepherd et Grimshaw), qui s'était attachée jusqu'ici à reproduire l'incident d'un trou de mine communiquant avec une cassure remplie de grisou, en revient au tir au mortier long.

**Risque d'inflammation du grisou par le tir au mortier avec plaquette d'acier.**

(MM. Loison et Thouzeau - Cerchar - France)

L'épreuve consiste à faire détoner l'explosif en cartouche unique de format constant (diamètre 30 mm, longueur 220 à 340 mm) dans un mortier qui a 38 mm de diamètre et dont la longueur est supérieure de 40 mm à celle de la cartouche.

L'orifice du mortier est, soit libre, soit fermé par une plaquette d'acier dont on fait varier graduellement l'épaisseur (1 à 7,5 mm).

La fréquence d'inflammation  $f$  (rapport du nombre d'inflammations au nombre d'essais) varie avec l'épaisseur de la plaquette. Les expérimentateurs ont déterminé cette fréquence pour 80 formules de compositions diverses (3800 essais environ).

Lorsqu'on met les résultats en graphique, on constate que la courbe se présente sous l'une des formes indiquées à la figure 1.

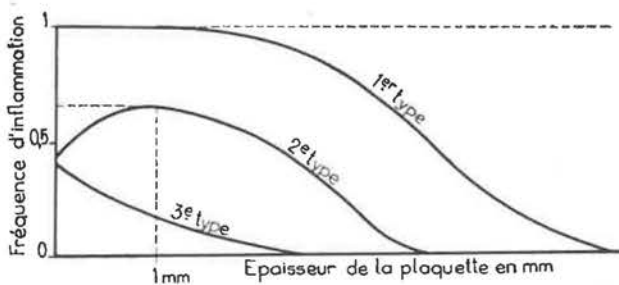


Fig. 1.

Peu d'explosifs ont donné lieu à la courbe du troisième type.

Les courbes du premier type sont données par les explosifs les plus puissants, ceux utilisés au rocher par exemple.

Les courbes du deuxième type sont celles des explosifs couche, donc peu puissants.

Si l'on considère les courbes des premier et deuxième types, on remarque qu'une plaquette de 1 mm est favorable à l'inflammation.

En cela, les constatations des expérimentateurs rejoignent celles de MM. Grant et Mason du Bureau of Mines, lesquels ont observé également l'action défavorable d'un bourrage léger au point de vue de la sécurité.

MM. Loison et Thouzeau pensent qu'une mince plaquette perturbe le régime d'écoulement et le mélange des gaz de détonation dans un sens favorable à l'inflammation.

Avec les plaquettes épaisses (> 1 mm), cette action est contrebalancée par d'autres effets qui sont ceux du bourrage ordinaire :

- a) accroissement du délai qui s'écoule entre la détonation et le mélange des gaz avec l'atmosphère grisouteuse et par là, réduction des chances de l'entrée en action des radicaux libres initiateurs de l'inflammation,
- b) amortissement de l'onde de choc,
- c) abaissement de la température des gaz par le travail d'expulsion du bourrage.

**Inflammation des poussières de houille par le tir.**

(MM. Loison et Sartorius - Cerchar)

Les expérimentateurs font détoner l'explosif au contact direct du nuage poussiéreux.

La charge est suspendue suivant l'axe et à l'entrée de la galerie (celle-ci a 12 m de longueur et 2 m de diamètre), au-dessus d'un tas de poussières renfermant une fraction de cartouche. L'amorçage est réalisé par des détonateurs à temps, de telle sorte que la charge explose un certain temps après le soulèvement des poussières (généralement 1 seconde).

Suivant les conditions, il y a soit non-inflammation, soit inflammation et propagation de la flamme dans le volume entier du nuage. On n'observe jamais le cas intermédiaire, c'est-à-dire une flamme n'affectant qu'une partie du nuage.

Les opérateurs étudièrent l'influence de la charge d'allumage et celle du nuage poussiéreux.

Avec 8 kg de poussières d'un charbon à 29 % de matières volatiles et 10 % de cendres et de la grisoudynamite chlorurée n° 1 (explosif couche) encartouchée au diamètre de 30 mm, la fréquence d'inflammation augmente d'abord avec la longueur de la charge, puis reste constante et égale à 1 ; elle est, par exemple, de 3/10 pour la charge de 20 cm de longueur et de 13/13 pour celle de 30 cm de longueur.

Quand le diamètre de la charge est inférieur à 30 mm, la fréquence d'inflammation croît d'abord avec la longueur de la charge, passe par un maximum puis décroît.

Ces constatations se sont répétées avec d'autres explosifs et des poussières d'autres provenances, mais la longueur de la charge conduisant à la fréquence maximum d'inflammation augmente quand l'inflammabilité des poussières ou la puissance de l'explosif diminue.

Quand la charge est plus ou moins confinée : tirs au mortier, tirs contre une plaque d'acier ou dans une cornière, la fréquence d'inflammation à poids égal d'explosif est moins élevée que si la charge est suspendue.

La longueur minimum de la charge produisant l'inflammation ou longueur limite peut servir à caractériser l'inflammabilité des poussières.

Cette longueur limite est d'autant plus faible, en d'autres termes le nuage est d'autant plus inflammable, que le poids (ou concentration) de poussières soulevées est plus grand et que les poussières sont plus fines.

L'influence de la finesse est d'autant plus marquée que le poids de poussières est plus faible. Inversement, l'influence de la concentration est d'au-

tant plus marquée que la poussière est plus grossière, c'est-à-dire que, pour des poussières très fines, la concentration a relativement peu d'importance.

De même, lorsque la concentration du nuage est très élevée, l'influence de la finesse est relativement peu sensible. Les résultats ont été réguliers avec les charbons renfermant jusqu'à 30 % de matières volatiles; par contre, ils ont été irréguliers avec les charbons à très haute teneur en matières volatiles (flammbants et lignites).

Les expérimentateurs font observer que leurs constatations s'écartent de celles recueillies en grande galerie. Dans celles-ci, il existe un taux limite de matières volatiles (14 à 15 %) en dessous duquel la propagation n'est plus possible, même lorsque la teneur en incombustibles est à peu près nulle.

Dans le tir en charges suspendues, l'inflammabilité décroît avec le pourcentage de matières volatiles, mais à condition d'utiliser une charge d'explosif suffisante, on observe encore des inflammations quand ce pourcentage est voisin de 10 %; les auteurs ne peuvent même affirmer que ce soit là la limite en dessous de laquelle l'inflammabilité n'est plus possible.

### Recherches nouvelles sur la sécurité des explosifs vis-à-vis des poussières.

(M. Cybulski - Pologne)

Les buts poursuivis par l'auteur sont :

- 1) déterminer le degré de sécurité des explosifs en usage dans les mines polonaises,
- 2) déterminer les conditions de tir les plus dangereuses.

Les recherches ont porté sur cinq formules, soit :

- l'explosif M 25 au nitrate ammonique et renfermant 25 % de chlorure sodique,
- l'explosif K 15 différent du précédent par sa teneur moins forte en chlorure sodique (15 %),
- l'explosif B 39 à la nitroglycérine et 39 % de chlorure sodique,
- l'explosif B 45 à la nitroglycérine et 45 % de chlorure sodique,
- l'explosif MS 45 au nitrate ammonique contenant un peu de nitroglycérine et 45 % de chlorure sodique.

Les tirs ont été effectués dans deux galeries, l'une en tôle d'acier de section circulaire de 2 m de diamètre, l'autre consistant en une chambre de maçonnerie de 10 m de longueur, 2,30 m de largeur et 1,80 m de hauteur.

Les charges ont été tirées de façons diverses, soit :

- 1) suspendues dans l'axe de la galerie,
- 2) au mortier d'acier au calibre de 50 mm. Plusieurs mortiers de longueurs différentes (de 800 à 1300 mm) ont été utilisés.
- 3) dans deux mortiers se faisant face (deux charges identiques),
- 4) dans deux mortiers se faisant face, l'un d'eux se trouvant dans un massif de maçonnerie (deux charges identiques),
- 5) dans un mortier tourné vers une paroi de choc,
- 6) dans un bloc d'acier rainuré, la rainure étant tournée vers une paroi de choc; la distance entre la charge et la paroi variait de 30 cm à 1,00 m. On constata que la distance pour laquelle les inflammations se produisaient le plus facilement était comprise entre ces limites. Cette distance dépendait de la nature et de la charge d'explosif,
- 7) dans un mortier dont le fourneau était ouvert latéralement, comme indiqué à la figure 2 (mortier à fente latérale), la fente étant tournée vers une tôle d'acier ou une paroi en béton.

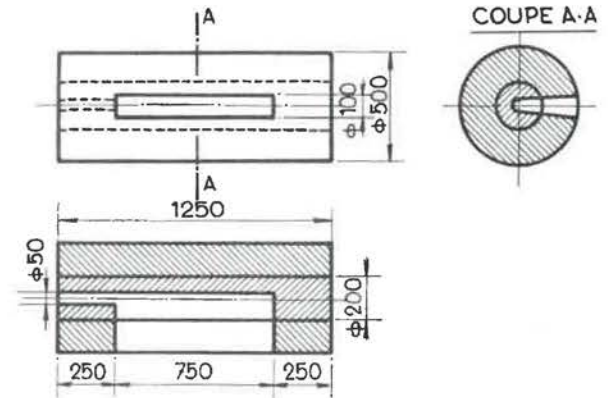


Fig. 2.

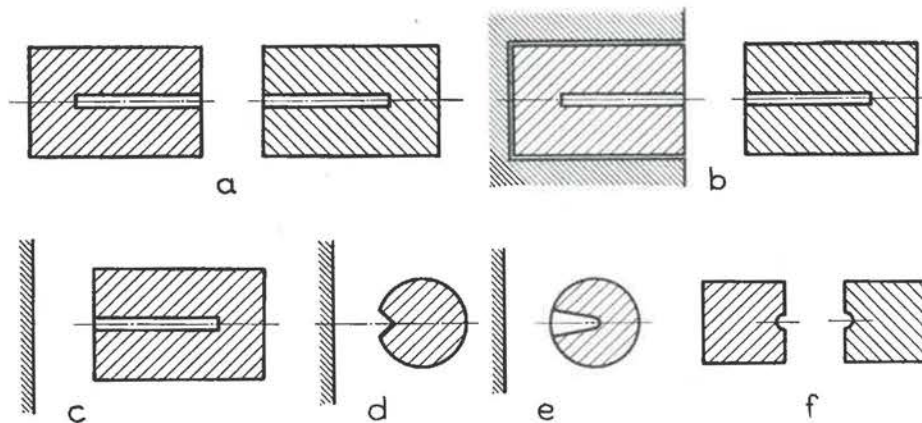


Fig. 3.

8) dans deux blocs rainurés, les rainures étant orientées l'une vers l'autre (deux charges) et distantes de 25 à 100 cm.

L'auteur estime que ce cas peut se produire lors d'un tir à temps, deux charges pouvant être simultanément mises à découvert.

Pour les tirs de deux charges, celles-ci étaient allumées par un cordeau détonant, ce qui assurait la simultanéité des explosions.

Les dispositions 3 à 8 sont représentées à la figure 3, a, b, c, d, e, f.

Les poussières obtenues par broyage d'un charbon à 41 % de matières volatiles (eau et cendres déduites) étaient mises dans un sac renfermant également une charge secondaire d'explosif (7 g) qui détonait une demi-seconde avant la ou les charges principales.

Des résultats obtenus par l'auteur, nous avons retenu les plus intéressants; dans le tableau III, nous les avons exprimés en fréquence d'inflammation, celle-ci étant notée sous forme fractionnaire à la suite du poids d'explosif en grammes.

TABLEAU III

Mode d'essai	Poids en grammes et fréquence d'inflammation									
	M 25		K 15		B 39		B 45		MS 15	
1) Charges suspendues dans l'axe de la galerie (galerie circulaire)	1000	0/10	600	1/10					2000	0/50
2) Mortier (galerie circulaire)	1000	1/60	1000	0/60	600	3/10	600	1/20	1000	0/80
					500	0/50	500	0/65		
3) Deux mortiers se faisant face (deux charges) galerie circulaire	1000	47/87							1000	0/70
	700	16/98								
	600	1/33								
	500	0/58								
4) Deux mortiers se faisant face, l'un dans un massif de maçonnerie (deux charges) galerie circulaire	1000	8/34	300	4/35	200	1/12	400	0/10	1000	0/77
	500	6/75	200	2/10	100	0/50	300	7/25		
	400	0/50	100	0/50			200	0/50		
5) Un mortier tourné vers une paroi (galerie circulaire)	1000	1/25	500	2/26	500	1/2			1200	0/50
	700	1/20	400	6/45	400	4/20				
	600	0/50	300	0/50	300	0/50				
6) Un bloc rainuré tourné vers une paroi (galerie circulaire)			300	1/5						
			200	2/20						
			100	0/50						
6bis) Idem, mais galerie en maçonnerie	1200	0/20	1000	1/6	600	1/5	800	0/20	1200	0/50
	500	0/10	500	4/35	500	3/10	500	1/2		
			300	1/20	400	0/50	400	0/20		
			200	0/50						
7) Mortier à fente latérale tournée vers une paroi (galerie circulaire)	500	0/10	400	3/5						
			200	1/20						
			100	0/20						
7bis) Idem, mais galerie en maçonnerie	500	0/20	500	24/45	500	2/20				
			300	11/22	400	2/20	500	3/10		
			200	0/50	300	0/20	400	0/20		
8) Deux blocs rainurés parallèles (deux charges) galerie en maçonnerie	700	3/20	500	13/43	500	2/15	500	3/10	1000	3/44
	600	2/15	300	7/65	300	2/4	400	4/5	900	0/55
	500	3/90	200	5/60	200	1/20	300	2/20	800	0/25
	400	2/25	100	0/63	100	0/50	200	0/70		
	300	0/50								

Discutant les résultats de ses recherches, l'auteur formule les remarques suivantes :

Des deux explosifs B 45 et MS 15, le plus sûr dans le tir au mortier est le second, c'est-à-dire celui ne renfermant ni nitroglycérine ni nitrate de soude.

La présence d'un obstacle contrariant l'expansion et le refroidissement des gaz est favorable à l'inflammation. La confrontation des résultats des modes d'essais 1 et 2 avec ceux des autres modes le démontre amplement.

Pour les explosifs K 15 et B 39, la plus petite charge qui allume est la même pour les modes 4 et 5, soit  $2 \times 200$  et 400 g.

Le bloc rainuré parallèle à une paroi (mode 6bis) donne des résultats déconcertants si on les compare à ceux obtenus avec le mortier tourné vers un obstacle (mode 5).

L'explosif B 39 est plus sûr au bloc (pas d'inflammation par 400 g) qu'au mortier (inflammation par 400 g).

On constate l'inverse avec l'explosif K 15; sa charge de sécurité est de 200 g au bloc (6bis) et de 300 g au mortier (5).

Le tir au mortier à fente latérale conduit à peu près aux mêmes résultats que le tir au bloc rainuré.

Les explosifs K 15, B 39, B 45 se comportent dans les deux blocs rainurés parallèles (mode 8) de la même façon que dans les deux mortiers se faisant face (mode 4) (charge maximum n'allumant pas le grisou : 100 ou 200 g suivant l'explosif).

Les deux blocs parallèles sont la seule disposition pour laquelle on ait enregistré des inflammations avec l'explosif MS 15.

Finalement, l'auteur classe comme suit les cinq explosifs étudiés, dans l'ordre de sécurité croissante :

K 15, B 39 (ces deux explosifs sont à peu près équivalents) — B 45 — M 25 — MS 45.

Il estime que les explosifs renfermant 20 % de nitroglycérine doivent avoir une teneur en chlorure sodique trois fois plus grande que celle des explosifs au nitrate ammoniac.

Le tir en deux blocs rainurés se faisant face est l'essai le plus sévère.

Les procédés d'essais utilisés ne conduisent pas à des conditions également dangereuses pour les différents explosifs; un procédé unique n'est donc pas suffisant pour déterminer la sécurité relative de plusieurs explosifs vis-à-vis des poussières.

L'auteur a étudié spécialement les procédés de tir en deux mortiers opposés et en mortier ouvert latéralement.

#### *Tir en deux mortiers opposés.*

On s'est demandé dans quelle mesure les résultats de l'essai seraient influencés par le décalage des deux explosions. On a réalisé à cette fin un appareil permettant d'allumer successivement les deux charges avec un écart qu'on pouvait faire varier de 1 milliseconde à 2 secondes.

La fréquence d'inflammation diminue quand le décalage augmente; les résultats sont cependant irréguliers du fait qu'une charge unique peut déjà donner l'inflammation.

#### *Tirs au mortier ouvert latéralement.*

Il a été constaté qu'une couche de 1 cm d'épaisseur, soit d'argile, soit de charbon, couvrant complètement la charge, supprimait l'inflammation.

Les résultats des tirs sont même restés négatifs alors que l'argile ne couvrait que le quart de la longueur de la charge.

#### *Nouvelles méthodes d'essai en galerie.*

(MM. Grimshaw et Shepherd, Buxton, Angleterre)

Trois types d'explosifs de sûreté sont utilisés dans les mines anglaises :

- 1) les explosifs non gainés (permitted explosives),
- 2) les explosifs gainés identiques aux précédents, mais pourvus d'une gaine au bicarbonate de soude,
- 3) les explosifs Eq-S (equivalent to sheathed), non gainés, mais renfermant une quantité supplémentaire de chlorure sodique sensiblement égale au poids de la gaine.

L'introduction des explosifs gainés remonte à 1934; depuis 1946, on tend à les remplacer par des Eq-S.

Utilisés d'abord sous le couvert de recommandations administratives, ces deux genres d'explosifs sont depuis 1951 formellement imposés pour certains chantiers.

Ce changement de régime fut pour les expérimentateurs l'occasion d'établir des normes nouvelles d'agrégation; celles-ci devaient découler des essais comparatifs effectués durant quatre années sur les explosifs gainés et Eq-S.

Pour chacun d'eux, on avait déterminé les charges limites dans les conditions suivantes :

En présence d'un mélange grisouteux inflammable, la charge était tirée :

- suspendue dans l'axe de la galerie ou entre deux parois de tôle distantes de 50 mm,
- sans bourrage, avec amorçage postérieur, au mortier court (58 cm) et au mortier long (1,17 m),
- sans bourrage, avec amorçage antérieur, au mortier, le fourneau débouchant entre deux parois distantes de 50 mm.

En présence d'un nuage poussiéreux préformé, sans bourrage, et avec l'amorçage postérieur au mortier long.

On avait déterminé également, pour chaque explosif, la vitesse de détonation, la puissance et la sensibilité.

Le dépouillement des résultats obtenus fit apparaître les faits suivants :

- 1) Les charges tirées entre deux parois donnent des résultats irréguliers malgré les soins apportés aux essais.
- 2) Le tir de charges suspendues est très sensible aux variations de la vitesse de détonation.
- 3) Le mortier court ne donne pas une mesure satisfaisante de la sécurité; le risque d'inflammation varie pour certains explosifs en raison inverse de la charge essayée.

Au mortier long, la probabilité d'inflammation augmente au contraire avec le poids d'explosif; un accroissement de la puissance entraîne une chute

sensible de la charge limite, mais celle-ci varie peu avec la vitesse de détonation.

Finalement, cette épreuve fut reconnue comme la mieux appropriée à l'essai des explosifs gainés et Eq-S.

Pour ce qui est de la charge limite, tenant compte des résultats moyens obtenus au cours de leurs recherches, les expérimentateurs adoptèrent 560 g (20 onces) représentant pour les explosifs gainés le poids total de la gaine et du noyau.

Depuis le 1<sup>er</sup> septembre 1953, les tirs d'agrégation des explosifs gainés et Eq-S se font donc au mortier de 1,17 m dans les conditions suivantes :

— en présence de grisou :

- a) 560 g avec amorçage postérieur et sans bourrage;
- b) 784 g avec amorçage antérieur et bourrage d'argile sèche (25 mm);

— en présence d'un nuage poussiéreux préformé :

- c) 560 g avec amorçage postérieur et sans bourrage.

Chacun de ces essais doit être répété cinq fois sans produire l'inflammation.

Pour les explosifs gainés, la charge de 784 g (essai b) s'entend gaine enlevée.

Dans le dernier paragraphe de leur rapport, les auteurs soulignent qu'il y a actuellement 22 formules Eq-S agréées.

### Etude des facteurs affectant le comportement des explosifs en galerie expérimentale.

(MM. Hanna, Tiffany et Damon, Bureau of Mines)

Cette étude a porté sur des explosifs analogues au point de vue composition à ceux agréés comme étant de sûreté par le Bureau of Mines (permissible explosives).

Sept cents formules ont été tirées au mortier avec bourrage d'argile dans un mélange inflammable d'air et de gaz naturel (8 %) et sans bourrage dans une atmosphère poussiéreuse renfermant 4 % de gaz naturel.

Voici en résumé ce que les auteurs ont observé :

- 1) Pour un explosif donné, l'aptitude à produire l'inflammation augmente avec la vitesse de détonation.
- 2) Cette aptitude augmente également avec la grosseur de grain des constituants.
- 3) Le remplacement d'un constituant organique combustible par un autre peut modifier la charge limite. Celle-ci a diminué pour une catégorie d'explosifs dans lesquels la pulpe de bois avait été remplacée par de l'amidon.
- 4) L'accroissement de la teneur en nitrate de soude jusqu'à 15 % entraîne une augmentation de la charge limite en présence du gaz naturel seul; mais lorsque cette teneur dépasse 10 %, l'explosif devient moins sûr vis-à-vis des poussières charbonneuses.

Avec des explosifs à grande vitesse de détonation, on a même enregistré des inflammations de poussières à partir d'une teneur de 3 % en nitrate.

- 5) Les chlorures de soude et de potasse sont équivalents au point de vue de la sécurité.

- 6) La diminution du pourcentage d'oxygène disponible tend à augmenter la charge limite pour les explosifs sous-oxygénés et à la diminuer pour les explosifs suroxygénés.
- 7) La sûreté de l'explosif reste inchangée suivant que la nitroglycérine est gélatinisée seule ou gélatinisée en mélange avec d'autres constituants.

### Explosifs antigrisouteux de grande puissance.

(M. Arhens - Derne-Dortmund)

Cette note est consacrée à la mise au point des explosifs de la classe III.

Ces explosifs sont utilisés sans gaine de sûreté; ils doivent satisfaire à l'épreuve officielle du tir d'angle dans les conditions suivantes :

Les cartouches sont placées en file dans la rainure d'un bloc de 2 m de longueur, disposé parallèlement à une paroi en tôle d'acier, comme indiqué à la figure 4.

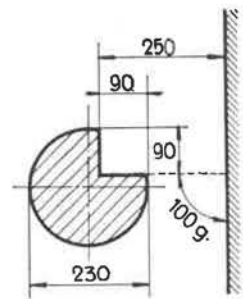


Fig. 4.

La charge s'étendant sur toute la longueur de la rainure, il ne peut y avoir inflammation du grisou (8,5 à 9,5 %) pour les distances D de 15 cm (5 tirs), 20 cm (3 tirs), 25 cm (3 tirs), 30 cm (3 tirs), 35 cm (3 tirs), 40 cm (2 tirs).

La station de Derne s'est appliquée, avec la collaboration des fabricants, à établir des formules qui, tout en ayant des capacités de travail de plus en plus élevées, répondent à la fois aux exigences officielles et satisfassent en outre à des épreuves supplémentaires rappelant des conditions anormales de tir susceptibles de se produire dans la mine.

On envisagea d'abord d'utiliser en cartouches homogènes le mélange servant de gaine (gaine active) et composé comme suit :

Nitroglycérine	10
Bicarbonate de soude	25
Chlorure de soude	65

Mais on reconnut bientôt que sa capacité de travail était nettement insuffisante, même pour le minage en charbon tendre. Au bloc de plomb, cet explosif donnait d'ailleurs un évaselement de 20 cm<sup>3</sup> seulement\*.

(\*) L'essai consiste à faire détoner 10 g d'explosif dans une cavité cylindrique dans un bloc de plomb. La partie de la cavité non occupée par la charge est remplie de sable introduit sans autre tassement que celui dû à la gravité.

L'évasement est l'accroissement en volume de la cavité après la détonation.

La gaine active sert néanmoins de prototype à une quarantaine de formules de capacité de travail croissante, mais toutes caractérisées par un pourcentage important de matières inertes.

Les formules indiquées au tableau IV marquent les étapes de ces longues recherches.

Cette réserve d'énergie n'est effective qu'en fourneaux parfaitement bourrés; elle ne joue pas lorsque le bourrage est insuffisant ou que le fourneau s'ouvre prématurément, c'est-à-dire dans les conditions de tir les plus dangereuses.

Bien qu'ils eussent satisfait à l'épreuve officielle

TABLEAU IV

	I	II	III	IV
Nitroglycérine	9	9	9	9
Dinitroglycol	6	6	6	6
Nitrate de soude	2	2	15	13
Farine de bois	—	—	4	4,5
Guhr	—	—	—	—
Bicarbonate de soude	45	50	41	45
Talc	1	—	—	—
Chlorure de sodium	37	33	25	22,5
Évasement au bloc de plomb	30	30	40	40

Les deux premières (Wetter Astralit B et Wetter bicarbit B) ne purent être retenues à cause des quantités importantes de gaz nocifs produits par la détonation (oxydes de carbone et d'azote).

A propos des formules III et IX (Wetter Astralit C et Wetter Bicarbit C), l'auteur émet les considérations suivantes quant à l'influence du confinement sur l'achèvement des réactions.

Au passage de l'onde de détonation, la nitroglycérine et le dinitroglycol seuls se décomposent.

Le nitrate de soude et la farine de bois ne réagissent complètement que si le fourneau résiste pendant un laps de temps suffisamment long.

Lorsque la charge détone sans confinement ou que le massif s'ouvre prématurément, des réactions secondaires peuvent se produire en dehors du fourneau. Pour éviter qu'elles n'allument le grisou, il faut un inhibiteur énergétique.

A cette fin, on a remplacé le mélange de nitrate ammonique et de chlorure sodique qui figure habituellement dans les explosifs antigrisouteux, par un mélange de chlorure ammonique et de nitrate sodique (explosifs à ions échangés). Par double réaction, il se produit du chlorure sodique naissant en très fines particules extrêmement efficace.

Enfin, on a augmenté l'aptitude à la détonation et la capacité de travail en couvrant les cristaux de nitrate sodique, d'une couche superficielle de tétryl, substance qu'on incorpore lors du broyage.

On est arrivé ainsi aux formules dénommées Wetter Carbonit A et Wetter Securit A qui donnent au bloc de plomb un évasement de 100 cm<sup>3</sup>.

Elles renferment 6 % de nitroglycérine, 4 % de nitroglycol, 0,5 % de farine de bois, 0,5 % d'alumine hydratée, ainsi que le mélange nitrate de soude + chlorure ammonique.

Comme les précédentes, elles possèdent, selon M. Arhens, une réserve d'énergie due à la réaction secondaire du nitrate sodique avec la farine de bois (la réaction primaire étant la détonation de la nitroglycérine et du dinitroglycol au passage de l'onde).

du tir d'angle en grisou, ces deux explosifs ont été soumis à des essais spéciaux dans des conditions propres à retarder les réactions secondaires.

Ces essais ont été les suivants :

- a) En présence d'une atmosphère grisouteuse :
  - 1) Tir entre deux plaques d'acier distantes de 5 cm.
  - 2) Tir au cylindre rainuré de charges amorcées de détonateurs de puissance renforcée.
  - 3) Tir au mortier court avec plaquette.
  - 4) Tir en longs fourneaux au rocher avec faible bourrage (argile 3 cm de longueur ou plaque de plomb de 17 mm d'épaisseur).
  - 5) Tir au mortier, la détente des gaz étant freinée par un tuyau débouchant près d'une plaque de choc.
- b) En présence d'un nuage poussiéreux préformé (charbon à 25 % au moins de matières volatiles) :
  - 1) Tir de charges suspendues comportant 10 ou 12 cartouches.
  - 2) Tir au mortier de 1 m de longueur et 36 mm de diamètre. (L'essai officiel auquel sont soumis les explosifs non gainés est réalisé au mortier de 60 cm de longueur et 55 mm de diamètre, dans lequel les cartouches sont mises en file).
  - 3) Tir au mortier dont l'orifice est prolongé par tuyau suivi d'une paroi de choc.
  - 4) Tir au charbon dans des trous de 2,50 à 3 m de longueur et de 40 mm de diamètre.

Toutes ces épreuves ont mis en évidence le haut degré de sécurité de ces explosifs nouveaux.

Les essais pratiques effectués jusqu'ici dans les travaux souterrains ont prouvé qu'ils pouvaient, au point de vue efficacité, rivaliser avec les explosifs gainés.

### CHAPITRE III.

#### Recherches spéciales sur les tirs en galeries.

Nous avons groupé sous ce titre quatre communications.



Les trois premières sont relatives au comportement irrégulier des explosifs; la quatrième concerne une méthode d'analyse de l'atmosphère après le tir.

**Interdépendance des résultats des tirs en galerie.**

(MM. Sartorius et Thouzeau - Cerchar)

Il est d'usage dans certaines stations (à Derne et à Pâturages notamment) de ne retenir, comme essais décisifs quant à la sécurité d'un explosif, que les tirs effectués après une inflammation.

MM. Sartorius et Thouzeau se sont demandé dans quelle mesure et dans quel sens le comportement d'un explosif en galerie expérimentale est influencé par le résultat d'un tir antérieur.

Si cette influence existe, il n'est pas exclu qu'elle puisse, soit augmenter la probabilité d'inflammation (hypothèse de la sensibilisation), soit la diminuer (hypothèse de l'inhibition).

Les expérimentateurs ont effectué des tirs :

- en grisou, de charges suspendues ou introduites au mortier court avec plaquette d'acier comme bourrage;
- en poussières, de charges suspendues, celles-ci explosant au sein d'un nuage préformé.

Si  $F_1$  et  $F_2$  représentent les fréquences d'inflammation après une non-inflammation et après une inflammation, on trouve pour l'entièreté des essais :

- en grisou  $F_1 = 57/130$   $F_2 = 58/130$
- en poussière  $F_1 = 9/20$   $F_2 = 6/20$

Pour les tirs en grisou, la différence des fréquences d'inflammation est négligeable.

Pour les tirs en poussières, elle semble appuyer l'hypothèse de l'inhibition, mais les essais n'ont pas été assez nombreux pour qu'on puisse en tirer une conclusion.

**Influence de la composition de l'atmosphère de la galerie.**

(MM. Sartorius et Thouzeau - Cerchar)

Au cours des essais rapportés dans la note précédente, les expérimentateurs avaient observé des coïncidences entre l'état atmosphérique et les fréquences d'inflammation.

Un tableau où les tirs de 117,5 g de dynamite chlorurée n° 15 (charges suspendues en atmosphère grisouteuse) sont groupés par cinq effectués le même jour, montre que par temps de brouillard on n'enregistra que des non-inflammations. Les jours ensoleillés, les fréquences d'inflammation varièrent de 2/5 à 5/5.

Cette constatation amena les expérimentateurs à rechercher l'influence de l'humidité en tirant des charges du même explosif (57, 63 et 112 g) en plein grisou, soit en atmosphère normale, soit en atmosphère humidifiée par une pulvérisation d'eau. On observa ainsi une fréquence globale d'inflammation de 27/90 dans le premier cas, de 8/40 dans le second.

L'accroissement de l'humidité du mélange gazeux diminue donc son inflammabilité.

Cette action fut attribuée au fait qu'une addition de vapeur d'eau au mélange entraîne une réduction de la teneur en oxygène.

En introduisant dans la galerie un volume de gaz carbonique équivalent à celui de vapeur d'eau qu'il aurait fallu ajouter pour obtenir la saturation, on observa encore une diminution de la fréquence d'inflammation, 3/10 pour les tirs avec acide carbonique, 8/10 pour ceux en atmosphère normale.

Le gaz paraît donc jouer un rôle tout à fait comparable à celui de la vapeur d'eau.

Par contre, l'enrichissement de l'atmosphère en oxygène, dans une proportion correspondant à la réduction du degré hygrométrique de 100 à 0 à la température de 33°, fait passer la fréquence d'inflammation de 1/10 à 6/10.

En ce qui concerne l'influence du pourcentage en méthane, la teneur de 9 % est celle qui donne au mélange l'inflammabilité maximum, néanmoins la fréquence d'inflammation varie peu lorsque la teneur passe de 8 à 10 %.

On a également effectué des tirs de dynamite chlorurée n° 1 au mortier avec plaquette d'acier en présence de grisou et en charges suspendues dans un nuage préformé de poussières.

Pour les premiers, l'humidification a une action à peine marquée sur la fréquence d'inflammation; par contre, la suroxygénation influe dans la même mesure que dans le cas de charges suspendues.

Les tirs en poussières, eux, sont peu sensibles aux modifications de l'atmosphère de la galerie.

**Observations sur le comportement des sels des explosifs antigrisouteux.**

(M. Arhens - Derne-Dortmund)

Les observations rapportées par l'auteur ont été faites lors d'un tir au mortier court avec paroi de choc et en présence des poussières charbonneuses, d'une formule d'étude présentant la composition suivante :

Nitroglycérine	15,0
Nitrate de soude	18,0
Farine de bois	6,2
Bicarbonate sodique	40,0
Chlorure sodique	20,8

Bien qu'il n'y ait pas eu inflammation, on constata la présence de foyers de combustion dans les poussières couvrant le sol de la galerie.

Par contre, lors de tirs en grisou ou dans l'air pur, on recueillit près du mortier des plaques de sels fondus, encore brûlants au toucher.

Ces plaques, presque entièrement solubles dans l'eau, renfermaient des carbonate et bicarbonate de soude, du chlorure sodique; on y trouva également de la farine de bois et un peu de nitrite de sodium.

Bien que l'explosif n'eut jamais, dans l'essai au mortier, allumé ni le grisou ni les poussières, il pouvait donc projeter parfois des quantités importantes de substances incandescentes, et, ce qui était plus inquiétant, susceptibles de le rester un certain temps après le tir.

Après un essai au mortier, en présence à la fois du grisou (7 %) et des poussières, on obtint même une inflammation retardée, soit 30 secondes après la détonation. On supposa que les poussières, atteintes par des sels incandescents, avaient distillé puis brûlé

avec flamme et que celle-ci s'était communiquée à l'atmosphère grisouteuse.

L'auteur croit cependant qu'une telle inflammation ne se produira jamais dans la pratique. Il faudrait en effet que le tir soit exécuté sans bourrage (ou du moins que celui-ci n'existe plus au moment de la détonation) et sous un confinement favorable à la formation d'un jet de sels en fusion.

D'ailleurs, on n'est pas parvenu à reproduire l'incident. On a recherché néanmoins si d'autres explosifs pouvaient donner lieu aussi à des dépôts de sels incandescents.

Le fait a été observé avec les explosifs appartenant à la classe III et renfermant à la fois du nitrate sodique et de la farine de bois.

On l'a constaté également avec les explosifs gainés, mais c'était alors du chlorure sodique provenant de la gaine. La précipitation du sel sur les poussières donnait alors naissance à des foyers de combustion rapidement éteints, le dégagement de calories n'étant plus entretenu par une réaction d'oxydation, comme c'était le cas pour le nitrate.

On n'a rien observé avec les explosifs non gainés de la classe I, qu'ils fussent gélatineux ou pulvérulents, ni avec les explosifs de la classe III à ions échangés (nitrate de soude + chlorure ammonique).

#### Analyses des fumées de tir.

(M. Lingenberg - Derne-Dortmund)

L'auteur décrit les méthodes utilisées soit pour titrer les oxydes d'azote et de carbone produits par les tirs en galerie souterraine (au rocher), soit pour déterminer la composition des matières salines projetées en galerie expérimentale par les tirs au mortier.

En galerie souterraine, on prélève près du front et immédiatement après le tir deux échantillons de 500 cm<sup>3</sup> de gaz.

L'un d'eux sert au titrage de l'oxyde de carbone par le dispositif de Wösthoff qui permet de faire l'analyse en 5 à 10 minutes (le dispositif n'est pas décrit).

L'autre échantillon est utilisé pour le dosage des oxydes d'azote sous forme de nitrite de soude par une méthode colorimétrique à la naphtylamine et à l'acide amino G (2 de naphtylamine et 6,8 d'acide disulfo), en solution dans l'acide acétique.

En galerie expérimentale, on recueille les matières

salines sur une plaque de verre de 50 × 50 cm qu'on met en place immédiatement après l'explosion.

L'auteur s'est appliqué à déterminer, dans les substances déposées, les différents composés de l'azote.

On cherche d'abord l'azote total par le procédé de Devarda. On dose ensuite l'ammonium (NH<sub>4</sub>) par distillation avec la potasse et on calcule, par différence, l'azote contenu dans les nitrates et les nitrites.

Le nitrite est titré par la méthode au permanganate de potasse. Pour éliminer l'ion chlore (des chlorures alcalins), qui peut fausser ce titrage, on le précipite d'abord par le sulfate de manganèse et l'acide phosphorique.

Dans le cas de faible teneur en nitrite, on détermine celui-ci par la méthode colorimétrique décrite ci-avant.

### CHAPITRE IV.

#### Recherches sur la déflagration fusante.

(M. Sartorius - Cerchar)

Les expériences ont consisté à soumettre une cartouche à l'action des gaz provenant de la détonation régulière d'une autre cartouche amorcée d'un détonateur. Pour ce faire, M. Sartorius a utilisé un mortier de 2 m de longueur, de calibre plus ou moins déformé.

A une certaine distance de la cartouche amorce, poussée au fond du fourneau, se trouvaient la seconde cartouche, puis un bourrage d'argile de 60 cm de longueur.

Pourvu que le vide entre les deux cartouches soit suffisamment grand, on observe après la détonation de la cartouche amorce :

a) soit l'émission de fumées nitreuses à travers les fissures du bourrage.

Ce fut le cas notamment pour six explosifs renfermant de 12 à 20 % de nitroglycérine et 13 à 58 % de chlorure sodique.

Certaines expériences ont donné lieu à la projection d'une fraction de la cartouche qui a continué à déflagrer à l'air libre.

b) soit l'expulsion violente du bourrage, ce qui donne l'illusion de la détonation retardée.

Le fait a été observé avec les formules indiquées au tableau V.

TABLEAU V

	L 44	L 51	GDC 1	GC 16
Nitroglycérine gélatinisée	20	20	20,5	12,3
Dinitrotoluène	—	—	—	0,7
Nitrate ammonique	42	40	55,5	33,0
Chlorure sodique	31	33	21,5	49,0
Combustible	7	7	2,5	5,0

c) soit la détonation de la seconde cartouche.

Ce fut le cas pour la grisoudynamite chlorurée n° 15 allégée (nitroglycérine gélatinisée 20, nitrate ammoniac 20, chlorure sodique 58, farine de bois 2).

M. Sartorius pense que ces phénomènes peuvent se produire dans des tirs réels lorsqu'une des cartouches échappe à la détonation :

- a) par altération locale de l'explosif,
- b) par la dislocation du fourneau avec désaxement des deux fractions de la charge,
- c) par interposition de substance inerte.

Au mortier, il a obtenu la déflagration de la grisoudynamite chlorurée n° 15 en intercalant dans la charge des cartouches de poussier de 10 à 40 cm de longueur.

## CHAPITRE V.

### Etude du tir à temps.

#### Utilisation des détonateurs à court retard.

(MM. Taylor et Hancock - Imperial Chemical Ind.)

Cette note vise les cas divers d'utilisation des détonateurs à court retard : tirs de bosseyement et tirs en bouvaux.

Pour les premiers, les auteurs se sont occupés spécialement du risque d'inflammation du grisou; pour les seconds, ils ont cherché à déterminer le délai d'explosion conduisant à l'étalement convenable des déblais.

#### Tirs de bosseyement.

Les auteurs considèrent qu'il y a risque d'inflammation du grisou :

- a) par une charge mise partiellement à découvert dans une cavité produite par un coup antérieur (amputation de la charge),
- b) par une charge traversant une cassure ouverte, soit par le tir, soit par suite du havage pratiqué dans la veine.

Lors d'essais effectués en travaux souterrains, on a eu à trois reprises la mise à découvert d'une charge (cas a). L'étude de ces incidents montra qu'ils ne se seraient pas produits si on avait disposé convenablement les trous et choisi les retards d'une manière adéquate.

Les joints de stratification, les limés favorisent certainement l'amputation, mais celle-ci n'est pas supprimée lorsqu'on réduit de 50 à 25 millisecondes le délai entre les explosions.

Dans les terrains très fissurés, il a été reconnu avantageux d'écourter la durée du minage.

Le risque d'inflammation est particulièrement grand lorsque les fourneaux communiquent avec des fissures (cas b).

(Sur les 55 inflammations survenues dans les mines anglaises pendant la période 1935-1951, 31 furent attribuées à la présence de cassures recoupant les charges).

Ce risque est atténué par l'emploi de détonateurs à court retard, car la probabilité de formation d'un mélange inflammable est d'autant plus faible que le temps dont disposent les gaz pour se mettre en mouvement est plus court.

### Tirs en bouvaux.

Les premiers tirs effectués en bouvaux avec des détonateurs à court retard donnèrent lieu à un étalement anormal des pierres projetées; celles-ci étaient dispersées sur une distance 3 ou 4 fois plus grande que celle obtenue avec les détonateurs à la demi-seconde. Les auteurs corrigèrent cet inconvénient en modifiant le délai entre les explosions.

*Bouchon canadien.* — Avec le délai de 50 millisecondes, les trous d'équarrissage étant disposés sur des cercles concentriques au bouchon, l'étalement se faisait sur 21 m. Avec 100 millisecondes, en minant le terrain latéralement au bouchon, on réduisit la dispersion des déblais à 14 m; celle-ci fut ramenée finalement à 8 m grâce à une diminution de la charge d'explosif.

*Trous de bouchon.* — Les auteurs estiment qu'au lieu de faire exploser simultanément quatre ou six charges avec détonateurs instantanés, ce qui cause des avaries au soutènement, il est préférable de faire exploser successivement des trous courts d'avant-bouchon (déto o), puis les trous de bouchon proprement dits (déto n° 1).

On évite ainsi les avaries au soutènement, qu'il s'agisse de détonateurs à la demi-seconde ou de détonateurs à court retard.

Pour ce qui concerne les charges d'équarrissage, les auteurs, se basant sur l'étude cinématographique du mouvement des terrains, estiment que les différentes volées doivent exploser avec un écart de 100 à 120 millisecondes. On arrive ainsi à un étalement sur 7 m environ.

#### Risque d'inflammation par le détonateur seul.

Les auteurs pensent qu'il n'y a pas lieu d'envisager l'éventualité d'un détonateur explosant en dehors de la charge.

Les détonateurs instantanés n° 6 de l'Imperial Industries n'allument pas le grisou, mais il en est autrement des détonateurs à court retard.

L'inflammation est produite vraisemblablement par les résidus de la combustion du relais, et cela au moment où ces résidus traversent la gaine de gaz inertes.

Le remplacement du tube relais métallique par un tube fait d'un textile approprié réduira ou même annulera le risque d'inflammation.

### Recherches récentes sur les explosifs de sûreté.

(M. Fripiat - Institut National des Mines, Pâturages)

La première partie de cette note est consacrée aux explosifs à gaine renforcée, la seconde vise l'utilisation des détonateurs à court retard, et c'est pour cette raison que nous mentionnons cette communication après celle de MM. Taylor et Hancock.

Les détonateurs à court retard ont déjà fait l'objet en Belgique de longues recherches relatées depuis 1951 dans les rapports annuels de l'Institut National des Mines; ils sont maintenant utilisés dans nos mines.

Nous n'en dirons donc pas plus, mais nous soulignerons que dans nos expériences sur le tir à temps au rocher, nous avons envisagé le danger, non pas

du grisou présent dans les fissures (c'est le point de vue anglais), mais celui d'un mélange inflammable au voisinage des charges avant la détonation.

Nous avons montré que, dans ces conditions, l'emploi des détonateurs à court retard, en suite continue, réduit le risque d'inflammation lorsqu'une des charges est amputée.

## CHAPITRE VI.

### Recherches sur le tir électrique.

Le tir électrique peut suivant les circonstances constituer, pour les mines grisouteuses, un risque d'inflammation résultant de la production toujours possible d'étincelles et de leur aptitude plus ou moins grande à allumer les mélanges d'air et de grisou.

Des mesures de protection s'imposent donc en ce qui concerne la ligne de tir et l'exploseur.

Les conducteurs de la ligne doivent être couverts d'une gaine isolante et continue, l'exploseur doit être contenu dans une enveloppe antidéflagrante, c'est-à-dire empêchant une flamme de grisou, allumée par le jeu des organes électriques, de s'étendre à l'atmosphère ambiante.

Ce sont là des précautions évidentes par elles-mêmes; elles visent des causes antérieures au tir. Il faut également se prémunir contre les étincelles qui pourraient jaillir dans le circuit par le fait d'actions mécaniques consécutives à l'explosion des charges.

Les pierres projetées et les chasses d'air peuvent en effet détériorer les isolants et mettre en contact les parties conductrices du circuit.

On atténue ce risque par l'un des procédés suivants :

- a) écourter au maximum le temps pendant lequel la ligne est sous tension,
- b) réduire le courant de tir jusqu'à rendre les étincelles inoffensives en présence d'une atmosphère grisouteuse.

Ces procédés ont fait l'objet de deux communications présentées, l'une par la station de Derne (Dr. Wehner), l'autre par l'Institut National des Mines (J. Fripiat).

En Allemagne, une ordonnance qui remonte à 1941 prescrit que la durée du courant d'allumage ne peut dépasser 4 millisecondes.

Cette limitation, dit M. Wehner, n'eut aucune suite fâcheuse en ce qui concerne la régularité du tir, car dès 1939, une autre ordonnance avait déjà réglementé la sensibilité des détonateurs : une impulsion de 3 milliwatts/seconde par ohm devait suffire pour allumer l'amorce.

M. Wehner estime néanmoins que la réduction du temps de débit à 4 ms n'est pas encore une mesure suffisante, car on peut imaginer qu'une rupture de ligne se produise (par une chute de pierre par exemple) pendant le passage du courant.

Pour que l'étincelle n'allume pas le grisou, il faut une source d'énergie à tension relativement basse et sans self induction appréciable, c'est-à-dire une batterie d'accumulateurs.

Les recherches de l'auteur l'ont conduit à préconiser un exploseur de ce genre présentant, à circuit ouvert, une tension de 30 volts et pourvu d'une résistance de sécurité de 6,7 ohms. Dans ces conditions, le courant de court-circuit serait de 4,5 ampères, c'est-à-dire en dessous de la limite dangereuse, et l'exploseur pourrait débiter un courant de 1 ampère dans un circuit de tir d'une résistance de 23 ohms.

En Belgique, depuis 1933, tous les exploseurs agréés par l'Institut National des Mines sont pourvus d'un dispositif limitant la durée du débit à 30 millisecondes. Les recherches effectuées à Liévin peu de temps avant la première guerre mondiale par Taffanel et ses collaborateurs, avaient montré que dans ces conditions il ne pouvait se produire d'étincelles dangereuses par contacts *postérieurs* à l'explosion des charges.

La disproportion entre ce délai (30 ms) et celui adopté par la station de Derne (4 ms) est telle qu'il nous a paru utile de reprendre, mais avec un matériel plus précis, l'étude de Liévin.

Les expériences que nous avons effectuées dans nos galeries au rocher font l'objet de la deuxième communication.

Il a d'abord été constaté à l'aide d'un oscillographe que le courant de tir pouvait être rétabli par le fait de contacts *postérieurs* dans des délais extrêmement courts, notamment 1,75 ms après l'explosion. Mais les étincelles résultant des contacts *postérieurs* se produisent, soit au début de la dislocation du massif à l'intérieur du trou, soit plus tard à l'extérieur du trou. Les étincelles intérieures n'allument certainement pas le grisou puisqu'elles jaillissent dans les fumées.

Comme il n'était pas possible, par des enregistrements à l'oscillographe, de distinguer les étincelles dangereuses de celles qui ne le sont pas, nous avons procédé à des essais directs d'inflammation par contacts *postérieurs*.

Nous avons donc tiré des charges uniques d'explosif S.G.P. à gaine renforcée avec bourrage d'argile de 40 cm au moins de longueur; le courant de tir était fourni par un alternateur de 130 volts, 1300 watts, mais la durée de ce courant était limitée par un interrupteur rotatif.

Dans de telles conditions, le moindre contact dans le circuit devait allumer le grisou.

Nous avons effectué successivement :

- a) 15 tirs, durée du courant de tir 19,4 millisecondes; un de ces tirs a donné l'inflammation,
- b) 9 tirs, durée du courant 9,8 ms; une inflammation,
- c) 47 tirs, durée du courant 4,9 ms. Aucun de ces tirs ne produisit d'inflammation.

Pour chacune de ces trois séries, on releva sur le circuit des avaries ou défauts : conducteurs coupés, connexions terminales en contact.

Le fait qu'il n'y a pas eu d'inflammation par les tirs de la troisième série fait ressortir l'intérêt de la limitation à 4 millisecondes, de la durée du courant de tir.

## CHAPITRE VII.

### Utilisation des explosifs.

#### L'évolution du tir en Allemagne depuis la première conférence de Buxton (1931).

(M. Schultze-Ronhof - Derne-Dortmund)

Les recherches effectuées à Derne en 1929 et 1930 avaient montré que la sécurité du tir dépendait, non pas tant du poids d'explosif mis en œuvre, mais surtout de l'état d'achèvement de la décomposition au moment de l'ouverture du massif.

Dans le but d'obtenir une réaction rapide et totale, on préconisa d'abord la formule suivante :

Nitroglycérine	30	%
Nitrate de soude	13	%
Farine de bois	4,5	%
Chlorure sodique	12,5	%
Bicarbonate de soude	40,0	%

Celle-ci fut reconnue comme inutilisable dans la pratique à cause de sa capacité de travail insuffisante.

Des inflammations s'étant produites durant la période 1936-1938, les ingénieurs allemands en vinrent à utiliser une gaine de sûreté, non pas composée uniquement de substances inertes, mais renfermant en plus de la nitroglycérine.

Cette gaine couvrant la surface latérale et les fonds du noyau devait participer à la détonation et créer un nuage de fumées extinctrices capables d'isoler, de l'atmosphère ambiante, les particules incomplètement décomposées de l'explosif.

Les explosifs à gaine explosive ne purent être mis en défaut lors des essais courants en galerie expérimentale (tirs au mortier avec amorçage postérieur, tirs de charges suspendues).

Néanmoins, leur utilisation dans la mine donna lieu à des incidents qui motivèrent de nouvelles recherches.

On constata alors que ces explosifs allumaient le grisou à faible charge lorsqu'on les faisait détoner dans le creux d'un rail, dans une rainure au rocher ou dans un bloc rainuré disposé parallèlement à une tôle d'acier.

Il apparaissait ainsi que la gaine n'avait pas l'efficacité qu'on lui avait d'abord attribuée. Cette constatation décevante fut l'origine, dès 1939, de mesures de genres divers et notamment :

- 1) isolement des chantiers de tir à front des bouvaux par bouclier en maçonnerie avec porte métallique;
- 2) amélioration des aptitudes professionnelles du personnel chargé du minage;
- 3) limitation d'emploi du tir à temps auquel on imputait l'incident de la mise à découvert de charges avant leur détonation;
- 4) pulvérisation d'eau sous forme de brouillard à proximité du front de tir.

On entreprit néanmoins de nouvelles recherches sur les explosifs; celles-ci aboutirent aux formules de haute sécurité de la classe III dont il a été question précédemment (voir M. Arhens : Explosifs anti-grisouteux de puissance élevée).

M. Schultze-Ronhoff énumère ensuite trois améliorations récentes favorables à la sécurité :

- a) Mise au point des détonateurs à très court retard, c'est-à-dire explosant à des intervalles de l'ordre de 35 millisecondes.

Par la cinématographie de tirs à la pierre, on constata qu'il fallait 100 millisecondes au moins pour qu'une charge disloquât dangereusement le rocher au voisinage d'une autre charge.

- b) Mise au point de la fabrication de détonateurs plus sûrs. La fréquence d'inflammation par détonateurs tirés en plein grisou n'est plus que de 4 %.

- c) Réduction à 4 millisecondes de la durée du débit des exposeurs.

Cette mesure supprime le risque d'inflammation par les contacts postérieurs.

#### Minage en veine et infusion combinés.

(MM. Hancock, Taylor - I.C.I. - Grimshaws, Buxton)

Cette communication se rapporte à un procédé de tir extrêmement original consistant à faire détoner la charge dans le fourneau maintenu sous pression hydraulique. En l'absence absolue d'air, condition nécessaire pour le succès de la méthode, l'onde de choc produite par la détonation se transmet au terrain par l'intermédiaire de l'eau disséminée dans les fissures.

On saisit sans difficulté les avantages d'un tel procédé.

La charge étant entourée d'eau, le risque d'inflammation, tant du grisou que des poussières, est pour ainsi dire nul. Un coup débouillant serait donc sans conséquence et, de ce fait, le tir peut être pratiqué sans havage préalable. Or, on sait que le travail à la haveuse est une cause d'insalubrité (poussières) et parfois d'accident (inflammation du grisou par les étincelles de friction). Enfin, l'infusion réduit la production de poussières lors du tir et des opérations subséquentes.

Le procédé n'en est qu'à ses débuts; il a fallu au préalable mettre au point :

- 1) un explosif insensible à l'eau et détonant complètement sous une pression hydrostatique élevée, c'est-à-dire de l'ordre de 40 kg;
- 2) un dispositif d'injection capable de maintenir cette pression dans le terrain et de résister au choc du tir.

Les auteurs estiment que le minage avec infusion est à l'heure actuelle susceptible de deux modes d'application; ils indiquent pour chacun d'eux le plan des opérations, puis les résultats obtenus au cours d'essais pratiques.

- a) *Tirs en fourneaux longs parallèles au front de taille.*

Le forage doit traverser de part en part le massif et nécessite, de ce fait, l'aménagement préalable de deux traçages. Le fourneau ouvert à ses deux extrémités peut, grâce à des artifices faciles à imaginer, recevoir des charges régulièrement espacées et réunies par un cordeau détonant. Il est fermé ensuite, d'un côté, par un bourrage de sable et d'argile de 1,20 m de longueur et, de l'autre, par le dispositif

d'injection qui doit se trouver à 1,50 m au moins de l'explosif.

On applique ensuite la pression d'eau, puis on allume le cordeau.

Le tir doit simplement ébranler le charbon et faciliter le déhouillement par rabot ou autre engin; les auteurs croient cependant, et certains essais l'ont montré, qu'on pourra par ce procédé faire de l'abat-tage proprement dit.

Dans une veine de 1,35 m, on a, sans havage préalable, fait sauter successivement trois trous de 23 m, 12,6 m, 18,6 m de longueur, de 42 mm de diamètre et avec une pression d'infusion de 10 à 15 kg/cm<sup>2</sup> (la présence d'un nerf stérile de 30 cm à mi-hauteur de la veine limitait le taux d'infusion).

Deux tirs firent de l'abatage, le troisième ébranla le charbon, de telle sorte qu'on pouvait l'abattre au pic à main.

La consommation d'explosif a été sensiblement la même que celle du tir en fourneaux secs en couche havée.

b) *Tirs en fourneaux courts obliques au front de taille.*

Le tir avec infusion présente le maximum d'intérêt lorsqu'il est effectué en massif non havé. Les auteurs

préconisent le forage oblique à 45° sur le front de taille et le placement de la charge au fond du trou, dont la partie antérieure est complètement remplie d'eau.

Des essais pratiques ont été faits dans une veine de 0,97 m havée sur 1,50 m de profondeur. Les trous de 2,10 m étaient forés à des intervalles de 3 m. On faisait une infusion avant et après le chargement et la pression hydraulique au moment du tir était de 14 à 21 kg/cm<sup>2</sup>.

Comparé au tir en trous secs, le minage avec infusion donnait un rendement meilleur en gros charbon, une quantité moindre de fumées et de poussières.

Quelques essais en veine non havée ont donné lieu à des dégradations graves au matériel d'injection.

La question reste cependant à l'étude et les auteurs signalent pour finir, sans donner plus de détails, que des tirs avec infusion effectués dans la pierre ont conduit à une consommation moindre d'explosif.