

Recherches récentes sur le tir à temps

par J. FRIPIAT,

Directeur Divisionnaire honoraire des Mines.

SAMENVATTING

In deze bijdrage worden drie mededelingen samengevat, die voorgedragen werden op de X^e Internationale Conferentie van de Proefstations, die van 28 september tot 2 oktober 1959 in Pittsburgh (Verenigde Staten van Amerika) gehouden werden :

- 1) Hazards of cut-off explosive charges in multiple blasting of coal door de HH. Nagy, Hartmann, Kawenski en Van Dolah van het Bureau of Mines, U.S.A.
- 2) La sécurité du tir à retard en mines grisouteuses door de HH. Loison en Seeleman van het Centre d'Etudes et Recherches des Charbonnages de France.
- 3) Bestimmung der Zeit des Anfangs der Aufdeckung eines Bohrloches durch Abschiessen eines Nachbohrloches in Kohlenflöz door de HH. Cybulski en Krzystolik van de proefmijn « Barbara » te Mikolov (Polen).

De eerste mededeling betreft een rechtstreekse studie van het ontvlammingsgevaar, voortvloeiend uit de trapsgewijze ontploffende mijnen. De ladingen worden in de kool geschoten, in aanwezigheid van mijngas.

Hetzelfde doel werd nagestreefd door de proefnemingen die in de jaren 1951 à 1958 werden uitgevoerd in de steengalerij van het Nationaal Mijninstituut.

In de tweede mededeling worden de mechanische effecten van het schieten behandeld : toevloed en verplaatsing van het mijngas, bewegingen van het gesteente.

Tijdens het schieten kan mijngas dat door de eerste ontploffingen werd vrijgemaakt of dat zich verzameld heeft op plaatsen die aan de aandacht van de schietmeester ontsnapt, in de nabijheid van nog niet ontplofte mijnen worden gebracht. Ten einde de veiligheid van het tijdschieten te beoordelen, is het van belang de tijdruimte te kennen binnen dewelke de fissuratie van het gesteente, uitgelokt door een reeks mijnen, de mijnen van een volgende reeks bereikt. Cerchar gebruikte daartoe de versnelde cinematografie.

In de nota van het Poolse proefstation wordt uitsluitend over de fissuratie gehandeld. Deze werd door middel van een electrisch procédé geregistreerd.

RESUME

Sous ce titre, nous résumons trois communications qui ont été présentées à la X^e Conférence Internationale des Directeurs des Stations d'essai, tenue du 28 septembre au 2 octobre 1959, à Pittsburgh (Etats-Unis d'Amérique) :

- 1) Risque d'amputation des charges dans le tir en volées au charbon (Hazards of cut-off explosive charges in multiple blasting of coal), par MM. Nagy, Hartmann, Kawenski et Van Dolah du Bureau of Mines, U.S.A.
- 2) La sécurité du tir à retard en mines grisouteuses, par MM. Loison et Seeleman du Centre d'Etudes et Recherches des Charbonnages de France.
- 3) Détermination du moment de la mise à découvert d'une charge par une charge voisine dans le tir au charbon (Bestimmung der Zeit des Anfangs der Aufdeckung eines Bohrloches durch Abschiessen eines Nachbohrloches in Kohlenflöz), par MM. Cybulski et Krzystolik de la mine expérimentale « Barbara » à Mikolow, Pologne.

La première est une étude directe du risque d'inflammation résultant de l'échelonnement des explosions; les charges sont tirées au charbon en présence du grisou.

L'objectif poursuivi est donc identique à celui des expériences que nous avons effectuées au cours des années 1951 à 1958 dans les galeries au rocher de l'Institut National des Mines.

Dans la seconde communication, les expérimentateurs étudient spécialement les effets mécaniques du tir : dégagement et déplacement du grisou, mouvement du rocher.

Au cours du déroulement du tir, il se pourrait que du grisou libéré par les premières explosions ou accumulé en des endroits ayant échappé à l'attention du boute-feu, soit amené au voisinage des charges encore intactes. Il est également intéressant, pour juger de la sécurité du tir à temps, de connaître le délai dans lequel la fissuration produite par une volée, atteint les mines d'une volée consécutive. Les expérimentateurs du Cerchar utilisent, à cette fin, la cinématographie rapide.

Dans la note de la station polonaise, il est question uniquement de la propagation de la fissuration; celle-ci est enregistrée par un procédé électrique.

COMMUNICATION DU U. S. BUREAU OF MINES

Après avoir rappelé brièvement les études faites en Allemagne, Grande-Bretagne, Belgique, France et Pologne, les auteurs exposent ainsi le développement de leurs travaux.

On a étudié le risque d'inflammation du grisou par les charges amputées dans les tirs au charbon. Deux trous étaient forés à faible distance l'un de l'autre et leurs charges étaient amorcées de telle sorte qu'elles devaient détoner avec un décalage fixé à l'avance. Avant de détoner, la seconde charge était amputée ou bien l'épaisseur de charbon qui la recouvrait était anormalement réduite.

On a simulé aussi et d'une manière directe l'amputation en faisant exploser successivement une charge noyée en charbon fin et une autre placée dans une rainure au charbon.

Enfin, on a tiré des charges uniques sous des épaisseurs diverses de charbon.

Toutes ces expériences ont été faites en présence de mélanges inflammables d'air et de gaz naturel et, pour chaque série, on a déterminé la fréquence d'inflammation.

Comme on avait observé que la première charge faisait parfois exploser la seconde par influence, on a recherché dans quelles conditions se produisait ce départ simultané.

Réalisation des essais.

Les essais ont été exécutés dans des piliers de $6,3 \times 2$, m, découpés dans une veine de 1,55 m d'épaisseur.

Dans le pilier une rainure était pratiquée à la machine, soit au mur (havage), soit entre toit et mur (rouillure).

Les trous étaient forés horizontalement au diamètre de 44,5 mm à des profondeurs diverses allant de 0,76 m à 1,20 m, mais toujours inférieures de 15 cm à celle de la rainure.

Le mélange inflammable (air + 8 à 9 % de gaz naturel) était maintenu contre le front de tir par une cloison en papier fort.

On a utilisé huit explosifs : cinq reconnus comme antigrisouteux (explosifs MA, ME, MC, H, R) et trois dynamites A, B, C (1).

La cartouche amorce était au fond du trou.

Le bourrage était fait d'argile; sa longueur était de 30 cm et son poids de 2 livres (2). Le courant d'allumage était fourni par une batterie de piles sèches groupées en série (tension maximum 18 volts).

On a utilisé d'abord des détonateurs instantanés et réalisé l'espacement des départs à l'aide d'un dispositif mécanique. Ultérieurement, on a amorcé la seconde charge avec un détonateur à retard.

Lorsqu'il devint évident que la seconde charge pouvait détoner par influence, on mesura le temps s'écoulant entre les deux explosions, d'abord par un compteur électronique (des fils enroulés autour des deux charges étaient brisés par les explosions), puis par un microphone combiné avec un oscillographe. Celui-ci inscrivait les ondes sonores et permettait de voir, en outre, si la seconde charge avait explosé dans le charbon ou à l'air libre.

On enregistrait les inflammations par la photographie.

Tirs de deux charges en charbon massif.

Deux trous sont forés dans un même plan qui est, soit parallèle à la rainure de havage, soit parallèle ou perpendiculaire à la rouillure.

On fait varier :

le poids d'explosif des deux charges,
la distance entre les trous (10 à 30 cm),
la distance des trous à la face libre du pilier (12,5 à 60 cm),

l'écart entre les explosions des deux charges.

Par des essais préliminaires, on a déterminé l'étendue de l'excavation produite par la première explo-

(1) Par explosifs antigrisouteux, nous désignons les « permiscibles explosives » de la station américaine; ils sont astreints à des épreuves de tir au mortier en présence du grisou ou des poussières.

(2) Pour éviter les chiffres décimaux, nous donnons tous les poids de bourrage et d'explosifs en livres (livre = 454 g).

sion. On connaissait ainsi l'épaisseur de charbon couvrant la seconde charge au moment de sa détonation. Au tableau I, nous n'avons reporté que les séries d'essais servant de base aux commentaires des expérimentateurs; on y voit :

- le numéro de la série,
- la distance entre les trous (cm),
- les charges des deux trous (poids en livres et désignation de l'explosif),
- l'écart entre les départs en millisecondes (ms) : minimum, maximum et moyen,
- la fréquence (f) d'inflammation (nombre d'inflammations sur nombre d'essais).

On voit que, pour la plupart des essais, le trou 2 est chargé de dynamite, laquelle allume le grisou lorsqu'elle est tirée sans confinement. Le trou 1 renferme au contraire un explosif antigrisouteux qui n'allume pas lorsqu'il se trouve en trou bourré.

A partir de ces résultats, les auteurs examinent comment la fréquence d'inflammation (f) varie avec les conditions de tir. Certaines séries ont fait l'objet de calculs statistiques qui ont conduit à ce que les auteurs appellent le « confidence level » ou niveau de confiance. Le « poids » des conclusions ressort

tant d'une série est d'autant plus grand que le « confidence level » est élevé; celui-ci est généralement exprimé en pour-cents.

Influence de l'écart entre les départs.

D'une manière générale, il n'y a pas eu inflammation par amputation tant que l'écart entre les explosions était inférieur à :

- 5400 ms, lorsque la charge amputée (2^{de} charge) était un explosif antigrisouteux (série 11),
- 840 ms, lorsque la charge amputée était une dynamite (série 4).

L'influence de l'écart ressort de l'examen des résultats des séries 1 à 4, 5, 6, 7 et 10.

Il n'y eut pas inflammation lorsque l'écart était compris entre 25 et 830 ms (séries 1 à 4); par contre, on en observa dix sur les vingt essais effectués avec des écarts allant de 840 à 5500 ms (séries 5, 6, 7, 10).

La fréquence d'inflammation augmente donc avec l'écart; cette constatation est statistiquement significative avec un « confidence level » de 99 %.

TABLEAU I

Deux charges en charbon.

N° de la série	Distance entre les trous (cm)	Charges (en livres)		Ecart entre les départs (ms)			f.
		trou 1	trou 2	minimum	maximum	moyen	
1	25	0,5 MA	0,5 B	25	37	35	0/5
2	id.	id.	id.	260	295	280	0/5
3	id.	id.	id.	380	550	450	0/5
4	id.	id.	id.	670	830	730	0/5
5	id.	id.	id.	840	980	930	2/5
6	id.	id.	id.	1650	2000	1810	1/5
7	id.	id.	id.	2200	2600	2270	3/5
8	id.	id.	0,5 MA	2200	2500	2260	0/5
9	id.	id.	0,5 B	2200	2700	2440	0/5
10	id.	id.	id.	5000	5500	5280	4/5
11	id.	id.	0,5 MA	4800	5500	5180	1/5
12	id.	id.	0,5 B	5200	5800	5460	1/5
13	id.	id.	id.	4900	5400	5100	2/5
16	id.	id.	id.	5000	5500	5200	0/5
17	id.	id.	1,5 B	4700	5200	5000	0/5
18	id.	id.	3,0 B	5100	5600	5300	0/5
19	20	id.	0,5 B	25	100		0/2
20	30	id.	id.	40	3040	925	0/5
21	17,5	id.	0,5 C	0			0/1
22	30	1,0 MA	0,5 B	0	2790		0/2
23	id.	id.	0,5 MA	1030	1080	3800	0/3
24	12,5 - 17,5	0,5 MA	0,5 B	0	0		2/5
25	10	id.	id.	0			0/1
26	id.	1,0 MA	id.	0			0/6

L'inflammation de la série 11 s'est produite avec l'écart 5400 ms.

Expulsion de la seconde charge.

Cet incident s'est produit dix fois pour les vingt tirs des séries 1 à 4 (écart maximum 850 ms) et douze fois pour les tirs des séries 5, 6, 7 et 10 (écarts de 840 à 5500 ms).

Les dix expulsions des séries 1 à 4 ne produisirent pas l'inflammation. Pour les séries 5 à 10, il y eut dix inflammations dont huit avec expulsion; quatre autres tirs de ces séries donnèrent lieu à l'expulsion, mais pas à l'inflammation.

On peut supposer que, lorsqu'il y a inflammation, la seconde charge (en l'occurrence un explosif non antigrisouteux) est soit expulsée, soit mise à nu. Quoi qu'il en soit, le risque d'inflammation dépend surtout de l'écart entre les explosions.

Influence de l'épaisseur de charbon sur la seconde charge au moment de sa détonation.

Dans tous les tirs considérés jusqu'ici, la seconde charge se trouvait à la limite de l'excavation causée par la première charge.

Pour les séries 13 et 16, l'épaisseur de charbon non fissuré subsistant sur la seconde charge après la première explosion, était respectivement de 2,5 et 7,5 cm.

Pour des conditions de chargement identiques (mêmes charges, mêmes écarts), on a observé les fréquences d'inflammation (f) suivantes :

<i>Épaisseur de charbon</i>	<i>Fréquence (f)</i>	<i>Série</i>
0	4/5	10
2,5 cm	2/5	13
7,5 cm	0/5	16

L'influence de l'épaisseur de charbon est statistiquement significative avec un « confidence level » de 99 %. Sur les vingt-cinq expériences effectuées avec des épaisseurs de charbon (sur la 2^{de} charge) allant de 10 à 60 cm (séries 19 à 26), deux inflammations seulement furent observées. Mais il y a lieu de noter que, lors de ces deux tirs, la seconde charge a explosé par influence (donc sans amputation) et qu'une seule charge de dynamite (explosif B) tirée dans les mêmes conditions de confinement peut allumer.

Influence du poids d'explosif de la charge amputée.

Lorsque cette charge est, au moment de sa détonation, couverte par 7,5 cm de charbon, un accroissement du poids d'explosif n'entraîne pas un accroissement de la probabilité d'inflammation.

Les tirs des séries 16, 17 et 18 ont été effectués avec le même écart, la même épaisseur de charbon sur la seconde charge (7,5 cm) mais avec des poids d'explosif croissants (0,5, 1,5 et 3,0 livres). Aucun d'eux n'a produit l'inflammation alors que l'épaisseur de 7,5 cm était le minimum requis pour qu'il n'y ait pas inflammation par la charge 0,5 livre.

Influence de la proximité d'une surface d'impact.

Lorsqu'une surface d'impact (front de charbon) se trouve près de la charge amputée, la fréquence d'inflammation par cette charge augmente avec la distance qui la sépare de la surface. Avec la dynamite B (seconde charge), on a observé en effet :

pour la distance 15 cm
écart moyen 2440 ms $f = 0/5$ (série 9)
écart moyen 5460 ms $f = 1/5$ (série 12)
pour la distance de 70 cm à 2,80 m
écart moyen 2270 ms $f = 3/5$ (série 7)
écart moyen 5280 ms $f = 4/5$ (série 10)
donc $f = 1/10$ pour le premier groupe
 $f = 7/10$ pour le second groupe.

Le « confidence level » de ces expériences est de 99 %.

On est ainsi amené à dire que, dans des fissures de 10 à 15 cm, la probabilité d'inflammation par une charge amputée est extrêmement réduite. Cette condition se produirait si, lors d'un minage en veine, la masse de charbon restait en place après les premières explosions. Il faudrait en plus que la charge amputée explosât très tôt dans la volée car on sait qu'une charge mise à nu dans une fissure et explosant avec un long retard, entraîne un grand risque d'inflammation.

Influence du type d'explosif.

Au tableau I on voit que la seconde charge étant 0,5 livre d'explosif B (dynamite), on a obtenu :

écart moyen 2270 $f = 3/5$ (série 7)
écart moyen 5280 $f = 4/5$ (série 10)
d'où f global = 7/10.

Dans les mêmes conditions, on a eu avec 0,5 livre d'explosif antigrisouteux MA :

écart moyen 2260 $f = 0/5$ (série 8)
écart moyen 5180 $f = 1/5$ (série 11)
d'où f global = 1/10.

Le risque d'inflammation par une charge amputée est donc plus grand avec un explosif non antigrisouteux qu'avec un explosif antigrisouteux.

Action d'une charge explosant en charbon sur une autre charge.

L'une des charges est entourée d'une gaine de charbon fin, l'autre est placée dans une rainure creusée dans un front vertical de charbon.

On a vérifié d'abord que, tirées isolément en grisou, la première charge n'allume pas et la seconde allume chaque fois.

On a fait ensuite détoner les deux charges en modifiant le délai entre les deux explosions; la fréquence d'inflammation augmente avec ce délai.

a) 1^{re} charge : 0,5 livre d'explosif antigrisouteux R entouré d'une gaine de 22 mm de charbon fin.
2^{de} charge : 0,5 livre d'explosif antigrisouteux nu (H).

Distance entre les charges : 45 cm.

Pour des délais de 25 à 2000 ms, $f = 0/12$.

Pour des délais de 3000 à 5000 ms, $f = 2/2$.

- b) Mêmes conditions que pour a), sauf que la seconde charge est une dynamite B (0,5 livre).

On a obtenu :

pour les délais 25 et 100 ms, $f = 0/2$

pour les délais 500, 1000 et 2000 ms, $f = 3/3$.

- c) Mêmes conditions que a), sauf que :

la distance entre les charges est 90 cm;

le délai entre les explosions est 25 ms.

On réduit l'épaisseur de la gaine de charbon à 12 et 4 mm; il n'y a pas inflammation.

La poussière de charbon dispersée par la première charge « inhibe » donc l'inflammation naissante allumée par la seconde charge (3), la fréquence d'inflammation augmente cependant avec le délai qui sépare les deux explosions.

Inflammation par les tirs d'une seule charge.

Les charges sont tirées avec bourrage dans des trous parallèles forés au charbon dans un plan parallèle soit à une rainure de havage, soit à une rouillure.

- a) Sur 152 tirs d'explosifs antigrisouteux, on a enregistré 3 inflammations; les charges étaient :

3 livres à 15 cm d'un havage

0,5 livre à 7,5 cm d'une rouillure

0,5 livre à 2,5 cm d'une rouillure.

Les fréquences d'inflammation sont :

d'après l'épaisseur de charbon sur la charge,

2,5 à 7,5 cm $f = 2/63$

15 cm $f = 1/65$

17,5 à 52,5 cm $f = 0/24$

(Confidence level 75 %)

d'après le poids d'explosif,

0,25 à 2 livres $f = 3/79$

3,5 à 8 livres $f = 0/73$

(Confidence level 85 %).

La fréquence d'inflammation diminue :

- 1) quand la couverture de charbon sur la charge augmente. Toutes les inflammations se sont produites lorsqu'il y avait 15 cm et moins de charbon sur la charge;
- 2) quand le poids d'explosif augmente. Les charges importantes, disent les auteurs, pulvérisent fortement le charbon et accentuent l'action inhibitrice des poussières sur la flamme d'une explosion naissante. Les charges d'explosif antigrisouteux MA, tirées dans des conditions de confinement (épaisseur de

charbon) identiques à celles des tirs du tableau I (trou 1), n'ont pas donné d'inflammation.

- b) Les trente-deux tirs de 0,5 livre de dynamite (ou autres explosifs non antigrisouteux) ont donné quatre inflammations, soit d'après l'épaisseur de charbon sur la charge

2,5 à 7,5 cm $f = 0/18$

15 cm $f = 3/7$

30 à 52 cm $f = 1/7$

(Confidence level 98 %).

On devrait, semble-t-il, obtenir une fréquence d'inflammation (f) plus grande avec une faible épaisseur de charbon. S'il en est autrement, c'est, disent encore les auteurs, à cause des poussières. Celles-ci sont, avec une dynamite (explosif puissant à grande vitesse de détonation), pulvérisées plus finement lorsque le banc de charbon couvrant la charge est mince.

On a fait aussi quelques tirs de charges dans une rainure, donc à découvert.

Avec 0,5 livre d'explosif, on a eu :

$f = 18/21$ pour les antigrisouteux

$f = 3/5$ pour la dynamite B.

Détonation par influence.

Les deux charges sont placées dans des trous parallèles forés au charbon; on fait varier la distance entre les trous.

- a) 1 livre d'explosif antigrisouteux MA fait détoner un explosif non antigrisouteux à 30 cm (distance maximum essayée), un explosif antigrisouteux à la distance maximum de 15 cm.
- b) 0,5 livre d'explosif antigrisouteux MA fait détoner une charge de dynamite B à la distance maximum de 30 cm dans un massif havé, 27,5 cm dans un massif « rouillé », à la distance de 20 cm dans un massif ferme (distance maximum essayée).
- c) 0,5 livre d'explosif MA fait exploser à 20 cm une seconde charge du même explosif dans un massif ferme.

Conclusions.

- 1) Au cours des tirs en grisou (deux charges amorcées de détonateurs à retard), l'amputation n'a pas causé l'inflammation tant que l'écart entre les deux explosions est resté inférieur à 5400 ms ou à 840 ms, suivant que la seconde charge (charge amputée) était un explosif antigrisouteux ou un explosif non antigrisouteux (dynamite).
- 2) Lorsque la charge amputée est une dynamite, la fréquence d'inflammation augmente quand le délai entre les deux explosions passe de 840 à 5500 ms.

(3) Non seulement la poussière, mais aussi les fumées de la première charge exercent une action extinctrice (N.d.T.).

- 3) Il y a lieu de croire que les poussières et les gaz produits par la première explosion empêchent le développement de l'inflammation allumée par la charge amputée.
- 4) Le risque d'inflammation est plus grand lorsque la seconde charge est expulsée ou mise à nu, que lorsque l'épaisseur de charbon sur cette charge est simplement amincie. En tout cas, le risque d'inflammation est fonction du délai entre les deux explosions.
- 5) Lorsque l'épaisseur de charbon sur la charge amputée est celle strictement nécessaire pour empêcher l'inflammation par 0,5 livre d'explosif, le risque n'augmente pas quand le poids est porté à 1,5 livre et 3 livres.
- 6) Une charge amputée dans une rainure de 15 cm est moins apte à produire l'inflammation que celle qui se trouverait à 70 cm et plus d'un front de charbon. Cette variation du risque avec la distance ne s'observe pas lorsque la charge explose en charbon fissuré.
- 7) Quelles que soient les conditions de tir, quels que soient aussi les incidents qui puissent survenir, le risque d'inflammation est toujours moindre avec les explosifs antigrisouteux.
- 8) Le minage en charbon présente une grande marge de sécurité lorsqu'on utilise des détonateurs à la milliseconde et que les charges (explosifs antigrisouteux) sont convenablement disposées. Il faut notamment que l'épaisseur de charbon sur les charges soit de 45 cm au moins (minimum prescrit par le *Federal Coal Mine Safety Code*).

COMMUNICATION DU CERCHAR

Lés auteurs indiquent d'abord dans quelles conditions les détonateurs à temps sont utilisés en France et donnent, à ce sujet, quelques renseignements statistiques. Ils font ensuite ressortir les différences entre le tir instantané et le tir à retard.

Dans le tir instantané, on connaît l'état de l'atmosphère et la position des charges dans le massif (distance des fourneaux à la surface libre) au moment de l'explosion.

Il n'en est pas de même dans le tir à temps après le départ de la première volée; celle-ci peut en effet amener du grisou sur le front de tir et amincir l'épaisseur du terrain sur les charges non encore détonées.

L'étude de ces actions mécaniques constitue l'essentiel des recherches du Cerchar.

Dégagement du grisou par le tir.

Les essais se sont déroulés dans 18 chantiers : 8 chassages en massif vierge dans des couches très puissantes (1,60 m à 4,50 m) de Lorraine à 35 - 40 % de matières volatiles,

8 chassages en massif vierge et 2 voies de chantiers dans des couches de charbon à coke (25 % environ de matières volatiles) du Groupe de Lens-Liévin.

Les chantiers étaient ventilés à raison de 1 à 2,5 m³/s par des canars de 400 mm de diamètre, s'arrêtant à des distances du front de tir variant de 5 à 10 m. En Lorraine, on tirait dans le charbon 3 à 6 charges de grisou-dynamite chlorurée 1 (explosif couche), amorcées de détonateurs instantanés. A Lens-Liévin, on minait à la fois dans le charbon et dans les épontes avec des détonateurs à micro-retard et de la grisou-dynamite chlorurée 16 dans les chassages en ferme, de l'explosif N°64 dans les voies de chantier.

On a déterminé la teneur en méthane à des époques diverses après le tir et en différents endroits : près du front, dans l'espace découvert par l'explosion, dans la zone brassée par le courant d'air.

Dégagement du grisou près du front.

Pour effectuer les prélèvements, les expérimentateurs ont imaginé deux appareils automatiques : l'un nécessitait une alimentation en air comprimé, l'autre au contraire était tout à fait autonome.

Dans chaque cas, c'était l'explosion d'un détonateur à temps, introduit dans le circuit de tir, qui commandait le prélèvement de l'échantillon.

Trois ou quatre appareils étaient placés à hauteur du milieu de la veine, à 1 m et moins du front; ils fonctionnaient à des temps différents, soit de 200 millisecondes à 4 secondes après le tir.

Quatre cent vingt échantillons ont été prélevés et analysés.

Les auteurs résument ainsi les résultats de leurs recherches :

- a) il y a très souvent un accroissement de la teneur en méthane très tôt après le tir, mais cet accroissement est presque toujours inférieur à 1 %;
- b) la teneur maximum se produit aussi bien 200 ms que 4 s après le tir. Une seule fois, elle a atteint 2,5 %.

Dégagement du grisou dans l'espace découvert par le tir.

Dans les mêmes chantiers, on a effectué aussi des mesures grisométriques dans le vide créé par le tir. On revenait donc à front quelques minutes après l'explosion; on utilisait un grisomètre ou on prélevait l'air grisouteux avec des flacons.

Très souvent, dans les endroits non atteints par le courant d'air, on observe des teneurs supérieures à la limite d'inflammabilité, même après un délai de 10 à 15 minutes.

Exemples :

9,7 % après 17 minutes dans un chassage en ferme de Lens-Liévin

14,5 % après 11 minutes entre les fronts et les déblais d'un chassage en ferme du même bassin.

Teneur en grisou dans la zone brassée par le courant d'air.

Quelques minutes après le tir, la teneur est d'abord ou bien peu différente de celle mesurée au cours du tir, ou bien lui est sensiblement inférieure; elle décroît ensuite lentement.

Déplacement du grisou par le tir.

On peut supposer que les gaz de détonation, s'échappent d'abord à grande vitesse du massif et se contractant ensuite par refroidissement et condensation, déplacent les accumulations de grisou qui ne sont pas trop éloignées des charges et amènent sur le front de tir du mélange inflammable.

Les expérimentateurs du Cerchar ont étudié cet ensemble de phénomènes de la manière suivante. Avant le tir, on réalise dans la partie haute de la galerie une nappe de grisou en envoyant le gaz par une rampe de distribution placée en couronne. Après le tir, on suit par des prélèvements, l'évolution de la teneur en méthane à proximité du trou de mine.

Voici quelques détails sur les expériences effectuées.

a) A deux mètres du fond de la galerie expérimentale (en tôle d'acier) se trouve un mortier dont l'orifice est tourné vers l'extrémité ouverte de la galerie. Près du fond, on libère en couronne sur 2,50 m de longueur, 500 litres de grisou, puis dans le mortier, on fait exploser une charge sans bourrage. Les prélèvements effectués à 1,20 m de hauteur et un peu en arrière de la bouche du mortier montrent qu'à cet endroit, la teneur atteint rapidement 10 % (de 35 à 70 ms après le tir); elle demeure ensuite stationnaire ou décroît lentement. Dans d'autres conditions opératoires (nappe de grisou plus ou moins importante), l'allure de la teneur reste la même. Il y a donc mouvement du grisou vers la bouche du mortier.

Evidemment, le tir sans bourrage dans une galerie sans obstacle est particulièrement favorable à ce mouvement. Dans la pratique, celui-ci doit être beaucoup moins sensible; il ne peut cependant être évité par le tir à microretards.

b) Dans une galerie au rocher (section 5 m²), on produit en couronne, à 2 ou 4 m du front, une nappe de grisou longue de 2 à 3 m. On fait exploser une charge à front (800 g et moins) et on prélève des échantillons devant la charge à 1 m du front. Lorsque la charge est située à faible hauteur, aucune trace de grisou n'apparaît à ce niveau. Il en est autrement lorsque la charge est voisine de la couronne; on peut s'en rendre compte par le tableau II dans lequel sont rapportés les résultats de quatre tirs.

TABLEAU II

Temps du prélèvement (ms)	Teneur en méthane (%)			
	Tir 61	Tir 66	Tir 71	Tir 72
0	2,75	0,65	1,70	2,20
35	0,50	0,40	0,40	1,90
70	1,40	1,90		
105			0,70	2,20
930			1,45	3,00
430			0,10	0,10

Malgré donc la présence d'un volume important de gaz (500 ou 1.000 litres) près du front, la teneur en méthane au point de prélèvement après le tir, ne s'élève jamais beaucoup au-dessus de sa valeur initiale; elle atteint son maximum en un temps très court (inférieur à une demi-seconde).

c) Dans la même galerie, on fait les mêmes essais, mais en envoyant le grisou dans une excavation de 500 à 700 litres, creusée en couronne à l'aplomb du front.

La charge se trouvant à faible distance de la couronne, il y a successivement et en un temps très court (de l'ordre de 200 ms), diminution et augmentation de la teneur jusque 2 %; celle-ci décroît ensuite lentement.

Lorsque la charge est assez éloignée de la nappe de grisou, la teneur en méthane près de la charge augmente lentement tout en restant inférieure à 2 %; elle diminue ensuite.

Mouvement du rocher.

Les essais ont été effectués dans une carrière. Un trou de mine était foré horizontalement à une distance « d » d'une surface libre verticale. A l'aide d'une caméra donnant de 700 à 1.200 images par seconde, on photographiait le mouvement latéral du rocher.

Les essais montrèrent que le mouvement s'amorce dans un délai de quelques millisecondes et qu'il devient ensuite à peu près uniforme.

Nous extrayons de la communication, le tableau III dans lequel on voit que la vitesse des pierres croît avec le poids et la puissance de l'explosif et qu'elle varie en sens inverse de la distance « d ».

TABLEAU III

Explosif	Charge en grammes	Distance d (cm)	Vitesses des projections (m/s)
G C 16	200	20	19 - 26
		300	> 100
			35
G D R	320	50	11 - 29
		20	70 - 105
		35	23 - 32
		50	7 - 19

Se basant sur ces résultats, les auteurs concluent que, dans certains de leurs essais de tir à temps en galerie souterraine, tirs dont il sera question au paragraphe suivant, la seconde charge a été franchement dénudée avant de détoner.

S'il n'y a pas eu alors inflammation du grisou par cette charge, c'est parce qu'elle s'est trouvée isolée du mélange inflammable par les pierres, les poussières et les fumées provenant de la première charge.

Risque d'inflammation résultant de la dénudation des charges.

Les auteurs rappellent ici les résultats de tirs en grisou figurant déjà dans la communication qu'ils ont présentée à la IX^e Conférence Internationale des Directeurs des Stations d'Essai de 1956 (4). Les conditions de ces tirs étaient les suivantes :

- galerie creusée en calcaire tendre;
- deux trous de 1 m distants de 20 cm parallèles, forés à 20 cm de la surface libre;
- charge n° 1, 200 g d'explosif G D R, amorçage postérieur;
- charge n° 2, une cartouche unique de G D R, amorçage postérieur ou antérieur;
- les deux charges sont bourrées : 20 cm d'argile.

On fait varier l'écart (en millisecondes) entre les deux explosions.

L'explosif G D R, tiré en charge unique même de 600 g avec bourrage, n'allume pas le grisou.

S'il y a inflammation lors d'un tir à temps de deux charges, c'est que la seconde charge a détoné sous un confinement réduit ou inexistant.

Les résultats obtenus sont reportés en fréquences d'inflammation au tableau IV.

TABLEAU IV

2 ^{de} charge	Ecart entre les explosions (ms)	Fréquence d'inflammation (f)
G D R 200 g (am. post.)	1.000	0/9
	210	0/4
	70	0/2
G D R 300 g (am. post.)	1.000	3/5
	210	3/3
G D R 400 g (am. post.)	210	10/18
	140	0/16
G D R 400 g (am. ant.)	140	3/12
	70	0/16

Le risque d'inflammation décroît avec le poids de la seconde charge et avec l'écart entre les deux explosions.

Le délai limite au dessous duquel le risque devient négligeable est compris :

- entre 140 et 210 ms, lorsque l'amorçage de la seconde charge est postérieur;
- entre 70 et 140 ms, lorsque l'amorçage de la seconde charge est antérieur.

Conclusions.

Les expérimentateurs ont tiré de leurs essais les conclusions suivantes :

- 1) Les mesures grisométriques effectuées dans les chantiers ont montré que la teneur en grisou ne croissait pas systématiquement avec le temps. On peut croire, cependant, que le dégagement du grisou au cours du tir a d'autant plus de chances d'être abondant que la durée totale de la volée est plus grande.
- 2) Il y a donc intérêt à utiliser pour le tir à temps des détonateurs à court retard plutôt que des détonateurs à la demi-seconde. La durée totale de la volée sera plus petite et le risque d'inflammation du grisou par les charges dénudées sera moindre. Il existe actuellement sur le marché des détonateurs échelonnés de 25 ms sans risque excessif de chevauchement.
- 3) Pour réduire le risque de dénudation, il faut :
 - éviter le tir à retard en terrains fissurés;
 - éviter les interversions entre les retards;
 - établir un plan convenable de tir en évitant de rapprocher exagérément les trous et de les surcharger.

Les auteurs signalent, en outre, qu'en France, le tir à temps ne peut être effectué qu'avec l'amorçage postérieur. « Lorsque l'amorçage est antérieur, disent-ils, la fraction de charge projetée par amputation détone en avant du front en l'absence de confinement. Avec l'amorçage postérieur, au contraire, la cartouche projetée ne détone pas et se retrouve dans les déblais, ce qui n'offre qu'un inconvénient mineur ».

Dans le dernier paragraphe de la communication, le tir à retard est comparé au tir instantané. Avec le second, on sait dans quelles conditions les charges exploseront : état de l'atmosphère du chantier, disposition des trous dans le massif, longueur du bourrage. Il n'en est pas ainsi pour le tir à temps, mais on peut, comme on vient de le voir, améliorer sa sécurité en utilisant des microretards.

Il faut d'ailleurs reconnaître que la sécurité du tir instantané est en partie illusoire. Lorsqu'on procède par volées successives, tous les trous étant forés à l'avance, il arrive que certains de ceux-ci sont déjà fissurés avant le chargement ou couverts d'une épaisseur de massif réduite à l'excès. De même la vérification du grisou avant chaque volée peut, pour diverses raisons, être incomplète ou nulle (encombrement du front par les déblais, risque d'éboulement ou simplement négligence). Dans ces conditions, le tir instantané devient un tir à temps avec

(4) On trouvera l'analyse complète de cette communication aux pages 63 et suivantes du fascicule 1 (janvier 1958) des *Annales des Mines de Belgique*.

des délais, non de quelques dixièmes de seconde, mais de plusieurs minutes.

La statistique des accidents, disent encore les auteurs, « est en accord avec les conclusions, tirées ci-dessus : supériorité des détonateurs microretard sur les détonateurs à retard demi-seconde et danger du tir instantané par volées successives ».

COMMUNICATION DE LA STATION POLONAISE

Les auteurs se sont attachés à mesurer le délai dans lequel la fissuration produite par des charges explosant au charbon, atteint un trou de mine foré dans la même couche.

Pour détecter la fissuration, ils placèrent dans le trou un « palpeur ».

Cet engin comporte essentiellement un électro-aimant dont le circuit magnétique est fermé par une armature mobile, disposée à très faible distance du noyau. L'enroulement de cet électro constitue l'une des branches d'un pont Maxwell-Wien dont les trois autres branches sont respectivement une résistance réglable, une résistance fixe shuntée par une capacité (branche opposée à l'électro), une résistance réglable. Le pont est alimenté en deux de ses sommets opposés par une génératrice alternative à 500 périodes; les deux autres sommets sont reliés à un oscillographe Cossor à deux spots lumineux.

La mise en mouvement de l'armature de l'électro entraîne le déséquilibre du pont, ce qui se traduit par le déplacement d'un des spots. L'autre spot signale le lancé du courant d'allumage.

Les déplacements des spots sont enregistrés sur un papier photographique défilant à la vitesse de 100 cm/seconde.

Mode opératoire.

On plaçait dans la veine une, deux ou trois charges de 0 à 400 g d'explosif couche, amorcées de détonateurs qu'on connectait en série. Puis dans un trou foré à proximité des charges (trou témoin), on introduisait le palpeur et on comblait le vide restant, de sable ou de charbon en petits morceaux.

Pour faciliter le départ de la veine, on pratiquait près du trou témoin, une rainure ou bien on forait un trou de fort diamètre (5).

On faisait partir les mines par la décharge d'un condensateur fournissant un courant de 4 A environ. Dans ces conditions, l'explosion du détonateur devait se produire régulièrement un milliseconde après le lancer du courant. A partir des oscillogrammes, on déterminait le temps qui s'écoulait entre le lancer du courant et l'instant où l'entrefer de l'électro (distance entre l'armature et le noyau) atteignait 1 cm.

(5) Il n'est rien dit de la distance entre le palpeur et les charges, ni non plus de leur position par rapport à la rainure pratiquée en veine.

Résultats.

Les auteurs ne mentionnent dans leur communication que les essais ayant parfaitement réussi, soit 54. Ceux-ci sont reportés dans un tableau où figurent :

- 1) le mode de dégagement du trou témoin (rainure ou trou de grand diamètre);
- 2) le remplissage entourant le palpeur (sable ou charbon);
- 3) la nature de l'explosif, le nombre de mines et leur charge;
- 4) le délai dans lequel le trou du capteur a été fissuré, temps compté comme nous l'avons indiqué ci-dessus.

Les résultats sont répartis en trois groupes; pour chacun d'eux, nous donnons, au tableau V, les délais maximum, minimum et moyen dans lesquels la fissuration du trou témoin s'est produite.

TABLEAU V

Dégagement du trou témoin	Délai (en ms)		
	minimum	maximum	moyen
Par rainure (9 essais)	12,2	264,8	144,8
Par trou de grand diamètre dans la laie sup. de la veine (32 essais)	19,5	111,6	45,7
Par trou de grand diamètre dans la laie inf. de la veine (13 essais)	12,0	161,6	50,0

Les délais minimums sont très brefs et, comme disent les auteurs, militent contre l'emploi des microretards.

On ne peut pas encore, cependant, tirer des conclusions définitives en ce qui concerne la sécurité vis-à-vis du grisou.

Le début de la dénudation tel qu'il est repéré dans les oscillogrammes ne correspond pas à l'instant auquel il y a risque d'inflammation par la charge mise à découvert. Les essais rapportés dans la communication constituent en fait la première étape des études entreprises par la station polonaise sur la sécurité du tir au charbon par détonateurs à court retard.

NOTE DU TRADUCTEUR

Si l'on s'en tenait aux mesures de déplacement du massif effectuées à la station polonaise, on devrait considérer le tir par détonateurs à court retard comme plus dangereux que le tir instantané. Mais il est à noter que les expérimentateurs ont pris com-

me indice l'instant où le diamètre du trou témoin est augmenté de 1 cm. Cet indice coïncide en fait avec la fissuration, mais celle-ci est bien antérieure à l'incident plus grave de l'amputation (ou de la dénudation). De plus les charges perturbées restent un certain temps séparées de l'atmosphère inflammable, par les poussières et fumées provenant d'une ou des volées précédentes.

En ce qui concerne le délai de sécurité, c'est-à-dire celui à ménager entre les deux explosions pour qu'il n'y ait pas inflammation par la seconde charge, les expériences du U.S. Bureau of Mines ont conduit aux deux limites :

- 5400 ms pour les explosifs antigrisouteux
- 840 ms pour les dynamites.

Elles ont été obtenues avec l'amorçage postérieur; elles sont supérieures à celles indiquées par les tirs d'explosifs roche de la station française, soit :

- 140 ms avec l'amorçage postérieur
- 70 ms avec l'amorçage antérieur.

La différence 840 - 140 ms s'explique par la nature des terrains; le charbon (tirs de la station américaine) donne évidemment plus de poussières fines que le calcaire tendre (tirs de la station française). Dans nos galeries du Bois de Colfontaine, nous avons également observé une fréquence d'in-

flammation plus grande pour les tirs en grès dur que pour les tirs en schiste tendre.

D'après les expériences françaises, l'amorçage antérieur serait donc le moins sûr. Comme il est de rigueur en Belgique (et en d'autres pays), nous l'avons utilisé pour la plupart de nos tirs au rocher.

Les essais peu nombreux que nous avons faits avec l'amorçage postérieur ont montré que, lorsque la devanture du front est emportée par amputation, il arrive que la seconde charge :

- ou bien explose dans le fourneau sans bourrage ni vide antérieur;
- ou bien est attirée par la traction exercée sur les fils du détonateur et explose en dehors du rocher.

Ce sont là des circonstances extrêmement favorables à l'inflammation du grisou, étant donné la position du détonateur. Elles ont été, peut-être, causes des inflammations observées par nos collègues français avec l'amorçage postérieur malgré un écart relativement court (tableau IV, 210 ms).

La supériorité de l'amorçage postérieur ne serait donc qu'illusoire. Il est certain, d'autre part, que la fréquence d'inflammation observée lors de nos tirs avec l'amorçage antérieur aurait été moindre si nous avions disposé de détonateurs « type antigrisouteux ».