

dant l'explosion, ainsi que l'emplacement le plus approprié des arrêts-barrages.

Une disposition judicieuse des arrêts-barrages serait à notre avis celle consistant à placer, à une distance d'environ 30 m. du front de tir, 2 supports à 2 m. l'un de l'autre; ensuite, à 50 m. environ, un second groupe de supports distants de 2 à 3 m. l'un de l'autre et, 10 m. plus loin, un troisième groupe de supports avec des intervalles de 2 à 3 m.

Nous recommandons particulièrement le placement d'au moins deux supports à faible distance, à environ 30 m. du front de tir, destinés à neutraliser les explosions au début de leur développement.

N. B. — Depuis 1937, date de la Conférence internationale des Directeurs des Stations minières d'essais, en Belgique, l'auteur a continué ses travaux sur la neutralisation des explosions de poussières de charbon à l'aide d'arrêts-barrages.

Au cours de ses recherches, l'auteur a effectué des essais avec un type d'arrêt-barrage qui arrête efficacement même des explosions très violentes à peu de distance de la cause d'explosion, ce qu'il n'était pas possible d'obtenir avec les autres arrêts-barrages dont il est question dans ce mémoire.

Les résultats de ces dernières recherches seront publiés pour la 5^e Conférence internationale des Directeurs de Stations minières d'essais à tenir en septembre 1939 à Washington et Pittsburgh Pa (U. S. A.) ainsi que dans la revue minière polonaise « Przegląd Gorniczo-Hutniczy ».

L'Inflammation du grisou par explosifs miniers

par

W. PAYMAN,
Principal Scientific Officer,
Station expérimentale de Buxton
du Safety in Mines Research Board.

Communication présentée à la IV^e Conférence internationale des Directeurs de Stations minières d'essais. — Bruxelles-Pâturages, septembre 1937.

Le Dr. Payman poursuit, depuis nombre d'années, d'importants travaux sur les explosifs. Il s'est surtout spécialisé dans les photographies Schlieren et sur film tournant à grande vitesse, lui permettant d'enregistrer les ondes.

Avec ses divers collaborateurs, H. Robinson, W. C. F. Shepherd, H. Titman et D. W. Woodhead, il a réalisé une œuvre considérable.

La présente conférence étudiait la détonation d'une cartouche librement suspendue dans l'atmosphère.

Un des essais adoptés par la Station britannique à Buxton, pour explosifs gainés, consiste à tirer une cartouche librement suspendue dans un mélange grisouteux.

Ces conditions ne sont pas nécessairement celles qui provoqueront le plus vraisemblablement l'inflammation du grisou dans les essais, mais elles ont été choisies parce qu'elles semblent se rapprocher le plus près des conditions qu'on croit être les plus dangereuses dans la pratique.

Des appareils photographiques « Schlieren » et des appareils à tambour mobile ont été employés pour obtenir l'enregistrement photographique de la perturbation atmosphérique produite par la détonation d'une cartouche d'explosif librement suspendue dans l'air en même temps que quelques informations au sujet du mode de destruction de la cartouche pendant la détonation.

OUTILLAGE

Rappelons d'abord en quelques mots le principe de l'outillage utilisé.

La *photographie Schlieren*, basée sur les principes de Töpler, permet d'enregistrer des ondes explosives, ondes de choc, ondes provoquées par les particules solides projetées, par voie photographique.

La méthode est basée sur la réfraction de rayons lumineux lorsqu'ils passent d'un milieu (l'air) dans un autre de densité différente (produits de détonation).

L'appareillage comporte en ordre principal une source lumineuse appropriée projetant un faisceau de rayons parallèles sur un miroir concave en acier poli qui les renvoie à travers le milieu plus dense des gaz de détonation, où ils se réfractent plus ou moins dans l'objectif d'un appareil photographique. Le schéma annexé illustre suffisamment le principe.

Lorsqu'on enregistre sur plaque sensible, la source lumineuse est une étincelle produite par la décharge d'une bouteille de Leyde d'une durée de l'ordre d'un dix-millionième de seconde (spark photography).

Cette courte durée est suffisante pour enregistrer une image très nette sur une plaque photographique appropriée.

Pour obtenir une série d'images montrant la progression de l'onde de choc dans la cartouche, il faut tirer une succession de charges à différents stades de l'explosion.

La méthode Schlieren enregistre la forme de l'onde de choc et de pression, la position des gaz chauds et particules; elle montre leur position relative et leur vitesse dans l'atmosphère.

Elle constitue en somme la photographie, la matérialisation des phénomènes invisibles de la détonation.

La photo Schlieren peut d'ailleurs être enregistrée sur un film en mouvement. L'étincelle est remplacée alors par un arc électrique comme source lumineuse.

La camera à enregistrement de vitesse d'onde (1) se compose essentiellement d'un tambour tournant à très grande vitesse (vitesse linéaire de l'ordre de 80 m./sec.), comportant un film photographique appliqué sur la face externe.

(1) Proc. Roy. Soc. 1931, 132, 200.

Deux caméras à hautes vitesses ont été utilisées (1). La première comporte un tambour tournant avec film photographique appliqué sur la face interne (vitesse linéaire de l'ordre de 175 m./sec.).

Comme variante, le miroir peut être animé d'une très grande vitesse et le film être stationnaire, permettant ainsi une vitesse maximum d'enregistrement de l'ordre de 352 m./sec.

On a fait usage également de photographies directes du phénomène lumineux de la détonation.

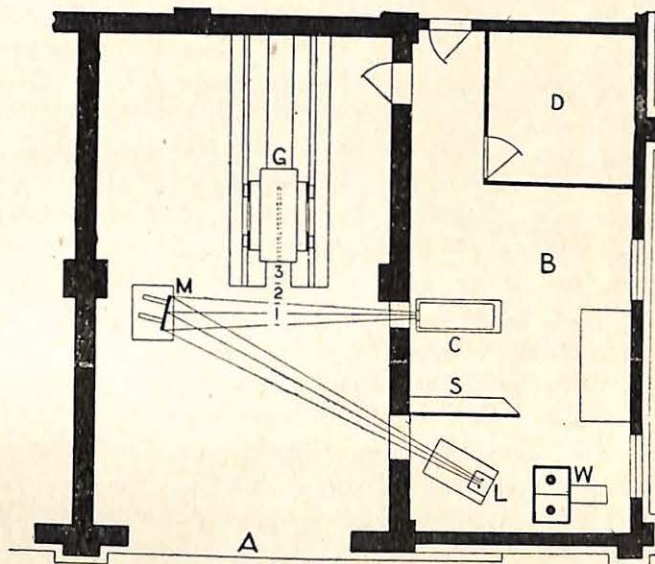


Schéma du laboratoire et de l'appareillage Schlieren de Buxton.

- A : chambre de tir.
- C : appareil photographique.
- G : mortier de tir, sur chariot, déplaçable.
- M : miroir concave en acier poli.
- B : chambre d'observation.
- D : chambre noire.
- L : source lumineuse (bouteille de Leyde ou arc).
- S : panneau de contrôle.
- W : source d'énergie électrique.

(1) Mémoire n° 99, 1937 du *Safety in Mines Research Board*.

EXPLOSIFS UTILISES

Les essais ont porté sur deux explosifs miniers : le *Roumkol n° 2*, explosif à faible densité, à base de nitrate ammonique, de nitroglycérine et de nitroglycol; la *Celmonite*, explosif à densité normale de la catégorie à nitrate ammonique, sans nitroglycérine. Les compositions officielles de ces explosifs (parties en poids) sont les suivantes :

	Roumkol n° 2	Celmonite
Nitroglycérine et nitroglycol	14-16	—
Nitrate ammonique	49-52	65,5-68,5
T. N. T.	—	10,5-12,5
Nitrate sodique	8,5-10,5	—
Fibres de plantes	15-17	—
Chlorure sodique	6-8	19,5-21,5
Résines	0-0,5	—
Phosphate di-ammonique	0-0,5	—
Humidité	0,5-2,5	0-2

Ces explosifs ont la même puissance mesurée au pendule balistique. La densité du *Roumkol n° 2* est de 0,66, celle de la *Celmonite*, de 1,10. La vitesse de détonation du *Roumkol n° 2* est de 2.090 m./sec., et celle de la *Celmonite*, de 2.950 m./sec.

Chacun de ces explosifs a été utilisé en cartouches de 36,5 mm. de diamètre, enveloppées de papier paraffiné. L'amorçage a été effectué à l'aide de détonateurs électriques en cuivre, au mélange fulminate-chlorate.

Dans ce qui va suivre, nous nous bornerons à analyser les résultats obtenus avec le *Roumkol*, dont la vitesse de détonation relativement petite facilite l'enregistrement photographique.

Les résultats donnés par la *Celmonite* ou d'autres explosifs sont d'ailleurs analogues.

DEVELOPPEMENT DE L'ONDE DE CHOC

Les enregistrements photographiques montrent que la perturbation produite comporte trois phases. La première comprend la détonation de la cartouche. Ce stade est d'une durée comparativement réduite, environ trois cent-millièmes de seconde, pour une cartouche de 100 gr. d'un explosif au nitrate ammonique de 3,65 cm. de diamètre.

Au cours de ce premier stade, on peut concevoir la perturbation atmosphérique comme provenant uniquement des côtés de la cartouche; elle est très approximativement sphérique. L'onde de choc est unie et précède les produits gazeux de détonation d'un ou de deux millimètres.

La seconde phase est plus longue et peut durer jusqu'à ce que la perturbation soit distante de 100 à 125 cm. de la cartouche, ou pendant un intervalle de temps de 6 dix-millièmes de seconde.

Pendant la première moitié de cette période, les produits de détonation sont lumineux, en grande partie, et les produits gazeux suivent l'onde de choc à une distance progressivement plus considérable.

Les vitesses de l'onde de choc et des produits de détonation peuvent être supérieures à la vitesse de détonation dans la cartouche.

Beaucoup de protubérances caractéristiques ou dentelures apparaissent au front de l'onde de choc : elles sont dues à des particules solides isolées ou à des agrégats de particules. Ces protubérances ou dentelures peuvent être ouvertes (open) ou à noyau (cored).

Les premières (ondes principales ou à tête conique) sont dues à des particules isolées de matière inerte, projetées. Ces particules se déplacent à une vitesse élevée, relativement constante en raison de leur inertie. Elles dépassent l'onde et peuvent se mouvoir bien au delà de l'onde.

Les fragments de cuivre émanant de l'extrémité de la douille du détonateur produisent des protubérances de ce genre. On peut en voir un certain nombre à l'extrême droite de la figure 6.

Une protubérance à noyau est due à un agrégat de particules, susceptibles ou non de se trouver en état de modification chimique ou physique active, accompagné de gaz à une pression élevée.

Le dégagement gazeux par chaque extrémité de la cartouche est beaucoup plus important que par les côtés, entraînant, comme résultat, l'apparition de déformations axiales dans la forme de l'onde.

Ces déformations à partir de la forme sphérique sont exaltées et prolongées par la gerbe de particules solides, dont la densité la plus grande se trouve dans l'axe de la cartouche.

Durant la seconde moitié de cette période, la perturbation n'est plus maintenue. La vitesse des produits gazeux tombe rapidement et ils se mélangent à l'air, en quantités progressivement croissantes par agitation.

Fig. 1. — Schéma d'une cartouche de 113 gr. de Rounkol n° 2 (longueur : 17,5 cm.) suspendue au centre du champ photographique Schlieren.

Fig. 2. — Photographie directe de l'effet lumineux produit par la détonation de cette cartouche. Elle représente donc l'intégrale du phénomène.

Fig. 5. — Photographie instantanée prise lorsque environ un tiers de la cartouche a détoné. Elle montre que la perturbation affecte au commencement une forme à peu près sphérique. L'étude du « négatif » indique d'autre part que l'onde de choc précède d'environ 1,5 mm. la zone de produits opaques.

Fig. 4. — Photographie instantanée prise lorsque environ les deux tiers de la cartouche ont détoné. L'onde sphérique a dépassé l'extrémité de la cartouche et y subit une déformation considérable. Les produits de détonation émanant de l'extrémité de la cartouche se détendent à une vitesse supérieure à celle des produits dégagés latéralement.

Le restant de la perturbation est encore à peu près sphérique. L'onde de pression possède une épaisseur uniforme de 4 mm. On peut observer des stries dues à des particules solides projetées.

Fig. 5. — Photographie prise peu de temps après que l'onde de détonation est parvenue à l'extrémité de la cartouche. Une distance plus considérable sépare l'onde de choc et le front des produits de détonation, qui reste sphérique, sauf une certaine déformation voisine de l'extrémité de la cartouche.

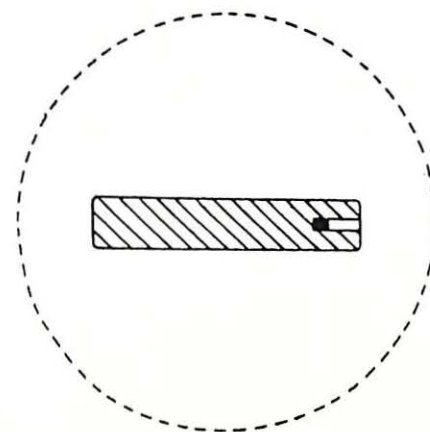


Fig. 1.

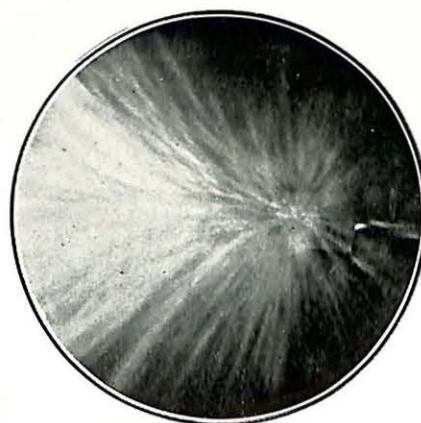


Fig. 2.

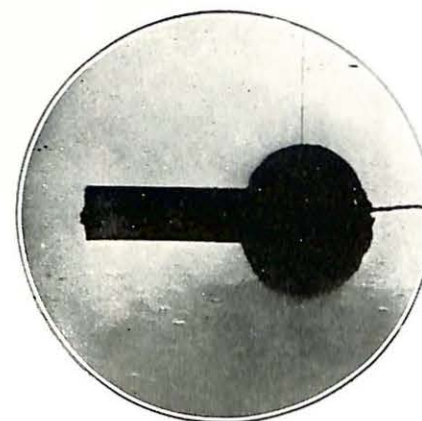


Fig. 5.

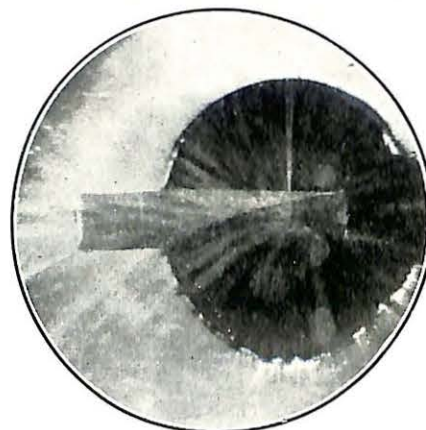


Fig. 4.

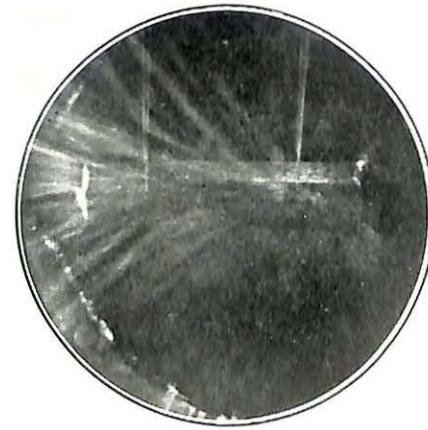
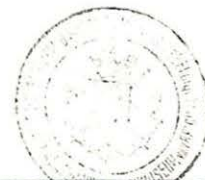


Fig. 5.



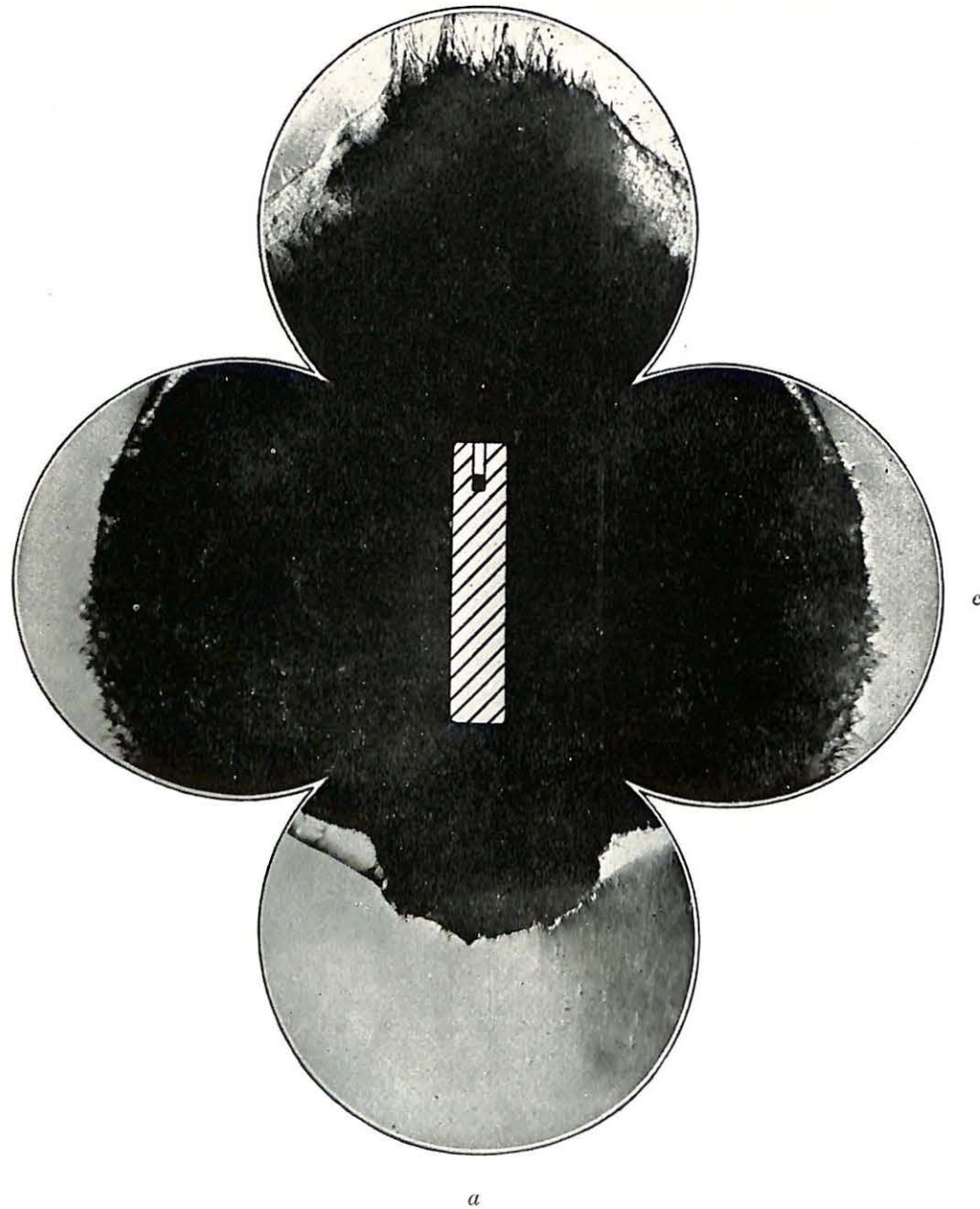


Fig. 6. — Image composée de la détonation d'une cartouche de Roukol n° 2. Les 4 photos ont été obtenues en faisant varier la position de la cartouche dans le champ Schlieren.

Les photos *a*, *b*, *c* proviennent de trois essais différents; elles ont été prises autant que possible au même moment après l'amorçage; *6d* est une image renversée de *6c*. Les photos montrent la forme de l'onde tout autour de la cartouche, à un moment donné.

La déformation de l'onde atmosphérique le long de l'axe est due à des gerbes de particules solides; elles sont spécialement visibles en *6b*; en *6a*, la nuée de particules est plus concentrée et aucune d'elles n'a encore percé le front de l'onde; l'onde latérale encore en voie de détente sphérique; à cette distance, d'environ 25 cm. de la cartouche, l'onde commence à peine à être déchiquetée par des particules solides; les produits de détonation suivent immédiatement après et apparaissent sous forme d'une zone très opaque.

L'image composée a l'apparence générale d'une onde sphérique de

Simultanément, ces masses de particules créant les protubérances devant l'onde de choc sont dispersées en particules isolées qui n'ont matériellement plus d'effet sur la progression de l'onde.

La troisième et dernière phase commence lorsque toutes les dentelures ont disparu. L'onde redevient unie, et lorsque sa vitesse est d'environ 500 m. par seconde, elle reprend rapidement la forme sphérique.

Les produits gazeux se trouvent à la pression atmosphérique et peuvent se dissiper librement.

Les particules dispersées précèdent l'onde sur un parcours de plusieurs mètres et tôt ou tard tombent à terre. L'onde se meut avec une vitesse progressivement décroissante jusqu'à se transformer finalement en onde sonore.

Les effets lumineux observés autour de la cartouche, quand celle-ci détone, et appelés généralement « la flamme » de l'explosif, proviennent pour la majeure partie de particules solides incandescentes.

Ces particules, cependant, n'abandonnent pas la masse des produits de détonation, vraisemblablement à cause de leur rapide diminution en poids. Elles sont distinctes des particules plus lourdes qui réussissent à pénétrer dans le front de l'onde.

Les différentes phases du phénomène sont faciles à suivre sur les figures 1 à 6 et leurs légendes.

D'autre part, les résultats obtenus par photographie sur les films mouvants confirment exactement ceux obtenus par les photos Schlieren instantanées.

APPLICATION AUX PERMITTED EXPLOSIVES

Les explosifs « permis » pour emploi dans les mines grisouteuses et poussiéreuses de la Grande-Bretagne sont composés de telle manière que, quoique susceptibles d'allumer le grisou dans certains cas, ils ne le font pas dans les conditions d'emploi normales.

Le problème qui se pose au point de vue pratique consiste généralement à trouver une raison à l'inflammation éventuelle par les explosifs du « type permis »; cependant, il importerait surtout de savoir pourquoi ils n'enflamment pas toujours.

Il est probable que lorsqu'un explosif est tiré en milieu grisouteux, une inflammation se produit toujours, même s'il ne s'agit que d'une partie seulement de l'atmosphère ambiante. Car une charge d'explo-

sif, qui est tout juste trop faible pour donner lieu à une inflammation généralisée, donnera lieu à une flamme plus volumineuse lorsqu'on la tire en milieu grisouteux que dans l'air seulement, ce qui indique qu'une partie du mélange est brûlée.

Les charges réputées incapables d'allumer le grisou doivent comporter l'intervention d'un certain facteur qui empêche l'inflammation généralisée. Il importe donc d'étudier le problème de la propagation de flammes à partir de la source d'ignition plutôt que l'ignition elle-même.

Lorsqu'une cartouche d'explosif est tirée dans un mélange grisouteux, l'inflammation de ce dernier peut être due soit à la flamme de l'onde de détonation dans l'explosif lui-même, soit aux projections lumineuses qui l'accompagnent, généralement appelées flammes, et dans lesquelles doivent se trouver des particules solides chaudes et lumineuses, soit aux ondes de choc et de pression qui accompagnent la détonation, soit aux produits gazeux, chauds, de la détonation.

L'onde de choc apparaît bien capable d'allumer le grisou, car son intensité doit être très considérable, immédiatement après son départ de l'explosif, mais la durée de contact avec toute partie déterminée du mélange grisouteux est extrêmement petite.

Les produits gazeux de détonation peuvent provoquer l'inflammation, mais ils peuvent exercer également un effet d'extinction, surtout s'ils ne sont eux-mêmes ni inflammables ni capables d'entretenir la combustion.

Les particules solides chaudes et lumineuses ne semblent pas se séparer des produits gazeux de détonation. S'il y avait séparation, ces particules solides seraient probablement en état d'enflammer le grisou dans l'onde de pression qui se déplace juste devant eux à une vitesse à peu près équivalente à celle qu'elles possèdent elles-mêmes, quoique avec un mélange au repos, le déplacement serait trop rapide pour provoquer l'inflammation.

D'un autre côté, l'effet des grandes quantités de particules solides, mises en évidence par les photos Schlieren, serait de nature à enrayer la propagation de flammes.

Au fait, c'est surtout cet effet d'obstruction des particules solides qui permet le tir de faibles charges d'explosifs « permis » en milieu grisouteux sans donner lieu à des inflammations généralisées, malgré les flammes chaudes et les pressions élevées produites.

L'inflammation généralisée d'un mélange grisouteux par une charge d'explosifs suspendue peut être empêchée en entourant la cartouche d'un matériau pulvérulent qui n'est pas nécessairement incombustible, car on augmente ainsi le nombre de particules solides projetées devant l'onde.

La plus grande concentration de particules solides d'explosif est projetée suivant l'axe de la cartouche. Cette densité est telle qu'elle rend inutile et sans avantages l'application de fonds gainés aux extrémités de la cartouche.

Une petite cartouche de 50 gr. de Celmonite ne donnera pas lieu à une inflammation généralisée du mélange grisouteux au sein de laquelle elle se trouve suspendue.

Il est probable que les phénomènes de détonation ne sont pas réguliers avec des cartouches si petites, de sorte qu'il y a projection de beaucoup de particules solides intactes à partir de la cartouche. Si l'on prend une plus longue cartouche de Celmonite (100 gr.), on obtient une inflammation généralisée, vraisemblablement amorcée à l'extrémité de la cartouche éloignée du détonateur, où la détonation est plus achevée et où il y a moins de protection offerte par les particules solides projetées.

On a obtenu des preuves, en gainant différentes parties d'une longue cartouche, que c'est la partie éloignée du détonateur qui est la plus dangereuse.

La conclusion suivant laquelle de l'explosif non décomposé peut agir comme moyen de protection contre l'inflammation généralisée d'un mélange grisouteux peut ne pas concorder avec des idées reçues, mais elle se trouve confirmée par des essais avec des explosifs qui ont été conservés pendant un temps suffisamment long pour perdre une partie de leur sensibilité à la détonation.

Des charges beaucoup plus considérables de ces explosifs âgés, que des mêmes explosifs frais, peuvent être tirées sans enflammer le grisou, et on trouve souvent des quantités appréciables d'explosif non détoné dans la chambre d'explosion.

La chose est encore confirmée par des essais comportant le tir au mortier d'explosif dans un mélange grisouteux.

Pour certains explosifs, une charge de 400 gr. suffit pour enflammer le mélange. Si on augmente la charge à 1.000 gr., les cartouches additionnelles semblent jouer le rôle de matériaux inertes et empê-

cher l'inflammation généralisée, mais dans le cas seulement où le détonateur se trouve à l'extrémité de la charge la plus rapprochée de l'ouverture du trou de mine.

Les facteurs susceptibles d'accroître l'efficacité de la détonation de cette partie de l'explosif la plus rapprochée, ou se trouvant en contact avec un mélange grisouteux inflammable, peuvent accroître le danger d'inflammation, même lorsqu'ils donnent lieu en même temps à une augmentation de la concentration en particules solides projetées, qui accompagnent la détonation.

L'Industrie houillère dans les Pays-Bas pendant l'année 1938

par

L.-A. SMEETS

Fonctionnaire 1^{re} Classe de l'Administration des Mines
des Pays-Bas

I. — ENSEMBLE DU PAYS

L'année 1938 a été pour l'industrie houillère des Pays-Bas moins prospère que l'année précédente. La production de la houille, y compris les schlamms utilisables, a atteint 13.487.525 tonnes, en diminution de 5,8 % sur celle de 1937 (14.321.269 tonnes).

Cette situation défavorable est due à la diminution de l'activité industrielle générale ainsi qu'à la faiblesse du marché charbonnier mondial. La consommation intérieure a été de 12.809.794 tonnes (13.356.995 tonnes en 1937).

Voici la production des mines, quant à la quantité et aux sortes, en 1938 :

Houilles maigres et mimaignes

(la plupart combustibles) :

	Tonnes.
Mine de l'Etat Wilhelmina	1.429.957
Mine Domaniale (anthracite et maigres)	820.173