

Annales des Mines de Belgique

COMITÉ DIRECTEUR

- MM. J. LEBACQZ, Directeur général des Mines, à Bruxelles, *Président*.
G. RAVEN, Ingénieur en chef-Directeur des Mines, à Bruxelles, *Secrétaire*.
J. SWOLFS, s/Directeur à l'Administration centrale des Mines, *Secrétaire-adjoint*.
O. LEDOUBLE, Inspecteur général des Mines, à Mons.
V. LECHAT, Inspecteur général des Mines, à Liège.
L. DEMARET, Ingénieur en chef-Directeur des Mines, à Mons.
Ed. LIBOTTE, Ingénieur en chef-Directeur des Mines, à Charleroi.
L. LEGRAND, Ingénieur en chef-Directeur des Mines, Professeur à l'Université de Liège.
A. HALLEUX, Ingénieur en chef-Directeur des Mines, Administrateur de l'École des Mines et de métallurgie (Faculté technique du Hainaut).
V. FIRKET, Ingénieur en chef-Directeur des Mines, à Liège.
L. DENOËL, Ingénieur en chef-Directeur des Mines, Professeur d'exploitation des Mines à l'Université de Liège.
EM. LEMAIRE, Ingénieur en chef-Directeur des Mines, Directeur de l'Institut National des Mines, à Frameries, Professeur à l'Université de Louvain.
P. FOURMARIER, Ingénieur principal des Mines, Professeur à l'Université de Liège, Membre correspondant de l'Académie royale des Sciences, Membre du Conseil géologique de Belgique.
A. RENIER, Ingénieur en chef-Directeur des Mines, Chef du service géologique de Belgique, Chargé de cours à l'Université de Liège.
Ad. BREYRE, Ingénieur en chef-Directeur des Mines, Chargé de cours à l'Université de Liège.
A. DELMER, Ingénieur en chef-Directeur des Mines, Professeur à l'Université de Liège.

La collaboration aux *Annales des Mines de Belgique* est accessible à toutes les personnes compétentes.

Les mémoires ne peuvent être insérés qu'après approbation du Comité Directeur.

En décidant l'insertion d'un mémoire, le Comité n'assume aucune responsabilité des opinions ou des appréciations émises par l'auteur.

Les mémoires doivent être inédits.

Les *Annales* paraissent en 4 livraisons respectivement dans les mois de Janvier, Avril, Juillet et Octobre de chaque année.

Abonnement pour 1922 { pour la Belgique : 30 fr. par an.
pour l'Étranger : 40 fr. par an.

Pour tout ce qui regarde les abonnements, les annonces et l'administration en général, s'adresser à l'Éditeur, IMPRIMERIE GASTON LOUIS FILS, chaussée d'Ixelles, 349, à Ixelles-Bruxelles.

Pour tout ce qui concerne la rédaction, s'adresser au Secrétaire du Comité Directeur, rue Guimard, 16, à Bruxelles.

SERVICE DES ACCIDENTS MINIERS ET DU GRISOÜ

INSTITUT NATIONAL DES MINES
A FRAMERIES

CONSIDÉRATIONS

SUR LES

EXPLOSIFS DE SÛRETÉ

ET

sur leurs essais en galerie

PAR

EMMANUEL LEMAIRE

Ingénieur en Chef au Corps des Mines
Directeur de l'Institut National des Mines
Professeur à l'Université de Louvain.



1. — Introduction.

Dans les premières notes qu'il a publiées dans les *Annales des Mines de France* et dans la *Revue de l'industrie minérale* (1), M. Audibert, Directeur de la nouvelle station d'essais française de Montluçon, fait une critique sévère des méthodes suivies par les stations d'essais étrangères dans leurs études sur les explosifs de sûreté.

« C'est à proprement parler, dit-il, dans les *Annales des Mines*, à la suite des premiers travaux de Gelsenkirchen

(1) AUDIBERT. — Note sur la Station d'essais de Montluçon (*Annales de Mines*, XII^e série, tome I, 1^{re} livraison de 1922).

AUDIBERT. — La sécurité de l'emploi des explosifs en présence du grisou. (*Revue de l'Industrie minérale*, 15 avril 1922.)

» que l'habitude est prise de voir dans le mortier d'essai
 » un instrument de comparaison des explosifs. Ils marquent
 » aussi l'époque où est abandonnée la question, seule exami-
 » minée par la Commission française, de savoir dans quelles
 » conditions un explosif assure ou n'assure pas la sécurité ;
 » on va se préoccuper seulement de savoir si tel explosif
 » assure la sécurité plus au moins sûrement que tel autre.
 » Au lieu du beau problème général qu'on traité Mallard
 » et Le Châtelier, les expérimentateurs n'auront plus en
 » vue que la solution de cas particuliers. Quand exception-
 » nellement l'un d'eux, Heise, voudra tirer de l'interpréta-
 » tion des cas étudiés, une doctrine générale, celle-ci sera
 » sans valeur parce que l'étalon dont on se sert pour la
 » comparaison des explosifs, à savoir le mortier tirant en
 » galerie, n'est pas approprié à l'usage auquel on le destine.

« La formule de l'essai en galerie, dit-il, dans la *Revue de l'Industrie minière*, demeure un procédé exclusivement empirique et sans aucune signification. »

Ces affirmations très catégoriques, et sévères pour les stations étrangères, ne peuvent pas être admises sans réserves. Leur discussion s'impose. Des échanges de vues entre les diverses stations ne peuvent d'ailleurs qu'être extrêmement utiles. Chaque station a sa moisson d'observations et ses idées directrices; la discussion ne peut que préciser ces idées et leur donner toute leur valeur ou les améliorer et en susciter de plus heureuses.

Et d'abord, les expérimentateurs étrangers ne peuvent pas admettre qu'ils n'ont eu en vue que la solution de cas particuliers et qu'ils ont négligé le problème général.

La théorie de la Commission française, qui paraissait très logique et qui avait été admise dans la plupart des pays miniers, a commencé à susciter des doutes, vers la fin du siècle passé, à la suite des premiers essais en galerie et à la suite d'accidents de grisou causés par des explosifs con-

formes à ses principes. Cette théorie très remarquable, l'était d'autant plus qu'à l'époque où elle a été formulée, il n'y avait guère de documentation relative aux explosifs de sûreté. Elle a rendu d'incontestables services et son échec, qui n'est que relatif, ainsi que nous le verrons, n'enlève rien aux mérites de ceux qui l'ont formulée et à qui il convient de rendre hommage.

La théorie de Heise, venue ensuite, et qui renferme peut-être aussi un noyau de vérité, a immédiatement suscité des réserves.

Devant l'insuffisance de ces premières théories, les expérimentateurs ont cherché à se documenter sur le problème de l'explosif de sûreté et à mettre en évidence les facteurs qui interviennent dans sa solution. Ils ont donc tiré en présence du grisou et des poussières de charbon les explosifs les plus divers, en faisant varier les conditions d'essais, afin de permettre aux explosifs de manifester leurs propriétés en général et plus spécialement leurs propriétés en présence du grisou et des poussières de charbon. Ne voyant pas de voies nouvelles, ils se sont contentés, à très juste titre, d'enregistrer des constatations, persuadés que le rapprochement d'un grand nombre d'observations éclaircirait à nouveau l'horizon et permettrait de reprendre la marche en avant.

A Frameries notamment les explosifs ont été tirés soit à air libre, soit au canon d'acier de différents calibres, soit au canon de pierre ou de béton, soit en galerie au rocher. L'influence de la section de la galerie, de la densité de chargement, de la position du détonateur, de l'emploi du cordeau détonant et d'autres circonstances encore, ont fait l'objet d'examen. Des centaines de photographies de flamme ont été faites dans les diverses conditions de tir.

Les expérimentateurs ont cherché à réunir, avant tout, une abondante documentation, sans laquelle les vues théo-

riques risquaient de s'égarer dès les premiers pas ou de n'envisager qu'un des côtés de la question, ainsi qu'elles l'avaient déjà fait. Par la multiplicité de leurs essais dans des conditions variées et par la multiplicité des explosifs essayés, ils ont réuni de nombreux matériaux d'études d'ordre beaucoup plus général que s'ils s'étaient limités à quelques explosifs seulement. Ils ont reconnu des causes d'inflammation possibles du grisou et des poussières de charbon, constaté des particularités intéressantes du phénomène de la détonation et posé de nombreux jalons pour l'étude de l'explosif de sûreté.

En se limitant à quelques explosifs seulement, ils se seraient exposés à généraliser à tort les propriétés spéciales de ces explosifs et à attacher une importance exagérée à certains faits.

Comme instrument d'étude le mortier d'acier comme tout autre dispositif, a bien sa valeur et son emploi a largement contribué à manifester les propriétés des explosifs.

Actuellement, il devient possible de chercher des liaisons entre les faits observés et de formuler des hypothèses, encore bien incertaines et qui devront évoluer, mais qui, dans la science de l'explosif de sûreté, comme dans toutes les autres, sont indispensables à l'orientation des recherches ultérieures. Il est à désirer que les diverses stations d'essais, à la lumière de leurs observations, formulent leurs hypothèses. Leur discussion et les expériences qu'elles susciteront en amèneront d'autres qui se rapprocheront davantage de la vérité. Il est bon de ne pas perdre de vue que si, actuellement, de nouvelles tentatives d'établir la théorie de l'explosif de sûreté semblent possibles, c'est aux travaux de la période précédente qu'on le doit. Ceci pour autant que le dosage des mérites de chacun présente un intérêt quelconque.

Accessoirement, comme il n'était pas possible de laisser les mines sans explosifs, les Stations d'essais étrangères ont dressé des listes d'explosifs de sûreté. Elles ont établi ces listes en se basant en partie sur les résultats de tirs au mortier sous diverses densités de chargement et en partie sur d'autres indications dont la valeur individuelle peut être discutée mais qui, réunies et concordantes, permettent de dire sans trop de chances de se tromper si un explosif présente des garanties de sécurité. C'est le lot de l'humanité de devoir prendre décision sans que la lumière soit complète et sans avoir tous les éléments de la certitude.

En l'espèce, la suppression presque complète des accidents de grisou dans la plupart des pays miniers et notamment en Belgique, malgré l'extension de l'emploi des explosifs aux mines les plus grisouteuses et même au minage en veine dans les couches à grisou, a montré que le choix des explosifs avait été assez judicieux et que les indications du mortier n'étaient pas dépourvues d'intérêt.

2. — Principaux faits observés dans les essais d'explosifs en galerie.

Cette nomenclature ne concerne que les faits qui peuvent avoir une influence sur l'inflammation initiale du grisou ou des poussières de ce charbon.

1. — Dans les tirs à air libre et dans les tirs au mortier, il existe une charge-limite de sécurité pour tous les explosifs essayés.
2. — Pour certains explosifs, la charge-limite manque de netteté et varie entre des limites plus ou moins étendues dans des conditions de tir en apparence identiques.
3. — La charge-limite diminue avec la section de la galerie d'essais, mais pas dans la même proportion pour tous les explosifs.

4. — La charge-limite varie avec la densité de chargement. Le plus souvent elle diminue quand la densité de chargement augmente.
5. — Pour certains explosifs la charge-limite varie avec le calibre du mortier, ou sa longueur, ou la position de la charge dans le fourneau.
6. — Pour certains explosifs la charge-limite varie avec la force du détonateur ou sa position. Pour certains explosifs par exemple, elle diminue quand le détonateur est placé au fond du fourneau.
7. — Pour certains explosifs, mais pas pour tous les explosifs essayés, le tir au cordeau détonant modifie la charge limite dans un sens défavorable.
8. — Certains explosifs détonent mal à air libre et les dernières cartouches de la file n'explorent pas.
9. — Dans les tirs à l'air libre et dans les tirs au mortier sans bourrage, la détonation est toujours incomplète.
10. — La présence de gaine en ciment à l'intérieur du mortier améliore la charge-limite des explosifs.
11. — Dans les tirs en canon de pierre ou de béton, sans bourrage, la charge-limite est plus élevée que dans les tirs au mortier d'acier.
12. — La gaine de sûreté améliore la charge-limite des explosifs aussi bien dans les tirs au mortier que dans les tirs à l'air libre et l'amélioration varie dans de très fortes proportions avec la composition de la gaine.
13. — Le bourrage extérieur améliore la charge-limite de tous les explosifs. Son efficacité dépend de sa composition et non pas seulement de son poids.
14. — Le bourrage ordinaire améliore la charge-limite dans une proportion notable pour certains explosifs et peu importante pour d'autres.

15. — La présence de certains sels dans la formule des explosifs et spécialement des sels alcalins volatilisables tels que la chlorure de sodium, améliore la charge-limite des explosifs.
16. — Dans les explosifs solides, la vitesse de détonation varie avec les circonstances du tir et pour certains explosifs cette variation peut aller du simple au double.
17. — La durée de la flamme d'un explosif est toujours supérieure à celle qui correspond au passage de l'onde explosive dans la file de cartouches.
18. — La violence d'une explosion de grisou produite par un explosif dépend de la nature de l'explosif et de l'importance de la charge au-delà de la charge-limite.
19. — Dans les tirs ou mortier sans bourrage, les photographies de flammes, faites face au canon, montrent ordinairement à la gueule du canon une flamme à structure souvent rayonnée, au milieu de laquelle se découpe parfois en noir l'orifice du canon.
L'étendue de cette flamme et son intensité lumineuse varie avec la nature de l'explosif, l'importance de la charge et la densité de chargement. Avec certains explosifs elle est parfois extrêmement réduite, pour d'autres, elle est très développée.
Autour de cette flamme centrale on observe des flammes nuageuses, et en général moins éclairantes. Ces flammes sont parfois continues autour de la flamme centrale et parfois discontinues et même très dispersées, formant des plages plus ou moins étendues. Près de la paroi de la galerie elles deviennent parfois très lumineuses.
20. — Les explosifs à grandes flammes sont plus dangereux que les explosifs à flammes réduites, sans qu'une flamme réduite soit un critérium de sécurité.

21. — Dans le tir en roche, ou dans des canons de pierre ou de béton, les flammes sont moins volumineuses que dans le tir au mortier, mais elles conservent les mêmes caractères.
22. — Une gaine de sûreté de poids et de composition convenable fait disparaître les manifestations lumineuses à la gueule du mortier. Le poids que doit avoir la gaine pour arriver à ce résultat dépend de sa composition et de la nature de l'explosif.
23. — L'inflammation des poussières de charbon par un explosif semble demander une flamme volumineuse.
24. — Certains explosifs allument plus facilement le grisou que les poussières de charbon et d'autres plus facilement les poussières que le grisou.
25. — L'ensemble des constatations permet d'envisager six causes possibles d'inflammation du grisou par les explosifs :
- A. — Inflammation par la flamme produite au passage de l'onde explosive.
- B. — Inflammation par les flammes produites par les réactions en arrière de l'onde explosive sans intervention de l'oxygène de l'air.
- C. — Inflammation par les flammes provenant de l'action de l'oxygène de l'air sur les gaz de l'explosion.
- D. — Inflammation par les gaz chauds après achèvement de la réaction explosive.
- E. — Inflammation par des particules d'explosif projetées.
- F. — Inflammation par compression du mélange grisou-teux.

3. — Premières conclusions

Comme il vient d'être dit, la charge-limite de certains explosifs varie avec la longueur du mortier ou son calibre ou la position de la charge dans le fourneau ou peut-être avec d'autres circonstances encore d'apparence insignifiante.

Ces constatations ne sont pas aussi troublantes qu'on pourrait le croire et il ne faut pas se hâter de conclure que l'essai au mortier est dépourvu de toute signification. En effet, toutes les formules d'explosifs de sûreté qui ont été proposées ne sont pas également heureuses et beaucoup d'explosifs sont trop sensibles à de légères variations dans les conditions de tir. On les rencontre notamment parmi ceux qui renferment plus de 65 à 70 % de nitrate d'ammonium. Ce corps admet toute une série de modes de décomposition et on conçoit très bien que les explosifs qui en renferment une proportion exagérée puissent détoner de manières très différentes suivant les circonstances.

Certains explosifs sont éminemment sensibles aux plus légères variations dans le confinement de la charge. D'autres ont une aptitude à la détonation trop faible et l'onde explosive s'affaiblit en parcourant la file de cartouches. Certains détonent d'une manière anormale pour peu qu'ils soient comprimés, ou durcis ou légèrement humides ou que la force du détonateur varie, même légèrement. D'autres encore sont éminemment sensibles à de légères variations de l'état physique ou chimique de leurs constituants ou à de légères modifications provenant de l'action mutuelle des constituants pendant l'emmagasinage.

Enfin pour certains explosifs la flamme de l'explosion ressemble à un bouquet de feu d'artifices.

Il n'est pas étonnant que de tels explosifs donnent des résultats déconcertants, mais ce n'est pas nécessairement

l'essai au mortier qu'il faut incriminer. C'est contre l'explosif qu'il faut conclure et non pas contre le mortier. L'essai au mortier montre clairement qu'on se trouve en présence d'explosifs à surprises dont il est prudent de se défier.

Ainsi par exemple, si on place une cartouche de grisou-dynamite-roche sur le bord du mortier, les résultats ne sont pas les mêmes que si on la place plus loin à l'intérieur du fourneau. Les résultats varient également suivant qu'on laisse libre ou non le fond du fourneau. Que conclure de ces constatations, si ce n'est qu'on se trouve en présence d'un explosif éminemment sensible aux plus légères variations dans le confinement de la charge et qu'il est prudent de ne pas admettre sur une liste d'explosifs de sûreté.

Déjà avant le veto opposé par la Station de Frameries à leur emploi en Belgique, la preuve expérimentale était faite que, tout au moins pour les fortes charges, certains explosifs de cette classe des Grisoutines étaient dangereux. L'un d'eux, composé d'après analyse de : Nitroglycérine 25 %, nitrate d'ammonium 71 %, Cellulose 3 1/2 %, cendres 1/2 %, a occasionné en 1901, au charbonnage du Buissin, un grave accident de grisou ou de poussières de charbon. (19 tués) La charge employée était de l'ordre de un kilogramme.

L'essai au mortier de cet explosif aurait évité cet accident.

4. — Détonation des explosifs solides.

La détonation des explosifs solides est un phénomène plus complexe que la détonation des mélanges gazeux explosifs. L'idée que l'on s'est faite de ce phénomène par analogie avec ce qui a été observé pour les mélanges gazeux explosifs, ne semble pas répondre à la réalité.

Alors que pour chaque système gazeux explosif, la vitesse de l'onde explosive semble être une grandeur caracté-

ristique, cette vitesse peut varier dans de très fortes proportions dans le cas d'explosifs solides.

La détonation des explosifs solides a surtout retenu l'attention des Stations étrangères et aussi celle de la Station de Frameries. Son étude doit primer toutes les autres, car si on connaissait bien dans quelles conditions se produisent les flammes diverses, qui constituent ce qu'on appelle globalement la flamme de l'explosif, et comment on pourrait faire disparaître ou atténuer certaines flammes, en agissant sur la composition de l'explosif, le problème de l'explosif de sûreté serait bien près d'être résolu.

L'essai de très nombreux explosifs au mortier d'acier a ouvert des horizons sur cette question.

On sait que pour certains explosifs, tout au moins, la vitesse de l'onde explosive varie avec la force du détonateur et que pour certains explosifs, elle diminue pendant que l'onde parcourt la file de cartouches. La vitesse de l'onde n'est pas la même dans le tir à l'air libre que dans le tir dans des enveloppes résistantes. Elle varie également avec la résistance des enveloppes et cette variation peut être de l'ordre du simple au double. Certains explosifs ne détonent pas ou détonent très mal à l'air libre.

Ces constatations autorisent les considérations suivantes :

On peut envisager qu'à l'arrivée de l'onde explosive, dans une section considérée de la cartouche, les regroupements d'atomes qui constituent la réaction explosive, sont précédés :

- 1° soit de la mise en liberté complète des atomes des constituants de l'explosif par rupture de toutes les liaisons qui les retiennent dans leurs édifices moléculaires ;
- 2° soit d'une rupture partielle des molécules des constituants de l'explosif avec libération d'atomes, de molécules plus simples et même de radicaux ;

3° soit, plus spécialement quand l'explosif est un mélange complexe, d'une rupture complète de certaines molécules avec mise en liberté d'atomes et d'une rupture partielle d'autres molécules, certaines molécules pouvant même subsister intégralement.

Dans les trois cas ci-dessus, la rupture complète ou partielle des molécules des constituants de l'explosif, avant le regroupement des atomes, doit produire une augmentation de volume, si celle-ci est possible, ou une augmentation de pression si l'augmentation de volume est impossible.

Dans les trois cas également, les positions relatives des divers atomes, molécules plus simples et radicaux, mis en liberté à l'arrivée de l'onde, doivent favoriser certaines réactions au détriment d'autres qui pourront se faire ensuite au dépens des premiers corps formés.

Dans les trois cas également, l'énergie absorbée par la rupture totale ou partielle des molécules des constituants de l'explosif, à l'arrivée de l'onde dans une section donnée, ne sera pas la même et les réactions subséquentes ainsi que le dégagement de chaleur produit par ces réactions seront différents.

Ces considérations font naître la question de savoir quel est le minimum d'énergie nécessaire à l'entretien de l'onde explosive dans un explosif donné et permettent d'entrevoir :

- 1° La possibilité pour l'onde explosive de régler sa vitesse sur le temps nécessaire à la libération, dans une section donnée de la cartouche, de l'énergie nécessaire à la mise en réaction de la section immédiatement voisine, c'est-à-dire d'une quantité d'énergie en rapport avec la chaleur de formation de l'explosif ;
- 2° La possibilité d'effets très différents et de vitesses d'onde explosive très différentes suivant la force du détonateur qui amorce la réaction explosive. Si le choc produit par

le détonateur libère les atomes des constituants de l'explosif dans son voisinage immédiat, les réactions subséquentes seront évidemment plus violentes que s'il ne produit qu'une rupture partielle des molécules ;

- 3° La possibilité de vitesses d'onde explosive très différentes dans le cas de tir à l'air libre et dans le cas de tir dans des enveloppes résistantes, car la vitesse de réaction est conditionnée par la concentration des substances réagissantes et cette concentration n'est pas la même si les gaz en réaction peuvent se disperser librement que s'ils sont confinés ;
- 4° La possibilité d'une diminution progressive de la vitesse de l'onde explosive à partir de l'origine de la détonation, si les constituants de l'explosif admettent plusieurs modes de décomposition ;
- 5° L'impossibilité presque certaine que la totalité des réactions puisse se faire pendant le temps qui correspond au passage de l'onde explosive et la certitude presque complète que des réactions se font en arrière de l'onde, car il semble impossible que la formation de produits intermédiaires, au hasard des premières rencontres entre les atomes, ne précède pas l'établissement de l'équilibre définitif, et que la vitesse de réaction ne diminue pas au fur et à mesure de la formation des produits de réaction.

Dans le cas d'un mélange gazeux explosif, on considère qu'à chaque instant une section droite sépare le milieu en deux zones constituées l'une par le mélange gazeux à la température et à la pression ordinaires, l'autre par les produits de réaction dans des conditions différentes. Dans le cas d'un explosif solide, il semble qu'on devrait envisager plutôt qu'à chaque instant une section droite sépare le milieu en deux zones occupées, l'une par l'explosif à la pression et à la température ordinaires, l'autre par des

gaz en réaction. Il est possible d'ailleurs qu'il en soit de même pour les mélanges gazeux explosifs.

La possibilité de réactions en arrière de l'onde avec ou sans l'intervention de l'oxygène de l'air, domine toute la question de l'explosif de sûreté.

Les faits suivants, indépendamment des considérations d'ordre théorique qui viennent d'être exposées, tendent à prouver que de telles réactions se produisent :

1° Les photographies faites face au canon, semblent montrer l'existence de discontinuités dans les flammes de l'explosion.

On observe en effet, sur certaines photographies, que l'endroit occupé par les cartouches, c'est-à-dire l'âme du canon, reste sombre. L'orifice du mortier se découpe en noir au milieu des flammes. Il y a discontinuité dans l'intensité lumineuse entre les flammes qui doivent se produire à l'endroit occupé par les cartouches et que la photographie n'enregistre pas, parce qu'elles sont trop peu éclairantes, et les flammes qui entourent l'espace occupé par les cartouches. On peut en conclure que la flamme très peu lumineuse qui se produit à l'endroit occupé par les cartouches correspond à des réactions très incomplètes qui se font au passage de l'onde explosive et que les autres correspondent à des réactions en arrière de l'onde. Les photographies 1 à 7 donnent des exemples de ce phénomène.

La même absence de flamme à l'endroit occupé par les cartouches se remarque également sur les photographies du général autrichien Hess, reproduite d'après Heise, qui signale simplement le fait sans le commenter. La flamme apparaît autour de l'espace occupé par les cartouches. On peut en tirer les mêmes conclusions que ci-dessus.

Certaines photographies montrent également des discontinuités entre la flamme brillante qu'on observe à la gueule



Phot. 2. — Fractorite D.
600 grammes. — 6 cartouches en deux files.
Orifice du mortier visible.



Phot. 1. — Favier 2bis.
300 grammes. — 3 cartouches en une file.
Orifice du mortier visible.



Phot. 3. — **Flammivore.**
600 grammes. — 6 cartouches en 3 files.
Orifice du mortier visible.



Phot. 4. — **Amasite.**
200 grammes. — 2 cartouches en une file. — Tir au cordeau détonant.
Orifice du mortier visible.

du mortier et les flammes moins lumineuses qui entourent cette dernière. On peut conclure de cette discontinuité que ces flammes correspondent à des gaz en réaction, car il devrait y avoir continuité dans la disparition de la luminosité si cette disparition était due à la détente de gaz brûlés rendus lumineux par la haute température à laquelle ils sont portés.

2° D'autre part Taffanel et Dautriche ont constaté que la vitesse de l'onde explosive, mesurée expérimentalement, ne correspond pas à celle que donne une formule qu'ils ont établie et qui permet de déterminer cette vitesse en fonction de la force théorique de l'explosif, du covolume des produits de sa décomposition et de sa densité de chargement. Ils en ont conclu que les formules chimiques de décomposition admises jusqu'ici dans les calculs de la force de l'explosif ne correspondent pas toujours exactement à la réalité, principalement aux très hautes pressions et que la décomposition explosive n'est peut-être pas complète aux fortes densités, du moins dans l'onde explosive même, la réaction pouvant s'achever en arrière d'elle.

3° Enfin la durée de la flamme d'une explosion dépasse toujours celle qui correspond au passage de l'onde explosive dans la file de cartouches, ce qui tend à prouver que des réactions se font en arrière de l'onde.

Ces diverses constatations et les considérations théoriques ci-dessus, permettent de croire que les réactions qui se font au passage de l'onde explosive n'établissent pas l'état définitif, mais simplement un état transitoire qui se modifie ensuite en dégageant de la chaleur et en produisant des flammes.

Cette conception du phénomène de la détonation est en concordance avec nos connaissances actuelles des phénomènes chimiques. Comme le dit Nernst, « c'est la vitesse

» de réaction qui joue un rôle décisif pour déterminer
 » laquelle va se former de toutes les combinaisons possibles
 » dans un système. Aussi arrive-t-il souvent qu'au commen-
 » cement il se forme des substances relativement instables,
 » qui au bout d'un certain temps, quelquefois extrêmement
 » long, passent à des formes plus stables.

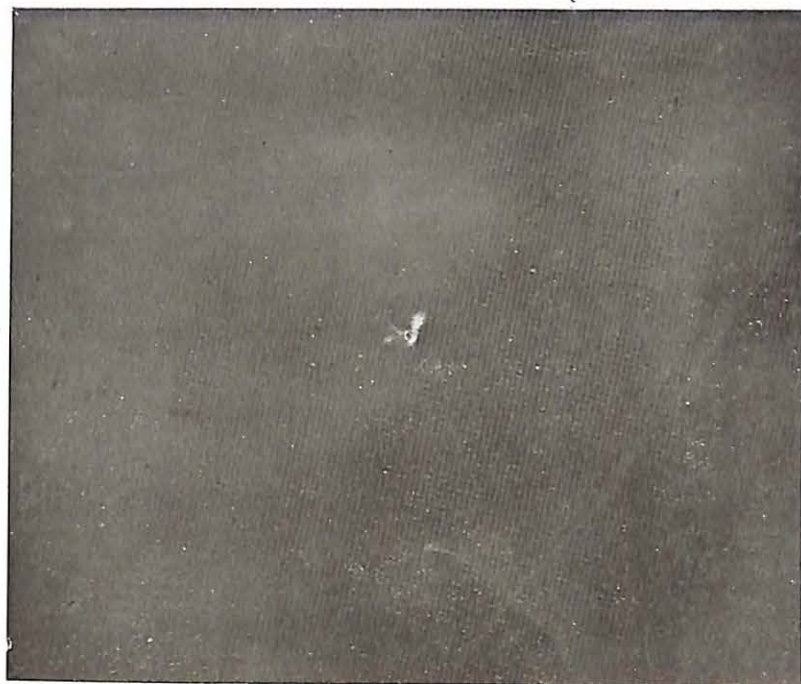
» On peut même dire que l'apparition de telles formes
 » intermédiaires instables avant l'établissement de l'équili-
 » bre définitif est presque la règle ; ce phénomène a été très
 » justement ramené par Horstmann à ce que la vitesse de
 » formation est en règle générale d'autant plus petite que
 » le dégagement de chaleur est plus considérable ».

En matière d'explosifs solides la question se complique encore de ce que, au moment où les réactions commencent dans une section considérée de la cartouche, le mélange n'est pas homogène, comme dans les systèmes gazeux explosifs, et de ce que dans ces conditions les positions relatives des atomes et des fragments de molécules libérés peuvent favoriser certaines réactions de début au détriment d'autres.

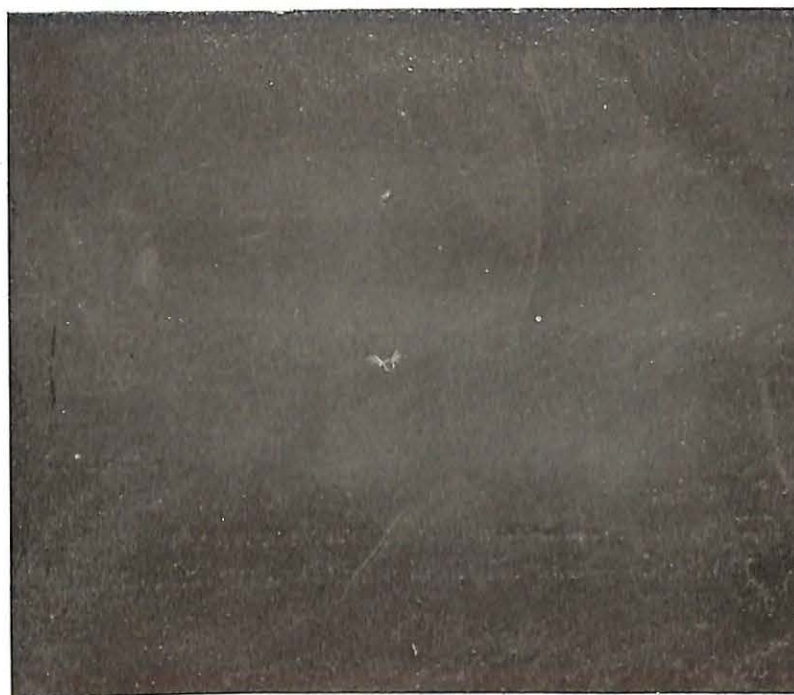
Il semble que ce soit ces réactions de début qui entretiennent l'onde explosive. Le passage à la forme stable définitive se ferait en arrière de l'onde.

Ces considérations sur le phénomène de la détonation font apparaître une cause d'inflammation du grisou et des poussières du charbon signalée depuis longtemps par la Station de Frameries et qui a motivé ses travaux sur le bourrage extérieur et les cartouches de sûreté. C'est l'inflammation par les flammes produites par les réactions en arrière de l'onde avec ou sans intervention de l'oxygène de l'air.

Cette cause pourrait même être la plus importante. C'est elle qui semble mettre en défaut la théorie de la Commis-



Phot. 6. — Colinite antigrisouteuse.
 100 grammes. — 1 cartouche.
 Orifice du mortier visible.



Phot. 5. — Antigel.
 400 grammes. — 4 cartouches en 2 files.
 Orifice du mortier visible.



Phot. 7. — Favier 2bis.

200 grammes. — 2 cartouches en une file. — Tir au cordeau détonant.
Orifice du mortier visible.

sion française, qui reprendrait toute son importance si on trouvait des explosifs donnant des réactions complètes et définitives au passage de l'onde explosive. C'est elle qui met probablement en défaut la tentative faite par Audibert pour isoler et étudier à part l'influence des ondes de choc émises par les explosifs. Les facteurs qui interviennent dans l'inflammation du grisou par les explosifs sont d'ailleurs dans une dépendance mutuelle tellement étroite qu'il est extrêmement difficile de les isoler pour les étudier à part expérimentalement. En agissant sur l'un, on modifie simultanément les autres.

Un dernier argument en faveur de la conception du phénomène de la détonation qui vient d'être exposée, c'est qu'elle permet d'expliquer toutes les constatations faites en galerie d'essai.

En effet, la possibilité de production de flammes en arrière de l'onde explosive doit être conditionnée par la nature des réactions qui se font au passage de l'onde explosive et par les circonstances du tir.

D'une part, les réactions au passage de l'onde peuvent différer de nature et d'importance suivant le confinement de la charge. D'autre part, si les gaz produits au passage de l'onde restent confinés, les réactions en arrière de l'onde seront plus complètes et plus rapides que si les mêmes gaz peuvent se détendre et se disperser rapidement.

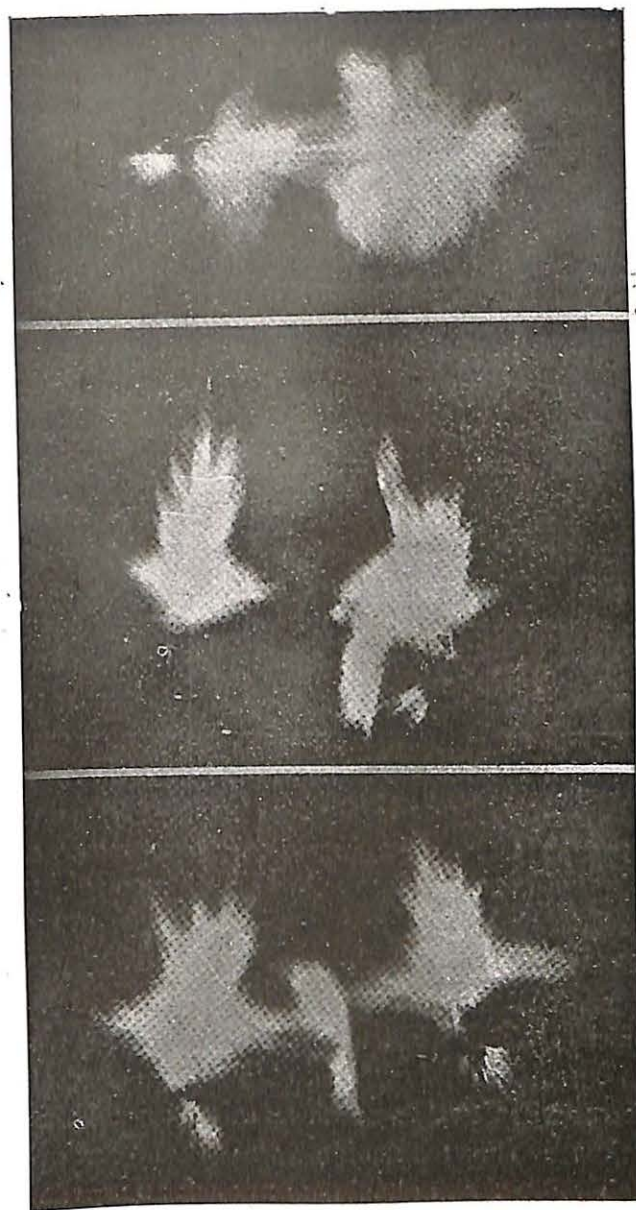
De là, dans les essais en galerie, l'influence de la grandeur de la charge, l'influence de la densité de chargement, l'influence de la section de la galerie, l'influence de la position de la charge. De là encore les différences entre les tirs à air libre, les tirs en roche et les tirs au mortier. Ce n'est qu'une question de confinement plus ou moins grand de la charge ou des gaz en réaction en arrière de l'onde, ou, si on préfère, en langage chimique, une question de concentration des substances réagissantes.

Pour les fortes charges et les fortes densités de chargement, la concentration des gaz en réaction à la gueule du mortier sera plus forte que pour les faibles charges, et cette concentration se maintiendra mieux et plus longtemps dans une galerie de faible section que dans une galerie à grande section où la détente est plus facile. Plus la charge sera forte, plus la masse des gaz en réaction lancée dans la galerie sera considérable et plus la flamme sera volumineuse et aura de chances de durée.

Dans le cas de faibles charges, de faibles densités de chargement et de larges sections de galerie, la détente et la dispersion faciles des gaz en réaction les soustraient à leurs actions mutuelles, rendent les réactions en arrière de l'onde plus difficiles et réduisent par conséquent le volume et la durée de la flamme.

Dans les tirs en mine bourrée, en roche ou au mortier, il n'y a aucune raison de croire que toutes les réactions se font au passage de l'onde explosive. Dans les réactions explosives, comme dans les autres, la vitesse de réaction doit diminuer à mesure qu'augmente la masse des produits formés, et des substances instables de début de réaction peuvent se former en vase clos aussi bien qu'à air libre et dans le mortier. En mine bourrée, toutefois, les réactions en arrière de l'onde peuvent s'achever dans une plus forte proportion dans le fourneau même, à la condition que le bourrage ou les parois du fourneau ne cèdent pas trop rapidement. Si la roche cède avant que les réactions en arrière de l'onde soient achevées ou suffisamment avancées, il se produira des flammes à air libre et c'est à ces flammes, c'est-à-dire à des gaz en réaction vive qui s'échappent du fourneau que le bon sens des mineurs a toujours attribué les coups de grisou causés par les explosifs.

D'autre part, il n'est pas démontré que si les réactions en arrière de l'onde ont établi un état d'équilibre chimique



Phot. 8. — Photographies obtenues par le général Hess d'après Heise.

Tir de cartouches suspendues à air libre.

Absence de flammes à l'endroit occupé par les cartouches.

dans le fourneau de mine, cet état ne se modifiera pas avec dégagement de chaleur pendant la détente.

Il ne peut pas être question de comparer les résultats obtenus en vase clos, tels que des chaudières d'essais de quelques mètres cubes de capacité, aux résultats obtenus en galerie. car dans ces chaudières de faible capacité, les gaz produits au passage de l'onde explosive restent en présence dans un espace confiné et les réactions dans ces gaz peuvent s'achever dans une plus forte proportion qu'en galerie où ces gaz se dispersent.

5. — Inflammation du grisou et des poussières de charbon par les flammes produites en arrière de l'onde explosive avec ou sans intervention de l'oxygène de l'air.

Les flammes produites en arrière de l'onde explosive avec ou sans intervention de l'oxygène de l'air constituent la cause d'inflammation du grisou ou des poussières de charbon qui paraît la plus inquiétante.

En effet, s'il est possible de se prémunir contre l'inflammation causée par les gaz chauds, en suivant les préceptes de la Commission française et de se prémunir contre l'inflammation résultant de la compression du mélange grisouteux, il est difficile de se prémunir contre l'inflammation causée par des flammes dont on ne peut pas prévoir ou limiter la température et la durée.

La seule chose à envisager est la suppression de ces flammes dans la mesure du possible.

On peut envisager la possibilité d'arriver à la suppression ou à l'atténuation de ces flammes par les moyens suivants :

1° Par voie indirecte et dans une mesure impossible à déterminer par l'emploi du bourrage ordinaire;

2° Par voie directe :

A. En agissant sur la composition de l'explosif ;

- B. En ajoutant à l'explosif des sels alcalins volatilisables, tels que le chlorure de sodium ;
- C. En employant le bourrage extérieur ou les gaines de sûreté, qui sont les moyens qui ont été proposés par la Station de Frameries.

La plupart des explosifs de sûreté actuels renferment du chlorure de sodium. Le bourrage extérieur est devenu d'emploi courant dans divers pays miniers.

1° Moyen indirect. Bourrage ordinaire.

L'augmentation de sécurité donnée par le bourrage ordinaire dans le tir au mortier est variable avec la nature de l'explosif employé. Notable avec les uns, elle est insignifiante avec les autres, ainsi qu'il résulte des essais de Watteyne et Stassart.

Comme il a été dit plus haut, il n'est nullement démontré qu'en mine bourrée, la totalité des réactions se fassent au passage de l'onde explosive et il y a tout lieu de croire le contraire. Il existe très vraisemblablement des réactions en arrière de l'onde aussi bien dans les tirs en mine bourrée que dans les tirs sans bourrage. Toutefois, la présence du bourrage donne aux réactions en arrière de l'onde le temps de se faire d'une manière plus complète avant que les gaz s'échappent dans l'atmosphère. On a donc des chances de n'avoir à air libre que des flammes moins développées et de plus courte durée.

Le rôle du bourrage ordinaire est donc de permettre un certain achèvement des réactions avant que les gaz se répandent dans l'atmosphère, c'est-à-dire avant que le bourrage ou les parois du fourneau ne cèdent.

Dès que la résistance du bourrage est suffisante pour amener l'éclatement de la roche, plutôt que le débouillage, il est tout à fait inutile au point de vue de la sécurité, d'en augmenter la longueur, le poids ou le serrage. Le renfor-

cement du bourrage au-delà d'une certaine limite conditionnée par la résistance de la roche, ne sert rigoureusement à rien.

La sécurité du tir en mine bourrée ne dépend donc que d'une manière indirecte du bourrage ordinaire ; dès que la résistance de ce dernier est suffisante la sécurité dépend uniquement du rapport entre la puissance de la charge et la résistance offerte par la roche à l'endroit de la moindre résistance.

La roche doit céder dès que l'effort nécessaire est réalisé dans le fourneau de mine et si cet effort est réalisé avant l'achèvement des réactions, il y aura des flammes à air libre quel que soit le bourrage.

On peut dire que pratiquement la plupart des mines sont surchargées et produisent par conséquent des flammes, car dans l'impossibilité où l'on se trouve pratiquement de proportionner exactement la charge à l'effort à produire, on doit calculer largement cette charge.

On peut donc dire également que si le bourrage ordinaire est absolument indispensable, il ne donne cependant qu'une sécurité aléatoire, car non seulement on est dans la nécessité pratique de surcharger plus ou moins les mines, mais encore la présence de cassures ou de limets dans le terrain peut faire que la charge soit absolument exagérée et la mine éminemment dangereuse.

La lecture des procès-verbaux d'accidents de grisou montre que ce ne sont pas seulement les fortes mines qui ont allumé ce gaz, mais que ce sont aussi de petites mines n'ayant qu'un effet utile minime à réaliser tel que l'enlèvement d'une pierre gênante dans une voie.

D'autre part, les expériences d'Anzin en 1889 ont montré que 350 grammes de dynamite tirée derrière un bourrage de 90 centimètres, en travers banc, donnent encore

une flamme. Une grisou-dynamite tirée à 350 grammes sous 60 centimètres de bourrage donne encore une faible flamme.

2° Moyens directs.

A. — COMPOSITION DE L'EXPLOSIF.

Nous n'avons à ce jour que des indications très vagues sur la composition à donner à un explosif pour diminuer la durée des réactions en arrière de l'onde avec ou sans intervention de l'oxygène de l'air. Il y a là matière à d'intéressantes recherches. La suppression complète de ces réactions paraît impossible.

Il existe probablement un rapport entre les proportions d'hydrogène, de carbone, d'oxygène et d'azote, qui donne à la flamme un minimum de durée. En Belgique, où les explosifs à excès de combustibles ne sont plus considérés comme explosifs de sûreté, les meilleurs explosifs de sûreté, à excès d'oxygène, renferment des proportions de carbone et d'hydrogène de l'ordre de un atome d'hydrogène pour 0,1 à 0,3 atome de carbone. C'est une première indication, mais elle est très vague. La nature des corps auxquels ces éléments sont empruntés a vraisemblablement aussi une importance considérable.

L'explosif semble devoir être étudié également de manière à éviter que certaines réactions prennent l'avance sur les autres et n'entretiennent à elles seules ou pour partie principale, l'onde explosive.

La présence en quantité exagérée de corps, tel que l'azote, qui n'interviennent pas dans l'équilibre définitif qu'on cherche à réaliser et qui ne peuvent jouer qu'un rôle perturbateur en favorisant la formation primaire de produits intermédiaires instables qui retardent l'établissement de l'équilibre définitif, ne paraît pas recommandable.

Il convient également d'éviter des proportions exagérées de corps qui admettent plusieurs modes de décomposition, à moins d'employer de très forts détonateurs et d'éviter d'allonger les charges.

Enfin il paraît à désirer que le mélange des constituants de l'explosif soit aussi intime que possible, de manière à avoir, au passage de l'onde, un mélange en réaction aussi homogène que possible et à éviter que les positions relatives des atomes ne favorisent certaines réactions primaires au détriment des réactions définitives. Les positions relatives des atomes des constituants des explosifs, dans leurs molécules, peuvent fournir certaines indications à ce sujet. Cette étude pourrait donner d'heureux résultats.

Sans aller jusqu'à la formule binaire des explosifs français, qui paraît trop simple pour arriver à donner à un explosif toutes les qualités pratiques désirables, il semble qu'on ne doive pas admettre l'exagération du nombre des constituants.

B. — ADDITION DE SELS ALCALINS VOLATILISABLES AUX EXPLOSIFS.

Les avis au sujet de l'utilité de l'addition aux explosifs, de sels qui ne participent pas directement à la réaction explosive sont partagés.

Certains, se basant sur des expériences de Mallard et Le Châtelier et généralisant à tort les résultats de ses expériences, pensent que ces matières, quelle que soit leur nature, n'agissent que par leur inertie et que dans ces conditions leur efficacité est minime.

Il ne semble pas qu'il en soit ainsi.

Il suffit pour s'en convaincre de chercher le poids de différents corps qu'il faut ajouter à 100 grammes de dynamite n° 1, par exemple, pour que cette charge n'allume

plus le grisou. Les poids nécessaires ne sont pas les mêmes pour tous les corps, ce qui montre nettement que pour certains corps l'inertie ne joue pas le rôle principal et même ne joue qu'un rôle tout à fait insignifiant pour certains sels particulièrement efficaces.

La plupart des explosifs de sûreté actuels des pays miniers, autres que la France, renferment une certaine proportion de chlorure de sodium et l'expérience montre qu'il n'est pas indifférent de remplacer ce corps par un autre, même par son voisin immédiat le chlorure de Potassium. Le fluorure de sodium est encore plus efficace ce qui fait penser que la volatilité joue un rôle. Il ne suffit pas toutefois que le corps soit volatil, car le fluorure d'aluminium par exemple est moins efficace. Il faut donc probablement que le corps soit volatil sans décomposition ou tout au moins que la base soit volatile. C'est probablement parce que la base est volatile que certains sels alcalins décomposables ont une certaine efficacité.

La présence dans l'explosif de sels volatilissables susceptibles d'absorber de la chaleur, est de nature à empêcher que certaines réactions prennent l'avance sur les autres au moment de la détonation, mais leur rôle principal semble être de contrarier dans une certaine mesure les réactions en arrière de l'onde et d'abrèger par conséquent leur durée, quand les gaz s'échappent du fourneau et se répandent dans l'atmosphère. A l'appui de cette thèse on peut citer le fait bien connu et mis en évidence par Dautriche, Taffanel, Beyling et Will, que l'addition d'une proportion convenable de sels alcalins à des explosifs à excès de combustibles, tels que l'acide picrique ou le trinitrotoluène, fait disparaître la flamme secondaire de ces explosifs, c'est-à-dire la flamme qui se produit après le mélange des gaz de l'explosion avec l'air et qui est séparée de la flamme qui s'échappe du mortier.

Au sujet de la manière dont ces sels agissent pour empêcher les réactions de continuer quand les gaz se répandent dans l'atmosphère, on ne peut que formuler des hypothèses. S'ils sont faiblement volatils, ils peuvent former un nuage de vapeurs ou de très fines particules provenant de la condensation de ces vapeurs, nuage qui constitue un milieu peu favorable aux réactions chimiques. Ces vapeurs ou ces très fines particules peuvent contrarier les réactions en isolant plus ou moins les molécules réagissantes, en réduisant le nombre de chocs utiles entre les molécules et en absorbant de la chaleur.

On peut imaginer d'autres mécanismes encore; l'un d'eux est actuellement à l'étude.

Quoiqu'il en soit, dans une galerie de large section dans laquelle les gaz en réaction peuvent se disperser rapidement et dans laquelle les molécules réagissantes s'écartent déjà d'elles-mêmes les unes des autres, le faible poids de sels volatilissables qu'il est possible d'incorporer aux explosifs, peut suffire pour arrêter les réactions dans les gaz qui se détendent.

Il peut ne pas en être de même dans une galerie de faible section ou dans une chaudière étanche de faible volume. Dans ces atmosphères confinées, les gaz en réaction ne peuvent se disperser à suffisance et les réactions peuvent continuer malgré la présence du sel. Pour arriver au résultat cherché, il faudrait augmenter la proportion du sel, mais on est rapidement arrêté de ce côté, pour ne pas nuire à la détonation.

L'utilité de l'addition de sels alcalins volatilissables aux explosifs ne paraît plus discutable.

C. — BOURRAGE EXTÉRIEUR ET GAINÉ DE SURETÉ.

Le bourrage extérieur et les gaines de sûreté ont été proposés par le Siège d'expériences de l'Etat à Frameries

pour s'opposer aux réactions en arrière de l'onde au moment où les gaz s'échappent du fourneau et se répandent dans l'atmosphère, que ces réactions se fassent avec ou sans action de l'oxygène de l'air.

Pour le bourrage extérieur, il semble manifeste que la flamme s'étouffe dans les poussières extinctrices et que, dans le milieu réalisé par la mise en suspension de ces poussières, la combustion des gaz de l'explosion ainsi que la combustion du grisou ou des poussières de charbon est impossible.

Par analogie on peut admettre le même mécanisme pour expliquer l'efficacité de la gaine de sûreté qui est l'intermédiaire entre le bourrage extérieur et l'incorporation de sels extincteurs à l'explosif même. Dans le cas de la gaine, la quantité de matières extinctrices qu'on peut employer n'est pas aussi limitée que dans le cas de l'incorporation de ces matières à l'explosif même et le choix de ces matières est illimité car on n'a pas à se préoccuper de nuire à la détonation.

Les essais publiés en 1914 avaient déjà montré que les matières employées n'agissent pas par leur inertie seule. En effet, le poids des matières à employer pour obtenir l'effet cherché a varié dans de très fortes proportions suivant la nature des matières employées.

La deuxième série d'essais faite en 1920 avait surtout pour but de rechercher si on pouvait agglomérer légèrement la matière extinctrice, ce qui pouvait donner des facilités de fabrication.

Une troisième série d'essais dont les résultats sont donnés en annexe, a été faite en tirant les explosifs à air libre de manière à les soustraire à l'influence du mortier et à les tirer dans des conditions plus dangereuses encore.

De nouvelles matières extinctrices, déjà soumises à des essais préliminaires en 1914, ont été expérimentées. Ce

sont le fluosilicate de sodium, la cryolithe ou fluorure double d'aluminium et de sodium et le fluorure de sodium.

L'explosif employé a été la dynamite n° 1 à 75 % de nitroglycérine et 25 % de guhr, qui allume facilement le grisou pour une charge de 25 grammes.

Les nouveaux corps essayés se sont montrés d'une remarquable efficacité. Alors qu'il faut environ 800 grammes de poussières de schistes, soit 400 grammes par cartouche, pour empêcher l'inflammation du grisou par une charge de deux cartouches de 100 grammes chacune de dynamite n° 1 tirées à air libre, sans masquer les bouts de la charge, il suffit de 200 grammes de fluorure de sodium ou de fluosilicate de sodium, soit 100 grammes par cartouche, pour arriver au même résultat.

Par contre le fluorure de calcium et les corps qui renferment de l'eau de cristallisation se sont moins bien comportés que dans les tirs au mortier.

La cryolithe, employée à l'état pulvérulent ou légèrement agglomérée par un liant quelconque et additionnée de fluorure de sodium ou de chlorure de sodium, semble être à ce jour la matière la plus recommandable pour la fabrication des gaines de sûreté. Le fluorure de sodium est plus efficace, mais sa densité est plus faible, et il conduit à des gaines de plus grand diamètre.

Le fluorure d'aluminium a été essayé également, mais il paraît moins intéressant que le fluorure de sodium auquel la cryolithe doit vraisemblablement ses bons résultats.

Le fluosilicate de sodium, qui donne également de très bons résultats, est encore à examiner au point de vue de la qualité des fumées, en raison de la présence possible de fluorure de silicium dans celles-ci.

Les résultats obtenus, en tirant à l'air libre de la dynamite n° 1, à 75 % de nitroglycérine, permettent de croire qu'en employant un poids convenable d'une matière extinc-

trice efficace, on peut arriver à éteindre la flamme de n'importe quel explosif si puissant qu'il soit.

L'efficacité du bourrage extérieur dépend également de la nature des corps employés. Le sel séché et finement moulu est plus efficace que la poussière de schiste.

Il est donc définitivement démontré que, comme pour les sels incorporés aux explosifs, les matières employées, sous forme de gaine, n'agissent pas par leur inertie seule. Elles agissent vraisemblablement, comme il a été dit plus haut, en empêchant les réactions des gaz de l'explosion entre eux et les réactions entre ces gaz et l'oxygène de l'air au moment où ces gaz se répandent dans l'atmosphère. Ils créent dans l'atmosphère ambiante un milieu très peu favorable aux réactions chimiques.

Cette explication de l'efficacité de la gaine, que M. Audibert appelle la doctrine de la gaine, est combattue par lui au moyen des arguments suivants (1) :

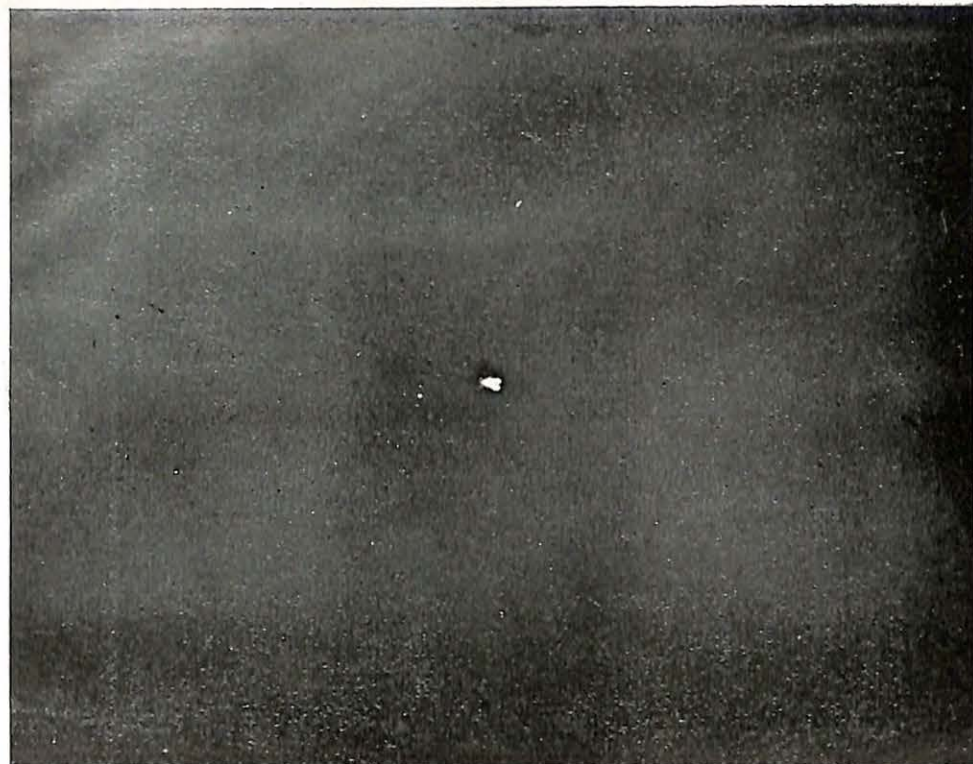
Premier argument.

M. Audibert a tiré des charges de Grisou-dynamite-roche en gaine plâtre-fluorure de calcium de 3 millimètres d'épaisseur et a constaté par la photographie que la flamme de l'explosif disparaissait.

Il a tiré alors, très judicieusement, dans les mêmes gaines des charges d'un explosif sous-oxydé, la mélinite (acide picrique), et il a constaté que la flamme de l'explosif s'atténuait très légèrement, mais ne disparaissait pas.

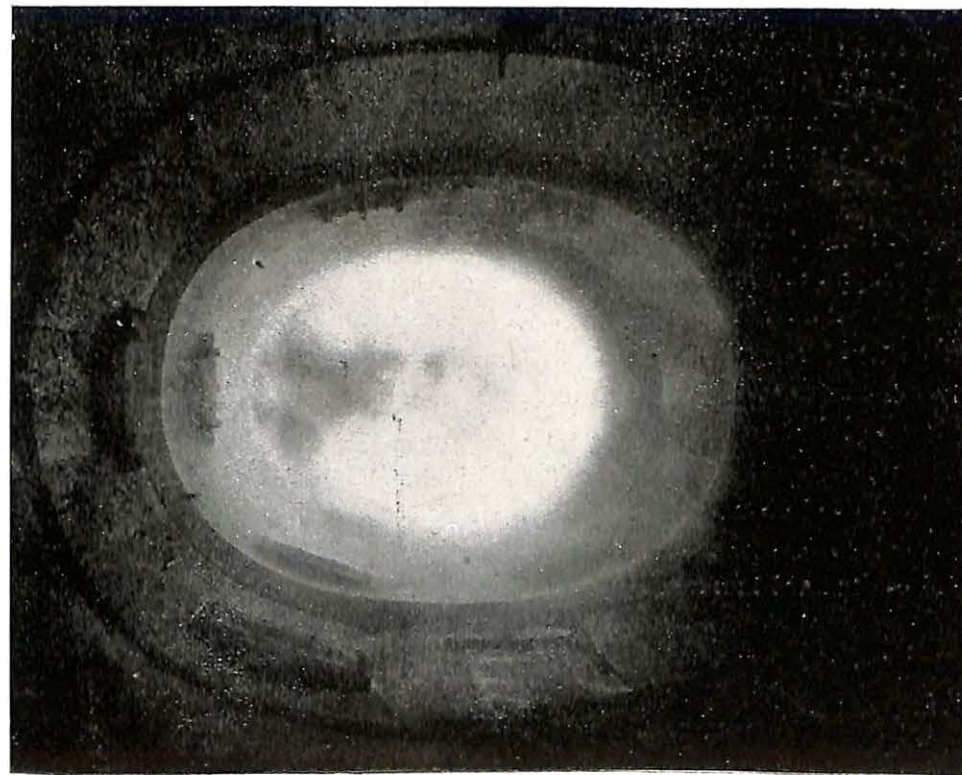
Il en a conclu que l'effet de la gaine n'était pas d'empêcher les réactions entre les gaz de l'explosion et l'air, tout au moins pour les explosifs sous-oxydés et qu'il y avait lieu de croire qu'il en était de même pour les explosifs sur-oxydés.

(1) AUDIBERT. — Rapport sur l'emploi des gaines de sûreté (*Annales des Mines de France*, XII^e série, 6^e livraison de 1922).



Phot. 10. — Acide picrique (Mélinite).

200 grammes. — 2 cartouches de 30 millimètres de diamètre en une file, avec gaine de Cryolith de 4 millimètres d'épaisseur.



Phot. 9. — Acide picrique (Mélinite)

200 grammes. — 2 cartouches de 30 millimètres de diamètre en une file, sans gaine.

Les expériences de M. Audibert prouvent que la gaine plâtre-fluorure de calcium de 3 millimètres d'épaisseur est impuissante à éteindre la flamme de la mélinite, mais elles ne prouvent pas qu'on ne peut pas arriver à ce résultat en augmentant l'épaisseur de la gaine ou bien en employant des matières extinctives plus efficaces. Elles sont donc insuffisantes, comme preuves, contre la théorie de la gaine.

Cette gaine plâtre-fluorure de calcium a été étudiée pour fournir, sans exagération du prix de l'explosif, un supplément de sécurité aux explosifs de sûreté. L'épaisseur de 3 millimètres est réservée aux explosifs de sécurité destinés au tir en roche. Pour le tir en veine on donne à la gaine une épaisseur de 5 millimètres.

Pour les explosifs qui donnent des flammes plus difficiles à éteindre que celles des explosifs de sûreté, il serait bon d'employer des matières plus efficaces.

En fait on éteint la flamme de l'acide picrique (mélinite) avec une gaine de cryolithe de 4 millimètres d'épaisseur, entourant des cartouches de 30 millimètres de diamètre. Comme il s'agit ici uniquement d'une question de théorie il n'a pas été fait d'essais avec des épaisseurs moindres.

Les photographies 9 à 10 montrent les flammes de 200 grammes d'acide picrique tirés au mortier avec et sans gaine. Ces photographies ont été faites face au canon en fixant comme d'habitude l'appareil photographique à 10 mètres de la gueule du canon.

Le premier argument invoqué contre la théorie de la gaine devient donc un argument en faveur de celle-ci.

Les photographies 11 à 12 montrent la flamme de 200 grammes de dynamite n° 1 en cartouches de 30 millimètres de diamètre avec ou sans gaine de cryolithe de 3 millimètres d'épaisseur.

Deuxième argument.

M. Audibert pense que la disparition de la flamme des explosifs sur-oxydés, dans le cas d'emploi de la gaine, disparition qu'il a constatée lui-même, peut provenir d'erreur inconsciente du photographe. D'après lui, les radiations émises par les explosifs sur-oxydés, sont à peine assez lumineuses et assez durables pour impressionner une plaque photographique : « On s'en aperçoit, dit-il, au fait » que même avec les objectifs les plus ouverts, les plaques » les plus sensibles n'enregistrent que des images très » nettement sous-exposées, qu'il est nécessaire de renforcer énergiquement. »

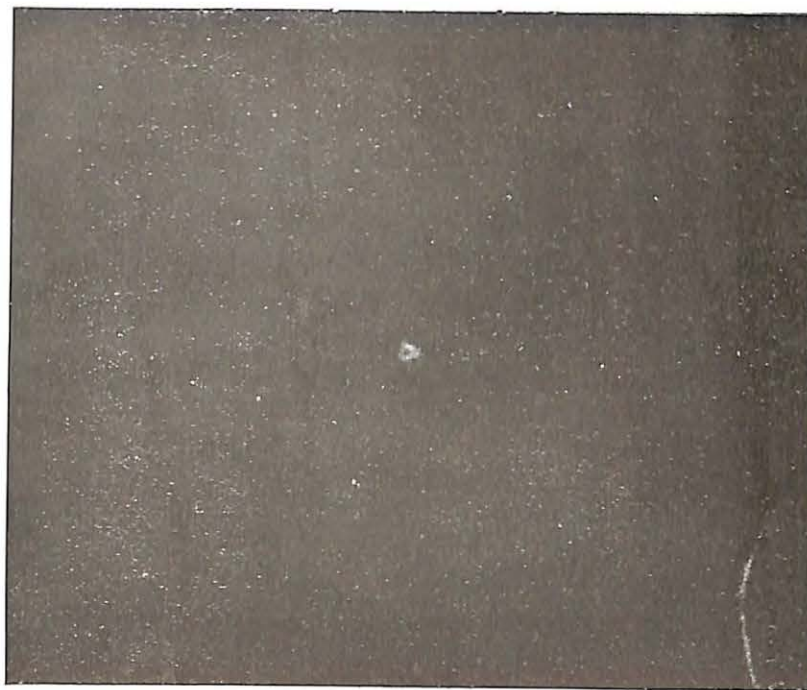
M. Audibert conclut comme suit :

« De la propriété qu'elle (la gaine) a de faire disparaître les flammes sur les plaques photographiques, on ne saurait faire état; la preuve n'est, en effet, nullement faite que la disparition de l'image ait pour cause la disparition de l'objet et il n'est pas davantage établi que la suppression effective de ce dernier présente au point de vue de la sécurité un avantage certain. »

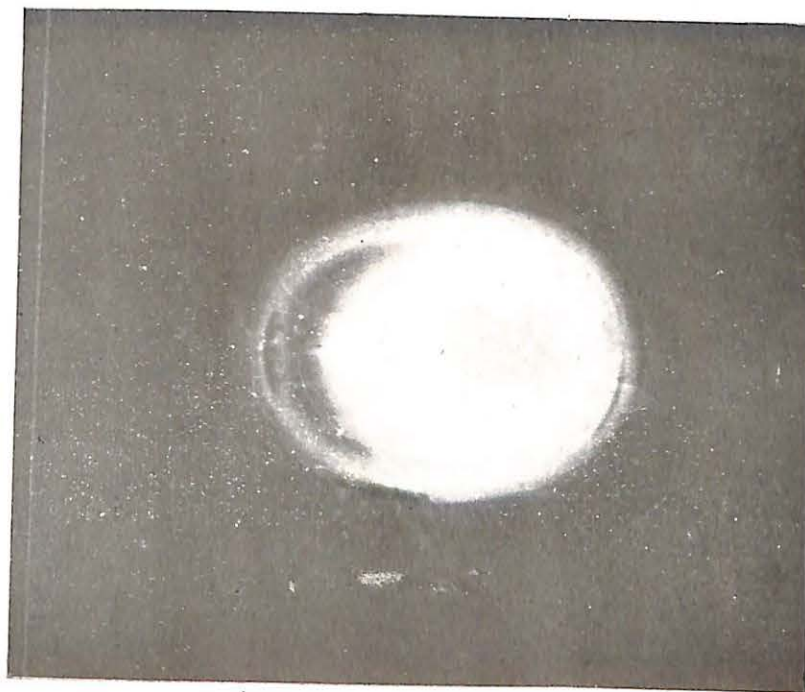
En premier lieu, l'examen des photographies de flammes d'explosifs sur-oxydés, qui ont été publiées à diverses époques et notamment par Siersch, par Heise, par Will et également par la station de Frameries en 1913, montrent qu'on peut obtenir avec ces explosifs de très bons clichés qu'il n'est nullement nécessaire de renforcer.

Il est d'autre part très aisé d'écarter les erreurs accidentelles en multipliant les photographies et en choisissant de préférence des explosifs qui donnent des flammes lumineuses.

L'image des flammes de l'acide picrique et de la dynamite n° 1 (photographies 9 et 11) ne paraît pas sous-exposée, et cependant ces flammes disparaissent par l'emploi de la gaine.



Phot. 12. — Dynamite n° 1 à 75 % de Nitroglycérine
200 grammes. — 2 cartouches de 30 millimètres de diamètre en une file,
avec gaine Cryolithe de 3 millimètres d'épaisseur.



Phot. 11. — Dynamite n° 1 à 75 % de Nitroglycérine.
200 grammes. — 2 cartouches de 30 millimètres de diamètre en une file,
sans gaine.

Le fait que la disparition de l'image de la flamme par l'emploi de la gaine coïncide avec une amélioration de la sécurité pour tous les explosifs, doit retenir l'attention. La coïncidence est d'ordre trop général pour que l'idée d'un rapport de cause à effet ne se présente pas à l'esprit.

Troisième argument.

M. Audibert a tiré dans une chaudière hermétiquement close dans laquelle se trouvait le mortier, des charges de 100 grammes de deux explosifs, avec ou sans gaine plâtre-fluorure de calcium de 3 millimètres d'épaisseur. Il a constaté que le dégagement de chaleur et le volume des gaz produits étaient sensiblement les mêmes dans le tir avec gaine que dans le tir sans gaine.

Sa conclusion est que, dans ces conditions, il faut admettre ou bien que les gaz de la détonation ne réagissent pas mutuellement en arrière du front de l'onde ou bien que les réactions auxquelles ils donnent lieu se produisent aussi bien en présence qu'en l'absence de la gaine.

Ces expériences, qui ont été faites avec la seule charge de 100 grammes et une seule épaisseur de gaine, sont trop sommaires pour qu'on puisse en tirer des conclusions formelles et définitives pour ou contre la théorie de la gaine.

Sous ces réserves, on pourrait tout aussi bien les interpréter en faveur de la doctrine de la gaine. En effet, si les cartouches ont 28 millimètres de diamètre, elles occupent, sans gaine, 26 % de la section du mortier de 55 millimètres et 40 %, avec gaine. Si les cartouches ont 30 millimètres de diamètre, elles occupent, sans gaine, 31 % de la section du mortier et 44 %, avec gaine.

Or, le confinement de la charge, ou ce qui revient au même la concentration des substances réagissantes, a une influence de premier plan sur la vitesse de réaction. Le dégagement de chaleur dans le mortier à l'endroit de la

charge doit donc être plus grand dans le cas de tir avec gaine que dans le cas de tir sans gaine.

Dans ces conditions, si le dégagement de chaleur est le même dans les deux cas, c'est qu'il y a réaction en dehors du mortier dans le cas de tir sans gaine et pas nécessairement dans le cas de tir avec gaine.

Pour pouvoir conclure au sujet de la théorie de la gaine, il faudrait faire varier l'épaisseur de celle-ci, mais alors on modifie le confinement de la charge et partant les réactions qui se produisent. Il paraît donc impossible d'arriver à des conclusions formelles avec ce dispositif expérimental.

En résumé, la schistification des voies, l'arrêt-barrage, le bourrage extérieur, la gaine de sûreté, l'incorporation des sels aux explosifs semblent relever d'un même principe, qui consiste dans la création d'un milieu peu favorable aux réactions chimiques.

En terminant son étude sur la gaine de sûreté, M. Audibert fait une comparaison entre la gaine et le bourrage ordinaire et conclut que la seule propriété certaine dont jouisse la gaine est d'exercer sur le tir, très sensiblement, la même action qu'un bourrage ordinaire de même poids, et qu'on peut plus facilement augmenter le poids du bourrage ordinaire que celui de la gaine.

Pour arriver à ce résultat, M. Audibert fait le raisonnement suivant :

Le poids des gaines plâtrées de 3 millimètres d'épaisseur, qui enveloppent cinq cartouches de grisou-dynamite-roche, est de l'ordre de 300 grammes. Or, un bourrage ordinaire de 300 grammes donne au même explosif une charge-limite de 400 à 500 grammes. Donc la gaine plâtrée de 3 millimètres d'épaisseur exerce sur le tir la même action qu'un bourrage de poids égal, avec peut-être une légère supériorité en faveur de la gaine.

Ce raisonnement n'est pas rigoureux.

Il suppose, en effet, que l'épaisseur de 3 millimètres donnée à la gaine est strictement nécessaire pour arriver à une charge-limite de 500 prammes et qu'on n'arriverait pas au même résultat avec une épaisseur moindre, ce qui n'est nullement démontré, alors qu'il est démontré que les 300 grammes de bourrage ordinaire sont strictement nécessaires pour n'arriver encore qu'à une charge-limite moindre.

La comparaison ne pourrait se faire qu'en cherchant rigoureusement le poids de gaine et le poids de bourrage nécessaires pour arriver à une charge-limite donnée. La conclusion ne serait valable que pour l'explosif essayé et n'aurait d'ailleurs aucune signification, car la sécurité que donne le bourrage ordinaire dépend de trop de circonstances pour qu'elle puisse servir d'étalon de mesure.

Les expériences de Watteyne et Stassart ont montré que l'augmentation de charge-limite, procurée par un bourrage de l'ordre de 300 grammes, variait dans de très fortes proportions avec la nature de l'explosif employé. Avec la gélatine-dynamite, par exemple, la charge-limite obtenue avec ce bourrage était de l'ordre de 75 grammes, résultat qu'on obtiendrait facilement avec moins de 75 grammes de gaine, surtout avec la cryolithe ou le fluorure de sodium. On pourrait en déduire que la sécurité que donne la gaine est au moins quadruple de celle que donne le bourrage de même poids, mais encore une fois la comparaison n'est pas possible.

La résistance du bourrage ordinaire doit être suffisante pour assurer le sautage de la roche. Du moment que cette condition est réalisée, toute augmentation de bourrage est absolument inutile au point de vue de la sécurité, car les flammes s'échappent par les fentes de la roche, malgré le bourrage. Un bourrage surabondant n'est à conseiller que



pour être certain d'avoir un bourrage suffisant pour assurer le sautage de la roche plutôt que le débouillage.

Si le bourrage est suffisant, la sécurité du tir ne dépend plus que du rapport de la puissance de la charge à l'effet à obtenir. C'est donc surtout une proportion judicieuse de la charge à la résistance de la roche qu'il faut recommander au point de vue de la sécurité, car une mine surchargée peut être dangereuse quel que soit son bourrage.

Théoriquement, il faut se tenir le plus près possible de l'équilibre entre la puissance de la charge et la résistance à vaincre, mais en opérant de la sorte on s'expose à un danger qui peut être plus grand, c'est-à-dire au coup débouillant qui élargit simplement le fourneau de mine.

Pratiquement le mineur, qui a intérêt à ce que la roche cède plutôt que le bourrage, surchargera toujours la mine et des flammes, qui peuvent être dangereuses, sont à craindre quelle que soit la force du bourrage. Il est impossible de déterminer la charge strictement nécessaire et même si on pouvait le faire la présence de fissures ou de limets dans la roche pourrait déjouer toutes les prévisions.

Le bourrage ordinaire tout en étant indispensable n'est qu'un moyen indirect et incertain de sécurité.

Avec la gaine, surtout constituée par des matières telles que la cryolithe ou le fluorure de sodium, la charge porte avec elle sa sécurité pour toutes les éventualités du tir et il est possible de doser en quelque sorte la sécurité en agissant sur son épaisseur.

Son principe a une supériorité incontestable.

Il est également impossible de mesurer la sécurité que donne le bourrage extérieur en fonction de celle que donne le bourrage ordinaire car les modes d'action sont trop différents. En cas de débouillage, ou de mine qui élargit simplement son fourneau, le bourrage ordinaire qui est ordinairement argileux pour des raisons de facilité de mise en place, est chassé comme un bouchon sans se pulvériser,

ce qui est de nul effet pour empêcher les réactions dans les gaz qui s'échappent. Les flammes au contraire viennent s'étouffer dans le bourrage extérieur et l'inflammation du grisou ou des poussières de charbon dans le nuage de poussières soulevées est impossible.

6. — Inflammation du grisou par les gaz chauds

Pour éviter toute confusion, nous désignons sous le nom de gaz chauds, les gaz dans lesquels les réactions sont terminées, sans examiner si ces gaz sont lumineux ou non à raison de leur température. Nous réservons le nom de flammes aux gaz en état de réaction.

L'inflammation par les gaz chauds est la base de la théorie de la Commission française, qui suppose que la totalité des réactions que l'explosif est susceptible de donner dans des conditions déterminées de tir, se fait au passage de l'onde explosive.

L'importance de cette cause d'inflammation paraît minime dans les tirs au mortier, car dans ces tirs ce sont surtout des flammes qui s'échappent du fourneau.

Dans les tirs dans lesquels les réactions en arrière de l'onde ont le temps de s'achever en grande partie, avant que les parois du fourneau cèdent, cette cause d'inflammation reste importante à considérer.

Pour qu'un explosif puisse être considéré comme étant de sécurité, on peut dire qu'il faut que sa température de détonation ne soit pas trop élevée, mais on ne peut pas faire de cette température de détonation le critérium de sécurité. Dans aucun cas on ne peut garantir que des flammes, c'est-à-dire des gaz en réaction vive, ne s'échapperont pas du fourneau de mine. D'autre part, la possibilité de l'inflammation du mélange grisouteux par la compression produite au passage des ondes de choc émises par l'explosif doit être envisagée également.

7. — Inflammation par les particules d'explosifs projetées.

On aperçoit sur certaines photographies de flammes les trajectoires de particules d'explosif en combustion. Le danger d'inflammation du grisou par ces particules incandescentes dépend de la température de ces particules et de leur vitesse de translation.

Il est difficile de l'apprécier. Il semble cependant qu'on doive rejeter les explosifs qui donnent des projections de l'espèce.

8. — Inflammation par compression de l'air.

Les ondes de choc émises par les explosifs compriment le mélange grisouteux, ce qui peut déterminer son inflammation.

L'étude de cette cause d'inflammation, sur laquelle Heise a eu le mérite d'attirer l'attention, a été reprise par Audibert à la nouvelle station d'essais de Montluçon.

Audibert a groupé en un beau travail d'ensemble les études d'Hugoniot, Jouguet, Crussard et Taffanel et les a complétées par une étude théorique et pratique de l'ébranlement causé par la détonation dans le milieu ambiant.

Cette étude éclaire la question, mais on ne peut cependant pas en accepter sans réserves toutes les conclusions.

La théorie proposée est indépendante de l'état physique dans lequel se trouve le milieu explosif. Audibert en conclut qu'elle s'applique en particulier aux explosifs solides. Il semble cependant que le fait que la vitesse de détonation des explosifs solides varie avec les circonstances du tir, alors que la vitesse de détonation des mélanges gazeux semble être une constante pour chaque système établit une différence importante entre ses deux groupes d'explosifs.

Dans le cas d'explosifs gazeux, on se trouve en présence de molécules simples ou relativement simples et d'un mélange absolument intime du comburant et du combustible. Dans le cas d'explosifs solides, les molécules sont plus compliquées. La rupture des molécules des constituants de l'explosif, qui doit précéder le regroupement des atomes peut parfois se faire suivant plusieurs modes, le mélange du comburant et du combustible n'est pas aussi intime et les positions relatives des divers atomes peuvent favoriser des réactions de début plutôt que les réactions définitives que l'on cherche.

De là des différences possibles dans la vitesse des détonations suivant les circonstances du tir, et la certitude presque absolue que des réactions se font en arrière de l'onde.

Dès lors, il devient extrêmement difficile de dire dans un cas donné si l'inflammation du grisou provient de la compression de l'air résultant des ondes de choc ou si elle est causée par des flammes produites en arrière de l'onde ou par toute autre cause.

Il est extrêmement difficile d'isoler une des causes d'inflammation, car elles sont en interdépendance excessivement étroite et en agissant sur l'une on modifie les autres.

Il est extrêmement séduisant de chercher à étudier séparément l'influence des divers facteurs d'inflammation et c'est le programme qui se présente d'abord à l'esprit, mais on s'est heurté jusqu'à présent à des difficultés qui n'ont pas été surmontées.

La tentative d'isoler l'influence de la température de détonation n'a pas abouti, celle d'isoler l'influence des ondes de chocs ne semble pas plus heureuse.

Pour l'étude de l'influence de l'onde avant et des ondes arrières émises par une cartouche d'explosif, Audibert tire à air libre des charges d'explosif dont le bout avant, c'est-

à-dire celui qui n'est pas amorcé, pénètre seul dans le milieu grisouteux ou est isolé de ce dernier. Ce dispositif n'élimine nullement les autres facteurs d'inflammation et c'est probablement le motif pour lequel les conclusions auxquelles arrive Audibert sont en contradiction avec certains faits.

Audibert constate, en effet, que dans le cas de la grisou-naphtalite-couche, les ondes émises par le bout avant de la cartouche sont moins dangereuses que les ondes émises par le bout arrière, ce qui est assez surprenant.

En effet, il est bien connu que le bout avant d'une charge d'explosif transmet mieux la détonation et à plus grande distance dans les tirs par influence que le bout arrière. Si on tire une file de trois cartouches espacées l'une de l'autre et dont la cartouche médiane est amorcée, on constate que du côté du bout avant, l'espacement des cartouches peut être plus grand que du côté du bout arrière. L'onde émise par le bout avant semble donc plus dangereuse que l'onde émise par le bout arrière.

D'autre part, dans les tirs au mortier ou dans les tirs dans des canons de pierre, l'amorçage au fond du fourneau est généralement plus dangereux que l'amorçage à l'entrée, ce qui montre, encore une fois, que si les ondes émises jouent un rôle dans l'inflammation du grisou, c'est l'onde avant qui est la plus dangereuse.

On peut encore faire observer que si les ondes de choc jouent un rôle quelconque dans l'inflammation du grisou, dans le cas de la grisou-naphtaline-couche, il est surprenant que la charge-limite de cet explosif soit plus élevée dans le tir au mortier que dans le tir à air libre.

Enfin, si on tire à air libre des charges de dynamite n° 1, placées dans des gaines de sûreté d'épaisseur convenable, il n'est pas nécessaire de masquer les bouts de la charge

pour assurer la sécurité, ce qui montre que les ondes émises en bout, par un explosif aussi brisant que la dynamite n° 1, ne présentent aucun danger. Si on diminue l'épaisseur de la gaine au point d'arriver à l'inflammation du grisou, on peut relever à nouveau la charge-limite en masquant simplement le bout avant, ce qui tendrait à montrer que l'onde avant est plus dangereuse, si le tir sans masquer les bouts ne montrait pas que les ondes de choc ne jouent aucun rôle dans la circonstance.

Dans une autre série d'essais, M. Audibert a tiré à air libre des charges de grisou-naphtalite-couche encartouchées sous des diamètres variant de 15 à 55 millimètre et a constaté des variations dans la charge-limite. Il en tire argument en faveur de l'inflammation du grisou par compression du mélange grisouteux.

Il convient de faire observer que la variation bien connue de la vitesse de détonation avec le diamètre des cartouches, indique manifestement que les réactions varient avec le diamètre. Dès lors, il n'est pas absolument nécessaire de recourir à la compression de l'air pour expliquer la variation de la charge-limite avec le diamètre des cartouches.

En résumé, l'influence des ondes de choc émises par les explosifs, sur le danger d'inflammation du grisou, ne semble pas avoir été isolée de celle des autres facteurs d'inflammation.

9. — Détermination des explosifs de sûreté

Les coups de grisou et de poussières de charbon, indépendamment de toute autre considération, ont montré que le bourrage ordinaire et le boute-feu étaient des moyens précaires de sécurité. Ce n'est qu'à défaut de moyens plus automatiques et plus sûrs qu'on puisse s'y rapporter.

L'expérience a montré également que le fait qu'un explosif a pu être employé dans la pratique minière, pendant

une période de temps assez longue, sans causer d'accident ne peut pas suffire à donner toute satisfaction, bien que ce soit un élément à considérer.

Il faut donc chercher à déterminer les explosifs qui paraissent les moins dangereux dans les conditions actuelles de nos connaissances sur la question.

Si on rejette l'un après l'autre, sous prétexte qu'ils ne sont pas parfaits, les moyens d'investigation et les éléments d'appréciation dont nous disposons à cette fin, il ne reste plus provisoirement qu'à livrer au hasard des circonstances la sécurité de l'emploi des explosifs dans les mines.

Il semble préférable de chercher à tirer le meilleur parti possible des outils dont nous disposons en attendant d'en avoir de meilleurs. En ne considérant provisoirement comme explosifs de sûreté que ceux pour lesquels les indications sont concordantes on a un minimum de chances de se tromper.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il semble que le danger d'une mine peut provenir :

- 1° De ce que les réactions ne sont pas terminées au moment où les gaz se répandent dans l'atmosphère ;
- 2° De ce que les gaz de l'explosion peuvent être susceptibles de réaction avec l'oxygène de l'air ;
- 3° De la compression du mélange grisouteux au passage des ondes de choc émises par les explosifs ;
- 4° De ce que les réactions étant pratiquement terminées dans le fourneau même, le refroidissement des gaz chauds ne peut pas se faire assez rapidement par suite d'une circonstance quelconque qui contrarie la détente ;
- 5° De la déflagration fusante ;
- 6° Du mélange des gaz de l'explosion avec les poussières de charbon et le grisou provenant du broyage des parois

du fourneau, dans le cas de tir en veine, mélange qui s'échappe du fourneau de mine dans des conditions de danger impossible à évaluer.

Une remarque préalable s'impose ici, c'est que la charge-limite des explosifs diminue avec la section de la galerie.

Une section réduite équivaut à une détente contrariée et la détente, même en section normale de galerie, peut être contrariée par la présence d'obstacles ou le voisinage de parois rencontrées par les gaz qui s'échappent.

Une détente contrariée peut rendre une mine dangereuse, même si on admet que les réactions sont terminées avant l'échappement des gaz, car la période de détente dont dépend la sécurité peut ainsi être prolongée.

Une détente contrariée est, a fortiori, plus dangereuse encore si les réactions continuent pendant l'échappement des gaz.

C'est, d'une part, pour ce motif, et d'autre part, à raison de l'incertitude qui règne encore au sujet de l'explosif de sûreté que la réglementation belge n'a admis l'extension du minage aux mines les plus dangereuses que moyennant la superposition des moyens de sécurité : c'est-à-dire moyennant l'emploi de l'explosif de sûreté, combiné avec l'emploi du bourrage extérieur ou de la gaine de sûreté, de manière à surcharger le milieu de poussières ou de vapeurs extinctrices.

Dans les tirs en veine, dans les couches à grisou, la charge doit être isolée des parois du fourreau par une gaine de 5 millimètres d'épaisseur.

Un explosif de sûreté ne peut être déterminé que pour une section donnée de galerie.

Pour ne pas devoir réduire les charges d'emploi ou la puissance de l'explosif dans une proportion excessive, il convient de déterminer cette charge d'emploi dans une

section de galerie qui se rapproche des sections normales des galeries de mine, deux mètres carrés par exemple, de voir si la chute de la charge-limite n'est pas excessive quand on passe à une section de un mètre carré par exemple et de rechercher si, dans cette dernière section, l'emploi du bourrage extérieur ou de la gaine de sûreté remonte largement la charge-limite.

Les explosifs trop sensibles à de légères variations dans les conditions de tir semblent devoir être éliminés et il importe de rechercher les explosifs à charge-limite élevée dans les conditions de tir les plus défavorables.

Les cas dangereux dans le tir en roche semblent être ceux où la mine fait canon et ceux où les parois cèdent avant l'achèvement des réactions. Le tir au mortier sous fortes densités de chargement peut donner d'utiles indications à ce point de vue ainsi que sur le danger des ondes de choc émises par les explosifs.

A Frameries, les explosifs sont essayés au diamètre d'encartouchage de 30 millimètres, en disposant successivement des charges croissantes en une, deux et trois files, dans le mortier de 55 millimètres. Dans le tir en trois files, la section du mortier est entièrement occupée. La charge arase le bord du fourneau. Ces résultats seront contrôlés incessamment par le tir de charges allongées de cartouches au diamètre normal de 30 millimètres dans un mortier de 33 millimètres.

Une charge-limite élevée dans les conditions de tir qui paraissent les plus défavorables, donne vraisemblablement des garanties de sécurité, car, d'une manière générale, le tir en rocher est moins dangereux et il n'est pas d'exemple que le bourrage ordinaire n'améliore pas la charge-limite dans une certaine proportion. En Belgique, les explosifs qui n'arrivent pas à une charge d'emploi de 900 grammes ne sont plus pris en considération.

Les indications de la photographie sur l'aptitude de l'explosif à donner ou non de grandes flammes ne peuvent pas être négligées. Les explosifs qui donnent de grandes flammes doivent toujours être tenus comme suspects. Les explosifs à charge-limite élevée donnent des flammes peu développées. Une flamme réduite ne doit cependant pas être considérée comme un critérium de sécurité. Les photographies doivent être faites à l'intérieur d'une galerie, en raison de l'influence des parois de celle-ci. Les photographies face au canon détaillent mieux les flammes que les photographies longitudinales, et peuvent se faire dans la galerie même. Des mesures de durée de flammes et la cinématographie des flammes seraient d'un très grand intérêt à la condition de pouvoir être faites à l'intérieur de la galerie d'essai.

Conformément aux préceptes de la Commission Française les explosifs à excès de combustibles doivent être écartés et il y a lieu de tenir compte dans une certaine mesure de la température de détonation sans que cette température puisse être considérée comme un critérium de sécurité.

Bien que la question soit très peu avancée, il semble qu'on puisse commencer à se préoccuper des sources du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène de l'explosif, des proportions relatives de ces éléments et de la proportion d'azote, en vue d'arriver à une flamme aussi homogène et de durée aussi courte que possible, et aussi en vue d'éviter que certaines réactions prennent l'avance sur les autres et qu'il se forme des composés qui se modifient ensuite. Les positions relatives des atomes des constituants de l'explosif, dans leurs molécules peuvent fournir certaines indications à ce sujet.

Enfin il semble désirable que les explosifs renferment une certaine proportion de sels alcalins volatilisables.

La détermination directe des explosifs de sûreté au moyen d'essais en roche, demande toute une étude préliminaire effectuée avec des explosifs variés. Il faut arriver à déterminer les cas dangereux. Tout ce qu'on peut dire jusqu'à présent c'est que dans les terrains tendres faciles à broyer les mines paraissant moins dangereuse que dans les terrains durs qui donnent des blocs.

Nous avons eu l'occasion d'examiner dans les charbonnages deux mines qui avaient allumé le grisou ou les poussières de charbon. L'une d'elle, forée à front d'une voie en direction, coupée dans le mur de la couche, avait simplement soulevé le banc de mur, qui était retombé en place. L'autre forée également à front d'une voie en direction, coupée en mur, avait simplement jeté latéralement un bloc de roche triangulaire limité d'un côté par une cassure naturelle.

Les essais dans des canons de pierres ou de béton sont de peu d'intérêt car la fragmentation est grande. Ils sont beaucoup moins dangereux que les tirs au mortier.

Les explosifs destinés au tir en veine peuvent être utilement tirés, au mortier, à l'intérieur d'une gaine en poussières de charbon. En Belgique les explosifs-couches doivent avoir une charge-limite d'au moins 300 grammes dans les tirs à air libre et de 900 grammes dans les tirs au mortier.

Pour éviter les détonations anormales, les culots et les déflagrations fusantes il faut que les explosifs aient une bonne aptitude à la détonation. A ce point de vue un excès de nitrate d'ammonium paraît à déconseiller.

La présente note est une tentative de poser dans son ensemble le problème de l'explosif de sûreté. On commence

à entrevoir l'orientation à donner aux recherches, mais la tâche des stations d'essais est encore bien lourde.

En terminant qu'il ne soit permis d'émettre un vœu en faveur du rétablissement de la Conférence internationale des directeurs des Stations d'essais, afin d'arriver à la coordination des efforts.

Numéros des essais	Nature de l'explosif employé	Nombre de cartouches de 100 grammes d'explosif		Diamètre des cartouches d'explosif		Diamètre de la gaine de sûreté		Épaisseur des fonds masquant les bouts de la charge		Poids de matières extinctrices par 100 gr. d'explosif		Proportion des grison		Résultats des essais		OBSERVATIONS ○ Pas d'inflammation ● Inflammation
		de	100 grammes d'explosif	m/m	m/m	m/m	m/m	gr.	%	gr.	%	○	●			

Tableau I. — Fluorure de Calcium. — Tir à air libre.

1	Dynamite no 1 à 75 % de Nitroglycérine . . .	2	30	50	sans fonds	337	8	●	Inflammation
2	id.	2	30	55	sans fonds	482	8	○	Pas d'inflammation
3	id.	2	30	40	2 fonds de 20	215	8	●	Inflammation
4	id.	2	30	42	2 fonds de 15	200	8	●	id.
5	id.	2	30	44	2 fonds de 15	250	8	●	id.
6	id.	2	30	45	2 fonds de 15	285	8	○	Pas d'inflammation
7	id.	2	30	45	2 fonds de 15	300	8	○	Inflammation
8	id.	2	30	50	2 fonds de 15	350	8	○	Pas d'inflammation

Tableau II. — Sulfate de Baryum. — Tir à air libre.

9	id.	2	30	45	2 fonds de 15	310	8	●	Inflammation
10	id.	2	30	50	2 fonds de 15	460	8	○	Pas d'inflammation

Tableau III. — Schistes rouges. — Tir à air libre.

11	id.	2	30	50	2 fonds de 25	242	8	●	Inflammation
12	id.	2	30	53	2 fonds de 15	350	8	○	Pas d'inflammation
13	id.	2	30	55	sans fonds	352	8	○	Inflammation
14	id.	2	30	60	sans fonds	423	8	○	Pas d'inflammation

Tableau IV. — Chlorure de Sodium. — Tir à air libre.

15	id.	2	30	45	2 fonds de 15	237	8	○	Pas d'inflammation
16	id.	2	30	40	2 fonds de 15	140	8	○	id.
17	id.	2	30	40	sans fonds	120	8	○	id.
18	id.	2	30	35	sans fonds	65	8	●	Inflammation
19	id.	2	30	40	sans fonds	101	8	○	Pas d'inflammation

Tableau V. — Borax en poudre. — Tir à air libre.

20	id.	2	30	35	sans fonds	60	8	●	Inflammation
21	id.	2	30	40	sans fonds	92	8	●	id.
22	id.	2	30	45	sans fonds	150	8	●	id.

Tableau VI. — Acide borique. — Tir à air libre.

23	id.	2	30	40	sans fonds	50	8	●	id.
24	id.	2	30	50	sans fonds	125	8	●	id.

Tableau VII. — Sulfate de Calcium anhydre. — Tir à air libre.

25	id.	2	30	50	sans fonds	262	8	●	id.
26	id.	2	30	55	sans fonds	336	8	●	id.

Tableau VIII. — Cryolithe. — Tir à air libre.

27	id.	2	30	40	2 fonds de 20	178	8	○	Pas d'inflammation
28	id.	2	30	35	2 fonds de 20	145	8	○	id.
29	id.	2	30	32	2 fonds de 20	85	8	○	id.
30	id.	2	30	35	sans fonds	110	8	○	id.
31	id.	2	30	32	sans fonds	67	8	●	Inflammation
32	id.	2	30	35	sans fonds	82	8	●	id.
33	id.	2	30	37	sans fonds	115	8	○	Pas d'inflammation

Tableau IX. — Cryolithe. — Tir au mortier.

34	id.	4	30	35	sans fonds	82	8	○	id.
35	id.	4	30	35	sans fonds	80	8	○	id.
36	Dynamite gomme no 1	4	28	32	sans fonds	72	8	○	id.
37	id	8	25	35	sans fonds	100	8	○	Mélange de Cryolithe 50 % de Chl. sodium 50 %
38	id.	8	25	35	sans fonds	75	8	○	Mélange de Cryolithe 25 % de Chl. sodium 75 % Pas d'inflammation

Numéros des essais	Nature de l'explosif employé	Nombre de cartouches		Diamètre des cartouches d'explosif		Diamètre de la gaine de sûreté		Épaisseur des bouts masquant les bouts de la charne		Poids de matières extérieures par 100 gr. d'explosif		Proportion des grison		Résultats des essais		OBSERVATIONS ○ Pas d'inflammation ● Inflammation
		de	100 grammes d'explosif	m/m	m/m	m/m	m/m	gr.	%	gr.	%	○	●			

Tableau X. — Fluorure de Sodium. — Tir à air libre.

39	Dynamite no 1 à 75 % de Nitroglycérine	2	30	37	sans fonds	75	8	○								Pas d'inflammation
40	id.	2	30	35	sans fonds	61	8	○								id.
41	id.	2	30	37	sans fonds	86	8	○								id.
42	id.	2	30	37	sans fonds	83	8	○								id.
43	id.	2	30	37	sans fonds	82	8	○								id.

Tableau XI. — Fluosilicate de Sodium. — Tir à air libre.

44	id.	2	30	37	sans fonds	97	8	○								id.
45	id.	2	30	35	sans fonds	80	8	○								id.
46	id.	2	30	35	sans fonds	78	8	○								id.
47	id.	2	30	35	sans fonds	72	8	●								Inflammation

Tableau XII. — Fluorure d'Aluminium. — Tir à air libre.

48	id.	2	30	40	sans fonds	75	8	●								Inflammation
49	id.	2	30	50	sans fonds	142	8	●								id.
50	id.	2	30	58	sans fonds	230	8	○								Pas d'inflammation

Tableau XIII. — Fluorure de Sodium. — Tir au mortier.

51	Dynamite gomme no 1	4	28	35	sans fonds	73	8	○								id.
52	Dynamite no 1	4	30	37	sans fonds	81	8	○								id.

Tableau XIV. — Fluorure d'Aluminium. — Tir au mortier.

53	Dynamite no 1	4	30	40	sans fonds	72	8	●								Inflammation
----	---------------	---	----	----	------------	----	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--------------

Tableau XV. — Cryolithe 40 %. — Chlorure de Sodium 60 %. — Tir à air libre.

54	Dynamite no 1	2	30	35	sans fonds	62	8	○								Pas d'inflammation
55	id.	2	30	35	sans fonds	68	8	○								id.

Tableau XVI. — Cryolithe 60 %. — Fluorure de Sodium 40 %. — Tir à air libre.

56	Dynamite no 1	2	30	35	sans fonds	75	8	○								Pas d'inflammation.
----	---------------	---	----	----	------------	----	---	---	--	--	--	--	--	--	--	---------------------