

MÉMOIRE

Remarques sur quelques causes d'inflammation du grisou

par A. SEGAY.

Ingénieur.

Administrateur-gérant de la Société Anonyme La Sabulite Belge.

I. — Inflammation par les particules solides

Des multiples théories qui ont été proposées sur l'inflammation du grisou par les explosifs, la dernière en date a été présentée par M. Audibert, directeur de la Station d'Essais de Montluçon, et met en cause principalement l'action des matières solides de l'explosif non complètement détoné au passage de l'onde explosive (1).

Un des principaux arguments apportés en faveur de cette idée est l'identité presque totale observée entre l'ouverture du cône d'allumage (c'est-à-dire du cône dans lequel l'interposition d'un écran de même dimension que la base du cône produit l'extinction) et l'ouverture de la gerbe de projection 1/2 (c'est-à-dire à l'intérieur de laquelle se groupe la moitié des particules solides).

Dès l'apparition de cette théorie, nous avons émis des doutes sur sa validité (2) en nous basant sur les faits expérimentaux qui avaient été décrits. Nous avons fait notamment l'hypothèse qu'une partie au moins des traces de perforation observées sur les écrans venait non de projection de matières solides non encore décomposées et tenues à cet état par une trop grande pression, mais simplement d'explosif non détoné pour une cause mécanique; par exemple, dans le tir à l'air libre, les parties périphériques de la cartouche ou, dans le tir au canon avec amorçage antérieur, cer-

(1) AUDIBERT, *Revue de l'Industrie Minérale*, janvier 1929 et *Annales des Mines*, 1929, 4^e livraison.

(2) A. SEGAY, *Annales des Mines de Belgique*, 4^e livraison, 1928, p. 966.

taines parties voisines du détonateur, pouvant même représenter un poids assez considérable si le détonateur est enfoncé jusqu'au bout dans la cartouche, comme il est d'usage.

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons ultérieurement effectué quelques tirs en employant les écrans indiqués, c'est-à-dire, pour une distance de 80 centimètres de la bouche au canon, une tôle de fer de 0,6 millimètre d'épaisseur. L'explosif employé étant de la grisoudynamite roche (70 % de nitrate d'ammoniaque et 30 % de nitroglycérine gélatinée) tirée à la bouche du canon avec amorçage antérieur — canon de 30 millimètres, cartouche de même diamètre.

Dans ces conditions, on a obtenu sur l'écran 231 empreintes avec le détonateur complètement enfoncé dans la cartouche, et 388 avec le détonateur enfoncé de telle sorte que le fulminate seul soit à l'intérieur de la cartouche. Or, on sait, au contraire, par des expériences antérieures faites en plaçant le canon dans une chaudière à mesure de pression, que le second dispositif correspond, en général, à une détonation plus complète de l'explosif. Il était dès lors très douteux que les empreintes observées correspondent à de l'explosif non détoné pour une cause quelconque.

Pour vérifier si effectivement l'explosif non détoné est incapable d'impressionner les écrans dans les conditions des expériences, nous avons tiré 100 grammes d'Amatol, amorçage antérieur au fond du canon, et obtenu 158 empreintes; puis 100 grammes du même Amatol additionné de 15 grammes de sable, de même grosseur de grains que le nitrate d'ammoniaque (environ 0,2 millimètre de diamètre). Dans ces conditions, nous n'avons plus obtenu que 102 empreintes. Avec 100 grammes d'Amatol additionné de 15 grammes de sable relativement gros (environ 0,5 millimètre de diamètre), on trouve 81 empreintes.

Comme le quartz est incomparablement plus dur que le nitrate d'ammoniaque et possède une densité supérieure, la preuve est ainsi faite que les composants normaux d'un explosif en général sont incapables de faire des empreintes sur les plaques de fer dans les conditions des essais.

Le nombre des empreintes retrouvées est d'ailleurs très difficile à apprécier, car, à côté des empreintes très nettes, il y en a un nombre beaucoup plus grand de toutes petites qu'on est forcé de négliger en partie, de sorte que les nombres indiqués ne sont que très approximatifs et pris seulement en comptant les emprein-

tes d'une taille choisie arbitrairement, mais autant que possible toujours la même. De plus, il y a un nombre extrêmement grand d'empreintes venant du détonateur; avec les plaques de fer, ces marques sont cuivrées et par conséquent faciles à reconnaître. Par exemple, dans l'essai cité plus haut, avec 100 grammes d'Amatol où l'on avait compté 158 empreintes, on trouve en outre 1.790 marques de même taille dont le pourtour est cuivré, venant, par conséquent, du détonateur. Comme le poids total de la douille de cuivre du détonateur est d'environ 1,2 grammes, cela donne une idée de l'ordre de grandeur du poids de matières solides qui ont participé au phénomène en dehors du détonateur.

Avec les plaques de zinc, toutes les empreintes ont le même aspect et on ne peut différencier celles qui viennent du détonateur. Pour échapper à cet inconvénient, on a fait l'amorçage avec une quantité de l'ordre de 5 à 6 grammes de fulminate d'argent allumé avec une mèche. Toutefois, la plupart des explosifs ne détonant pas dans ces conditions, il a fallu employer un petit relai de dynamite guhr.

Il restait à déterminer la nature des empreintes relevées sur les plaques de fer, puisqu'elles ne pouvaient être attribuées à l'explosif lui-même. Etant donné que dans les tirs à l'air libre ces empreintes n'apparaissent pratiquement pas sur une plaque de fer à une distance de 20 centimètres, on est conduit à penser qu'il s'agit, dans la circonstance, de débris d'acier arrachés au canon. Pour le confirmer, nous avons tiré comparativement, avec amorçage au fulminate d'argent :

100 grammes de grisoudynamite-roche et obtenu 388 empreintes;

100 grammes de grisoudynamite-roche additionnés de 15 grammes de limaille de fer mélangé à l'explosif, et obtenu 1.384 empreintes, plus un grand nombre de très petites non comptées;

100 grammes de grisoudynamite-roche placés dans une cartouche de 27 millimètres et 15 grammes de limaille de fer versés dans l'espace vide entre la cartouche et le canon, et l'on a trouvé dans ces conditions 2.996 empreintes, sans compter un très grand nombre, plusieurs milliers, de toutes petites qui n'ont pas été comptées.

On voit que les empreintes observées viennent bien de particules d'acier arrachées au canon, et, d'autre part, que cet matériau elle-même est réduite en poudre plus ou moins fine, ou partiellement brûlée lorsqu'elle est placée au sein de l'explosif. D'autre part, on observe parfois sur les écrans, dans les tirs avec addition

de sable ou de limaille de fer, des espèces de nuages qui rappellent un peu la voie lactée dans une carte du ciel. Ces nuages examinés à la loupe ou au microscope sont constitués par les produits ajoutés à l'explosif qui ont été porphyrisés et sont restés adhérents à l'écran. Ils sont répartis en général de façon tout à fait irrégulière, mais plutôt concentrique à l'axe du canon; il semble qu'ils correspondent à des jets de gaz et ils montrent un grand état de division de la matière à l'intérieur de ces jets.

Le fait que les empreintes observées dans le tir au canon ne viennent pas de l'explosif n'est pas une preuve contre la théorie avancée par M. Audibert des inflammations par les particules solides d'explosif non détoné au passage de l'onde. Il n'y a, en effet, aucune raison de mettre en doute l'existence de celles-ci, cette existence étant, d'une part affirmée par la théorie, et, d'autre part confirmée par l'étude expérimentale des décompositions d'explosif.

D'autre part, il est vraisemblable que la fraction de l'explosif non décomposé au passage de l'onde qui n'aura pas eu le temps de passer à l'état gazeux à l'intérieur du canon, et qui sera projeté à l'état encore solide à l'extérieur de celui-ci, le sera suivant une gerbe qui aura la même répartition que celle que nous avons observée en ajoutant des particules de fer uniformément réparties dans l'explosif. Or, nous avons constaté qu'il n'y a pas de différence appréciable dans la répartition de la gerbe provenant des limailles réparties dans l'explosif et de celle provenant des limailles disposées au pourtour de la cartouche, comme ce serait le cas des particules venant du canon. On peut en conclure que, bien que non traçables matériellement, les particules solides de l'explosif non détoné qui sont projetées en dehors du canon suivent éventuellement la même loi de répartition qui a été observée par M. Audibert; il n'y a, par conséquent rien de changé aux conclusions qu'il tire de cette répartition et de la coïncidence avec l'extinction produite par l'interposition d'un écran de même ouverture que la gerbe, sauf toutefois quant à la distance de projection, car, il n'y a plus aucune preuve matérielle qu'il y ait des particules d'explosif restant encore à l'état solide à la distance de 1^m,20 du bord du canon. La chose peut même paraître extrêmement peu probable.

On a vu, en effet, qu'une matière aussi dure que le quartz placée à l'intérieur de l'explosif est complètement porphyrisée. Il

est donc logique d'admettre qu'un corps tendre comme le nitrate d'ammoniaque sera réduit à un bien plus grand état encore de division, ce qui lui permettra, vu la haute température, de prendre la forme gazeuse aussitôt que les circonstances de pression le lui permettront.

En fait, la question reste ouverte de différencier l'action des jets de flammes et des jets de matières solides.

Toutefois, un argument sérieux peut s'ajouter à ceux que nous avons émis dans l'étude déjà citée en faveur des inflammations par les jets de flammes. En effet, l'on sait qu'un des facteurs principaux de l'inflammation du grisou par les matières solides est une grosseur appréciable des grains, et il est fort peu vraisemblable d'admettre qu'on puisse avoir encore des inflammations par des particules solides à une distance qui a été indiquée de 1^m,20 de l'embouchure du canon, étant donné l'état de division extrême qu'elles ont pris, et si tant est surtout qu'elles puissent exister encore à ce moment à l'état solide.

Il faut naturellement excepter de cette dernière remarque les quantités de l'explosif non détoné pour une cause mécanique comme celles citées plus haut, correspondant à certaines parties de la cartouche avoisinant le détonateur; celles-ci sont probablement projetées sans modifications, comme le serait une espèce de bourrage. Il est permis de supposer que ces fragments d'explosifs non détonés pour une cause mécanique pourraient correspondre aux matières solides précédant la flamme que l'on observe sur les remarquables photographies obtenues par les expérimentateurs du Safety in Mines Research Board (3).

Les flammes, à l'exclusion de l'intervention de toute matière solide allument très facilement le grisou et nous avons montré (loc. cit. p. 968) que leur seule action peut parfaitement expliquer les nouveaux faits d'expérience décrits par M. Audibert, notamment le fait que l'interposition d'un écran de diamètre convenable placé dans l'axe du canon à une distance convenable empêche l'inflammation du grisou. Il suffit, en effet, d'observer que les jets de flammes de la détonation lancés dans l'axe même du canon ont très probablement une concentration et une vitesse de pénétration dans le milieu grisouteux supérieures aux jets de flam-

(3) The problem of the safe use of coal mining explosives, W. PAYMAN, *Transactions of the Institution of Mining Engineers*. Vol. LXXV. Part. 2, pp. 191 à 213, 1928.

mes de la périphérie, ce qui doit les rendre plus dangereux, et qu'il suffit de bouleverser ces conditions par l'interposition d'un écran pour rendre cette partie centrale semblable aux autres, ce qui produit l'extinction; les mêmes causes qui tendent à disperser et arrêter les jets de particules solides ayant en même temps pour effet de disperser les jets de flammes et de les arrêter. Rien donc ne permet jusqu'à présent de décider d'une manière formelle en faveur d'une cause ou d'une autre, bien que l'hypothèse de l'inflammation par les jets de flammes paraisse infiniment plus vraisemblable, pour les causes indiquées plus haut.

II. — Inflammation par suite d'un mauvais fonctionnement de l'explosif.

Dans l'étude déjà citée plus haut (4), nous sommes arrivés à la conclusion que les explosifs antigrisouteux analogues à ceux employés en Belgique, ainsi que dans les principaux pays miniers en général, sont incapables d'allumer le grisou dans un coup de mine normal, quelle que soit d'ailleurs la faiblesse de résistance de la roche par rapport à la surcharge d'explosif employé. Nous avons également essayé un certain nombre de dispositifs que l'on pouvait supposer être susceptibles d'augmenter le danger et dont aucun n'a apporté d'augmentation sérieuse de la facilité d'inflammation.

Tous ces dispositifs étaient plutôt d'ordre mécanique, et devant ces insuccès, nous avons cherché dans une autre voie : celle du fonctionnement anormal de l'explosif. On sait, en effet, que les explosifs S. G. P. en général laissent assez facilement des culots de mine par suite notamment de prise d'humidité, durcissement ou trop grande compression de la cartouche. L'onde explosive s'arrêtant à un endroit de la file de cartouches, il est permis de supposer qu'il pourrait se produire une phase intermédiaire de combustion de second ordre, capable de donner lieu à des décompositions incomplètes et même des déflagrations pouvant persister un temps assez long.

Ce cas, qui est classique en présence de poussières de charbon, est tout à fait difficile à réaliser en l'absence de celles-ci. Toutefois, M. Audibert cite un cas de déflagration fusante d'un explosif de sûreté dans un trou foré au rocher qui a eu lieu dans une

(4) A. SEGAY. Contribution à l'étude des explosifs antigrisouteux, *Annales des Mines de Belgique*, 4^e livraison, 1928.

mine française (5). Il cite, d'autre part (6), des exemples d'empoisonnements dus à des vapeurs nitreuses provenant de détonations incomplètes de grisoudynamite-couche. Ceci montre que, dans ce cas, l'explosif n'a pas suivi son régime de détonation usuel. Il fallait donc chercher ce qui arriverait si ces cas se présentaient en présence de grisou. Une étude expérimentale du fonctionnement anormal de l'explosif avait déjà été faite par H. Schmerber (7) principalement en présence de charbon.

Nous avons commencé par établir un dispositif permettant de faire brûler n'importe quel explosif au nitrate d'ammoniaque. Or, l'on sait que ceux-ci sont très réfractaires à la combustion; ainsi, par exemple, si l'on y plonge un fer rouge, la combustion s'arrête presque toujours aussitôt qu'on retire le fer, par suite de la déperdition de chaleur.

Nous avons donc introduit une cartouche dans un tube en tôle entouré de sable qui était au préalable porté à la température suffisante pour que la combustion continue après avoir été amorcée par le contact d'un fer rouge pendant un temps déterminé et uniforme pour rendre les expériences comparables. C'est la température du sable nécessaire à entretenir la combustion qui permet d'avoir une comparaison de la facilité de l'explosif à brûler.

Nous avons ainsi constaté que le charbon est de beaucoup le corps qui favorise le plus la combustion, ce qui était à prévoir; la nitroglycérine la favorise également. Les explosifs les plus réfractaires à cet égard étant ceux contenant de toutes petites quantités de corps nitrés aromatique, comme la grisounaphtalite-couche.

De tous les explosifs antigrisouteux qui ont été mis en usage, à part les gélatines à haute teneur en glycérine, nous avons trouvé que celui qui s'enflamme le plus facilement est la Carbonit. Il suffit, en effet, pour cela, de la flamme produite par une tête d'allumage de détonateur, et c'est le seul des explosifs ayant été en usage et que nous avons essayés qui puisse s'allumer de cette façon:

(5) AUDIBERT. Comité Central des Houillères de France, note technique, n° 22, p. 99.

(6) AUDIBERT. Comité Central des Houillères de France, note technique, n° 85, p. 117.

(7) H. SCHMERBER. Recherches sur l'emploi des explosifs en présence du grisou. Extrait du Génie Civil, 1900. Béanger, éditeur.

Nous avons alors créé des types d'explosifs particulièrement aptes à déflager, et avons cherché, soit par compression ou prise d'humidité, à les faire détoner de telle façon que la détonation s'arrête en route et qu'une partie de la cartouche reste intacte.

En opérant soit à l'intérieur du canon, soit à l'intérieur d'un tube, il nous a été totalement impossible d'arriver à réaliser un seul cas, en dehors de la présence de charbon, où la détonation se transforme en déflagration et où il y ait inflammation du grisou.

Cette étude préliminaire devrait être continuée dans le terrain, dans les conditions de la pratique, mais il apparaît bien que ce doit être extrêmement difficile. Il ne faut pas s'en étonner, si l'on pense que plusieurs millions de mines sont tirées journellement dans le monde dans les charbonnages grisouteux, dont un assez grand nombre encore en présence de gaz et qui, malgré cela, le nombre des inflammations est en somme très réduit.

Etant donné cette circonstance et l'extrême difficulté où l'on se trouve actuellement de poursuivre cette étude par l'expérimentation, il est légitime de s'adresser à l'observation et l'étude des statistiques d'accidents produits par les explosifs a une grande valeur.

En l'appliquant au cas que nous avons envisagé, l'inflammation par suite d'un mauvais fonctionnement ou d'une déflagration de l'explosif, nous avons vu que la Carbonit est, et de beaucoup, l'explosif courant le plus facile à faire brûler. Cet explosif qui a été employé autrefois et pendant de longues années d'une façon extrêmement extensive en Allemagne, n'y a pas, semble-t-il, produit plus d'accidents, au contraire que ceux survenus depuis qu'il est remplacé par d'autres explosifs qui sont beaucoup plus difficiles à faire flamber.

Par contre, M. Audibert signale (8) que, en 36 ans, cinq accidents ont été produits par le tir de grisodynamite et aucun par les grisounaphtalites. Or, ces derniers sont sensiblement plus employés que les premiers et beaucoup plus difficiles à faire flamber. On voit que ceci fournit une indication exactement contraire de celle fournie par la Carbonit, par conséquent, dans ces conditions, on ne peut guère, quant à présent, conclure dans un sens ou dans l'autre que la déflagration éventuelle de l'explosif soit ou non la cause probable des inflammations observées. Le pro-

(8) AUDIBERT. *Comité Central des Houillères de France*, note technique, n° 22, p. 118.

blème reste donc entier, et c'est le seul qui ait une réelle importance pratique, de savoir pourquoi de toutes petites charges d'explosif, souvent une seule cartouche, enflamment parfois le grisou dans la mine, alors que de fortes charges du même explosif n'enflamment pas dans les galeries d'essais au cours d'épreuves réputées à juste titre très sévères.

Dans le septième « Annual Report of the Safety in Mines Research Board », il est mentionné (9) que le professeur Dixon a découvert à l'Université de Manchester que :

« De tout à fait petites traces de peroxyde d'azote abaissent considérablement la température d'ignition du méthane. Par exemple, dans des expériences comparatives, cette température a été réduite de 730° à 630° C. par la présence d'une aussi petite quantité que 0,1 % de peroxyde d'azote. L'importance de cette découverte vis-à-vis de l'ignition des explosifs est évidente, car beaucoup d'explosifs fournissent des traces de peroxyde d'azote pendant leur détonation. Les produits gazeux chauds de quelques types d'explosifs pourraient, par conséquent, être plus capables d'enflammer le grisou qu'il n'a été suspecté jusqu'ici. »

Nous avons vu plus haut qu'il peut se produire des cas anormaux où la grisodynamite-couche a provoqué des cas très nets d'empoisonnements par suite de production de vapeurs nitreuses. Un cas analogue a été également signalé en Belgique avec un explosif brisant.

On pouvait donc supposer connaître enfin une cause d'inflammation se produisant dans les conditions de la pratique. Nous avons cherché à le vérifier en introduisant du peroxyde d'azote liquide dans des tubes en verre scellés qui étaient placés à l'intérieur et aux abords de cartouches placées dans le canon. Ces cartouches de grisou-tolite-couche composées de 93 % nitrate d'ammoniaque et 7 % Trinitrotoluène enflammaient le grisou à la charge de 125 grammes et non de 112. Par addition de 4,5 jusque 19,5 grammes de peroxyde d'azote dans une charge de 75 grammes de cet explosif, nous n'avons réussi, en aucun cas, à allumer le grisou quoique l'atmosphère de la galerie soit devenue tout à fait irrespirable. Il en a été de même par l'addition de 9 grammes de peroxyde d'azote à une charge de 100 grammes du même explosif. On voit d'après ce dernier cas, que l'action du peroxyde

(9) Page 26.

d'azote, s'il en avait une, serait en tout cas extrêmement faible et parfaitement négligeable dans la pratique.

Il ne semble donc pas qu'il y ait beaucoup de chances de trouver là une réponse au problème qui a été posé plus haut d'expliquer les inflammations inexplicables observées dans les mines. Toutefois, il semble que la question mériterait d'être réinvestiguée de près dans les conditions mêmes de tir dans la roche.

III. — Inflammation par les étincelles d'exploseurs

La difficulté de trouver une cause aux inflammations du grisou par les explosifs observées dans les mines, attire de nouveau l'attention sur une cause possible qui a été étudiée à fond par M. Taffanel et ses collaborateurs dans des essais faits en 1912 et 1913 et relatés dans une admirable étude d'ensemble sur le tir électrique parue aux « Annales des Mines » en 1919 (10).

Au début de cette étude, l'auteur signale (p. 10) qu'il était survenu en 1912, dans une mine du Pas-de-Calais, une flambée de grisou au moment du tir d'une mine et qu'il était tout à fait difficile d'admettre, étant donné les circonstances du tir, que l'explosif était en cause. Après avoir vérifié que le courant fourni par l'exploseur donnait des étincelles capables d'allumer un mélange grisouteux, l'auteur a émis l'hypothèse d'une inflammation par la ligne de tir.

« Il suffit alors d'admettre que les fils de ligne avaient été projetés par le tir dans une région grisouteuse, tandis que l'exploseur fonctionnait encore, et y avaient produit une étincelle enflammant le grisou. »

Nous connaissons, pour notre part, un cas tout à fait analogue en Belgique où une flambée de grisou s'est produite en 1924 dans des circonstances telles qu'il était impossible d'incriminer l'explosif et où pourtant, d'après les témoins, la flambée s'était produite sur le coup de manivelle de l'exploseur.

La même hypothèse venait donc immédiatement à l'idée; toutefois, ce qui a empêché d'y donner suite à l'époque, c'est que M. Taffanel indiquait n'avoir observé d'inflammation dans aucun cas avec l'exploseur « boutefeu » petit modèle qui est un appareil de 3 à 5 mines, pesant 1,5 kilogramme, c'est-à-dire tout à fait

(10) Note sur le tir électrique, par MM. TAFFANEL, DAUTRICHE, DURR et PERRIN. *Annales des Mines*, 1^{re} et 2^e livraisons, 1919.

analogue comme dimensions aux exploseurs couramment employés dans les mines belges.

Il n'avait obtenu d'inflammation qu'avec des appareils de 25 et 30 mines pesant respectivement 12 et 7,5 kilogrammes, c'est-à-dire des appareils qui ne sont pas employés couramment dans les mines belges; et encore l'inflammation n'était-elle pas obtenue pour une résistance extérieure supérieure à 1 et 2 ohms, c'est-à-dire pour des longueurs de câble de mine double de 14 et 27 mètres seulement.

La Commission Anglaise avait toutefois signalé (11) que des étincelles de rupture mettant en jeu de très petites quantités d'énergie étaient néanmoins capables d'enflammer le grisou.

Devant l'intérêt manifeste de la question, nous avons repris l'étude des étincelles produites par les petits exploseurs, et avons employé une boîte en fer d'environ un litre et demi que l'on remplit de mélange grisouteux par déplacement d'eau. Un fil de cuivre de détonateur de 0,6 millimètre de diamètre est tendu en travers de la boîte; un autre fil semblable est soudé au bout d'un gros fil de fer passant à travers un bouchon et coudé de façon à pouvoir servir de manivelle, ce qui permet d'amener les deux fils en contact et de le rompre à volonté. Une glace épaisse permet d'observer les étincelles à l'intérieur. Quant on fait tourner la manivelle de l'exploseur et que presque en même temps on rompt le circuit, on observe des étincelles plus ou moins grandes suivant le moment précis où l'on a rompu le circuit par rapport à la course de l'induit de l'exploseur. La plupart de ces appareils portent d'ailleurs un dispositif qui ne lance le courant dans le circuit qu'à partir du moment où la manivelle a atteint une certaine position, en général presque à la fin de sa course, mais l'induit continue sa rotation et fournit encore du courant pendant un certain temps.

Nous avons essayé des exploseurs de différentes origines avec les résultats suivants, qui peuvent d'ailleurs être très différents suivant un certain nombre de circonstances encore mal déterminées, mais parmi lesquelles il semble que l'angle de séparation des fils joue un rôle important.

Exploseurs A. — Construction autrichienne, 6 coups de mines, dynamo-électrique, type B. D. K., pesant 2 kilogrammes, enflam-

(11) *Electrical exploders for Shot-firing in Coal Mines*. Safety in Mines Research Board, paper n° 11, 1925.

me le grisou (9 %) après avoir observé une petite étincelle qui ne l'enflamme pas.

Exploseurs B. — Même construction, 3 à 5 coups de mines, magnéto-électrique, type B. M. N. pesant 1,6 kilogramme, quelques petites étincelles, puis inflammation.

Même résultat, plus difficilement, avec du grisou à 7 % et une longueur de câble double de 177 mètres, correspondant à une résistance de 13,5 ohms en ligne.

Même résultat, mais avec une beaucoup plus grande difficulté avec un mélange à 9 % de grisou et une longueur de câble double de 380 mètres, correspondant à une résistance de 28,5 ohms; en augmentant la longueur du câble de 50 mètres, on n'observe pas d'inflammation avec 50 coups de manivelle.

Ce type d'exploseur est de beaucoup le plus répandu en Belgique.

Exploseur C. — Construction allemande, 5 coups de mines, pesant 1,5 kilogramme, très employé en Allemagne et dans la Sarre. Inflammation facile du grisou après quelques petites étincelles. Il n'enflamme plus au bout d'une ligne de 225 mètres (17 ohms).

Exploseur D. — Même construction, 10 coups de mines, pesant 2,3 kilogrammes. Inflammation facile du grisou à la première étincelle.

Exploseur E. — Construction française, 3 à 5 coups de mines, pesant 1,3 kilogramme, portant la mention « Approuvé par la Commission du grisou ». Très employé en France. Enflamme très facilement au bout d'une ligne de 375 mètres (28,5 ohms). Enflamme facilement au bout d'une ligne de 675 mètres (51 ohms). L'inflammation est moins facile avec 925 mètres (70 ohms). Elle devient très difficile, mais s'est encore produite, avec 1,175 mètres de câble double (88 ohms).

Cet exploseur est par conséquent, et de beaucoup, le plus dangereux de ceux essayés ci-dessus. Il présente même une particularité remarquable, c'est qu'au bout d'une ligne de 675 mètres, il est déjà incapable de faire partir un seul détonateur de sensibilité moyenne, alors que les étincelles qu'il produit dans ces conditions allument encore facilement le grisou. Cela peut paraître inattendu, mais s'est produit également avec l'exploseur suivant :

Exploseurs F. — Construction anglaise de 1920, 2 coups de mines, pesant 1,5 kilogr., portant la mention « Permitted Exploder » (autorisé en Angleterre dans les mines grisouteuses). Le cas de cet exploseur est extrêmement typique; en effet, il avait été réformé comme donnant lieu trop souvent à des ratés, même pour un seul détonateur. En fait, son axe ainsi que plusieurs dents de la couronne étaient usés, de sorte qu'on ne pouvait plus donner à la manivelle qu'un mouvement lent. Dans ces conditions, il était incapable de faire partir un détonateur de sensibilité moyenne, quoique encore capable de le faire pour un très sensible. Après un certain nombre de tentatives, nous avons néanmoins encore réussi, quoique assez péniblement, à enflammer le grisou avec une étincelle produite au bout d'une ligne double de 27 mètres correspondant à une résistance de 2 ohms.

Le cas de cet exploseur qui est devenu incapable d'allumer certains détonateurs, mais dont les étincelles continuent à pouvoir allumer le grisou est tout à fait remarquable, et montre que, pratiquement, avec n'importe quel exploseur si petit qu'il soit, l'inflammation du grisou dans la mine est simplement suspendue à la coïncidence d'un certain nombre de facteurs :

1. Qu'il y ait du grisou en proportion allumable;
2. Que les fils soient projetés et que deux parties nues se rencontrent;

3. Qu'elles se séparent à un moment où le courant vient encore de l'exploseur et à une période choisie de la course de l'induit où le courant est suffisamment intense; cette période sera d'autant plus étendue que l'exploseur est plus gros, exemple, l'appareil D à 10 coups, d'où le danger plus grand venant des gros appareils, ou de ceux qui par leur construction, self-induction ou durée de rotation de l'induit allument plus facilement. Comme première approximation grossière sur ce point, on peut prendre comme indication la résistance qu'il faut intercaler dans le circuit pour rendre l'inflammation très difficile dans des conditions identiques.

Quant à la possibilité de contacts postérieurs obtenus sur la ligne de tir, elle a été étudiée d'une façon méthodique par M. Taffenel dans l'étude citée plus haut et à laquelle on ne peut que se reporter.

Rappelons seulement qu'il a établi par des mesures directes que dans les conditions de la pratique la roche commence à s'ébranler

dans un temps très court, qui est de l'ordre d'un millième de seconde après le passage du courant dans le détonateur, et que la vitesse initiale des fragments abattus pourrait approximativement varier entre 1 et 10 mètres. Une vitesse de un mètre correspondant à des trous peu chargés et cassant le massif presque sans déplacement; une vitesse de 10 mètres correspondant à des trous de mine surchargés. Dans les conditions ordinaires, la vitesse initiale moyenne des roches serait de 3 à 5 mètres par seconde.

Si l'on suppose que les ligatures non isolées des fils de détonateur avec les extrémités des câbles de mine n'étaient distantes à l'origine que de 10 centimètres, on voit que l'on peut à la rigueur obtenir un contact entre elles à partir d'un temps variant entre deux et trois centièmes de secondes, compté à partir du départ du détonateur. Or, le courant passe dans l'exploseur pendant une durée beaucoup plus longue qui a été mesurée par M. Taffanel pour divers exposeurs et est en général de plusieurs dixièmes de seconde.

Il restait à vérifier par des observations directes que ces contacts se produisent bien effectivement dans la mine. Ceci a été fait en 1913, entre autres à la fosse n° 3 des Mines de Liévin (loc. cit. p. 197) où sur 11 essais avec un exposeur « boutefeux » de 3/5 mines, on a trouvé deux contacts postérieurs certains, et dans les essais à la fosse n° 4 des Mines de Lens, avec différents exposeurs, où l'on a observé cinq contacts postérieurs certains sur 99 tirs effectués.

A côté des contacts postérieurs se produisant à l'extérieur des trous de mine sur la ligne de tir et qui sont éminemment dangereux, M. Taffanel a distingué d'autres contacts qui se produisent fréquemment à l'intérieur du bourrage et qui sont beaucoup moins dangereux, étant plus ou moins protégés par celui-ci. Par un artifice extrêmement ingénieux, il est arrivé à faire la distinction entre ces deux sortes de contacts et à les enregistrer séparément; les chiffres relevés ci-dessus dans les essais aux Mines de Liévin et de Lens se rapportent uniquement à des contacts extérieurs dangereux. Comme on le voit, ceux-ci ne sont, dans les conditions de la pratique des mines nullement une rareté et l'on ne saurait trop attacher d'importance au fait que ces contacts sont capables d'allumer le grisou avec les exposeurs d'usage courant, même les plus petits.

On a donc une réponse possible au problème indiqué plus haut des tirs qui allument dans la mine et non dans les galeries d'essais. Cela permet en particulier d'avoir une explication raisonnable des inflammations tout à fait anormales qui s'étaient produites assez fréquemment par l'usage d'une seule cartouche. En effet, celles-ci sont souvent employées (par exemple pour le recarrage des voies) dans des cas où une demi cartouche et même moins suffirait, de sorte qu'il peut y avoir, malgré la faible quantité employée, une surcharge relative considérable, d'où grande vitesse de projection de la roche qui facilite le contact très rapide des fils. Une mine surchargée et dans laquelle la charge est très rapprochée de l'orifice du trou de mine, aura une tendance toute particulière à faciliter les contacts postérieurs dangereux, ce qui explique la fréquence relative des accidents de ce genre.

Quels sont les remèdes?

M. Taffanel en indique plusieurs :

1. — Le plus simple consiste à employer des câbles de mine isolés et à isoler également les ligatures de détonateur.

Ceci peut facilement être réglementé; mais, d'autre part, l'isolement des câbles de mine est facilement détérioré aux abords du front par projection de pierres, etc., et d'autre part, il n'y aurait aucune garantie quant à la bonne exécution de l'isolement des ligatures par le boutefeux. Il est donc infiniment préférable de recourir à des mesures automatiques.

2. — Comme mesure de ce genre, M. Taffanel propose d'employer des exposeurs dans lesquels le temps de passage du courant serait limité à une durée de 3 à 5 centièmes de seconde. Il a observé, en effet, dans les conditions de la mine, que les contacts postérieurs dangereux ne se produisent guère avant une durée de l'ordre de ce temps après le départ du détonateur. Il a étudié dans ce sens un exposeur qui avait été modifié par la Société des Mines de Liévin de façon à limiter à un centième de seconde seulement la durée de passage du courant. Malgré cette durée extrêmement réduite, cet exposeur avait, pour le tir des mines en série, une puissance presque égale à celle du même exposeur non modifié. Cela permet de réduire de façon très notable et sans inconvénient sérieux, le risque dû aux étincelles par contacts postérieurs.

Ce risque serait même radicalement supprimé, au lieu d'être seulement réduit, si l'on employait en même temps des détonateurs allumés par des amorces à retard régulier et court, par exemple 5/100 de seconde. Il suffirait pour cela d'interposer une épaisseur à déterminer d'une poudre déflagrant à une vitesse connue, entre la poudre électrique et le détonateur. Dans ces conditions, le courant de l'exploseur limité également à une durée de 5/100 de seconde serait certainement éteint avant que la détonation ait pu commencer à ébranler les fils.

L'adoption d'exploseurs à durée de courant limitée de 3 à 5/100 de seconde a été recommandée en France par une circulaire du Comité Central des Houillères de France en date du 20 octobre 1925. A la suite de cette circulaire, un appareil modifié dans ce sens a été créé par un constructeur, qui a été toutefois d'avis que la limitation à cette durée du passage du courant affaiblissait nettement la puissance de l'exploseur, et que pour conserver cette puissance intacte il fallait faire des modifications assez sérieuses à l'appareil, qui est malheureusement devenu d'un prix assez élevé, et il ne semble pas que son usage se soit répandu d'une façon générale en France.

3. — A côté de ces mesures indiquées par M. Taffanel, la Commission Anglaise (loc. cit.) en a proposé d'autres :

D'abord l'allumage par piles sèches. On sait, en effet, par de nombreux auteurs qu'en l'absence de self-induction une inflammation par le courant continu ne peut se faire qu'avec des intensités ou des différences de potentiel qui ne se rencontrent pas dans la pratique du tir électrique. Par exemple avec une ligne de 1,6 ohms, M. Taffanel (12) n'a pu enflammer avec 24 volts et 14 ampères. Il existe des modèles d'exploseurs à piles sèches de ce genre ayant un poids et un encombrement raisonnables pour un nombre de coups restreint; leur principal défaut apparent étant l'usure des piles.

La Commission Anglaise s'est en outre attachée à produire des exploseurs dont les étincelles soient incapables d'allumer le grisou et y est arrivée pour des appareils de faible puissance. Elle a pour cela employé deux procédés simples, l'augmentation de pertes dans l'armature de l'induit et l'intercalation d'une résistance sans self entre les bornes de l'armature. Ces deux procédés

(12) TAFFANEL, loc. cit. pp. 169 à 172.

sont efficaces, mais affaiblissent sensiblement la puissance de l'exploseur, au moins lorsqu'il s'agit d'un appareil à basse tension, et il semble qu'il ne faille guère compter allumer plus d'un détonateur à la fois, de sorte que l'on ne dispose pas d'une marge appréciable de puissance lorsque l'appareil perd avec l'usage une partie de sa valeur primitive.

On voit qu'il existe déjà plusieurs solutions pratiques permettant de limiter et même de supprimer complètement le risque d'inflammation par les étincelles sur la ligne de tir. Vu l'importance du sujet, il serait désirable de les mettre au point d'une façon tout à fait pratique, et au besoin d'en imaginer d'autres, de façon que leur emploi se généralise de façon exclusive. La sécurité du tir des mines est à ce prix.

RESUME.

I. — Les expériences décrites montrent que les empreintes sur les écrans placés en face de la bouche du canon, et qui avaient été indiquées comme venant de particules solides de l'explosif non détoné au passage de l'onde de détonation, viennent simplement de particules d'acier arrachées au canon.

Cela ne permet pas de décider si l'inflammation du grisou a lieu par les jets de particules solides de l'explosif ou par les jets de flammes; il y a toutefois de grandes probabilités en faveur de ces derniers, étant donné la difficulté pour les constituants normaux de l'explosif d'exister encore à l'état solide à une grande distance du canon et l'état de division extrême auquel ils seraient éventuellement réduits.

II. — Les tentatives faites pour réaliser une inflammation du grisou par un raté partiel de détonation aboutissant à une détonation de second ordre ou une déflagration ont toutes échoué. De même la présence massive de peroxyde d'azote n'a pas augmenté de façon sensible le danger du tir au canon. Des expériences devraient être faites dans la roche, dans les conditions de la pratique, malgré l'extrême difficulté qu'il semble y avoir à réaliser une inflammation de cette façon.

L'examen des statistiques d'accidents ne semble même pas permettre de trouver une orientation positive ou négative dans ce sens.

III. — Nous avons observé que les exploseurs, même les plus petits, des types couramment employés dans les charbonnages des principaux pays miniers, peuvent créer sur la ligne de tir des étincelles capables d'allumer facilement le mélange grisouteux.

La réalité de ces contacts postérieurs a été constatée d'une façon indiscutable par M. Taffanel dans les conditions même de la mine, où ils se produisent dans une proportion qui n'est pas éloignée d'un contact pour dix tirs. Plusieurs remèdes ont été proposés :

a) Isolement des ligatures; ceci dépend de l'exactitude du boutefeux;

b) Limitation du passage du courant dans l'exploseur à une durée de 3 à 5/100 de seconde ce qui d'après les essais de M. Taf-fanel ne diminuerait pas de façon appréciable la capacité d'allu-mage de l'exploseur. Il existe d'ailleurs maintenant des appareils de ce genre;

c) Emploi d'exploseurs modifiés suivant les indications de la Commission Anglaise, qui sont des appareils incapables d'allu-mer le grisou, mais malheureusement de faible puissance;

d) Enfin l'emploi, au lieu d'exploseur, de piles sèches ou accu-mulateurs dont l'étincelle de rupture privée de self-induction est incapable d'allumer le grisou. Il existe également des appareils de ce genre.

L'inflammation par les étincelles d'exploseurs permet de ré-pondre, dans certains cas, à la question de savoir pourquoi on observe des inflammations dans la mine avec des explosifs qui n'enflamment pas dans les galeries d'essais dans des circonstances paraissant beaucoup plus sévères, et d'expliquer un certain nom-bre d'inflammations de grisou qui se sont produites dans les char-bonnages, cette explication étant, pour certains cas, certaine, pour d'autres extrêmement probable.

Il est naturellement tout à fait prématuré de penser que les étincelles des exploseurs ont été la cause de toutes ou presque toutes les inflammations de grisou qui se sont produites depuis l'adoption du tir électrique; on n'en aurait la certitude que si plusieurs années d'application de mesures propres à faire dispa-raître le danger des étincelles des exploseurs faisaient aussi dis-paître les inflammations de grisou par le tir des mines; ce n'est nullement impossible.

NOTES DIVERSES

LES ACCIDENTS MORTELS

SURVENUS DANS LES

USINES DU HAINAUT

pendant les années 1921 à 1928

dans les services de transports

Par V. FIRKET.

Inspecteur général des Mines, à Mons.

Ayant groupé dans un même tableau, diverses données statisti-ques, relatives aux accidents mortels, qui ont été constatés par les ingénieurs des mines, de 1919 à 1928, dans les établissements de la première inspection générale soumis à leur surveillance, j'ai calculé pour chacune de ces années et pour leur ensemble, le nombre des ouvriers tués par 10,000 ouvriers occupés, séparé-ment :

- 1°) dans les travaux souterrains des mines du Hainaut;
- 2°) dans les dépendances superficielles de ces mines;
- 3°) dans les carrières tant souterraines qu'à ciel couvert, exploi-tées dans le Hainaut et le Brabant;
- 4°) Dans les usines métallurgiques du Hainaut, non compris les fours à coke et les fabriques de sous-produits de la houille.

Le tableau I donne, par année et par groupe d'industries, le nombre des victimes des accidents mortels, le personnel moyen occupé et le nombre des tués par 10,000 ouvriers. Ce dernier nom-bre peut-être considéré comme un criterium, permettant d'appré-cier l'importance du risque professionnel, auquel sont exposés les ouvriers des diverses industries envisagées.

Or, en examinant les résultats de la décade 1919-1928, on con-state que dans les usines métallurgiques du Hainaut, ce risque professionnel est presqu'aussi grand que dans les travaux souter-rains des mines; qu'il y est beaucoup plus important que dans les carrières et que dans les dépendances superficielles des mines; que pour l'ensemble des industrie étudiées, le nombre des ouvriers