

étaient d'anciens ouvriers du charbonnage, exercés aux travaux préparatoires.

M. l'Inspecteur général des Mines a critiqué l'emploi du charbon pour la confection des remblais, parce que le charbon dégage du grisou et que sa présence dans les remblais peut être une cause d'incendie.

Il a estimé, en outre, que tout ouvrier travaillant dans un montage devrait être pourvu d'une lampe à flamme, en plus d'une lampe électrique, et qu'il devrait être prescrit aux ouvriers, en cas d'extinction de la lampe à flamme, pour quelque cause que ce soit, de se retirer à l'aide de la lampe électrique, pour aller chercher une nouvelle lampe à flamme, de façon à ne jamais travailler sans être munis d'une lampe de l'espèce.

MÉMOIRE

Contribution à l'étude des explosifs antigrisouteux

PAR

A. SEGAY

Ingénieur,

Administrateur-Gérant de la Société anonyme « La Sabulite Belge ».

Dès le début de l'étude des explosifs antigrisouteux, le besoin s'est fait sentir d'avoir un moyen de mesure de leur aptitude à enflammer le grisou; c'est même la base principale de toute étude de ce genre. Le moyen le plus simple est évidemment de tirer la charge d'explosif sous forme de cartouches au sein du mélange grisouteux; mais on ne tarda pas à s'apercevoir que les réactions de la plupart des explosifs étant tout à fait incomplètes à l'air libre, ces conditions de tir étaient par trop différentes de celles employées réellement dans la pratique, c'est-à-dire de l'explosif enfermé dans un trou de mine, et pour s'en rapprocher, la Commission française du Grisou qui en fit la remarque, exécuta aussi en 1888, des tirs de cartouches enfermées dans des enveloppes de diverses natures. Elle tira de cette étude des conclusions sur la température apparente d'inflammation du grisou qui servirent longtemps de base à la théorie des explosifs antigrisouteux.

A la même époque, Lohmann, à la galerie d'essais de Neunkirchen, tirait les explosifs qu'il essayait au fond d'un mortier d'acier garni d'une gaine en bois, pour éviter de le détériorer. Cette façon de tirer, qui représente bien, à la différence près de la nature des parois, un coup

de mine faisant canon, a été depuis généralement adoptée pour apprécier l'aptitude d'un explosif à enflammer le grisou ou les poussières, c'est-à-dire à mesurer le danger qu'il présente en atmosphère inflammable. On ne tarda pas, en effet, à s'apercevoir que n'importe quel explosif était capable de provoquer une inflammation, à la seule condition d'en tirer une charge suffisante. Celui qui n'enflamme qu'avec une grosse charge, qu'on n'emploie pas dans la pratique, étant évidemment plus sûr que celui qui allume avec une faible charge, on a ainsi un moyen d'appréciation et de classement; il faut aussi naturellement tenir compte du travail que peut exécuter la plus grande charge qui n'enflamme pas, car plus ce travail est grand, plus faible sera la charge employée, d'où la notion d'équivalence de la charge-limite introduite en Belgique à la suite des travaux de Watteyne et Stassart.

Dans la plupart des pays miniers, on a adopté ce point de vue, et les explosifs destinés à être employés dans des mines grisouteuses sont essayés au mortier en présence de gaz inflammables, dans des conditions plus ou moins analogues les unes aux autres. En Angleterre, on joint à cet essai la mesure du travail que peut faire l'explosif évalué au pendule balistique, par comparaison avec la gélignite à 65 % de gomme; en Belgique, cette mesure est faite au bloc de Trauzl, par comparaison avec la dynamite-guhr à 75 % de nitroglycérine, et l'on indique le poids de dynamite-guhr produisant le même travail que la charge-limite. Aux Etats-Unis, on publie, en plus, les principales caractéristiques: mesure de travail au pendule balistique et au bloc de Trauzl, potentiel, vitesse de détonation, brisance mesurée par l'écrasement de crushers, etc.

En France, des objections ont été faites à l'emploi de l'essai au mortier comme moyen d'appréciation du danger

que présentent les explosifs, objections basées principalement sur le fait indiscutable que le mortier ne représente qu'imparfaitement les conditions de la pratique et que de faibles différences dans le mode d'exécution du tir peuvent produire des différences très notables dans les résultats. D'autre part, la Commission anglaise fait remarquer (1) que le mode d'exécution du tir au mortier qui est le plus sévère pour un explosif n'est pas toujours le plus sévère pour un autre, et que le tir dans les galeries d'essais est standardisé, alors que dans la pratique il ne l'est pas. Le fait que des inflammations, incontestablement produites au moment du tir, ont été observées avec des explosifs qui avaient été essayés à des charges bien supérieures montre que la question reste ouverte; l'épreuve au canon serait seulement empirique, et l'on ne pourrait s'attendre à en obtenir que des indications sur la sécurité relative des diverses classes d'explosifs, d'où la nécessité de recherches théoriques étendues, de façon à définir les conditions d'inflammation des milieux grisouteux, ainsi que les divers modes d'inflammation de ces milieux par les explosifs. En attendant le résultat de ces recherches, la Commission anglaise continua à se baser sur l'épreuve au mortier, et mit à son programme de chercher à en diminuer l'empirisme par l'étude méthodique de l'influence des facteurs qui en font varier les résultats.

Entretemps, la Station d'essais de Montluçon, du Comité des Houillères de France, a émis des doutes beaucoup plus graves sur la validité même de l'épreuve au mortier, qui serait, selon elle, dénuée de toute signification, la considérant même comme dangereuse, comme étant susceptible de donner une sécurité trompeuse (1bis). Comme, en attendant une connaissance plus parfaite des

(1) F. L. NATHAN, Paper n° 1, *Safety in Mines Research Board*.

(1bis) E. AUDIBERT, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 27 octobre 1924.

données du problème, les divers pays miniers, dont la Belgique, se basent uniquement sur cette épreuve pour admettre les explosifs à employer dans leurs mines dangereuses, il était intéressant d'étudier jusqu'à quel point cette critique est fondée.

Elle est basée sur le fait observé à Montluçon (2), que l'addition aux explosifs au nitrate d'ammoniaque de certaines matières solides, dont la plus employée est le chlorure de sodium, ferait disparaître la flamme produite à la bouche du mortier; ceci serait l'indice que cette addition aurait pour effet d'empêcher, dans le tir au mortier, l'amorçage des réactions secondaires. Or, dans un trou de mine bourré, rien ne peut empêcher ces réactions secondaires de s'amorcer, d'où la différence essentielle entre le mortier et la pratique, et le danger d'étendre à l'un les conditions de l'autre, l'extinction des flammes, artificiellement obtenue dans le tir au mortier, n'étant pas réalisée dans la pratique.

Dans une publication antérieure (3), nous avons montré que l'addition de sel à de l'amatol (composé de 80 % de nitrate d'ammoniaque et 20 % de trinitrotoluène) diminuait beaucoup la grandeur ainsi que le pouvoir éclairant de la flamme de ce dernier tiré au mortier, mais que cette flamme était encore très visible et s'enregistrait facilement sur une plaque photographique, à condition d'employer des moyens suffisamment sensibles. La preuve a donc été faite que les réactions secondaires peuvent s'amorcer, mais il restait à rechercher quantitativement jusqu'à quel point l'addition de sel les empêche de s'achever.

Pour cela, nous avons utilisé le dispositif déjà employé par Taffanel à la Station d'essais de Liévin, qui consiste

(2) E. AUDIBERT, *Annales des Mines*, mai 1925.

(3) A. SEGAY, *Annales des Mines de Belgique*, 2^e livraison 1927.

à placer le canon dans une chaudière formant calorimètre; le volume étant très grand par rapport au volume des gaz dégagés par la détonation, on peut déduire les calories dégagées à ce moment dans l'atmosphère de la chaudière de la mesure de la pression maximum avant détente de la vapeur d'eau. Cette mesure présente quelques difficultés pratiques; le système employé par la Commission française en 1888, consistant à faire des mesures à intervalles réguliers pendant la détente et à interpoler pour avoir la valeur au moment même de la détonation, est d'une exécution difficile et prête à incertitude. En l'absence d'un enregistreur de pression qui soit à l'abri de toute critique, nous avons, après quelques tâtonnements, employé le procédé suivant: on se sert d'un manomètre à eau que l'on isole momentanément de la chaudière par un robinet, et, en soufflant dans une tubulure adjacente, on amène le niveau du manomètre à une pression de quelques centimètres en dessous de la pression à obtenir. Cette position a été repérée par une expérience antérieure. Le contact électrique qui amène le courant produisant la détonation est obtenu par un frotteur placé sur la clé du robinet qui réunit le manomètre et la chaudière, de sorte que ce robinet est ouvert en même temps que le courant est lancé dans le détonateur; pour mieux assurer la simultanéité, on se sert de courant de lumière à 220 volts. Dans ces conditions, le niveau du manomètre, qui n'a que deux ou trois centimètres à parcourir, prend instantanément sa position, et dans des conditions identiques, l'écart entre deux mesures ne dépasse pas 1 centimètre pour des pressions de l'ordre d'un mètre.

Par contre, il est extrêmement difficile de réaliser des conditions identiques, surtout pour le tir à l'air libre. Pour en donner un exemple, nous avons obtenu des chiffres variant de 17,5 à 25,5 calories pour des cartouches de

50 grammes d'amatol tirées à l'air libre; cela correspond de 350 à 510 calories par kilo, le chiffre théorique étant 999 calories. Des chiffres aussi écartés, ainsi que les valeurs intermédiaires, ont été obtenus avec les mêmes constituants de l'explosif; seul différait leur état physique. Dans le tir au mortier, on observe des différences beaucoup moins sensibles, mais qui peuvent encore être notables. Cela montre les soins minutieux dont il faut s'entourer pour faire des expériences comparatives lorsqu'on cherche à ne faire varier qu'un seul facteur. Nous verrons plus loin qu'on peut aussi obtenir, dans certains cas, des divergences dans l'inflammation du grisou.

En dehors des calories dégagées à l'extérieur du mortier et mesurées par l'augmentation de pression dans la chaudière, nous avons cherché à déterminer le travail effectué par l'explosif dans le canon. Le seul moyen pratique nous a paru être une méthode calorimétrique, malgré les difficultés que présente une mesure de ce genre faite dans ces conditions; les variations de température à mesurer ont été, en effet, pour des cartouches de 50 gr., de l'ordre d'un dixième de degré, et comme le thermomètre n'est guère en équilibre qu'au bout de vingt-cinq à trente minutes, il faut, pendant un espace de temps aussi long, n'avoir qu'une différence de température insignifiante entre l'intérieur du canon et l'air ambiant, sous peine d'avoir une correction à effectuer qui soit de l'ordre de grandeur de la mesure elle-même. Cela suppose un temps parfaitement calme et sans variation appréciable de température, ainsi qu'une protection du canon poussée très loin. Nous y sommes arrivés d'une façon assez relative en l'entourant d'une couche de kapok sec d'environ 10 centimètres d'épaisseur. Malgré tous ces soins et précautions, les mesures que nous avons faites sont très rudimentaires et ne peuvent prétendre à donner beaucoup

mieux que l'ordre de grandeur du travail absorbé par le canon. Ces mesures seraient naturellement beaucoup facilitées pour de plus fortes charges, si le poids du canon n'augmentait pas en même temps.

La somme des deux chaleurs mesurées, calories apportées à l'air de la chaudière et travail effectué par l'explosif dans le canon, donne le bilan calorifique de la détonation. Il ne peut être que très approximatif, étant donnée l'incertitude sur une des parties et que, de plus, chacun des deux éléments a dû être mesuré dans une expérience différente. Le tir se faisait dans un canon de 30 millimètres de diamètre et 37 centimètres de longueur d'âme; cartouches de 28 millimètres de diamètre, amorçage antérieur. Les calories mesurées pour les diverses charges sont toutes rapportées au kilo d'explosif pour faciliter les comparaisons :

	Calories mesurées dans la chaudière par kilog. d'explosif	Travail mesuré dans le canon par kilog. d'explosif	Travail total de l'explosif par kilog.
50 gr. amatol (80-20)	644	176	820
50 gr. du même amatol + 16 gr. de sable	628	125	753
50 gr. du même amatol + 16 gr. sel marin	620	160	780
50 gr. du même amatol + 16 gr. sel ammoniacal	538		
50 gr. du même amatol + 16 gr. alun ammoniacal cristallisé	543		
50 gr. du même amatol + 9,4 gr. alun ammoniacal sec	580		
50 gr. grisounaphtalite couche	365	138	503
100 gr. — — — — —	319	158	477
50 gr. grisoutolite couche	401		
50 gr. grisodynamite roche	492	115	607
50 gr. grisodynamite couche	410	94	506
50 gr. expédite	394		
Un autre amatol, 50 gr.	635		
Le même amatol, 100 gr.	560		

Un autre amatol, 50 gr.	650		
Le même, 50 gr., avec 1 tube de 4 gr. d'acide carbonique	650		
Un autre amatol, 50 gr.	587	121	708
Le même amatol, 100 gr.	493	180	673
Le même amatol, 150 gr.	441	251	692
Le même amatol, 50 gr. + 16 gr. sel.	542	145	687
Le même amatol, 100 gr. + 32 gr. sel.	472	196	668

De ce tableau, on voit que, dans le cas des petites charges de 50 grammes, le bilan thermique peut élarger relativement près de la théorie, de sorte que, dans ces conditions de tir, les réactions peuvent arriver à s'achever assez complètement. En particulier, l'addition de sel, tout comme l'addition de sable, n'apporte presque aucune différence dans les calories dégagées en dehors du canon. A mesure que la charge augmente, les calories mesurées dans la chaudière diminuent proportionnellement d'une façon très notable (4), mais le travail absorbé par le canon varie en sens inverse, de sorte que le bilan thermique peut ne pas être très différent.

Nous n'avons pu, faute de place dans le canon, rechercher ce qui se passe avec de plus fortes charges, mais il est probable que, tout au moins avec certains explosifs, ce phénomène continue, car on peut relever, dans les recherches de la Station d'essais de Liévin (5), qu'une charge de sabulite antigrisouteuse A de 400 grammes tirée dans le canon donnait dans la chaudière un potentiel de

(4) A ce propos, nous devons rectifier une erreur qui a été faite dans notre précédente publication (*Annales des Mines de Belgique*, 1927, 2^e livraison, p. 473), au sujet de l'influence de la quantité tirée. En réalité, dans les conditions de nos expériences, la grandeur visible, ainsi que l'intensité de la flamme diminuent avec la charge, au lieu d'augmenter; c'est un résultat qui paraît tout à fait paradoxal et invraisemblable, ce qui explique l'erreur commise, la nécessité d'opérer dans l'obscurité absolue ayant rendu difficile, au début de nos essais, le repérage des plaques. Il est fort possible que la diminution relative, constatée ici, du potentiel dans la chaudière, à mesure que la charge augmente soit en relation directe avec ce phénomène.

(5) TAFFANEL et DAUTRICHE, Communication au VIII^e Congrès de Chimie appliquée de New-York (1912), *Comité Central des Houillères de France*, note technique n° 321, p. 321.

540 calories par kilo, et une charge de 800 grammes, un potentiel de 340 calories par kilo seulement.

Par comparaison, nous avons fait les mêmes mesures pour de petites charges de 18 grammes d'amatol placées dans un bloc de plomb sans aucun bourrage. Ces blocs, du type normal du Congrès, étaient logés dans la chaudière et calorifugés pour mesurer le travail. Dans ces conditions, on a obtenu :

	Calories extérieures mesurées dans la chaudière par kilog. d'explosif cal.	Travail mesuré dans le bloc par kilog. d'explosif cal.	Calories totales par kilog. d'explosif
18 gr. amatol	520	407	927 (théorie 999)
18 gr. amatol + 5,7 gr. sable	441	409	850
18 gr. amatol + 5,7 gr. sel	433	355	788

Dans ce cas, le travail mécanique exécuté dans le bloc est notablement plus grand que dans le canon, et les calories mesurées dans les gaz sont diminuées.

Dans l'ensemble, on voit que, dans l'épreuve au mortier, et compte tenu du travail exécuté par celui-ci, une très grande proportion de la chaleur théoriquement disponible si les réactions étaient complètes, se répand dans le mélange grisouteux et que les réactions s'y achèvent assez complètement, dans des conditions d'autant plus dangereuses que le travail a été, en général, moindre que dans les conditions de la pratique, c'est-à-dire que les gaz se répandent plus chauds dans le milieu grisouteux. L'épreuve au mortier, employée dans les conditions de tir susdites, doit être considérée comme une épreuve très sévère, et l'on ne peut guère concevoir qu'un explosif qui n'allume pas au mortier à une charge élevée puisse, dans des conditions de tir normales, se montrer dangereux.

En particulier, les additions de matières inertes, comme du sable ou du sel, ne jouent pratiquement qu'un rôle insignifiant sur l'amorçage et l'achèvement des réactions secondaires; cette observation va nous permettre de faire une remarque extrêmement intéressante.

En effet, c'est un fait connu que l'addition de sel aux flammes diminue leur température, à cause, soit de la grande chaleur de volatilisation, soit de l'état d'ionisation qu'elle produit. D'autre part, dans une publication antérieure (6), nous avons montré que l'addition de 16 gr. de sel à 50 gr. d'amatol tirés au mortier, diminuait à la fois très sensiblement la grandeur de la flamme visible sur la photographie et aussi son pouvoir éclairant dans le rapport environ de 13 à 1. Pour que cette flamme ne soit plus aussi éclairante, ni assez actinique pour agir de cette façon sur la plaque photographique, il faut que sa température soit devenue notablement plus basse. S'il en est bien ainsi, et comme on sait que dans un système en voie de transformation la vitesse de réaction diminue avec la température, et comme, d'autre part, nous venons de voir qu'il se forme au total, dans les deux cas, à peu près le même nombre de calories dans la flamme, on est, par le même nombre de calories dans la flamme, on est, par rapprochement de ces deux faits, amené à penser que la durée totale de la flamme devrait être plus longue avec que sans l'addition de sel. Remarquons d'ailleurs que le volume de la flamme est resté assez sensiblement le même dans les deux cas, autant qu'on peut en juger par des témoins en coton-poudre.

Qu'une addition qui diminue l'aptitude d'un explosif à enflammer le grisou aie en même temps pour effet d'augmenter la durée de la flamme de cet explosif peut paraître inattendu. Jusqu'à présent, en effet, il a été admis que

(6) A. SEGAY, *Annales des Mines de Belgique*, 1927, 2^e livraison.

toutes les flammes sont capables d'allumer le grisou, et que s'il y a des circonstances où les flammes d'explosifs ne l'allument pas, c'est à cause de leur extrême brièveté.

Il serait du plus haut intérêt de vérifier par une expérience directe l'hypothèse émise ci-dessus de la longue durée relative des flammes de certains explosifs antigrisouteux; malheureusement, nous ne voyons la possibilité de le faire que par une méthode photographique, et pour cela, il faut que l'on dispose de films plus sensibles que ceux de maintenant; il faudra même qu'ils le soient beaucoup plus, car les films ou les plaques photographiques actuelles ne sont même pas capables, et de loin, de voir toute l'étendue de la flamme, le film restant immobile, c'est-à-dire recevant à la même place la totalité du phénomène, alors que, pour mesurer la durée de la flamme, le film doit se dérouler, de sorte que la quantité de lumière serait répartie sur une beaucoup plus grande surface.

Nous avons essayé d'enregistrer une plus grande portion de la flamme que dans nos expériences antérieures, en employant des plaques panchromatiques hypersensibilisées qui ont été spécialement étudiées pour cet usage, et nous ont été gracieusement fournies par les Etablissements Crumière, de Paris, à qui nous devons de vifs remerciements. Ces plaques ont été essayées avec et sans addition d'une petite quantité de chlorure cuivreux qui donne des radiations intenses à très basse température, en photographiant dans les mêmes conditions qu'auparavant les flammes de grisodynamite couche, grisounaphthalite couche et amatol additionné de sel; mais nous n'avons pas obtenu de flamme visible sensiblement plus grande qu'avec les plaques « Aviator » ordinaires de la même marque, antérieurement employées.

Il semble donc qu'en dehors de la partie facilement visible située près de la bouche du mortier, le reste de la

flamme soit très peu actinique, et probablement à température assez basse; il serait intéressant d'avoir une idée de la température de cette région, car on pourrait essayer d'en tirer des indications sur sa durée. La Commission anglaise a récemment réussi des spectrophotographies de flammes d'explosif et pourra en tirer des indications sur leur température, mais il est à craindre que ces indications ne se rapportent en partie qu'à la région chaude visible de la flamme, et non à la région froide difficilement visible.

Pour être définitivement fixé sur cette question de durée de flamme par une mesure directe, il faudra donc attendre qu'une très grosse amélioration se produise dans la rapidité des films photographiques. Toutefois, nous avons observé, dans un ordre d'idées tout à fait différent, des faits qui tendent à faire croire que les réactions d'un grand nombre d'explosifs antigrisouteux se développent de façon relativement lente et comme paresseuse, tout au moins au début de la phase qui suit le passage de l'onde explosive. Ces mesures, qui seront décrites dans une publication ultérieure, viendraient à l'appui de l'hypothèse de la longue durée de la flamme de certains explosifs antigrisouteux.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, il apparaît bien que l'épreuve au mortier, faite dans ces conditions, pour l'essai des explosifs antigrisouteux est très sévère, et que, bien mise au point pour en éliminer les causes de variations, elle peut être employée en toute confiance pour essayer les explosifs à autoriser dans les mines dangereuses.

Toutefois, on peut lui reprocher, d'une part, de ne mesurer que d'une façon indirecte, par variation du poids employé, l'aptitude de l'explosif à enflammer le grisou, et, d'autre part, de représenter seulement les conditions d'un coup de mine anormal faisant canon.

Il est évident que l'aptitude d'un explosif à enflammer le grisou n'est pas absolue et ne peut, par conséquent, avoir de moyen de mesure général et unique, car elle est sous la complète dépendance des conditions de l'expérience; les moyens de mesurer cette aptitude doivent donc varier et correspondre à des conditions qui représentent le plus étroitement possible celles qui peuvent se présenter dans la pratique; elles n'ont de valeur réelle que pour autant qu'elles remplissent cette condition. Or, l'épreuve au mortier ne réalise en rien les conditions du trou de mine qui travaille normalement, et dans lequel les gaz s'échappent non plus seulement par l'orifice, mais principalement par les fissures de la roche qui se disloque. Le plus sûr serait évidemment de faire l'essai dans les conditions mêmes de la pratique, c'est-à-dire en roche, dans une vraie galerie de mine. C'est ce qu'a entrepris l'Institut National des Mines, à Frameries, dans une galerie forée au rocher dans le bois de Colfontaine. En effet, comme l'écrivait M. Lemaire (7) :

« La méthode des tirs en roche en présence du grisou, inaugurée depuis deux ans à Frameries, est la seule qui soit capable de faire sortir du cadre des discussions académiques la question de savoir s'il existe ou non des explosifs de sûreté. Elle permet de contrôler les conclusions des travaux de laboratoire et semble devoir constituer un précieux fil d'Ariane pour se diriger dans le labyrinthe des théories et hypothèses. C'est, malheureusement, une méthode lente à laquelle il ne faut pas demander des conclusions formelles à trop brève échéance. »

Il y a donc avantage à rechercher des méthodes d'une exécution plus facile, quitte, naturellement, à s'assurer

(7) E. LEMAIRE, Rapport sur les travaux de l'Institut National des Mines, à Frameries, pendant l'année 1927, *Annales des Mines de Belgique*, année 1928, 1^{re} livraison.

que les conclusions qu'on en tire restent vérifiées par la pratique réelle dans la roche, qui doit rester le véritable critérium. Pour cela, il nous a paru que le mieux était de reprendre le dispositif primitivement employé par la Commission française du Grisou en 1888, et de tirer les explosifs à essayer dans des tubes métalliques de résistance variée qui s'ouvriraient probablement d'une façon analogue aux fissures du terrain. Dans une conférence faite à Montluçon, M. E. Audibert (8) a indiqué que la rupture d'un bloc métallique dans lequel est foré un trou de mine s'amorce par l'extérieur du massif, et en donne des exemples expérimentaux. Nous pensons qu'il en est de même de la roche, ayant déjà eu l'occasion de rencontrer des trous de mine restés en place dans lesquels des fissures assez larges existaient à l'extérieur du massif et imperceptibles à l'intérieur du trou.

Pour permettre une facile gradation de la résistance, nous avons adopté des tubes de tôle mince enroulée un certain nombre de fois, le dernier tour étant légèrement soudé; le dispositif étant ainsi classé comme résistance d'après le nombre des tours de tôle. Chaque tube ayant un nombre de tours de tôle différent définit ainsi une condition possible différente capable d'être rencontrée; il est évident qu'un explosif sera d'autant moins dangereux qu'il présentera moins de conditions dans lesquelles il sera susceptible d'allumer. En général, on trouve, à une unité près, une limite où au-dessous il enflamme toujours, et où au-dessus il n'enflamme plus, quel que soit le nombre de tours.

On peut d'ailleurs supposer le cas, que nous n'avons pas encore rencontré, où un explosif n'enflamme pas, par exemple en papier, puis enflamme pour un ou deux tours

(8) E. AUDIBERT, *Comité Central des Houillères de France*, note technique n° 22, avril 1926, p. 107.

de tôle, et n'enflamme plus définitivement pour un nombre de tours supérieur. On voit que, ce cas à part, la mesure de l'aptitude des divers explosifs à enflammer le grisou dans les conditions du trou de mine normal se réduit, en général, à une mesure simple du confinement au-dessous duquel il allume.

Dans nos expériences, les fonds étaient neutralisés par deux bouchons de bois de 25 millimètres d'épaisseur cloués sur le cylindre et protégés à l'intérieur par un nombre de rondelles de tôle supérieur à celui du cylindre; un des bouchons est percé pour le passage du détonateur. Nous avons utilisé deux sortes de tôles: de fer doux recuit de 0,3 millimètre d'épaisseur et, pour les mesures plus sensibles, de laiton de 0,1 millimètre; approximativement, dans l'ensemble, trois tôles de laiton correspondent à une tôle de fer. Nous avons adopté, d'une façon générale, le diamètre de 32 millimètres, qui est courant dans la pratique pour ces explosifs.

On observe naturellement que le nombre de tours de tôle à employer augmente avec la charge d'explosif; par exemple, avec la grisoutolite couche (nitrate d'ammoniaque, 93; trinitrotoluène, 7), on a les limites suivantes, qui enflamment et qui n'enflamment pas:

Pour	50 gr.	papier et 1 tour fer ou 1 tour laiton;
—	100 gr.	1 tour et 2 tours fer, ou 3 et 4 tours laiton;
—	150 gr.	2 tours et 3 — ou 8 et 9 —
—	200 gr.	4 — 5 —
—	250 gr.	5 — 6 —

Nous avons fait un assez grand nombre d'expériences dont nous indiquons certains résultats ci-dessous avec le poids de 150 grammes d'explosif, que nous avons choisi parce qu'il permet d'essayer les diverses classes d'explosif avec une sensibilité suffisante et sans employer un nombre de tours excessif. Il est parfaitement possible que,

TABLEAU 1.

EXPLOSIF	Poids gms	NOMBRE DE TOURS DE TOLE DE																							
		FER																							
		LAITON																							
Papier	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13	15	17	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Dynamite guhr à 75 % ng	50																								
Id.	150																								
Amatol 80-20	150																								
Roburite IV :																									
nitr. ammon. 60 %	100																								
chlorure de sodium 24	75																								
Trinitrotoluène 16	112																								
Id.	150																								
Id. autre échantillon	150																								
Id. avec fond percé.	150																								
Roburite IV au sable (remplaçant le sel)	150																								
Id. avec fond percé	150																								
Explosif B :																									
nitr. am.	53																								
Chlorure de sodium 24	75																								
Perchlorate de pot	10																								
Corps aromatique nitré 13	100																								
Id.	150																								
Id. avec fond ouvert.	150																								
Id. avec fond percé.	150																								
Grisou naphthalite couche	150																								
95 nitr. am., 5 Trinitronaphthaline	175																								
Id.	50																								
Grisoutolite couche	100																								
93 nitr. am., 7 Trinitrotoluène	150																								
Id.	150																								
Id. autre échantillon	150																								
Id.	200																								
Id.	250																								
Grisoudynamite couche	150																								
88 nitr. am., 12 nitroglycérine	150																								
Id. fond percé	150																								
Grisoudynamite roche	150																								
Carbonite	150																								
Expédite	150																								
nitrate am. 35																									
nitrate pot. 33																									
sel am. 20 fond ouvert																									
Trinitrotoluène 12	150																								

i = inflammation *ni* = non inflammation *ci* = commencement d'inflammation.

pour un autre poids, 300 grammes, par exemple, l'échelle qui serait remontée dans l'ensemble ne le serait pas également pour tous les explosifs et qu'ils ne garderaient pas strictement le même ordre qu'avec 150 grammes. Lorsque l'explosif est au même état physique, les mesures sont très comparables, à une tôle de laiton près.

Par exemple, 150 grammes de grisoutolite couche a donné en coups se suivant : 8 tours laiton, non-inflammation (NI) ; 7 tours, inflammation (I) ; 8 tours, I ; 9 tours, NI ; 8 tours, NI ; 7 tours, I ; 8 tours, NI ; 7 tours, I. Sur huit coups, on a donc eu 4 inflammations à 7 tours, une inflammation et 3 non-inflammations à 8 tours, ce qui est une sensibilité remarquable, étant donnée la faible variation de résistance apportée par une feuille de clinquant d'un dixième de millimètre. Nous avons eu aussi un autre échantillon qui donnait une limite 7/8 tours de laiton, mais, par contre, un troisième qui donnait 9/10 tours laiton, soit un écart de deux tours avec les précédents.

Le mélange grisouteux est à une teneur variant de 8,5 à 9,5 % de grisou. (Voir tableau 1.)

Ces résultats amènent aux remarques suivantes :

1° Le rapprochement des chiffres des limites qui enflamment et qui n'enflamment pas avec l'amatol (7-8), ou l'amatol additionné de sable (5-6), ou l'amatol additionné de sel marin (2-3) est suggestif. Nous avons déjà vu plus haut que si l'addition de sel marin ne changeait pas quantitativement d'une façon appréciable l'ensemble des réactions résiduelles qui se passent à la suite de la détonation dans le canon, par contre, il dénaturait totalement le caractère de ces réactions, ce que ne fait pas le sable. On connaissait déjà le résultat de cette action sur la grande augmentation de la charge limite au canon ; ceci donne une autre preuve formelle du changement radical

apporté par l'addition de sel dans l'aptitude de l'amatol à enflammer le grisou, et il devient impossible de soutenir que le sel marin se comporte comme une matière inerte;

2^o Pour une charge de 150 grammes, les confinements qui arrêtent l'inflammation des explosifs analogues aux explosifs S. G. P. belges qui ont été déterminés par des tirs au mortier, tels que la Roburite IV ou l'explosif B, sont de l'ordre de 5 à 6 tours laiton ou 0,6 millimètre de fer. Il paraît clair que, si mince que soit le banc de roche à emporter, il a toujours, rien que par son poids et son inertie, une résistance de loin supérieure à celle-ci; d'où la conclusion qu'un coup normal d'un de ces explosifs ne peut allumer le grisou; de fait, d'après le rapport annuel des travaux de l'Institut National des Mines en 1927 (9), on n'a jamais pu arriver à allumer dans la roche un coup, bourré ou non bourré, avec aucun des explosifs S. G. P. belges.

Remarquons, d'autre part, qu'il y a trois explosifs que nous n'avons pu faire allumer dans les conditions de nos essais à 150 grammes; pour ceux-ci, il aurait fallu remonter la charge. Ce sont: la grisounaphtalite couche (G. N. C.), la grisodynamite couche (G. D. C.) et l'expédite. Cette dernière passe l'épreuve anglaise au mortier en présence du gaz d'éclairage à 32 onces, soit 900 grammes; elle est donc particulièrement sûre dans les deux conditions différentes d'essais; reste à savoir si son aptitude à la détonation est encore suffisante. Par contre, la GNC et la GDC enflamment facilement au mortier; le même échantillon de GNC qui n'a pas enflammé à l'air libre à 150 grammes dans nos essais, a enflammé au mortier de Frameries de 55 millimètres de diamètre à la charge de 150 grammes, à la même charge que la grisou-

(9) E. LEMAIRE, *Annales des Mines de Belgique*, 1928, 1^{re} livraison.

tolite couche (GTC), qui a, sous confinement, enflammé beaucoup plus facilement que la GNC (10).

Il faut en déduire, ce qui est d'ailleurs évident a priori, que les deux modes d'essais, le mortier et la mesure des confinements, correspondent à des conditions de détente tout à fait différentes et ne peuvent pas se remplacer l'une l'autre; elles ne peuvent que se compléter. Comme les deux cas se présentent dans la pratique, bien que le coup débouillant ne soit qu'anormal, tout explosif doit se montrer sûr aux deux épreuves. Il semble d'ailleurs que celle du canon soit la plus sévère; ceci paraît normal, car, dans ce cas, tous les produits de la décomposition de la charge d'explosif sont lancés dans le mélange grisouteux par un orifice réduit, celui de l'ouverture du canon, au lieu d'être répartis sur la longueur des parois, et sont ainsi plus concentrés. De plus, dans une publication toute récente (10bis), M. Audibert a mis en lumière l'action particulière produite dans le tir au mortier par des charges logées dans certaines conditions au fond de celui-ci; on peut obtenir ainsi une plus grande facilité d'inflammation qui semble principalement due au fait que les produits de la décomposition sont lancés, dans ce cas, d'une façon encore plus groupée. Toutefois, pour réaliser pleinement cette action, il faut que l'âme cylindrique du mortier ait exactement le diamètre de la cartouche, qui doit être parfaitement centrée. Ceci semble assez difficile à rencontrer réalisé dans la pratique et rentrer, par conséquent, plutôt dans la catégorie des particularités de tirs spéciales aux galeries d'essais.

Etant donné qu'un coup normal paraît être incapable d'allumer, il reste toutefois à rechercher s'il n'existe pas

(10) On peut remarquer d'ailleurs que certains échantillons de GNC n'ont pas enflammé à Frameries, jusque 600 grammes.

(10bis) Conférence faite à Montluçon, le 25 octobre 1928, par MM. AUDIBERT et DELMAS. (*Revue de l'Industrie minière*, 1^{er} janvier 1929.)

de dispositif anormal capable de se présenter éventuellement dans la pratique et qui soit plus dangereux.








Pour cela, nous avons cherché d'abord l'influence du bourrage, de l'amorçage antérieur ou postérieur, des vides qui peuvent exister dans le trou de mine; enfin, des obstacles qui peuvent s'opposer à la détente des gaz. On a vu plus haut, par l'exemple de l'explosif B, que l'inflammation est relevée de 5 à seulement 6 tours de laiton, si l'on enlève le fond opposé au détonateur, de façon à avoir les conditions d'un trou de mine non bourré avec amorçage postérieur. Si, au lieu d'enlever complètement le fond, on perce dedans un trou de 10 millimètres de diamètre, l'inflammation est reportée de 5 à 6 tours avec la Roburite IV au sable et de 2 à 3 avec l'explosif B, — en général donc d'un tour seulement de tôle de fer. L'augmentation de danger, que l'on aurait pu supposer sérieuse par suppression du bourrage avec amorçage postérieur, est donc insignifiante dans ces conditions. Ce résultat semble avoir été confirmé en roche (11). Quant à la suppression du bouchon du côté du détonateur, correspondant à la suppression du bourrage avec amorçage antérieur, elle n'a, en général, apporté aucune différence sensible dans les résultats.

En partant de la GTC, nous avons recherché l'influence des vides pouvant se produire dans le trou de mine aux alentours de la cartouche. (Voir tableau 2.)

On voit que le dispositif n° 4, avec un vide au milieu de la charge, apporte, par rapport au dispositif normal n° 1, un petit supplément de sécurité d'une tôle de fer, qui se réduit à une tôle de laiton par une mesure plus sensible, — les dispositifs 1, 2, 3, 5 et 6 ne changent pas, à une tôle de fer près, la sécurité. Seul, le dispositif n° 7, fond ouvert avec interruption dans la charge, apporte un supplément plus sérieux de danger de deux tours de fer.

(11) E. LEMAIRE, *Annales des Mines de Belgique*, 1928, 1^{re} livraison.

TABLEAU 2.

GRISOU TOLITE COUCHE 100 GRMS.	NOMBRE DE TOURS DE TÔLE							
	Fer				Laiton			
	1	2	3	4	2	3	4	
1 	i	ni	ni	ni		i	ni	
2 	i	ni	ni	ni				
3 	i	ni	ni	ni				
4 	ni	ni	ni		i	ni		
5 	i	ni						
6 		i	ni	ni				
7 			i	ni				

i = inflammation

ni = non inflammation


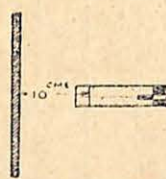
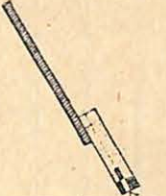
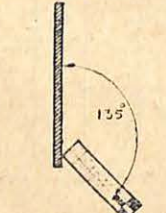

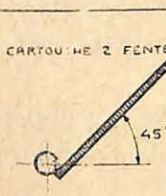

ci = commencement d'inflammation.

En ce qui concerne les obstacles qui peuvent s'opposer à la détente des gaz, nous avons employé les dispositifs suivants avec les résultats correspondants. (Voir tableau 3.)

On voit qu'aucun des dispositifs employés n'a apporté d'important supplément de danger, pas plus d'un tour de fer.

Enfin, nous avons fait quelques essais avec un nombre de tours de fer considérable, jusque 40, en y perçant des fenêtres. Dans ces conditions, aucun explosif, dont la gri-

TABLEAU 3.

DISPOSITIF.	EXPLOSIFS 150 GRAMMES	NOMBRE DE TOURS DE TOLE FER			
		1	2	3	4
	GRIS. NAPHT. C.	ni			
	GRIS. TOLITE C.			ni	
	EXPLOSIF B.		i	ci	ni
	ROBURITE IV		i	ni	
	GRIS. NAPHT. C.	ni			
	GRIS. TOLITE C.			ni	ni
	EXPLOSIF B.			ci	ni
	ROBURITE IV			i	
	GRIS. NAPHT. C.	ni			
	GRIS. TOLITE C.			ni	ni
	EXPLOSIF B.			i	ni
	ROBURITE IV			i	ni
	GRIS. NAPHT. C.	ni			
	GRIS. TOLITE C.			ni	ni
	EXPLOSIF B.			i	ni
	ROBURITE IV			i	ni
	GRIS. NAPHT. C.	ni			
	GRIS. TOLITE C.			ni	
	EXPLOSIF B.			ni	
	ROBURITE IV			ni	
	GRIS. NAPHT. C.	i	ni		
	GRIS. TOLITE C.			i	ni
	EXPLOSIF B.			i	ni
	ROBURITE IV			i	ni
	GRIS. DYN. C.	ni			
	EXPEDITE	ni			
DISPOSITIF ORDINAIRE 	GRIS. NAPHT. C.	ni			
	GRIS. TOLITE C.		i	ni	
	EXPLOSIFS B.		i	ni	
	ROBURITE IV		i	ni	

soudynamite couche, n'a jusqu'à présent enflammé. Signalons toutefois qu'il peut se présenter des conditions où l'on obtiendrait des inflammations, tel le cas indiqué par M. Audibert dans la Conférence à Montluçon, citée plus haut (12); un bloc d'acier de 15 à 20 millimètres d'épaisseur, percé d'une fenêtre longitudinale correspondant au quart de la section et chargé de 150 grammes de GDC, a enflammé, alors que, dans les mêmes conditions, la GNC ne le fait pas. Un cas de ce genre peut paraître assez difficile à se trouver réalisé dans la pratique, mais le seul fait de son existence force à étudier très attentivement tous les cas qui peuvent se présenter sous de forts confinements.

Dans tous ces essais, l'explosif détonait normalement. On connaît le cas où le régime de détonation normal se transforme en un régime de déflagration pouvant amener une combustion du restant de l'explosif avec flamme capable de durer plusieurs minutes, et les dangers évidents que cela amène. Ce cas a été observé quand l'explosif est au contact de charbon, et on sait le reproduire expérimentalement; mais, en dehors de ce contact, il a été jusqu'à présent impossible de l'obtenir; il ne s'appliquerait donc qu'au tir en veine ou, à la rigueur, à un tir en roche avec bourrage anormal de poussières de charbon, nullement impossible. Mais, en dehors de ce cas bien connu, il y aurait lieu aussi de rechercher s'il ne pourrait y avoir un supplément de danger dans le cas où l'explosif détonerait d'une façon anormale ralentie, par suite, par exemple, de prise d'humidité, ou de compression accidentelle dans le trou de mine, ou de trop grande dureté de la cartouche. Toutes ces causes existent couramment dans la pratique des mines où les « culots » ne sont pas rares. Cette étude est en cours.

(12) E. AUDIBERT, Comité Central des Houillères de France, note technique n° 22, avril 1926.

Nous avons également recherché si l'on pouvait, de façon simple, déterminer quel était le facteur prédominant dans l'inflammation du gaz par les explosifs et pour quelles raisons des explosifs n'enflamment pas que l'on peut supposer doués de flammes d'une longue durée, comme nous l'avons vu plus haut. Les deux facteurs principaux généralement admis actuellement sont la flamme et la compression de l'onde de choc.

Nous avons d'abord recherché quelle était l'importance de l'action de l'onde de choc arrivant dans le milieu grisouteux. Une cartouche d'amatol de 50 grammes et de 27 millimètres de diamètre, placée à l'extérieur de la chaudière et reposant par sa tranche sur une plaque de fer de 5 millimètres percée d'un trou du diamètre de la cartouche, n'enflamme pas. La même cartouche, à qui on a ménagé une cavité conique dans le fond, enflamme (13). On connaît la propriété des corps à base creuse de donner des effets mécaniques de contact sensiblement plus violents que les mêmes à base plate; comme rien d'autre n'a, en apparence, varié, on peut en déduire que la vitesse de l'onde de choc a probablement une action sur l'inflammation du grisou. Il fallait d'ailleurs s'y attendre, car on a démontré théoriquement et prouvé expérimentalement que l'on peut enflammer un mélange grisouteux en le comprimant brusquement à une pression de 54 atmosphères; or, la compression produite par l'onde de choc d'un explosif peut facilement atteindre et dépasser ces chiffres.

Quelle est l'importance relative de cette action de l'onde de choc? Il semble que l'on puisse en avoir une idée en observant la différence d'aptitude à enflammer le

(13) Dans un essai de ce genre à l'air libre, l'état physique des constituants joue un rôle considérable; nous avons eu, par exemple, un amatol qui enflammait dans ces conditions au diamètre de 25 millimètres, même avec une base plate.

grisou du même explosif, d'une part, en supprimant l'action de l'onde de choc, et, d'autre part, en la rétablissant. Ceci est réalisé en employant le dispositif dont nous nous sommes servis plus haut, l'explosif étant tiré dans un tube de résistance variée avec ou sans bouchon du côté opposé au détonateur; on peut, en effet, penser que, dans ce dernier cas, il n'y a rien de changé, sauf la présence en plus de l'onde de choc dans la partie où celle-ci a, et de beaucoup, la valeur la plus grande qu'elle puisse prendre.

Nous avons vu dans le tableau I un exemple de ce cas, avec l'explosif B, dont la limite de 5-6 tours laiton est portée à 6-7 tours en enlevant le fond opposé au détonateur. Cette différence d'un tour de laiton seulement permet de supposer que l'action de l'onde de choc n'est pas très importante dans ce cas, puisqu'elle a pu être compensée par une différence de condition d'expérience très faible.

Remarquons encore qu'entre le coup à 6 tours de laiton sans fond qui allume et le coup à 7 tours de laiton sans fond qui n'allume plus, la seule différence a été, en apparence, dans la composition des gaz de la détonation et que cette différence n'a pu être très notable pour cette faible différence de confinement, d'autant que les produits de la décomposition au passage de l'onde de la dernière tranche solide de l'explosif sont directement projetés dans le milieu grisouteux. Cela permettrait de supposer que ce serait la composition des produits de la détonation qui serait le facteur principal produisant ou non l'inflammation.

Avec d'autres explosifs antigrisouteux, la différence entre l'inflammation ou non dans ces conditions a été obtenue avec une différence de 1 tour de tôle de fer au lieu de 1 tour de tôle de laiton, mais cela ne change rien d'essentiel à la remarque ci-dessus et à la conclusion à en

tirer. L'essai n'a pas été fait avec des explosifs brisants, comme la dynamite guhr ou l'amatol; il est possible que, dans ces cas, le résultat serait tout différent.

Nous avons également essayé l'influence des gaz brûlés, et spécialement de l'acide carbonique existant dans le milieu grisouteux. Son action sur l'inflammabilité de ce milieu a été étudiée par Coward et Hartwell (14). Nous avons constaté qu'un mélange grisouteux doit contenir une assez forte proportion d'acide carbonique pour que son inflammabilité baisse d'une fraction appréciable avec un explosif comme la grisoutolite couche, qui n'est pas très dangereuse par elle-même. Par exemple, il faut trois tours de fer pour éteindre 150 grammes de GTC; nous avons observé que, pour l'éteindre à l'intérieur d'un tube d'un tour, il fallait une proportion d'acide carbonique égale aux deux tiers de celle du grisou dans le mélange.

Avec l'amatol, qui nécessite 8 tours de tôle pour être éteint, on a cherché quelle proportion il faudrait ajouter pour l'éteindre quand il est tiré dans un tube de 1 tour seulement. Avec une teneur d'acide carbonique de huit dixièmes de la teneur en grisou, on a eu inflammation avec détonation du mélange grisouteux; mais, dès le taux de 1,7 fois la teneur en méthane, on n'a plus qu'une inflammation lente. Par contre, on a pu pousser le taux de l'acide carbonique jusqu'à 4,5 fois la teneur en grisou et avoir encore une inflammation ralentie, mais certaine. L'extinction totale par addition d'acide carbonique au milieu grisouteux paraît donc difficile dès que l'explosif devient un peu dangereux. Peut-être serait-ce à cause de la plus haute température de la flamme.

Quant à l'influence de la composition immédiate des produits de la détonation à l'intérieur même de la flamme, et non plus seulement dans le milieu grisouteux, elle a été

(14) Paper n° 19, *Safety in Mines Research Board*,

signalée comme probable, dès 1926, par M. Lemaire (15), ainsi que l'importance qu'il y aurait à avoir de très bonne heure dans la flamme des gaz brûlés: acide carbonique, vapeur d'eau, et il fit la suggestion d'ajouter, dans ce but, de la dicyandiamide comme source rapide d'azote.

Nous n'avons pas essayé la dicyandiamide comme apportant en même temps du carbone, ce qui dénaturerait l'explosif et enlèverait de la rigueur aux conclusions, mais nous avons ajouté dans des cartouches d'amatol tirées au canon des petits tubes d'acide carbonique liquide. Leur influence a été manifeste, comme on le voit ci-dessous, en dépit de la très grande imperfection probable du mélange avec les gaz de l'explosif:

25 gr.	amatol	:	NI;
37	—		I;
50	—		I;
50	—	plus 2 gr.	acide carbonique liquide : NI;
50	—	— 4 gr.	— NI;
75	—	— 4 gr.	— NI;
100	—	— 4 gr.	— I;
100	—	— 8 gr.	— NI;
150	—	— 10 gr.	— I;
150	—	— 12 gr.	— I;
150	—	— 14 gr.	— I;
150	—	— 16 gr.	— NI.

On a vérifié, d'autre part, que l'addition de 4 grammes d'acide carbonique liquide à 50 grammes d'amatol tirés au canon ne diminuait pas de façon appréciable les calories dégagées dans la chaudière, ainsi qu'il fallait s'y attendre, et, de plus, par une photographie, que cette addition n'a en rien changé le caractère de la flamme.

En plaçant l'amatol dans un tube, il fallait s'attendre à ce que le mélange de l'acide carbonique avec les gaz de l'explosion soit beaucoup plus précaire qu'au canon.

(15) E. LEMAIRE, « Problème de l'Explosif de sûreté », *Annales des Mines de Belgique*, 1926, 2^e livraison.

En réalité, l'action est restée extrêmement nette. On a vu qu'au canon, 16 grammes d'acide carbonique éteignent 150 grammes d'amatol; d'autre part, que, pour éteindre 150 grammes d'amatol en trou de mine, il faut un confinement de 8 tôles. Or, avec un tube de 4 tôles et 16 grammes d'acide carbonique, on a extinction, et quelquefois avec un nombre de tôles inférieur, mais de façon assez irrégulière due probablement aux variations de répartition de l'acide carbonique.

Nous avons aussi réussi, mais plus difficilement, à empêcher l'amatol d'allumer le grisou en l'additionnant d'une certaine quantité de bicarbonate d'ammoniaque, ou mieux, pour ne pas gêner la détonation, en introduisant celui-ci à part, à l'intérieur de la cartouche d'amatol. Toutefois, les expériences dans la chaudière à mesure de pression ont montré que cette addition fait assez notablement baisser les calories dégagées à l'extérieur du canon, de sorte que l'extinction pourrait être attribuée à une autre cause que la présence seule d'acide carbonique.

Au contraire, la rupture du tube et la vaporisation de l'acide carbonique liquide n'ont absorbé qu'une quantité de chaleur insignifiante, ainsi qu'il résulte du calcul et de l'expérience. On pourrait toutefois objecter que la température maxima que peut prendre la flamme a baissé par suite des calories qui sont cédées à l'acide carbonique pour l'amener à la température de celle-ci, et y voir la raison de l'extinction qu'il produit; mais le calcul montre que l'addition de 8 % d'acide carbonique aux gaz de la détonation de 100 grammes d'amatol produit un abaissement de 100° seulement de la température maxima de la flamme. Or, l'on peut réaliser le même abaissement sans toucher sensiblement à la composition des gaz en modifiant la composition de l'amatol à 81,5 % de nitrate d'ammoniaque et 18,5 % de trinitrotoluène; mais cette modi-

fication de composition n'amènerait pas une très notable diminution de l'aptitude à enflammer le grisou, tandis que l'addition d'acide carbonique a produit l'extinction.

Par conséquent, dans les expériences ci-dessus, l'acide carbonique liquide semble bien avoir pu agir seulement par sa présence en diminuant l'inflammabilité du mélange grisouteux aux points où celui-ci est en contact avec la flamme. Il en résulte que, pour obtenir un explosif anti-grisouteux, la condition principale serait ainsi de réaliser la formation assez rapide dans les gaz de sa décomposition d'une quantité suffisante d'acide carbonique, d'azote ou de vapeur d'eau, cette quantité devant être d'autant plus importante que l'explosif serait en dehors de cela plus dangereux par lui-même, par suite de son potentiel, du poids employé, des conditions de tir, etc.

Il serait possible que ce soit principalement par ce mécanisme que l'addition de sel marin diminue l'inflammabilité. La lenteur relative probable des réactions au début de la détente apportée par cette addition ayant simplement pour effet, en dehors de l'abaissement de température de la flamme, de favoriser la formation hâtive d'une certaine proportion de gaz brûlés qui s'opposent ultérieurement à l'inflammation.

Le rôle du confinement qui éteint tous les explosifs, mais avec une valeur variable pour chacun d'eux, serait principalement, en dehors de l'abaissement de température produit par le travail mécanique, d'empêcher que les gaz en réaction ne se répandent dans le mélange grisouteux avant qu'ils ne contiennent une quantité de gaz brûlés suffisante pour empêcher l'inflammation du mélange grisouteux dans les conditions spéciales de chaque cas. Cette condition observée, la roche pourrait ainsi s'ouvrir et les flammes se répandre à l'extérieur avant même qu'elles aient achevé leurs réactions, et cela sans danger.

Dans une publication toute récente déjà citée (16), M. Audibert vient d'indiquer que la cause principale de l'inflammation du grisou par les grisoudynamites et grisounaphtalites serait la projection dans le mélange grisouteux de matières incandescentes solides, constituées de grains d'explosif non décomposé au passage de l'onde de détonation. Les faits expérimentaux qu'il cite à l'appui de cette théorie, ne paraissent pas s'accorder sans difficulté avec les conclusions qu'il en tire.

Par exemple, on s'explique mal que les particules incandescentes puissent rester sans allumer le grisou sur un parcours de 1 mètre à 1^m,25 à partir du bord du canon, et l'allumer seulement au delà, alors que la gerbe a perdu de sa densité, ce qui devrait la rendre moins dangereuse, d'autant plus que l'on observe dans d'autres circonstances de tir du même explosif des inflammations au bout de dix centimètres seulement de parcours des particules solides.

D'autre part, d'après M. Audibert, les particules solides incandescentes venant de la décomposition incomplète de l'explosif seraient lancées *au delà* des flammes et les précéderaient. Ceci est en complète contradiction avec l'action si nettement extinctrice de l'acide carbonique liquide, car on ne peut guère concevoir que le gaz venant de celui-ci puisse exister en dehors de la flamme.

Il se pourrait qu'une partie au moins des traces de perforation observées sur les écrans vienne 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, certaines parties voisines du détonateur qui

(16) Conférence faite à Montluçon, le 25 octobre 1928, par MM. AUDIBERT et DELMAS, *Revue de l'Industrie minière*, 1^{er} janvier 1929.

peuvent même représenter un poids assez considérable si le détonateur est enfoncé jusqu'au bout dans la cartouche, comme il est d'usage, ou pour toute autre cause. Dans ces cas, il serait naturel que la flamme soit, en effet, précédée de matières solides; au contraire, chaque grain de matière venant de la décomposition incomplète de l'explosif au passage de l'onde devrait être entouré d'un nuage de gaz en réaction issu de lui-même.

Comme le dit fort bien M. Audibert, il est très difficile, en l'absence d'expériences directes certaines, de distinguer dans une inflammation ce qui revient à la flamme de ce qui revient aux matières solides incandescentes. Il donne, à l'appui de son choix en faveur de ces dernières les deux raisons suivantes :

1° De n'avoir pu expliquer par l'action des gaz certaines particularités du tir au mortier, alors qu'on aurait pu le faire par l'action des matières solides. L'explication donnée avec ces dernières ne semble pas d'ailleurs à l'abri de toute critique. Par exemple, un des facteurs principaux observés expérimentalement de l'inflammation du grisou par les particules solides incandescentes est la grosseur de ces particules; or, sur deux explosifs essayés, cette action de la grosseur des grains n'est observée qu'une fois, dans le cas de la grisounaphtalite couche, et l'on peut trouver facilement pour ce cas une tout autre explication à l'action positive de la grosseur des grains.

Au surplus, le fait d'avoir plus ou moins expliqué ces particularités par l'action des matières solides n'est pas une preuve probante en faveur de ces dernières, car il est parfaitement possible qu'on en puisse faire autant plus tard par l'action des flammes:

2° 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). C'est cet argument qui paraît le plus frappant.

Remarquons toutefois que la gerbe de projection 1/2 n'est qu'une entité de l'esprit, et que sur la courbe de probabilités de répartition des projections, rien de significatif ne marque la limite de cette gerbe 1/2 qui puisse expliquer le changement de propriété des particules de part et d'autre de cette limite. L'identité observée pourrait être ainsi purement fortuite.

Quoi qu'il en soit, il nous semble que les faits décrits par M. Audibert pourraient s'expliquer tout aussi naturellement, et peut-être plus simplement, en attribuant les inflammations observées à l'action des flammes, au lieu de les attribuer aux particules solides. En effet, dans les conditions de tir décrites, il est évident qu'un jet de gaz incandescents est lancé en même temps que les matières solides; il est vraisemblable de penser que la partie centrale de ce jet, lancée directement dans le prolongement de l'axe du canon, ait une concentration et une vitesse de pénétration dans le milieu grisouteux plus grandes qu'aux alentours, et peut-être aussi une structure en forme de dards plus accentuée. Il est assez vraisemblable de supposer que, pour ces raisons, cette partie centrale de la flamme pourrait être plus dangereuse que ses voisines. Que l'on vienne à bouleverser ces conditions par l'interposition d'un écran, et cette partie centrale redevient pareille à ces voisines, d'où la non-inflammation produite par l'écran. Mais cet écran a arrêté en même temps les matières solides, de sorte qu'il est bien difficile de différencier les deux actions, les mêmes causes qui tendent à disperser les particules solides ou à les arrêter ayant en

même temps pour effet de disperser les jets de gaz ou de les arrêter.

Cette explication demande donc simplement de faire des hypothèses qui paraissent assez probables, et elle échappe aux objections faites plus haut quant à la distance d'inflammation et à l'extinction par l'acide carbonique liquide.

Pour ces raisons il nous paraît, jusqu'à nouvelles expériences fixant définitivement la question, préférable de penser que c'est la flamme, et non la projection de matières solides, qui, dans la généralité des cas, est responsable de l'inflammation du grisou, tout en admettant comme possible que, dans certains cas, les particules solides puissent constituer un supplément de danger sur lequel on doit avoir l'attention attirée.

RÉSUMÉ

Dans certaines conditions de tir, les explosifs au nitrate d'ammoniaque, même antigrisouteux, tirés au canon, achèvent en général leurs réactions secondaires d'une façon assez complète, et le bilan thermique n'est pas très éloigné de la théorie, si l'on tient compte du travail fait dans le canon.

Il en résulte que les objections qui avaient été faites à la validité de l'épreuve au mortier comme permettant à certaines additions salines d'arrêter les réactions secondaires ne sont pas fondées, et l'épreuve au mortier doit être considérée comme très sévère.

Il y a néanmoins intérêt à la compléter par une épreuve basée sur la mesure des confinements qui produisent l'extinction, se rapprochant des conditions du trou de mine normal où les gaz s'échappent principalement par les parois. Des mesures faites dans ce sens montrent :

1° Que les explosifs antigrisouteux analogues à ceux employés en Belgique paraissent incapables d'allumer le grisou dans un coup de mine normal, ce qui est conforme à ce qui a été jusqu'à présent observé par l'expérience directe en roche ;

2° Que, pour un trou de mine travaillant normalement, et dans le cas d'un explosif antigrisouteux, le bourrage ne joue qu'un rôle secondaire dans la sécurité, ce qui a été également confirmé par l'expérience en roche. Il n'en serait naturellement pas de même pour un coup faisant canon, où le bourrage garde toute sa valeur ;

3° Que les divers dispositifs essayés pour représenter les coups anormaux n'ont pas jusqu'à présent révélé de supplément de danger très considérable, mais on peut parfaitement en imaginer d'autres, et c'est de ce côté que doivent porter les recherches, puisqu'il paraît bien que le coup normal ne peut être dangereux.

Pour mettre d'accord les deux faits suivants :

a) Que l'addition de sel à de l'amatol diminue beaucoup la grandeur et l'intensité de la flamme de l'explosion, ce qui suppose un notable abaissement de la température, et, par conséquent, de la vitesse des réactions de cette flamme ;

b) Que le nombre de calories dégagées est resté presque constant avec et sans addition de sel,

on est amené à la conception que la durée de la flamme serait sensiblement augmentée par l'addition de sel, en même temps que la sécurité est accrue, de sorte que certains explosifs antigrisouteux auraient des durées de flamme plus longues que des explosifs brisants. Cette conception ne peut être contrôlée actuellement par une expérience directe, mais on peut, dès maintenant, en envisager

la possibilité, bien qu'elle soit en contradiction avec les idées générales actuelles.

Enfin, les expériences décrites semblent montrer que c'est la flamme qui est le mécanisme principal d'inflammation du grisou par les explosifs, et sa composition qui est le facteur prépondérant conditionnant cette inflammation, laquelle peut être empêchée, quelles que soient les autres circonstances, si la flamme contient une proportion suffisante, et variable avec ces circonstances, des produits de la combustion complète de l'explosif, c'est-à-dire d'acide carbonique, azote et vapeur d'eau. Dans ces conditions, la réalisation de l'explosif antigrisouteux reviendrait principalement à développer par tous moyens la rapidité de formation de ces composés dès le début de la détonation.