

LES NOUVELLES EXPÉRIENCES

DE M. C.-E. BICHEL

Sur l'Inflammation du Grisou par les Explosifs

PAR

L. DENOËL

Ingénieur au Corps des Mines.

[62218]

La question si complexe et si importante de la détermination du degré de sécurité des explosifs s'impose toujours à l'attention, tant au point de vue pratique qu'au point de vue théorique, dans les divers bassins houillers à gisements grisouteux; elle a été mise à l'ordre du jour du V^e Congrès de chimie appliquée, tenu à Berlin en 1903, mais sans y recevoir de solution définitive; elle figure aussi au programme du Congrès international des mines qui se tiendra à Liège, en 1905. Depuis plusieurs années, le *Service des accidents miniers et du grisou* s'est donné la mission de faire connaître les recherches expérimentales et les études publiées dans les principaux pays miniers et de nature à contribuer au progrès de nos connaissances sur les explosifs de sûreté. C'est à ce titre qu'ont été rapportées, en dernier lieu, en 1902, les expériences extrêmement intéressantes de M. Bichel, directeur de la Société *La Carbonite*, en vue de déterminer les propriétés caractéristiques de certains explosifs et leur influence sur l'inflammation du grisou (1).

(1) *Annales des Mines de Belgique*, t. VII, 4^e liv.

Ces recherches ont été poursuivies à l'usine de Schlebusch; elles ont donné lieu à d'importantes communications au Congrès de Berlin, ainsi qu'à une publication récente (1) dont nous croyons utile de donner ici un compte-rendu assez développé.

Dans la première partie de son mémoire, M. Bichel s'occupe de la détermination pratique de la *charge limite de sécurité*. On sait qu'il faut entendre par là la charge maximum d'un explosif donné que l'on puisse faire détoner en présence d'un mélange gazeux inflammable, sans provoquer l'explosion de ce dernier. Avec M. l'Ingénieur en chef V. Watteyne, nous avons dès 1898, préconisé cette charge limite comme le critérium, à la fois le plus rationnel et le plus pratique, du degré de sécurité des divers explosifs, et M. V. Watteyne a soutenu à nouveau cette thèse au V^e Congrès de chimie appliquée. Nous constatons, avec satisfaction, que M. Bichel s'y est entièrement rallié et qu'il propose d'adopter, dans la terminologie allemande des explosifs, l'expression de charge limite qu'il traduit littéralement (*Grenzladung*).

En Allemagne d'ailleurs, c'est généralement sur cette charge qu'est basée la spécification des explosifs de sûreté. Les essais se font sans bourrage, dans un mortier en acier, placé à peu près horizontalement dans une galerie où l'on peut créer une atmosphère chargée de grisou et de poussières de charbon. Mais bien qu'il existe aujourd'hui un grand nombre de galeries d'essais, établies tant par les autorités que par les fabricants d'explosifs, et que des recherches multiples y aient été faites depuis une vingtaine d'années, il ne s'en trouve pas deux qui aient obtenu des résultats parfaitement concordants. La plupart des labora-

(1) *Über Zündung von Slagwettern durch detonierende Sprengstoffen*. — *Glückauf*, n^o 35, 1904, p. 1040.

toires, pris séparément, travaillent cependant d'une façon assez régulière et, de l'un à l'autre, les écarts des résultats obtenus avec divers explosifs sont assez constants.

On a souvent proposé, notamment au Congrès de Berlin, en 1903, d'uniformiser les installations et les méthodes d'essai. Ce projet n'a pas abouti, faute d'entente sur la nature du mélange gazeux qu'il convient d'employer pour les expériences, ceux qui disposent de grisou naturel ne pouvant se résoudre à le remplacer par un mélange artificiel. Une proposition présentée à ce même Congrès allait plus loin et tendait à faire adopter pour les expériences une station unique, qui aurait été celle de Frameries; le mode d'essai aurait été déterminé par une Commission internationale. Les difficultés que paraissait devoir présenter le fonctionnement de cette Commission, ont fait écarter la proposition, qui résolvait le problème d'une façon radicale.

Il semble bien, cependant, que l'on puisse arriver à une uniformité qui rendrait les essais comparables, en s'imposant pour règle, dans la construction de nouvelles galeries d'essai ou dans les réparations aux galeries existantes, de se conformer dans tous les détails à une installation type, et de n'employer que des mélanges gazeux naturels ou artificiels, possédant la même sensibilité.

Les résultats seraient encore affectés, néanmoins, par les irrégularités propres à chacune des installations, ce que l'on pourrait appeler leurs caprices, lesquels déconcertent plus d'une fois les expérimentateurs. La cause doit en être recherchée dans le jeu de plusieurs circonstances locales dont l'influence est mal déterminée, telles que la pression barométrique, l'humidité, la température de l'air, l'action du vent, d'une exposition prolongée au soleil, de la rugosité des parois de la galerie, etc.

Le concours de ces diverses influences a pour consé-

quence que, toutes autres choses égales, les résultats obtenus avec un même explosif sont parfois très différents, sans qu'on puisse en donner des raisons plausibles. Une longue expérience et une observation attentive de toutes les particularités de l'installation permettent d'atténuer, jusqu'à un certain point ces irrégularités, mais on ne les évite jamais complètement. Aussi ne peut-on se baser sur les résultats d'une journée d'essai pour apprécier un explosif; il faut considérer une série d'essais plus ou moins espacés. Les mauvais jours, ceux où les influences momentanées acquièrent de l'importance, sont l'exception et non la règle. Il serait préférable, quand il s'en présente, de suspendre les expériences et de les continuer les jours où des explosifs connus donnent les mêmes résultats que les expériences antérieures souvent répétées.

Ces considérations montrent combien la détermination de la charge limite peut être délicate; l'analyse des phénomènes complexes qui se passent dans la détonation des explosifs, ne l'est pas moins.

Les premiers travaux de M. Bichel (1) consistent dans la détermination, par un procédé photographique, de la longueur et de la durée des flammes de certains explosifs, de la vitesse de détonation et d'une série d'autres données importantes pour l'étude des explosifs de sûreté. La conclusion de ces recherches fut que toutes les valeurs mesurées devaient rester en deçà de certaines limites pour qu'un explosif puisse prétendre à la qualification d'explosif de sûreté.

Dans ces deux dernières années, les appareils et les méthodes ont continué à être appliqués à la fabrique de carbonite, à Schlebusch, et certains perfectionnements y ont été apportés.

(1) *Zeitschrift für Berg, Hutten und Salinenwesen*, 1902, p. 669. — *Annales des Mines de Belgique*, loc. cit.

C'est surtout le procédé de mesure de la vitesse de détonation, ou plus exactement de la vitesse de propagation de l'explosion, qui demandait à être perfectionné. Ce que l'on mesure dans le chronographe Le Boulengé, c'est le temps qui s'écoule entre la rupture de conducteurs électriques aux deux extrémités d'une file de cartouches; au moment de la rupture des fils, on ignore si la transformation de l'explosif en gaz est complète ou partielle; on sait seulement que l'explosion est commencée et a manifesté ses effets dans toute la file de cartouches. Le temps qui s'écoule entre la rupture des fils aux deux extrémités varie pour chaque explosif et sert à la mesure de la vitesse de détonation.

M. Mettegang, par un procédé qu'il a communiqué au V^e Congrès de chimie appliquée, a réussi à mesurer cette vitesse d'une façon plus simple, moins coûteuse et applicable presque partout. Par là, il a été possible de déterminer les vitesses de détonation d'un plus grand nombre d'explosifs. Pour les essais, on a adopté un diamètre de 30 millimètres pour les cartouches et une longueur de 3 mètres environ pour la charge; celle-ci est enfermée dans un tube en fer. La description du procédé sera donnée plus loin.

Les résultats des nouveaux essais sont consignés dans le tableau suivant.

EXPLOSIFS	COMPOSITION	ELARGISSEMENT du bloc de plomb
Poudre noire	74.9 Salpêtre 13.3 Charbon 11.8 Soufre	»
Trinitrotoluol	$C_6 H_2 (NO_2)_3 CH_3$	360
Acide picrique	$C_6 H_2 (NO_2)_3 OH$	365
Dynamite-gomme,	93.0 Nitroglycérine. 7 0 Coton-collodion	620
Dynamite guhr	75.0 Nitroglycérine. 25.0 Guhr	433
Gélatine dynamite	63.5 Nitroglycérine. 1.5 Coton-collodion 27.0 Nitrate sodique 8.0 Sciure de bois	482
Coton poudre	$C_{12} H_{15} (NO_2)_5 O_{10}$	420
Donarite	3.8 Nitroglycérine. 0.2 Coton-collodion 80.0 Nitrate ammonique 12.0 Trinitrotoluol 4.0 Farine	450
Ammon-Carbonite I	4.5 Amidon 80.3 Nitrate ammonique 5.0 Salpêtre 4.0 Nitroglycérine 0.2 Coton collodion 6.0 Charbon pulvérisé	355

Les astérisques indiquent que les résultats diffèrent de ceux qui ont été publiés en

ANALYSE DES Produits de l'explosion		LONGUEUR de la flamme par 100 gr. d'explosif. cm.	DURÉE de la flamme de 100 gr. 1/1000 seconde	DURÉE de la détonation de 100 gr. 1/1000 seconde	VITESSE de la détonation mètres par seconde	RAPPORT de la durée de l'explosion à celle de la flamme	TEMPÉRATURE de détonation	CHARGE-LIMITE de sûreté gr.
CO ₂ 3.06 K ₂ CO ₃ CO 6.4 K ₂ SO ₄ N 19.6 K ₂ S ₃	110	150*	0.455	300	1 : 330	2537°	5	
CO ₂ 1.7 H CO 19.9 N 4.2 C	108	1.61	0.0019	7185	1 : 1347	2428°	5	
CO ₂ 1.4 H CO 19.3 N 0.8 C	110	1.47	0.0014	8183	1 : 1050	2498°	5	
CO ₂ 18.1 N O 20.3 H ₂ O	224	9.72	0.011	7700	1 : 883	3216°	5	
CO ₂ 13.9 N O 14.8 H ₂ O 25.0 Si O ₂	228	8.31	0.0134	6818	1 : 620	2999°	5	
CO ₂ 20.5 H ₂ O N 16.7 Na ₂ CO ₃	150	1.23	0.0121	7000*	1 : 101	2758°	5	
CO ₂ 1.2 H CO 16.1 N 15.4 H ₂ O	97	1.30	0.016	6343	1 : 81,4	2391°	8	
CO ₂ 35.8 N CO 33.9 H ₂ O	69	0.4	0.026	4137	1 : 15	2066°	130	
CO ₂ 29.16 N O 39.83 H ₂ O 6.49 K ₂ CO ₃	56	0.32	0.040	3195	1 : 8	2078°	300	

rections sont la conséquence des nouveaux essais.

EXPLOSIFS	COMPOSITION	ELARGISSEMENT du bloc de plomb
Gélatine-carbonite	25.3 Nitroglycérine . . . 0.7 Coton-collodion . . . 41.5 Nitrate ammonique . . . 6.9 Glycérine gélatine (1). . . 25.6 Chlorure de sodium . . .	315
Ammon-carbonite	4.0 Nitroglycérine gélatinisée 82.0 Nitrate ammonique . . . 10.0 Salpêtre 4.0 Farine	260
Carbonite n° II	30.0 Nitroglycérine. 24.5 Nitrate sodique 40.5 Farine 5.0 Bichromate de K.	258
Carbonite n° I	25.0 Nitroglycérine. 30.5 Nitrate sodique 39.5 Farine 5.0 Bichromate de K.	240
Carbonite pour charbon	25.0 Nitroglycérine. 34.0 Salpêtre 1.0 Nitrate de barium. 38.5 Farine 1.0 Tan pulvérisé 0.5 Soude	213
Carbonite	25.0 Nitroglycérine. 30.5 Salpêtre 4.0 Nitrate de barium 40.0 Tan pulvérisé 0.5 Soude	235

(1) 1 de gélatine pour 3.5 de glycérine.

ANALYSE	LONGUEUR de la flamme par 100 gr. d'explosif. cm.	DURÉE de la flamme de 100 gr. 1/1000 seconde	DURÉE de la détonation de 100 gr. 1/1000 seconde	VITESSE de la détonation mètres par seconde	RAPPORT de la durée de l'explosion à celle de la flamme	TEMPÉRATURE de détonation	CHARGE-LIMITE de sûreté gr.
DES Produits de l'explosion CO ₂ 29.3 H ₂ O N 25.6 NaCl	56	0.5	0.041	2300	1 : 12	1680°	500
CO ₂ 31.7 N O 38.3 H ₂ O 7.2 K ₂ CO ₃	51	0.28	0.038	3094	1 : 7,4	1648°	500
2 CO ₂ 13.02 N 5 CO 12.05 H ₂ O 0 H 15.27 Na ₂ CO ₃ 2 CH ₄ 1.68 K ₂ CO ₃ 2.59 Cr ₂ O ₃	48	0.53	0.038	2472	1 : 14	1639°	900
5 CO ₂ 11.54 N 5 CO 12.30 H ₂ O 0 H 18.70 Na ₂ CO ₃ 1 CH ₄ 1.65 K ₂ CO ₃ 2.56 Cr ₂ O ₃	45	0.47	0.030	3042	1 : 15	1666°	1000
CO ₂ 13.8 N CO 5.0 H ₂ O H 22.0 K ₂ CO ₃	41	0.31	0.036	2700	1 : 8,7	1561°	1100
CO ₂ 9.7 N CO 9.6 H ₂ O H 22.0 K ₂ CO ₃ CH ₄ 3.0 BaO 1.4 Na ₂ CO ₃	40	0.33	0.053	2443	1 : 6,5	1874°	1100

La grandeur absolue de la vitesse de détonation ne diffère pas beaucoup des résultats des mesures effectuées précédemment. Il reste établi que pour les plus lents des explosifs détonants la vitesse de propagation est de 2,000 mètres par seconde, tandis que pour les plus rapides, elle s'élève à 8,000 mètres. Le rapport des valeurs extrêmes est donc de 1 : 4.

La longueur et la durée des flammes ont été déterminées comme précédemment. Les valeurs extrêmes des longueurs de flamme, celles qui se rapportent aux explosifs les plus sûrs et les moins sûrs (carbonite pour charbon et gélatine dynamite), sont de 0^m40 et de 2^m24 respectivement; elles sont donc dans le rapport 1 : 5.6. Les durées des flammes sont : pour le maximum de 0.28 millisecondes et pour le minimum, de 10 millisecondes; le rapport est donc de 1 : 35.

Les mesures de quantités de chaleur dégagées par l'explosion ont été continuées et on y a rattaché une détermination de la température par voie expérimentale, c'est-à-dire, déduite de l'analyse des gaz refroidis.

On trouvera à la fin de cet article un exemple du mode de calcul.

Parmi les températures trouvées, la plus basse est celle de la carbonite pour charbon, 1561°; la plus haute, celle de la dynamite gomme 3216°. Les valeurs extrêmes sont donc dans le rapport de 1 : 2.

A titre d'indication sur la force des explosifs, le tableau renseigne les élargissements au bloc de plomb, lesquels ont été pour la première fois, mesurés d'après les règles normales adoptées par le V^e Congrès de chimie appliquée, de 1903, à cette différence près, que le volume primitif du creux du bloc de plomb (60 cm³) n'a pas été retranché des résultats. Il est à peine nécessaire de faire encore ressortir qu'une comparaison directe de la force des divers

explosifs par ce procédé n'est pas possible, attendu que les déformations sont très différentes suivant la grandeur de la vitesse de l'explosion et que les résultats sont défavorables aux explosifs les moins brisants. Dans le cas présent, les indications du tableau ne doivent servir que d'aperçu général basé sur le système normal adopté; d'ailleurs, des données sur la puissance des explosifs ne paraissent pas indispensables et les règles adoptées se prêtent très bien à la généralisation parce qu'elles sont d'une exécution et d'un contrôle faciles.

Les explosifs sont classés au tableau dans l'ordre de grandeur croissante des charges limites, ce qui permet de comparer les explosifs depuis les plus dangereux jusqu'aux plus sûrs, au point de vue de la vitesse de détonation, de la durée et de la longueur des flammes, de la température de détonation, ainsi qu'étendre les conclusions des recherches de 1902.

Si l'on compare la durée de la détonation avec la durée de la flamme, la première étant prise égale à l'unité, on obtient les chiffres de la colonne 9. Un des explosifs les plus sûrs, la carbonite pour charbon, est caractérisé par le rapport 1 : 8.7, tandis que l'un des plus dangereux qui soient en usage dans les mines, la dynamite-gomme, est caractérisé par le rapport 1 : 883. L'écart de ces deux valeurs extrêmes est donc de 1 à 100.

C'est là un fait frappant : Il provient de ce que dans les explosifs les plus dangereux la durée de détonation est petite et celle de la flamme, très grande, tandis que c'est l'inverse dans les explosifs les plus sûrs. Le rapport de la durée de la flamme à celle de l'explosion représente ce que l'on pourrait appeler la *persistance* ou la *survivance* de la flamme, expressions que nous emploierons comme rendant celle de *Nachflammverhältniss*, proposée par M. Bichel.

Nous dirons donc que dans les explosifs dangereux la

survivance est grande, qu'elle est courte dans les explosifs de sûreté.

En rapprochant les nombres qui caractérisent les termes extrêmes de la durée de l'explosion, de la durée et de la longueur des flammes, de la survivance et de la température, nous obtenons les rapports suivants :

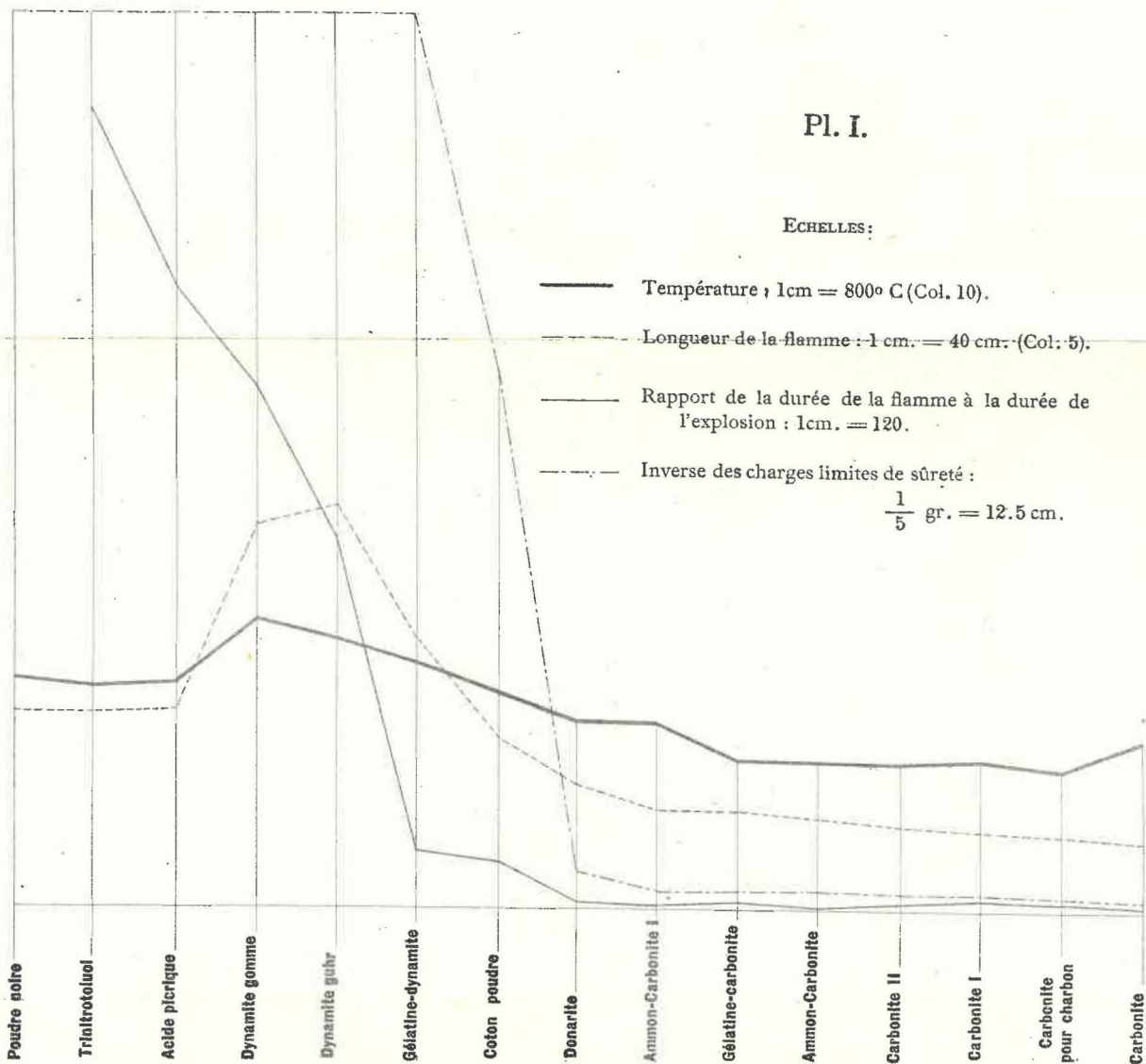
Rapport entre les caractéristiques des explosifs de sûreté et celles des explosifs les plus dangereux.

Vitesse de détonation	Longueur des flammes	Durée des flammes	Survivance de la flamme	Température de la détonation
1 : 4	1 : 5.6	1 : 35	1 : 100	1 : 2

Il semble donc, conclut M. Bichel, que la survivance ait une influence prépondérante au point de vue de l'inflammation du grisou par les explosifs; la longueur des flammes et la température ont cependant aussi leur importance.

La flamme de tous les explosifs persiste après la détonation, et celle des explosifs de sûreté persiste beaucoup moins que celle des autres, et il y a là probablement un critérium important du degré de sécurité des explosifs. La grandeur de la survivance est en relation avec celle de la pression. Plus la décomposition est rapide et plus les gaz conservent longtemps leur température, plus grande est la pression exercée par l'explosif et plus il est dangereux. Au contraire, plus la décomposition est lente, plus la température est basse, et plus les fumées se contractent ou se condensent rapidement, moindre est la pression de l'explosif et il est plus sûr.

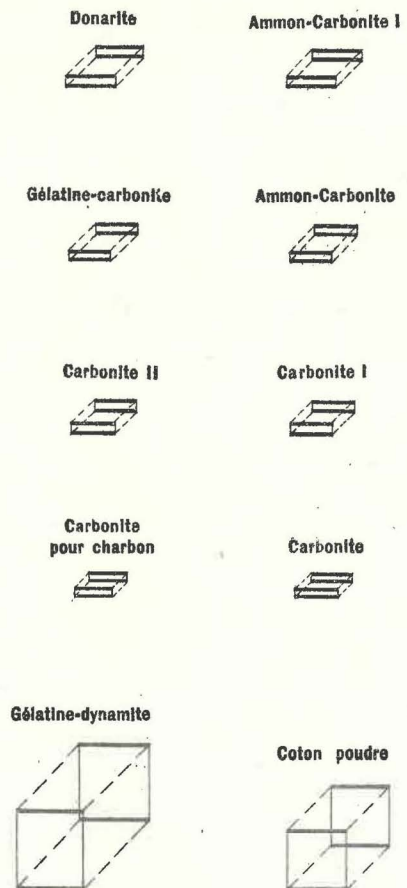
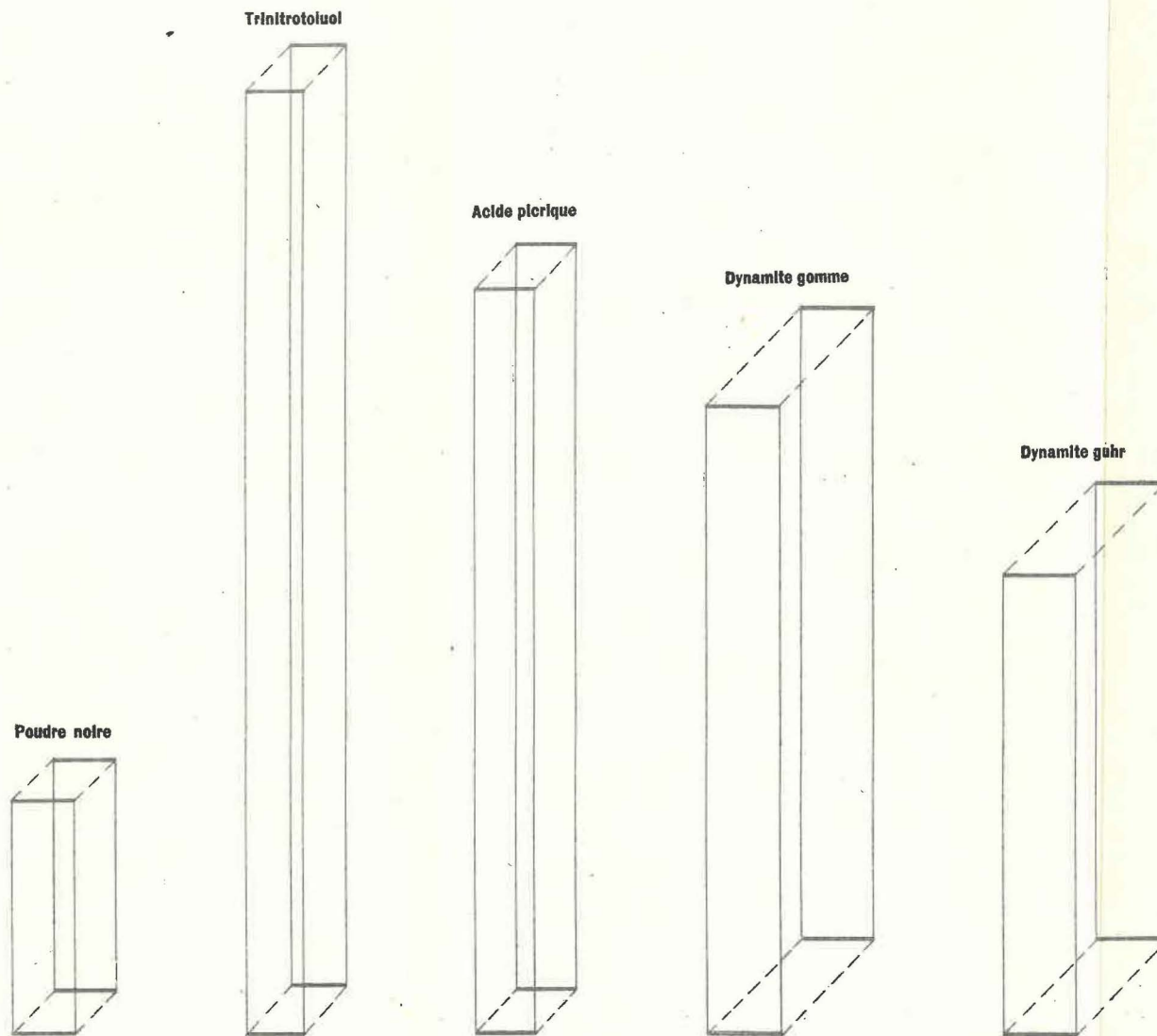
Il va de soi que la rapidité plus ou moins grande de la contraction ou de la condensation des gaz de l'explosion s'explique par leur composition même, leur température et peut-être aussi par des dissociations. Ainsi, la sûreté des



Pl. II.

ECHELLES :

- Température : 1cm. = 3000° C.
- Longueur de la flamme : 1cm. = 120cm.
- Rapport de la durée de la flamme à la durée de l'explosion : 1cm. = 102.



explosifs de nitrate ammonique paraît provenir de la grande proportion de vapeur d'eau facilement condensable produite par la décomposition ainsi que de la température de détonation relativement basse, tandis que pour d'autres explosifs l'explication est loin d'être aussi simple. L'application de l'analyse spectrale et de la photographie des flammes sera probablement d'un grand secours pour des recherches sur ce point ; on peut également en attendre un mode de détermination expérimentale et à l'abri de toute critique, de la température de détonation. Les travaux entrepris dans cette voie, au laboratoire de Schlebusch, ne sont pas encore terminés.

Du reste, les résultats des expériences relatées jusqu'ici concordent entièrement avec celles que l'on peut réaliser aisément dans le laboratoire sur des gaz inflammables s'écoulant par un orifice. Tout mélange gazeux facilement inflammable est allumé, comme on sait, par un corps chaud dont la température est égale ou supérieure à sa température d'inflammation, mais à la condition que la surface de contact du corps chaud soit assez grande et la durée du contact assez longue. En ce qui concerne le grisou, il faut considérer la température, la longueur et surtout la durée des flammes, ensuite la vitesse de détonation. Lorsque cette vitesse est très grande, l'atmosphère grisouteuse de la galerie d'essai oppose une plus grande résistance au déplacement.

Les diagrammes (pl. I et II) font ressortir les particularités caractéristiques des explosifs essayés et principalement les grandes différences qui se manifestent dans la survie de la flamme. Ils montrent en outre que les explosifs se différencient extrêmement d'après les grandeurs absolues de leurs caractéristiques dans les différentes directions, et que le danger commence pour un explosif lorsque certaines limites assez basses sont dépassées. A ce point de vue, on

peut classer comme groupes de natures distinctes : les carbonites ; les explosifs au nitrate ammonique ; la gélatine dynamite et le fulmicoton ; enfin les explosifs les plus brisants et la poudre noire. Le groupe des explosifs au nitrate ammonique peut être considéré comme présentant le degré de sûreté à exiger des explosifs autorisés dans les mines à grisou. La sûreté disparaît dès que la composition de l'explosif n'est pas telle que la température, la longueur et la persistance des flammes soient aussi faibles que possible.

La considération de la persistance de la flamme explique aussi pourquoi chaque explosif doit avoir une charge limitée. Tout explosif donne lieu à une flamme dont la longueur et la durée augmentent avec la charge. C'est ce qui résulte de l'observation d'explosions de fortes charges, qu'elles aient eu lieu intentionnellement ou accidentellement. C'est aussi ce qu'ont démontré des expériences spéciales faites dans le but de déterminer la zone de propagation par influence de divers explosifs. Ainsi lors de l'explosion survenue à Keeken sur le Rhin en 1895, et où 18,960 kilog. de dynamite et de dynamite gomme ont sauté simultanément, les témoins oculaires ont remarqué une forte flamme. Ainsi encore, au champ de tir de Kunnersdorf, en 1899, où l'on fit sauter des magasins renfermant jusqu'à 500 et 1,500 kilogrammes de dynamite, on a constaté l'apparition de flammes qui ont même pu être photographiées. Tout mineur connaît les phénomènes lumineux qui accompagnent l'explosion d'une charge de quelques cartouches. Vers 1890, lors d'essais sur la propagation de l'explosion, on exécuta aussi des mesures de la grandeur des flammes de différentes charges. Dans ce but, on fit détoner des charges initiales de gélatine-dynamite par quantités croissant de 1 à 200 kilog., tandis que des charges secondaires de 1/2 à 2 1/2 kilog. étaient disposées sur des

poteaux à la périphérie de cercles concentriques de diamètre différent, de telle sorte qu'elles fussent exposées directement à l'action de la flamme de la charge centrale. Au cours de ces essais, il fut établi que lorsque les charges sont enterrées, la propagation de l'explosion ne se fait sentir qu'à de courtes distances, d'où l'on conclut que c'est à l'action directe de la flamme de la charge initiale qu'il faut rapporter l'explosion par influence des charges secondaires, et non pas à l'ébranlement, comme on était généralement porté à le croire.

On a trouvé pour la propagation les distances suivantes :

1 kilog. de gélatine-dynamite	.	0 ^m 80
5 » »	.	1 ^m 45
10 » »	.	1 ^m 80
25 » »	.	2 ^m 25
50 » »	.	2 ^m 50
100 » »	.	2 ^m 75
200 » »	.	5 ^m 25

De là ressort à l'évidence que la grandeur des flammes de l'explosion augmente avec la charge. On s'explique aussi qu'il existe une charge limite de l'inflammation du grisou, puisqu'il a été démontré plus haut que la persistance de la flamme est le plus caractéristique des phénomènes auxquels donnent lieu la détonation des explosifs.

Mesure de la vitesse de détonation.

L'appareil Mettegang pour la mesure des vitesses de détonation consiste essentiellement en une source d'énergie électrique, une bobine d'induction et un tambour enregistreur mis en rotation rapide. Il se distingue d'autres chronographes en ce qu'il est exclusivement électrique. Le défaut des appareils électromagnétiques, les seuls employés jusqu'ici, consiste en ce que l'interruption du circuit électrique ne correspond pas absolument dans le temps à la désaimantation de l'électro-aimant et à la chute de l'ancre.

Dans le nouvel appareil (fig. 3), la source d'électricité est empruntée à une canalisation d'éclairage de 110 à 200 volts. Une partie est dérivée sur des résistances constituées par des lampes, et le primaire d'une bobine sans noyau de fer est mis en série avec ces lampes. La mise en circuit est telle qu'il passe par l'enroulement primaire un courant correspondant à l'alimentation de dix lampes à incandescence. L'un des pôles de l'enroulement secondaire est raccordé au palier d'un petit tambour enduit de noir de fumée et tournant à grande vitesse ; l'autre pôle est une pointe de platine très fine, laquelle est maintenue à la distance de $\frac{1}{4}$ m/m du tambour. Toute variation dans l'intensité

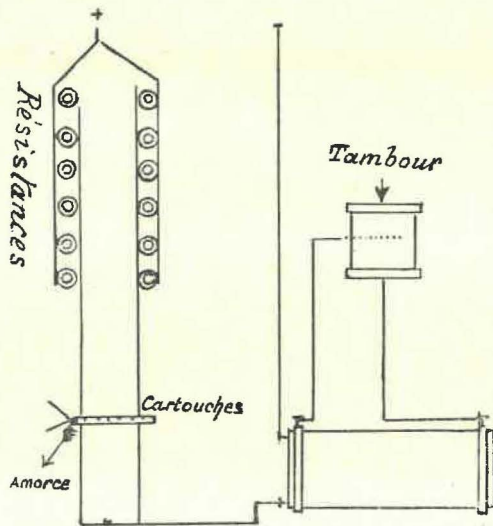


FIG. 3.

du courant primaire produit naturellement un courant induit, dont l'effet se manifeste par une étincelle et une marque blanche sur le tambour enduit de noir. Si donc les deux fils qui conduisent le courant des lampes aux pôles de la bobine sont reliés chacun à l'une des extrémités d'une file de cartouches, on obtient sur le tambour en mouvement deux marques correspondant à l'intervalle de temps qui s'écoule depuis le commencement jusqu'à la fin de la détonation. La vitesse de rotation du tambour doit être réglée d'après la longueur de la ligne de cartouches et la vitesse de détonation présumée, de telle sorte que l'enregistrement soit bien net. D'après les premiers essais,

on sait que la vitesse de détonation pour les explosifs les plus brisants est d'environ 8,000 mètres par seconde; l'explosion d'une charge de 4 mètres de longueur dure donc $1/2000^e$ de secondes. Si l'on donne au tambour une vitesse périphérique de 25 mètres, les deux marques seront distantes de $12^{mm}5$.

A chacune de ses deux extrémités, le tambour porte une roue dentée que l'on peut mettre en prise avec une vis sans fin. De cette façon, il est possible de lire l'écartement des marques sur le tambour au moyen d'une lunette à réticule et avec l'approximation du $1/100$ de millimètre. Pour déterminer la vitesse de rotation du tambour, le plus simple est de mesurer au compteur à secondes les intervalles d'une série de signaux de contact, lesquels sont donnés par la rotation lente d'un arbre vertical commandé au moyen d'engrenages par l'arbre du tambour.

Les mesures de vitesse ne donnent des résultats comparables qu'à condition de choisir pour les cartouches un diamètre uniforme, pas trop petit, et en outre, de les enfermer dans un tube de fer, de façon à se rapprocher des conditions d'un fourneau de mine.

L'expérience enseigne en outre que dans tout explosif, la plus grande aptitude à la détonation correspond à une certaine densité, et que l'on doit tasser en conséquence les divers explosifs.

Si l'on place le tube dans une fosse de 1^m50 de profondeur dans un sol sablonneux et qu'on le recouvre de sable, l'explosion ne produit qu'un bruit étouffé, il n'y a pas de projection d'éclats de fer; un nuage de sable et de poussières s'élève pour retomber bientôt sur le sol. On peut donc sans inconvénient effectuer ces essais à quelques centaines de mètres des usines ou des lieux habités. Si l'on ne veut pas enfermer les cartouches, on place sur le fond de la fosse une enveloppe en carton cintré formant voûte au dessus de la file de cartouches, tout en laissant suffisamment d'espace à la charge et on déverse par dessus la terre meuble qui doit servir à atténuer le bruit de l'explosion.

Quant à l'exactitude de la méthode, il y a lieu de remarquer en outre ce qui suit.

On pourrait peut-être objecter qu'étant donné la durée excessive-ment courte à mesurer, la vitesse du courant électrique dans les conducteurs a une influence et peut devenir une source d'erreurs. Mais comme les longueurs des conducteurs sont exactement les mêmes à la première et à la deuxième interruption du courant, cette erreur, à supposer qu'elle doive être prise en considération, s'annulerait.

Une autre cause d'erreur pourrait intervenir : si le courant primaire de l'inducteur vient à faiblir ou à être coupé, il faut chaque fois un certain temps avant que la tension du courant induit soit assez grande pour que l'étincelle jaillisse. Cette cause d'erreur peut se réduire à un minimum si l'on a soin de rendre égales les tensions des deux courants dont l'interruption engendre les étincelles, ce qui se fait par l'introduction des résistances constituées par les lampes. Une étincelle jaillissant sur le tambour enfumé ne donne pas en réalité un point blanc isolé, mais une série de très petits points très rapprochés correspondant à la décharge oscillante de l'électricité.

Un exemple servira à expliquer le procédé :

La longueur d'une file de cartouches de gélatine dynamite est de 3^m78.

La vitesse périphérique du tambour est de 23^m46 par seconde.

La distance des pointillés : 12.79 ^m/_m.

Cette distance correspond à 0.546 millisecondes.

La vitesse de détonation est de 3^m78 en 0.546 millisecondes, soit de 6,915 mètres par seconde.

Détermination de la température de détonation.

La température de détonation t se déduit de la formule connue $Q = ct$, dans laquelle Q désigne la quantité de chaleur développée par l'explosion d'un kilogramme d'explosif et mesurée au calorimètre (colonne 3 du tableau) et c la chaleur spécifique des produits de l'explosion. Les valeurs de la chaleur spécifique ont été empruntées à Mallard et Le Chatelier; elles sont de la forme $a + bt$, a et b étant des constantes.

L'équation précédente conduit donc à $Q = at + bt^2$ qui sert à calculer t .

L'analyse des produits de l'explosion a été effectuée en faisant détoner 200 à 300 grammes d'explosif dans l'indicateur de pression, en recueillant les gaz refroidis dans la chambre d'explosion et en analysant les produits gazeux ainsi que le résidu solide. Ce sont les éléments ainsi déterminés qui servent de base au calcul.

Exemple : pour la dynamite gomme et pour la carbonite pour couche, les données sont les suivantes :

EXPLOSIF	Analyse centésimale des produits de l'explosion (en poids)	Coefficients moléculaires	Chaleur dégagée par kilogr. en grandes calories	Chaleur spécifique en petites calories rapportées aux poids moléculaires
Dynamite-gomme.	CO ² = 61.2 O = 0.4 H ² O = 20.3 N = 18.1	CO ² = 1.4 O ² = 0.01 H ² O = 1.13 N ² = 0.65	1550	CO ² =6.26+0.0037t H ² O=5.61+0.0033t
Carbonite pour charbon	CO ² = 34.4 H ² O = 5.0 N = 13.8 CO = 22.1 H = 2.7 K ² CO ³ = 22.0	CO ² = 0.782 H ² O = 0.278 N ² = 0.493 CO = 0.790 H ² = 1.350 K ² CO ³ =0.160	506	CO N ² O ² H ² K ² CO ³ =30.0 } 4 8+0.0006 t

En introduisant ces valeurs dans l'équation ci-dessus, on trouve pour 100 grammes de dynamite-gomme :

$$155000 = t(6.26 \times 1.4 + 5.61 \times 1.13 + 4.8 \times 0.66) + t^2(0.0037 \times 1.4 + 0.0033 \times 1.13 + 0.0016 \times 0.66)$$

d'où $t = 3216^\circ$ est la température de détonation de la dynamite-gomme.

Et pour la carbonite :

$$50.600 = t(6.26 + 0.78 + 5.61 \times 0.28 + 4.8 \times 2.63 + 30 \times 0.16) + t^2(0.0037 \times 0.78 + 0.0033 \times 0.28 + 0.0006 \times 2.63)$$

$t = 1561^\circ$ est la température de détonation de la carbonite.

Bruxelles, octobre 1904.

