

LES

# MODES D'ACTION DES EXPLOSIFS

PAR

C. E. BICHEL, A HAMBOURG (1).

[6222352]

---

Les phénomènes qui accompagnent la détonation des explosifs dans un trou de mine échappent, par leur nature, à l'observation directe. Même en admettant qu'une telle observation soit possible, elle ne serait pas encore d'un grand secours, car la transformation des explosifs en produits gazeux est si rapide qu'on ne pourrait tirer de l'observation directe aucune conclusion.

Pour jeter quelque lumière sur ce qui se passe lors de l'explosion, il est nécessaire de considérer en particulier chacun des phénomènes et de mesurer ceux-ci pour autant que cela soit possible.

---

(1) Le *Service des accidents miniers et du grisou* suit attentivement les travaux relatifs aux explosifs de sûreté. Déjà dans des livraisons antérieures nous avons publié des analyses d'intéressantes études de M. Bichel, directeur général de la *Sprengstoff A. G. Carbonit* d'Hambourg-Schlebusch. Nous donnons aujourd'hui la traduction d'un nouvel article publié par cet ingénieur dans le *Gluckauf*, n° 15 de 1905.



Rappelons ce qui se passe lors du tir d'une mine.

On commence par introduire les cartouches une à une dans un fourneau d'un diamètre approprié à leur grosseur, puis on presse ces cartouches de façon à ne laisser dans le trou de mine aucun espace libre. Les détonateurs et les fils ou mèches d'amorçage étant placés à la manière ordinaire, on bourre aussi vigoureusement que possible avec de bonnes substances de bourrage.

Dans une mine bien chargée, il ne doit rester aucun espace qui ne soit rempli d'explosif; de plus il faut que le bourrage soit effectué très énergiquement pour qu'il offre à la pression des gaz développés par l'explosion une résistance suffisante.

Pour la mise à feu de la mine, on fait détoner une capsule de fulminate soit au moyen d'une mèche, soit, si l'on emploie l'allumage électrique, au moyen de l'étincelle électrique. Les produits de la décomposition du fulminate, portés à l'incandescence, pénètrent avec violence dans la première cartouche et en provoquent l'explosion; celle-ci se propage alors d'une cartouche à l'autre jusqu'à la dernière.

Toute la masse d'explosifs remplissant le trou de mine se transforme, avec un fort dégagement de chaleur, en nouveaux corps chimiques dont les uns sont des solides, d'autres, liquides, d'autres enfin, des gaz ou vapeurs. Les gaz ou vapeurs développés tendent à occuper un espace plus considérable; leur volume est encore augmenté par la haute température dégagée par l'explosion.

La force de l'explosion brise les parois du trou de mine livrant ainsi passage aux produits gazeux engendrés. Ceux-ci se refroidissent au contact des parois détruites et de l'air et se mêlent à l'atmosphère ambiante, à moins qu'ils ne se condensent en corps liquides ou solides.

Voyons maintenant comment nous pouvons mesurer ces divers phénomènes. Depuis le moment où le fulminate de mercure provoque la transformation de l'explosif, jusqu'à celui où la dernière cartouche de la charge est à son tour transformée, il s'écoule un certain temps. Cet espace de temps peut être mesuré avec une exactitude suffisante au moyen d'appareils spéciaux que nous avons décrits précédemment (1). La vitesse avec laquelle l'explosion se propage d'un bout à l'autre de la charge s'appelle « la vitesse de détonation », elle est, pour les explosifs brisants, de 2,500 à 9,000 mètres par seconde. De l'existence de ce mouvement de progression nous pouvons conclure à une *action dynamique* des produits de la décomposition. La vitesse de détonation est en effet celle avec laquelle les gaz engendrés, dont la température a été portée pendant et après leur formation à des milliers de degrés C., tendent à occuper un espace souvent des milliers de fois plus considérable que celui occupé primitivement par l'explosif sous une pression ordinaire, se précipitent contre les parois du trou de mine et les attaquent à une température énorme.

Les gaz et vapeurs engendrés participent complètement à ce rapide mouvement provoqué par la vitesse de détonation. Les produits de décomposition solides y contribuent également sous forme de corps pulvérisés, mais ont moins d'importance en ce qu'ils ne concourent pas à l'accroissement de volume dans la même mesure que les gaz et vapeurs. Il n'en faut pas moins, dans le calcul de l'effet total, considérer l'explosif en son entièreté, car on peut admettre qu'au moment de l'explosion la plupart des produits solides sont fondus.

La vitesse de détonation communique aux gaz et vapeurs, ainsi qu'aux autres produits de la décomposition,

(1) Glückauf, 1904, n° 35, pp. 1040 et suivantes. Voir aussi *Annales des Mines de Belgique*, t. IX, pp. 1309 et suivantes.



une énergie dynamique ou force vive qui s'exprime par la formule :  $\frac{m v^2}{2}$  dans laquelle  $m$  est la masse des produits de décomposition de l'explosif et  $v$  la vitesse de détonation. Nous avons calculé cette *énergie dynamique* pour un certain nombre d'explosifs et nous avons groupé les résultats de ces calculs dans le tableau ci-après qui contient en outre pour chacun de ces explosifs les diverses données intéressant ce point. Elle est la mesure du choc de l'explosif.

Outre cette action dynamique que possèdent les gaz de décomposition et qui se manifeste sous la forme d'un choc, il existe encore une autre action : c'est celle due à la grande élévation de température que subissent les gaz et vapeurs engendrés et qui se manifeste par l'expansion de ceux-ci et la pression qui en est la conséquence.

Dans de précédentes publications déjà rappelées plus haut, nous avons calculé la température de détonation des explosifs. La base de ces calculs était la mesure des quantités de chaleur développées par la détonation des explosifs en tenant compte des chaleurs spécifiques des produits de décomposition, comme l'avaient fait les savants français Mallard et Le Chatelier. Les produits de décomposition eux-mêmes avaient été soumis à l'analyse. Si l'on prend ces températures pour base et si l'on admet que la loi de Gay-Lussac pour l'expansion des gaz

$$V = V_0 \left( 1 + \frac{t}{273} \right)$$

trouve encore son application pour ces températures, on peut calculer la pression développée par les gaz surchauffés engendrés par l'explosion. Dans le tableau ci-après nous donnons les résultats obtenus pour dix types choisis d'explosifs.

La pression ainsi calculée est un phénomène *statique* et s'exprime en kilogrammes par centimètre carré de la surface de l'intérieur du trou de mine, tandis que le choc qui s'exprime par la formule  $\frac{m v^2}{2}$  est un phénomène *dynamique* et se mesure en secondes-kilogrammètres.

Cette pression est uniquement exercée par les gaz et vapeurs fortement comprimés dans l'espace restreint dont ils disposent dans la chambre d'explosion et que la haute température vient encore dilater.

Quant à la question de savoir si choc et pression se confondent dans le temps, il est un point hors de doute, c'est que, dès le moment où les premières particules d'explosif commencent à se transformer, l'action du choc et celle de la pression se manifestent ; mais dans la suite une distinction s'établit par le fait que la pression n'atteint son maximum que quand tout l'explosif est décomposé, tandis qu'à ce moment le choc des gaz et vapeurs a déjà eu lieu.

Les grandeurs respectives du choc et de la pression sont elles en corrélation ? On ne peut se prononcer catégoriquement, mais cela paraît douteux. Tout ce qu'on peut dire, c'est que généralement lorsque le choc augmente la pression augmente également.

Il serait évidemment désirable que l'on pût, à l'aide d'instruments appropriés, contrôler par une mesure directe les chiffres que nous avons donnés pour le choc et la pression des explosifs, mais, étant donnés la violence du choc et l'énormité de la pression, il y a peu d'espoir que l'on puisse arriver à une mesure directe pour les charges en usage dans les mines. Tout ce qu'on peut faire actuellement c'est de contrôler indirectement l'exactitude des chiffres donnés par nous en les comparant avec les résultats obtenus dans la pratique.



NOMS ET COMPOSITIONS DES EXPLOSIFS	2	3	4	5	6 (*)	7	8	9
	Densité	Volume occupé par 1 kg. d'explosif litres	Volume disponible pour les matières volatiles de 1 kg. d'explosif litres	Nombre de calories dégagé par 1 kg. d'explosif	Volume des gaz ou des vapeurs engendrés au moment de la détonation par 1 kg. d'explosif litres	Poids des gaz et des vapeurs de la colonne 6 Kg.	Pression engendrée par 1 kg. de ces gaz sous leur propre volume (en tenant compte des composants non volatils). Kg. par cm <sup>2</sup>	Température maximum engendrée lors de la décomposition °C.
1. Poudre noire { 75 — % Nitrate de potasse 13 — » Charbon 12 — » Soufre	1.04	0.961	0.722	574	286	0.43	409	2.537
2. Gélatine explosible { 92 — % Nitroglycérine 8 — » Coton collodion	1.63	0.614	0.614	1.550	828	1.00	1,393	3,216
3. Dynamite à la Guhr { 75 — % Nitroglycérine 25 — » Guhr	1.58	0.633	0.524	1,153	535	0.75	1,055	2,999
4. Gélatine-dynamite { 63.50 % Nitroglycérine 1.50 » Coton collodion 27 — » Nitrate de soude 8 — » Farine de bois	1.67	0.599	0.532	1,321	633	0.83	1,229	2,758
5. Coton poudre { C <sub>12</sub> H <sub>15</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>15</sub> O <sub>10</sub>	1.25	0.800	0.800	898	887	1.00	1,145	2,380
6. Acide picrique { C <sub>8</sub> H <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> OH	1.55	0.645	0.611	717	768	0.99	1,298	2,498
7. Trinitrotoluol { C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	1.55	0.645	0.627	599	850	0.96	1,400	2,142
8. Donarite { 80 — % Nitrate ammon. 12 — » Trinitrotoluol 3.80 » Nitroglycérine 0.20 » Coton collodion 4 — » Farine	1.31	0.763	0.763	836	949	1.00	1,285	2,066
9. Ammon. carbonite { 82 — % Nitrate ammon. 12 — » Nitrate de soude 4 — » Farine 4 — » Nitroglycérine gélat.	1.19	0.840	0.808	609	928	0.93	1,186	1,648
10. Kohlencarbithe { 25 — % Nitroglycérine 34 — » Nitrate de potasse 38.50 » Farine 1 — » Nitrate de baryte 1 — » Farine d'écorce 0.50 » Carbonate de sodium	1.42	0.704	0.608	506	825	0.78	1,402	1,561

(\*) Les données de la colonne 6 ont été déterminées par l'expérience directe et non par l'analyse des

10	11	12	13	14	15
Vitesse de détonation m. par l''	Energie dynamique (choc) $\frac{m^2}{2}$ pooids de l'explosif $m = \frac{9.81}{\dots}$ Kgm./l''	Pression P au moment de la détonation des explosifs dans leur propre volume en tenant compte des éléments non-volatils kg./cm <sup>2</sup>	Pression engendrée par la détonation de 100 gr. dans la chambre de 15 litres du mesureur de pression calculée kg./cm <sup>2</sup> mesurée kg./cm <sup>2</sup>	Représentation graphique du choc (action dynamique) 10 mm. = 1,000,000 kgm./l''	Représentation graphique de la pression (action statique) 10 mm. = 4,000 kg/cm <sup>2</sup>
300	$\frac{1 \times 300^2}{2 \times 9.81} = 4,587$	$409 \left(1 + \frac{2,537}{273}\right) = 4,209$	20.27 18.60		
7,700	$\frac{1 \times 7,700^2}{2 \times 9.81} = 3,021,916$	$1393 \left(1 + \frac{3,216}{273}\right) = 17,803$	72.87 70.40		
6,818	$\frac{1 \times 6,818^2}{2 \times 9.81} = 2,369,272$	$1055 \left(1 + \frac{2,999}{273}\right) = 12,644$	44.16 48.20		
7,000	$\frac{1 \times 7,000^2}{2 \times 9.81} = 2,497,452$	$1229 \left(1 + \frac{2,758}{273}\right) = 13,645$	48.40 55.40		
6,383	$\frac{1 \times 6,383^2}{2 \times 9.81} = 2,076,589$	$1145 \left(1 + \frac{2,380}{273}\right) = 11,127$	59.36 53.48		
8,183	$\frac{1 \times 8,183^2}{2 \times 9.81} = 3,412,920$	$1293 \left(1 + \frac{2,498}{273}\right) = 13,175$	53.67 51.84		
7,618	$\frac{1 \times 7,618^2}{2 \times 9.81} = 2,957,896$	$1400 \left(1 + \frac{2,142}{273}\right) = 12,384$	51.78 48.10		
4,137	$\frac{1 \times 4,137^2}{2 \times 9.81} = 872,312$	$1285 \left(1 + \frac{2,066}{273}\right) = 11,009$	55.99 48.70		
3,094	$\frac{1 \times 3,094^2}{2 \times 9.81} = 487,912$	$1186 \left(1 + \frac{1,648}{273}\right) = 8,345$	44.97 42.25		
2,700	$\frac{1 \times 2,700^2}{2 \times 9.81} = 371,559$	$1402 \left(1 + \frac{1,561}{273}\right) = 9,418$	38.17 31.00		

produits de la détonation. C'est ce qui explique certains écarts avec les chiffres donnés précédemment.



Nous allons maintenant examiner l'action du choc, d'une part avec la poudre noire et d'autre part avec les explosifs brisants :

On sait combien le choc produit par la poudre noire est minime quand on le compare à celui des explosifs brisants. L'expérience a montré que lorsqu'on tire avec de la poudre noire une mine dans une roche dure, compacte, résistante, la charge débouffe du trou de mine comme d'un canon de fusil sans même en attaquer les parois, on dit alors que la mine « fait canon ». C'est cette absence de choc qui fait employer la poudre pour le chargement des armes à feu,

Quant aux explosifs brisants nous savons, par la pratique des mines, qu'ils se différencient entre eux sous le rapport du choc de la même façon qu'ils se différencient sous le rapport de la vitesse de détonation. L'explosif doit être d'autant plus brisant que la roche est plus dure et plus compacte. A ce point de vue le meilleur explosif est la gélatine explosive, car elle permet de ne forer qu'un trou de mine de faible diamètre, ce qui diminue les frais de main-d'œuvre. Cela tient à ce que, dans cet explosif, on obtient la grande vitesse de détonation même en employant des cartouches de faible diamètre, tandis que chez les explosifs à base de nitrate d'ammoniaque qui sont des explosifs plus lents, la composition chimique est telle que ce n'est qu'en employant des cartouches de fort diamètre qu'on obtient la plus grande vitesse de détonation dont l'explosif est susceptible (1).

C'est ce qui fait que l'emploi des explosifs à base de nitrate d'ammoniaque, dont d'ailleurs la pression en elle-même n'est jamais comparable à celle des explosifs contenant une forte proportion de nitroglycérine, n'est avantageux que dans les cas où la matière constituant les parois

(1) *Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen*, 1902, cahier III, p. 16.

du trou de mine est peu consistante; alors l'action du choc disloque et déchire les parois du trou avant que la pression ne puisse produire son effet. Il en résulte que, dans une telle roche, les explosifs très brisants ne produisent aucun effet: ils « se tuent », comme disent les mineurs. Le choc, en effet, ébranle les parois du trou de mine et crée un espace nuisible qui rend complètement illusoire l'avantage du haut poids spécifique de l'explosif. De plus, au contact de la surface augmentée des parois de la chambre les gaz se refroidissent vite et conséquemment ne peuvent plus exercer qu'une pression médiocre.

Si l'unique fonction des explosifs était de détruire, les explosifs brisants seraient les meilleurs dans tous les cas; mais, dans les exploitations minières, ce qu'on leur demande surtout c'est d'ébranler et de disloquer les roches, et, pour ce travail, il y a souvent avantage et économie à employer un explosif moins brisant, mais dont l'action est plutôt une poussée. Pour les sautages des roches tendres et peu consistantes, ce qu'il faut rechercher c'est de faire agir la pression, ce qui n'est pas possible avec des explosifs brisants, précisément à cause du choc. Ce qui précède s'applique aux minières et aux carrières aussi bien qu'aux mines. L'usage de la poudre noire s'y maintient grâce précisément à son manque de choc, choc qui, pour les sautages de roches peu consistantes, rend désavantageux l'emploi des explosifs brisants.

Pour apprécier ce que valent dans la pratique les nombres donnés dans nos tableaux, il convient de remarquer que ces valeurs ont été calculées en admettant l'hypothèse que l'explosif est parfaitement enserré dans un trou de mine dont les parois ne cèdent absolument pas; or cette hypothèse est pratiquement impossible à réaliser, car les parois du trou dans lequel on a enserré l'explosif sous son propre volume ne peuvent rester non modifiées, quelque



résistante que soit la matière des parois, quand on emploie un explosif brisant; et l'on peut dire que dès le commencement de la décomposition de l'explosif, le volume du fourneau de mine se trouve modifié. Il s'en suit que les plus grands nombres que nous avons donnés concernant l'énergie dynamique et la pression doivent subir une certaine diminution, et celle-ci sera d'autant plus considérable que les nombres seront plus élevés. Cette considération amoindrit, pour les exploitations minières, l'importance pratique des écarts considérables existant entre les divers explosifs quant au choc et à la pression. Les chiffres donnés dans nos tableaux concordent cependant avec les appréciations faites dans la pratique des mines, du mode d'action et de la grandeur de l'effet des explosifs, et si l'on ne perd pas de vue ce que nous avons dit plus haut, qu'une complète utilisation de tout l'effet de l'explosif n'est pas possible, on reconnaît que nos données sont en concordance avec celles résultant de la pratique.

On pourrait encore insister sur ce point que la distinction que nous proposons entre une action dynamique et une action statique dans l'action totale d'un explosif, distinction qui résulte de mesures effectuées, se prête mieux à l'appréciation de la valeur des explosifs que toute formule qui n'envisage que l'action totale dans son ensemble, cette formule devant embrasser en même temps l'action dynamique et l'action statique. Une telle formule devrait nécessairement contenir un facteur qui permettrait de tenir compte de la manière constitutive du trou de mine, car, comme nous l'avons vu, les effets respectifs du choc et de la pression diffèrent beaucoup d'après la matière au sein de laquelle l'explosion se produit. Si la roche est peu résistante, comme l'action du choc se produit en premier lieu, l'effet de la pression est en partie perdu. Nous pouvons en conclure qu'il est au moins très difficile d'établir une formule embrassant en même temps choc et pression.

C'est là également qu'il faut chercher la raison de ce fait que jusqu'ici il a été impossible de trouver un mesureur de pression qui convînt également aux explosifs brisants et aux explosifs plus lents, car il n'existe aucune matière qui puisse offrir au choc et à la pression une résistance proportionnelle à leur force. C'est ainsi, par exemple, que les résultats obtenus au bloc de plomb bien connu de Trauzl ne concordent pas avec les observations de la pratique en ce qui concerne l'écart entre les effets des explosifs brisants et ceux des explosifs lents. Le choc violent et la grande chaleur développés par la détonation des explosifs très brisants produisent dans le bloc de plomb un élargissement relativement plus considérable que celui qu'occasionne la détonation d'explosifs d'une moindre brisance. Au contraire, dans les exploitations minières, il a été prouvé que les explosifs moins brisants sont d'un emploi plus économique. La poudre noire qui n'exerce pour ainsi dire aucun choc ne produit qu'un élargissement insignifiant au bloc de plomb de Trauzl, car la pression se développe si lentement que le bourrage est déjà sauté et qu'ainsi la résistance a disparu avant que la pression n'ait pu produire son effet. Pour la même raison les appareils à refoulement agissant d'une façon statique conviennent parfaitement à la mesure de la pression des gaz engendrés par l'explosion de la poudre noire, tandis qu'ils sont inutilisables pour les explosifs brisants.

Si l'on admet notre manière de voir, c'est-à-dire si l'on considère séparément le phénomène dynamique et le phénomène statique, pour l'appréciation des divers explosifs, la nature de la matière au sein de laquelle se produit l'explosion n'a plus d'influence, et l'on peut, si l'on connaît quel choc et quelle pression sont nécessaires, déterminer quel est dans un cas donné l'explosif le plus recommandable.

Avant tout, cette division de l'effet produit permet de



caractériser exactement et clairement le mode d'action des explosifs; elle est donc pour les exploitants de mines d'une importance de tout premier ordre.

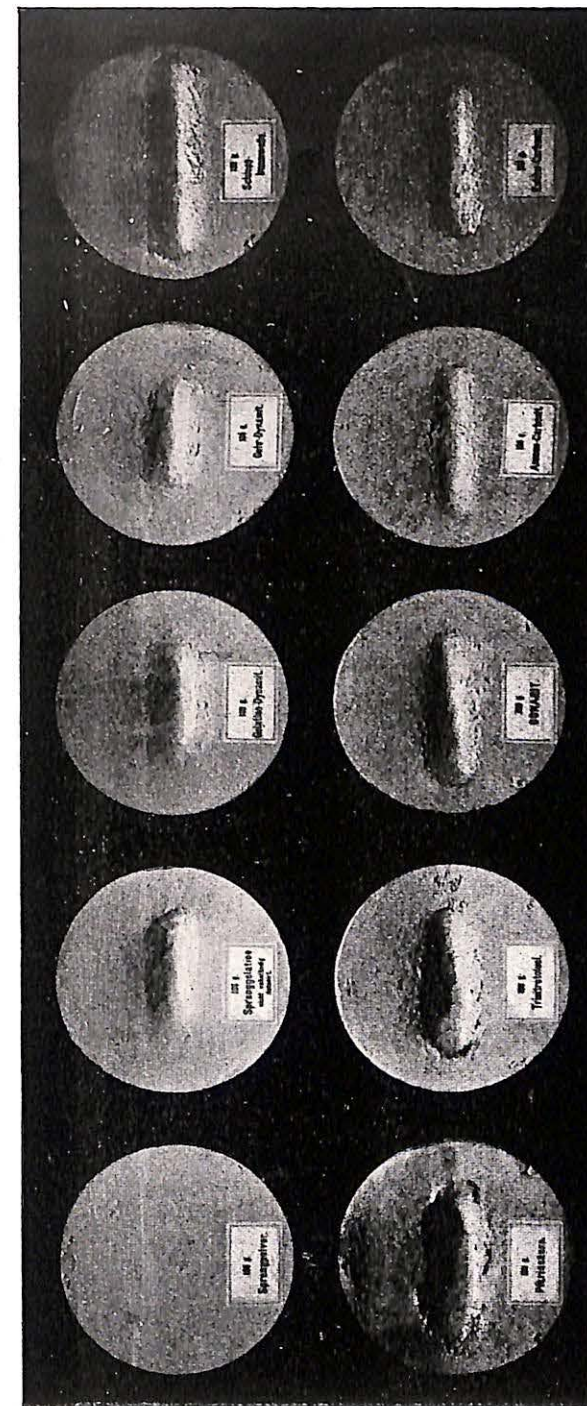
Il va sans dire que tout ce qui précède s'applique aussi bien aux autres branches de la technique des explosifs qu'aux exploitations minières.

Jetons maintenant un coup d'œil sur le rôle que les différents facteurs des tableaux jouent dans l'ensemble de la mesure numérique du choc et de la pression.

La formule de l'énergie dynamique a comme éléments la masse des produits de décomposition mis en mouvement et la vitesse de détonation à la deuxième puissance. L'intensité du choc dépend donc surtout de la vitesse de détonation. Le choc se propage indépendamment du plus ou moins fort serrage des cartouches dans le trou de mine. Il s'en suit qu'on peut aussi apprécier matériellement la force du choc en faisant détoner des cartouches de 100 grammes et de 30 centimètres de diamètre, assujetties au moyen de fil métallique à des plaques de plomb de 3 centimètres d'épaisseur.

Les photographies ci-annexées montrent de semblables plaques de plomb. On voit que les explosifs qui, d'après les calculs, possèdent la plus grande force vive, produisent également dans la plaque de plomb l'excavation la plus importante. La gélatine explosive est, comme on sait, très difficile à faire détoner complètement à l'air libre; il en résulte que pour cet explosif, les élargissements obtenus par la méthode des plaques de plomb ne correspondent pas aux résultats obtenus par le calcul. Pour les autres explosifs les résultats donnés par les plaques de plomb concordent parfaitement avec ceux obtenus mathématiquement.

Les éléments de la formule de la pression des gaz sont : l'espace dans lequel l'explosion se produit, la quantité de gaz et vapeurs développés renfermée dans la chambre





d'explosion et enfin la température qui provoque la dilatation de ces produits gazeux. La pression exercée dépend donc de la quantité des gaz et vapeurs engendrés, de la densité de l'explosif et de la température de détonation. Pour calculer la pression, il faut supposer que les parois du trou de mine ne cèdent pas, qu'elles ne comportent aucune fissure, et aussi que la loi de Gay-Lussac soit encore applicable aux hautes pressions et températures engendrées. Comme nous l'avons déjà dit, l'hypothèse du parfait serrage de l'explosif dans le trou de mine ne se réalise pratiquement jamais, conséquemment il existe un écart entre la pression réelle qu'on peut obtenir en pratique et la pression théorique. On ne peut non plus dire avec certitude si, pour des pressions qui atteignent 18,000 kilogrammes par mètre carré et des températures de plus de 3000 degrés, la loi de Gay-Lussac trouve encore son application. Dans la négative on devrait considérer les nombres obtenus comme inexacts dans leur grandeur absolue; ils n'en conserveraient pas moins une valeur comparative entre les divers explosifs, très appréciable pour la pratique.

La question se pose tout d'abord si l'on trouvera le moyen de mesurer de telles pressions. Il est permis d'espérer, étant donnés les grands progrès réalisés dans ces derniers temps par les méthodes de mesure, que l'on parviendra à construire, pour la mesure des énormes pressions développées par les explosifs, des appareils donnant des résultats d'une exactitude suffisante. Si même on ne parvenait pas à mesurer la pression de la charge complète en son volume intégral, on pourrait en tout cas, au moyen d'un mesureur de pression déjà décrit par nous (1), mesurer la pression se développant, avec une densité de chargement réduite, dans une chambre de 15 litres.

---

(1) *Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staat*, 1902, t. III, pp. 16 et suiv., et *Annales des Mines de Belgique*, t. VII, 4<sup>e</sup> liv.



Il nous a paru intéressant d'appliquer, à ces chambres de 15 litres, les calculs de pression afin de comparer entre eux les résultats obtenus dans la colonne 13 du tableau. Si on ne perd pas de vue la différence fondamentale existant entre les deux méthodes, on reconnaîtra que ces résultats sont d'une concordance très satisfaisante. Dans la méthode par le calcul nous nous sommes basés sur la mesure calorimétrique et la formule de Gay-Lussac; pour la méthode expérimentale nous nous sommes servis d'un indicateur à ressort d'acier.

Les résultats concordent. On peut conclure que, au moins pour ces charges réduites, les deux méthodes reposent sur des bases certaines et que leur emploi est recommandable. Dans quelle mesure cette concordance perdurerait-elle pour de plus fortes charges et dans un fourneau de mine de dimensions réelles, c'est ce qu'on ne peut encore dire. Pour nous, étant donnés les observations de la pratique, nous ne doutons pas que la méthode par calcul ne trouve encore dans ce cas son application.

---