

SERVICE DES ACCIDENTS MINIERES ET DU GRISOU

Siège d'Expériences de Frameries

EXPÉRIENCES

SUR LES

Variations des charges-limites des Explosifs

SUIVANT LES

SECTIONS DES GALERIES

PAR

Victor WATTEYNE

Inspecteur général des mines, à Bruxelles
Inspecteur général du Service des Accidents miniers et du Grisou

ET

J. BOLLE

Ingénieur principal des Mines, à Mons
Attaché au Service des Accidents miniers et du Grisou
(Siège d'Expériences de Frameries)
Professeur à l'Ecole des Mines et Faculté polytechnique du Hainaut.

CHAPITRE PREMIER

**Rappel des conditions dans lesquelles se font
les essais de Frameries. — Examen des causes diverses
influençant la charge-limite.**

Les déterminations des charges-limites vis-à-vis des atmosphères explosibles, tant grisouteuses que poussiéreuses, en vue du classement dans la liste des Explosifs S. G. P. se font, à Frameries, dans des conditions bien définies : choisies de manière à reproduire, aussi fidèlement que possible, les conditions ordinaires de la pratique

des mines, elles doivent cependant, en effet, si l'on veut obtenir des résultats comparables et un classement équitable, être telles qu'elles puissent rester les mêmes pour les divers explosifs essayés.

Rappelons sommairement en quoi elles consistent :

La galerie d'essais, en bois, est de forme elliptique; elle présente une section de 2 mètres carrés et une longueur de 30 mètres; elle est munie de fenêtres et de soupapes de sûreté. Elle est ouverte à une extrémité, et fermée à l'autre par un massif de maçonnerie dans lequel est logé un mortier d'acier; le fourneau de ce mortier est foré au diamètre de 55 millimètres et présente une profondeur de 500 millimètres; mais, sous l'influence des chocs violents auxquels il est soumis et des réactions à haute température qui s'y produisent, le mortier se détériore; il est rebuté lorsque le diamètre moyen de son fourneau dépasse 62 millimètres.

C'est dans ce mortier qu'on loge la charge d'explosifs à essayer; elle est placée en cartouches dont le diamètre et le nombre de files sont choisis de façon que la section occupée par l'explosif soit environ la moitié de la section du fourneau, ou, plus exactement, que le rapport de ces deux sections soit compris entre 0.4 et 0.6. La charge à essayer n'est pas bourrée et est mise à feu au moyen d'un détonateur électrique.

Le mélange grisouteux dans lequel on essaie les explosifs a une teneur en méthane comprise entre $7\frac{3}{4}$ et $8\frac{1}{4}$ %, cette teneur étant vérifiée par des dosages faits par la méthode des limites d'inflammabilité.

Les essais en présence de poussières sont exécutés au moyen de charbons ayant de 20 à 22 % de matières volatiles, passés au broyeur à boulets ayant des toiles à 1280 mailles par centimètre carré; des poussières sont épandues dans les environs du mortier en quantité correspondant à 75 à 100 grammes par mètre cube de la galerie.

Les expériences sont exécutées, en général, à des températures comprises entre 20 et 30 degrés.

La charge-limite d'un explosif donné est déterminée comme suit :

On opère d'abord dans l'*atmosphère grisouteuse* : On commence par produire une inflammation; puis, on diminue progressivement les charges, en descendant de 50 grammes à la fois, jusqu'à ce qu'on arrive à une charge qui ne donne plus aucune inflammation, ce qui doit être constaté par dix essais au moins.

Cette même charge est ensuite essayée dans un *milieu poussiéreux* où l'on procède de la même façon, c'est-à-dire que, si elle donne lieu à une inflammation, on la diminue progressivement, par échelons successifs de 50 grammes, jusqu'à ce qu'on ait déterminé une charge ne donnant pas d'inflammation de poussières, dans au moins dix essais consécutifs.

Cette charge, qui n'a enflammé ni le grisou ni les poussières, dans aucun essai, est appelée *charge-limite* de l'explosif. Si elle est telle que son équivalent en dynamite n° 1 (déterminé au bloc de plomb), soit supérieur à 175 grammes, l'explosif est rangé dans la liste des explosifs S. G. P.

Mais il est manifeste, et l'on n'a pas tardé à le constater expérimentalement, que de nombreux facteurs sont susceptibles d'influencer les charges-limites et cela dans des proportions variant d'un explosif à l'autre, de telle sorte que l'ordre même du classement peut parfois se trouver modifié.

Les circonstances influant sur les charges-limites sont de deux catégories : les unes sont en quelque sorte indépendantes de la méthode d'essai, les autres, au contraire, sont inhérentes à la manière dont les essais sont exécutés.

Donnons quelques exemples des unes et des autres en rappelant éventuellement quelques faits ou données qui s'y rapportent.

PREMIÈRE CATÉGORIE

A) *Légères variations dans la composition chimique de l'explosif.* — Les explosifs soumis aux essais sont des produits commerciaux, dont la composition n'est pas toujours constante. Or, une variation parfois très légère dans le dosage de certains constituants peut avoir une influence notable :

Ainsi, un explosif du groupe des Carbonites a donné des inflammations sous des charges fort inférieures à la charge-limite, par suite d'une légère modification qu'un chef de fabrication avait cru pouvoir apporter à la composition de l'explosif.

Comme il suffit pour cela de très faibles différences, il faut toujours craindre qu'un fabricant peu consciencieux ou négligent, ou même de bonne foi, mais faisant usage de matières premières impures, ne vende des explosifs ayant des charges-limites sensiblement moindres que celles déterminées par les essais officiels.

Par exemple, certains explosifs contiennent une assez forte proportion de trinitrotoluol ; ce corps ne se trouve pas chimiquement pur dans le commerce ; il est, au contraire, souvent mêlé à diverses impuretés, notamment à des binitrotoluols. Or, les dits explosifs ont présenté, aux essais, des inégalités de résultats, qui ont été attribuées à l'impureté du trinitrotoluol employé pour leur fabrication.

L'analyse chimique de ces explosifs est des plus délicate, et il est excessivement difficile, si pas impossible, de déceler certaines irrégularités de composition.

C'est pourquoi, lors des prélèvements de contrôle qui se font, en Belgique, en vertu d'instructions ministérielles, il est toujours procédé, avec ou même sans vérification par

l'analyse, à la vérification directe de la charge-limite et de la puissance ; cette vérification englobe ainsi non seulement les irrégularités de composition, mais aussi celles de la fabrication dont il sera question plus loin.

La teneur en humidité des explosifs influe également sur la grandeur de la charge qui enflamme les milieux grisouteux ou poussiéreux : la volatilisation de cette eau absorbe une certaine quantité de chaleur, et l'on conçoit donc que la charge provoquant l'inflammation soit fonction de l'humidité du produit essayé. L'aptitude à la détonation peut être aussi modifiée par l'humidité et des réactions incomplètes interviennent sans aucun doute. Or, certains explosifs renfermant des sels hygroscopiques, comme les explosifs à base de nitrate ammonique, absorbent en quelques semaines, malgré le paraffinage des cartouches, des quantités d'eau qui atteignent 5 % du poids de la cartouche. Il va de soi que leurs caractéristiques (charge-limite, puissance, etc.) sont alors modifiées ; et, d'une façon générale, on peut dire que, lorsque ces produits sont conservés longtemps en magasin, leur puissance diminue et leur charge-limite apparente augmente.

B) *Variations dans l'état physique de l'explosif.* — Le manque d'homogénéité dans le mélange des constituants de l'explosif est une cause importante d'irrégularités dans la manière de se comporter du dit explosif.

D'abord, il peut avoir pour conséquence que certaines cartouches seront composées différemment des autres, ce qui nous reporte à la cause d'irrégularité que nous venons d'examiner.

Mais, un défaut de mélange des éléments d'une même cartouche peut aussi intervenir, et le degré de finesse des constituants a une influence qui peut être considérable.

Nous avons eu, notamment, le cas d'une carbonite qui donnait des inflammations de poussières à la charge de

250 grammes ; en augmentant le degré de finesse de ses éléments constitutifs, et en améliorant leur mélange, on est arrivé, sans rien changer à la composition chimique de cet explosif, à porter sa charge-limite à 900 grammes. On imagine d'ailleurs très bien que la finesse des grains des corps mis en contact influe sur la rapidité et même sur la nature des réactions qui interviennent, et donc, sur la valeur de la charge enflammant le grisou et les poussières.

On se rappellera aussi le cas de la Dahménite A étudié jadis par M. Heise et dont la charge-limite variait notablement suivant qu'elle était ou non grenée (1).

L'état de compression de l'explosif dans la cartouche intervient également pour le même motif.

c) *Différences dans l'enveloppe.* — Le rôle de l'enveloppe des cartouches, notamment celui des enveloppes paraffinées, a été signalé maintes fois ; l'on sait que le paraffinage des cartouches a parfois entraîné des réductions de charges-limites atteignant 150 grammes. Par exemple, il a été constaté au Siège d'Expériences de Frameries (2), qu'en grisou, la charge-limite de l'ammon-carbonite était de 550 grammes sans enveloppes paraffinées ; avec enveloppes, la charge-limite était réduite à 400 grammes.

A signaler aussi les recherches récentes de M. Taffanel à la galerie d'essais de Liévin, sur les enveloppes en feuilles de métal (3).

Tout ce qui précède explique comment il se fait que des explosifs qualifiés identiques ont pu donner des charges-

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, t. III, Emploi des explosifs et Note sur les explosifs de sûreté (Annexe I, par L. DENOËL).

(2) *Ann. des Mines de Belg.*, t. X, Les explosifs au Siège d'expériences de Frameries (WATTEYNE et STASSART).

(3) Note technique n° 260 du Comité central des Houillères de France.

limites bien différentes suivant l'outillage de l'usine d'où ils proviennent et suivant les soins apportés à la fabrication, et même, que deux essais consécutifs auxquels il est procédé avec un même produit, dans des conditions en apparence identiques, peuvent donner des résultats divergents : soit que l'un des échantillons ne soit pas bien homogène, soit que la mouture ait été poussée plus loin à l'un d'eux, que l'encartouchage ne soit pas identique, ou encore que l'un des échantillons ait pris un peu plus d'humidité que l'autre.

DEUXIÈME CATÉGORIE

A) *Variations dans la composition du milieu grisouteux ou poussiéreux.* — Quand, comme c'est le cas à Frameries, on fait usage de grisou naturel, il peut arriver, et il arrive, que les gaz qui accompagnent en mélange le méthane sont plus ou moins abondants suivant les circonstances qui peuvent agir sur la source du grisou.

Cependant, bien que, à Frameries, il y ait eu, à certains moments, une chute très sensible de la proportion de méthane avec un certain accroissement de la teneur en azote, il ne semble pas, — la proportion de méthane étant ramenée à 8 % (1) et vérifiée par la méthode de la limite d'inflammabilité, — que la charge-limite d'aucun des explosifs qui ont, pendant ces périodes, subi des essais de vérification eût été sensiblement influencée.

Quant aux poussières, après divers essais, il a été reconnu qu'une quantité de 75 à 100 grammes de poussières par mètre cube est la plus propre aux inflammations (2). Mais

(1) On se rappelle que la teneur en méthane la plus dangereuse, c'est-à-dire donnant les charges-limites minimum, avait été déterminée au début des expériences et trouvée être de 7 $\frac{3}{4}$ % environ.

(2) Voir l'annexe II de la note sur « Les mines et les explosifs au Congrès de Londres » (WATTEYNE et STASSART), *Annales des Mines de Belgique*, t. XIV.

la charge-limite ne varie que fort peu si l'on augmente, même dans d'assez fortes proportions, les poussières épandues.

Rappelons que, pour nos déterminations des charges-limites en poussières, nous faisons usage des poussières de charbons à 21-22 % de matières volatiles.

b) *Variations de température, d'humidité, etc.* — A Frameries, on n'a jamais constaté que des variations, même importantes, de *température*, aient une influence quelconque sur la valeur de la charge-limite, dans les milieux grisouteux. Au contraire, dans les milieux poussiéreux, la température paraît intervenir, ou, plus exactement, la différence de température entre l'intérieur de la galerie et l'atmosphère ambiante: lorsque cette différence est élevée, les poussières s'allument plus facilement, ce qui semble attribuable à ce que le degré hygrométrique de l'air situé à l'intérieur de la galerie diminue alors rapidement.

L'*humidité* de l'air ne paraît guère influencer sur la valeur de la charge nécessaire pour enflammer le grisou, mais les coups de poussières s'obtiennent plus facilement quand l'air est sec.

Quant à la *pression barométrique*, les variations, nécessairement faibles relativement, qui ont été observées à la surface ont paru sans influence sur la valeur de la charge-limite.

c) *Variations de la densité de chargement.* — La densité de chargement (nous comprenons par ce mot le rapport entre la section occupée par l'explosif dans le fourneau et la section totale du fourneau est, à Frameries, ainsi que nous l'avons rappelé plus haut, de 0.40 à 0.60.

C'est là un écart sensible, nécessité par les exigences pratiques des essais, avec les conditions réelles de la mine où la densité se rapproche de l'unité.

Cet écart a-t-il de l'influence ?

Sans aucun doute; mais, bien que beaucoup d'essais aient été effectués déjà (1), il reste encore bien des incertitudes sur l'importance, et même parfois sur le sens de ces écarts, qui paraissent d'ailleurs varier fortement suivant les explosifs.

La Commission française des substances explosibles avait déjà examiné cette question et concluait au maximum de sécurité avec le maximum de densité.

Selon elle, tout vide laissé dans la charge est nuisible à la sécurité. « Il faut toujours, conclue-t-elle, employer les explosifs dans les conditions qui leur permettent de développer le maximum de travail utile. L'économie et la sécurité sont d'accord pour recommander cette règle. »

Mais les expériences qui ont motivé cette conclusion se sont faites avec des explosifs enfermés dans une gaine destinée à céder et recouverts d'un bourrage. Il serait donc abusif de l'étendre à tous les cas, notamment à celui de l'explosif tiré à nu dans un mortier rigide, cas qui n'a pas été envisagé par la Commission française.

En fait, dans ces dernières conditions, c'est souvent le contraire qui s'est révélé, du moins dans de certaines limites.

Le problème est des plus complexes. Il est à remarquer que la densité du chargement influe non seulement sur la vitesse de détonation, sur la pression et la température des gaz au moment où ils arrivent à la gueule du mortier, mais aussi sur la nature et la quantité de ces gaz eux-mêmes, car le mode de décomposition de l'explosif peut être aussi influencé.

(1) Voir notamment WATTEYNE et STASSART. *Communications au Congrès de Rome*, 1906;

BEYLING. *Gluckauf*, 1907, nos 36 et 37;

BOLLE. *Annales des Mines de Belgique*, t. XIII, 1908;

HATZFELD. *Zeitschrift für das gesamte Schiess- und Sprengstoffwesen*, 1910, n° 12.

Comme on le verra plus loin, nos essais sur l'influence des sections des galeries ont, pour la plupart, été effectués avec diverses densités de chargement.

Nous en avons noté les résultats plutôt à titre documentaire que pour en tirer des conclusions immédiates.

Aucune conclusion d'ensemble ne s'en dégage permettant, même en les rapprochant de ceux obtenus par d'autres expérimentateurs, de préciser cette influence pour les différents groupes d'explosifs. D'ailleurs, comme on le voit par les nombreuses lacunes des tableaux, nos essais n'ont pas été poursuivis à ce point de vue spécial de l'influence de la densité du chargement, qui exige à lui seul un examen des plus attentifs et une expérimentation très complète.

La question reste donc ouverte.

Il en est de même pour la nature des parois du fourneau. Quelques essais sur cette question ont, ainsi qu'il a été relaté au Congrès de Rome, été pratiqués à Frameries, mais ils ont donné des résultats fort discordants et ils n'ont pas été repris jusqu'ici.

d) *Influence de la section des galeries.* — Comme l'étude de cette influence fait précisément l'objet du présent travail, nous allons l'examiner dans les chapitres suivants qui y sont spécialement consacrés.

CHAPITRE II

Compte-rendu des expériences relatives à l'influence de la section des galeries sur la valeur de la charge-limite.

Dans leur communication au Congrès de chimie appliquée, à Londres, en 1909, MM. WATTEYNE et STASSART se sont exprimés comme suit à ce sujet (1) :

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, t. XIV.

« Dans les essais de classement, tant vis-à-vis du grisou que des poussières, nous avons choisi une chambre d'explosion d'une section de 2 mètres carrés. Nous avons ainsi cherché à nous rapprocher des conditions de la pratique. En effet, en Belgique, dans les gisements grisouteux, on ne mine qu'en roches, à front soit des galeries à travers-bancs soit des galeries en chantiers.

» Dans les gisements non grisouteux, où le minage est permis, les charbons sont généralement moins poussiéreux, circonstance qui compense le supplément de danger résultant d'une restriction occasionnelle de l'espace offert à la détente des gaz de l'explosion.

» Les galeries à travers-bancs ont une section minimum de 3 mètres carrés; au coupage de voie des galeries en chantier, les sections cumulées des galeries suivant lesquelles la détente des gaz chauds peut s'opérer est plutôt plus grande.

» La section de la galerie d'essai a été choisie de 1/3 inférieure au minimum indiqué ci-dessus, soit de 2 mètres carrés, pour tenir compte de l'irrégularité du front de taille où l'on mine et aussi du fait que des soupapes de sûreté existent sur la chambre d'explosion, lesquelles facilitent, dans une certaine mesure, la détente des gaz.

» Suivant les idées émises par M. Heise en 1898 sur l'inflammabilité des milieux explosibles par compression, nous avons jugé qu'il était intéressant de déterminer s'il y avait réellement restriction de la charge-limite, lorsqu'on gênait la détente des gaz, en opérant, par exemple dans des chambres d'explosion de moindre section.

» Nous avons, pour cela, constitué, au moyen de tronçons d'une ancienne chaudière et d'un ancien tube houilleur, une chambre de 1 mètre carré environ et une autre de 1/4 de mètre carré (exactement 0^m295 et 0^m28); ce qui, avec notre section initiale, constitue une échelle de

chambre d'explosion dont les sections sont dans le rapport 1, 1/2, 1/7.

» De très nombreux essais ont été exécutés par M. l'Ingénieur principal Bolle, à l'effet de déterminer les charges-limites des explosifs classés dans ces trois sections, tant vis-à-vis des poussières qu'en présence du grisou.

» Ces expériences ne sont pas encore terminées.

» Nous ne pouvons donner, en conséquence, que les résultats globaux qui se dégagent des expériences effectuées jusqu'à présent.

» Douze explosifs appartenant aux groupes Carbonit, explosifs au nitrate, explosifs au chlorate, ont accusé tous une chute notable avec la réduction de section de la chambre d'explosion.

» Le groupe des wetterdynamites n'a eu qu'un seul représentant essayé; celui-ci n'a pas jusqu'ici accusé de chute ni devant les poussières, ni devant le grisou, même dans la section de 1/4 de mètre carré.

» La chute des explosifs des autres groupes varie notablement suivant l'explosif considéré. Pour la section minimum, elle varie de 30 % à 75 %.

» Pour certains explosifs, la chute la plus marquée se fait vis-à-vis des poussières, pour d'autre, au contraire, c'est vis-à-vis du grisou que la chute a été la plus forte ».

Depuis lors, ces expériences ont été complétées et les pages suivantes en sont le compte-rendu.

Faisons remarquer dès à présent que les essais dans la section de 0^m28 n'ont d'intérêt qu'au point de vue théorique, car si l'on a déjà peine à concevoir le minage s'effectuant à front d'une galerie d'une section de moins de 1 mètre carré, on ne le conçoit pas du tout dans une galerie de 0^m28.

a) Description du procédé suivi lors des essais.

Nous supposons bien connue la galerie d'expériences, qui a été mainte fois décrite et dont, d'ailleurs, la disposition a été rappelée plus haut en grands traits.

Les croquis suivants (fig. 1 et 2) donnent, dans ses lignes principales, la disposition usitée pour les essais que nous allons rapporter :

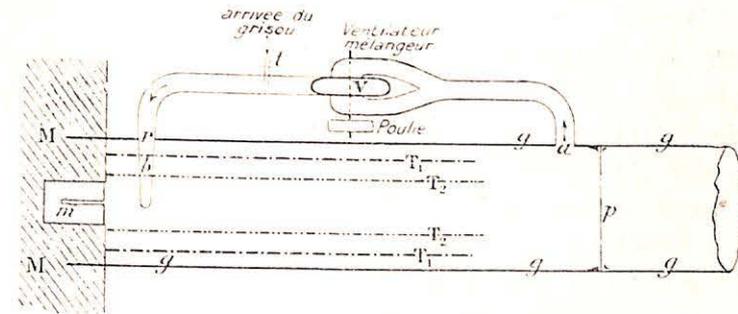


Fig. 1. — Coupe horizontale.

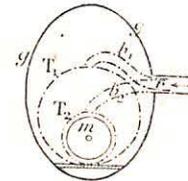


Fig. 2. — Coupe transversale.

Quand on fait des essais en milieux grisouteux, dans la section de 2 mètres carrés, la chambre d'explosion, d'un volume total d'environ 11 mètres cubes, est limitée, comme on le sait, par les parois *g* de la galerie, un massif de maçonnerie *M* dans lequel est logé le mortier et une cloison de papier *p*.

Un ventilateur-mélangeur *V* aspire l'air à une extrémité de la chambre d'explosion par un orifice *a* aménagé dans la paroi *g*, et le refoule à l'autre extrémité de cette même chambre, par un orifice *r*. Le grisou venant de la cloche passe par un compteur et arrive, par un tuyau *t*, dans le canal de refoulement du ventilateur-mélangeur; la vitesse de l'air est grande dans ce canal, de sorte que le grisou est immédiatement entraîné et que le mélange de grisou et

d'air est bien homogène dans la chambre d'explosion : des dosages ont montré que la teneur en CH_4 ne varie pas sensiblement dans les différents points de la chambre. Lorsque la quantité de grisou nécessaire est introduite dans la galerie, ce qu'on constate au compteur, et ce qu'on vérifie par une analyse sommaire (limites d'inflammabilité), on isole le ventilateur par des vannes, et l'on fait sauter électriquement l'explosif expérimenté; on constate si le grisou est enflammé ou non.

Pour procéder à des essais en milieux grisouteux, dans les sections de $0^{\text{m}^2}95$ ou de $0^{\text{m}^2}28$, on se contente d'introduire dans la chambre d'explosion, contre le massif M de maçonnerie, un tube de chaudière, long de 4 mètres, et dont le diamètre intérieur est de $1^{\text{m}}10$ (T_1 section de $0^{\text{m}^2}95$) ou de $0^{\text{m}}60$ (T_2 section $0^{\text{m}^2}28$). Le mélange grisouteux y est introduit par un tube de raccord b_1 ou b_2 , engagé d'une part dans l'orifice r par lequel le ventilateur mélangeur refoule l'air grisouteux dans la galerie, et d'autre part, dans un trou ménagé à la partie supérieure des tubes T_1 et T_2 .

De même que pour les essais dans la section de 2 mètres carrés, toutes les expériences en moyenne et petite sections ont été exécutées dans des atmosphères dont les teneurs en CH_4 étaient comprises entre $7 \frac{3}{4}$ et $8 \frac{1}{4}$ %.

Quant aux essais en milieux poussiéreux, ils ont été exécutés en jonchant l'intérieur des tubes T_1 et T_2 de poussières de charbons à 21-22 % de matières volatiles, analogues à celles dont on fait usage pour les essais en grande section, et dans les mêmes conditions (c'est-à-dire que les charbons sont passés au broyeur à boulets avec tamis à 1280 mailles par centimètre carré et qu'on répand 75 à 100 grammes de poussières par mètre cube de galerie).

Etant donnée l'influence de la densité du chargement sur la valeur de la charge-limite, il a été procédé, pour un certain nombre d'explosifs du moins, comme il a été dit au

chapitre I, à des essais dans lesquels les cartouches étaient placées en une, deux, ou même trois files, de façon à concentrer plus ou moins les charges; nous avons groupé les résultats en réunissant tous les essais exécutés à des densités de chargement voisines; c'est-à-dire que nous avons groupé tous les essais pour lesquels le rapport entre la section occupée par les cartouches dans le mortier et celle du fourneau était compris entre 0.18 et 0.40, entre 0.41 et 0.60, entre 0.61 et 0.80.

Rappelons encore ici que, dans toutes les expériences relatées ici, le diamètre moyen des fourneaux du mortier a varié de 55 à 62 millimètres; rappelons également que, pour le classement officiel des explosifs, on n'a égard qu'aux essais, tant en poussières qu'en grisou, pour lesquels le rapport entre la section occupée par les explosifs dans le mortier, à celle du fourneau même, est compris entre 0.41 et 0.60.

Lors des essais, la température est, en général, comprise entre 20 et 30 degrés.

Ainsi qu'il a été dit plus haut, les charges maxima n'enflammant pas le grisou ni les poussières, en galerie de 2 mètres carrés, ont été déterminées par 20 essais concordants au moins (10 en grisou, 10 en poussières); ce sont les charges-limites servant de base au classement des explosifs. Mais, pour les expériences faites dans les sections de $0^{\text{m}^2}95$ et de $0^{\text{m}^2}28$, ou avec d'autres densités de chargement, en vue d'éviter la trop grande multiplicité des essais, nous nous sommes écartés de cette règle et les charges-limites (charges maxima ne donnant pas d'inflammation) ont été déterminées par trois expériences concordantes, tant en grisou qu'en poussières.

Même dans ces conditions, les expériences ont été extrêmement nombreuses. Pour ne pas allonger cette notice par des documents de peu d'intérêt, nous nous abstien-

drons de les relater en détail, et nous nous contenterons d'en résumer les résultats, nous limitant encore aux explosifs qui ont été soumis aux essais les plus méthodiques. Ajoutons toutefois que les résultats de maints autres essais, plus ou moins isolés, ont été conformes à ceux que nous relatons.

b) Classification des explosifs S. G. P. sur lesquels ont porté les essais.

Les explosifs S. G. P. classés à Frameries peuvent se diviser en cinq catégories :

1° Les *wetterdynamites*, renfermant une forte proportion de nitroglycérine et des sels hydratés ;

2° Les *carbonites*, contenant 25 % de nitroglycérine, 20 à 34 % de nitrates de potassium ou sodium, et une forte dose d'hydrates de carbone (cellulose). — Les variétés incongelables contiennent du binitrotoluol ;

3° Les *gélamines dynamites* (dont un seul représentant se trouve dans les listes d'explosifs S. G. P.) ; ils contiennent un quart de leur poids de nitroglycérine gélatinisée, une quantité à peu près égale d'hydrate de carbone. Ils contiennent aussi du nitrate ammonique et du trinitrotoluol ;

4° Les *explosifs au nitrate ammonique*. Dans ces explosifs, le nitrate ammonique forme, avec d'autres nitrates, l'élément prédominant de l'explosif ; comme le nitrate ammonique présente assez peu d'aptitude à la détonation, on y ajoute une petite quantité d'éléments plus actifs ; dans un premier groupe, cet élément est constitué par de la nitroglycérine ; dans un second groupe, il est constitué par des composés nitrés de la série aromatique (binitronaphtaline, trinitronaphtaline, binitrotoluol, trinitrotoluol) ;

5° Enfin les *explosifs chloratés*, caractérisés par une forte teneur en chlorates ou perchlorates.

c) Résultats des essais entrepris dans les différentes sections.

GRUPE I. — *Wetterdynamites*.

Trois explosifs de composition analogue font partie de ce groupe. Ils ont la composition ci-après :

	Nitro-glycérine	Sulfate de Na	Sulfate de Mg	Hydrates de C
Dynamite antigrisouteuse V.	44	44	—	12
Grisoutine II	44	44	—	12
Grisoutite	44	—	44	12

La seule différence entre ces explosifs résulte de la substitution du sulfate de soude, à 10 molécules d'eau de cristallisation, dans la dynamite antigrisouteuse V et la grisoutine II, au sulfate de magnésie ne contenant que 7 molécules d'eau de cristallisation, qui est mêlé à la grisoutite.

L'explosif de ce groupe qui a fait l'objet d'essais systématiques est la *dynamite antigrisouteuse V*, de Baelen.

Nous donnons ci-dessous le tableau résumant le résultat de ces essais :

Essais en grisou			Essais en poussières		
Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 mètres carrés	Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 mètres carrés

Essais où le rapport de la section des cartouches à celui du fourneau est comprise entre 0.18 et 0.40 (*densité de chargement minimum*)

≥ 450 (a)	≥ 450 (a)	≥ 450 (a)	≥ 450 (a)	≥ 450 (a)	≥ 450 (a)
Id. entre 0.41 et 0.60 (<i>densité de chargement moyenne</i>)					
300	300	650	≥ 650	≥ 650	≥ 650
Id. entre 0.61 et 0.80 (<i>densité de chargement maximum</i>)					
—	300	650	≥ 650	≥ 650	≥ 650

(a) Charge maximum qu'il a été possible de loger dans le fourneau sous cette densité de chargement.

Cet explosif n'a donc pas enflammé les poussières sous sa charge-limite officielle, dans aucune des conditions expérimentales. En grisou, pour les densités de chargement moyennes, celles qui ont été le mieux étudiées, la charge-limite subit une réduction de 0.54 lorsqu'on passe de la grande à la moyenne et à la petite section.

GRUPE II. — *Carbonites.*

Ce groupe comprend 7 représentants ayant les compositions ci-dessous :

	Nitroglycérine	Binitrotoluol	Nitrate de K.	Nitrate de Na	Nitrate de Ba	Hydrates de C	Sulfate d'Am.	Carbonate Na
Sécurophore III . . .	25	—	34	—	1	39.5	—	0.5
Antigel de sûreté . . .	25	15	—	20	—	35	5	—
Ingélite	25	15	—	20	—	35	5	—
Kohlencarbonite . . .	25	—	34	—	1	39.5	—	0.5
Minérite	25	—	34	—	1	39.5	—	0.5
Colinite antigrisouteuse .	25	—	34	—	1	39.5	—	0.5
Minite	25	—	35	—	—	39.5	—	0.5

Nous donnons ci-après les charges maxima n'ayant pas donné d'inflammation, pour deux des explosifs de ce groupe.

	Essais en grisou			Essais en poussières		
	Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 m. carrés	Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 m. carrés

Essais où le rapport de la section des cartouches à celle du fourneau est comprise entre 0.18 et 0.40

Kohlencarbonite . . .	≥450(a)	≥450(a)	≥450(a)	—	250	≥450 (a)
Minite	400	≥450(a)	≥450(a)	—	250	≥450 (a)

Id. entre 0.41 et 0.60

Kohlencarbonite . . .	650	850	≥900	50	250	≥900
Minite	350	≥900	≥900	100	200	≥900

Id. entre 0.61 et 0.80

Kohlencarbonite . . .	—	800	≥900	250	450	≥900
Minite	—	—	≥900	250	—	≥900

Sous les densités moyennes de chargement, l'explosif type de ce groupe, la kohlencarbonite, a donc subi des réductions de charge-limite de 6 % en grisou et de 72 % en poussières, dans la section moyenne; en petite section, ces réductions ont été respectivement de 28 % et de 94 %.

GRUPE III. — *Gélatines dynamites.*

Le seul explosif classé de ce groupe est la *colinite antigrisouteuse B* ayant la composition ci-après :

Nitroglycérine gélatinisée	26
(nitroglycérine 25, coton nitré 1)	
Trinitrotoluol	12
Nitrate ammonique	20
Perchlorate de potassium	6
Hydrates de carbone	29
Sulfate de magnésie	7

Nous donnons ci-après la valeur des charges maxima n'ayant pas donné d'inflammations, dans diverses conditions.

Essais en grisou			Essais en poussières		
Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 mètres carrés	Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 mètres carrés

Essais où le rapport de la section des cartouches à celle du fourneau est compris entre 0.18 et 0.40

450 | ≥ 500 (a) | ≥ 500 (a) | 300 | ≥ 500 (a) | ≥ 500 (a)

Id. entre 0.41 et 0.60

450 | 650 | 800 | 400 | ≥ 800 | ≥ 800

Id. entre 0.61 et 0.80

350 | 600 | ≥ 800 | 400 | ≥ 800 | ≥ 800

La charge-limite de cet explosif a donc subi, vis-à-vis du grisou, sous la densité moyenne de chargement, une perte de 19 % en section moyenne, et de 44 % en petite section.

Vis-à-vis des poussières, il n'y a eu chute qu'en petite section.

GRUPE IVa. — Explosifs au nitrate ammonique, avec addition de nitroglycérine.

Les explosifs de ce groupe qui sont classés comme S. G. P. sont au nombre de 3; nous y joignons un autre explosif, le *flammivore I*, qui n'est pas classé comme explosif S. G. P., mais sur lequel de nombreux essais ont été exécutés.

	Nitroglycérine	Nitrate Am.	Nitrate K.	Nitrate Na.	Oxalate Am.	Hydrates C.	Sulfate Am.	Sulfate Ba.
Fractorite D . . .	4	75	—	10	7	4	—	—
Flammivore III . . .	6	70	—	—	—	8	9	7
Ammoncarbonite . . .	4	82	10	—	—	4	—	—
Flammivore I . . .	4	82	10	—	—	4	—	—

Nous donnons ci-dessous la valeur des charges maxima n'ayant pas enflammé le grisou ou les poussières, dans les différentes conditions expérimentales.

	Essais en grisou			Essais en poussières		
	Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 m carrés	Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 m carrés

Essais où le rapport de la section des cartouches à celle du fourneau est compris entre 0.18 et 0.40

Fractorite D	350	≥ 400 (a)	≥ 400 (a)	100	350	≥ 400
Flammivore III	300	—	≥ 450 (a)	—	—	≥ 450 (a)
Flammivore I	50	100	400	50	150	250

Id. entre 0.41 et 0.60

Fractorite D	250	550	700	150	300	≥ 700
Flammivore III	—	—	650	—	100	≥ 650
Flammivore I	50	150	300	50	150	250

Id. entre 0.61 et 0.80

Fractorite D	—	350	700	—	—	≥ 700
Flammivore I	150	200	250	50	100	150

Sous les densités moyennes de chargement, la charge-limite officielle de la *fractorite D* a donc subi des réductions de 21 % (grisou) et 57 % (poussières) en moyenne section, et de 64 % (grisou) et 79 % (poussières) en petite section.

GRUPE IVb. — Explosifs au nitrate ammonique avec addition de dérivés nitrés de la série aromatique.

Ce groupe compte sept représentants dans la liste des explosifs classés, savoir :

	Trinitrotoluol	Trinitronaphtaline	Binitronaphtaline	Nitrate Am	Nitrate K	Nitrate Na	Permanganate K	Chromate Pb	Hydrates C	Oxalate Am	Sulfate Alun	Chlorure Am	Carbonate Ba
Densité 4	19	—	—	18	45.5	—	—	—	—	—	—	17.5	—
Favier 3bis	8.5	—	—	60	11	—	0.5	—	6	—	5	4	5
Densité 3	4	—	—	74	—	22	—	—	—	—	—	—	—
Poudre blanche Cornil Ibis	—	—	3	77	1	—	—	1	—	—	—	18	—
Favier 2bis	—	—	2.4	77.6	—	—	—	—	—	—	—	20	—
Fractorite B	—	—	2.8	75	—	—	—	—	—	2.2	—	20	—
Minolite anti- grisouteuse	3	2	—	72	—	23	—	—	—	—	—	—	—

Ces explosifs ont fait l'objet d'un grand nombre d'essais; mais ceux-ci ont fréquemment donné des résultats contradictoires (nous rappellerons d'ailleurs que des essais de contrôle pratiqués sur des échantillons d'un explosif de ce groupe, prélevés dans les charbonnages, ont souvent donné des résultats très peu satisfaisants); c'est pourquoi nous ne relaterons ici que quelques résultats relatifs au Favier III^{bis}, un des produits qui se sont comportés le moins irrégulièrement.

Essais en grisou			Essais en poussières		
Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 mètres carrés	Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 mètres carrés

Essais où le rapport de la section des cartouches à celle du fourneau est comprise entre
0.18 et 0.40

450	≥ 450 (a)				
-----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Id. entre 0.41 et 0.61

250	600	750	350	≥ 750	≥ 750
-----	-----	-----	-----	-------	-------

Sous les densités moyennes de chargement, la charge-limite officielle devrait donc subir une réduction de 20 % (grisou) et 0 % (poussières), en section moyenne) et de 67 % (grisou) et 53 % (poussières) en petite section.

GRUPE V. — Explosifs chloratés.

- Ce groupe a trois représentants sur les listes d'explosifs S. G. P., ce sont :

	Nitroglycérine	Colle de gélatine glycérine	Trinitrotoluol	Nitrate Am	Nitrate Na	Perchlorate K	Perchlorate Am	Hydrates de C	Na Cl
Permonite	6	1	7	29.5	—	24.5	—	7	25
Permonite B	6	1	7	29.5	—	24.5	—	7	25
Yonckite 10bis.	—	—	10	30.0	15	—	25	—	20

Les tableaux ci-dessous font connaître, pour le premier de ces explosifs, la valeur des charges maxima n'ayant pas donné d'inflammation dans les différents cas.

	Essais en grisou			Essais en poussières		
	Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 m. carrés	Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 m. carrés
Essais où le rapport de la section des cartouches à celle du fourneau est compris entre 0.18 et 0.40						
Permonite	≥ 450 (a)	≥ 450 (a)	≥ 450 (a)	250	≥ 450 (a)	≥ 450 (a)
Id. entre 0.41 et 0.60						
Permonite	50	600	≥ 900	550	≥ 900	≥ 900
Id. entre 0.61 et 0.80						
Permonite	250	700	≥ 900	—	≥ 900	≥ 900

Sous les densités moyennes de chargement, la charge-limite de la Permonite, explosif type de ce groupe devrait donc subir une réduction de 33 % (grisou), 0 % (poussières) en moyenne section, et de 94 % (grisou), 39 % (poussières) en petite section.

D. — Tableau résumant des essais exécutés sous des densités moyennes de chargement.

Groupons maintenant les résultats des essais consignés ci-dessus, en un tableau où nous représenterons par l'unité la charge limite officielle d'un explosif, déterminée dans une section de 2 mètres carrés, vis-à-vis du grisou ou des poussières; les charges maxima des explosifs-type de chaque groupe ne donnant pas d'inflammation, sous les mêmes densités de chargement, dans les sections de 0m²28 et de 0m²95 doivent être représentés par les chiffres ci-après :

	Essais en grisou			Essais en poussières		
	Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 m. carrés	Section de 0m ² 28	Section de 0m ² 95	Section de 2 m. carrés
I. Wetterdynamites : Dynamite antigrisouteuse V	0.46	0.46	1	≥ 1	≥ 1	≥ 1
II. Carbonites : Kohlencarbonite	0.72	0.94	1	0.06	0.28	≥ 1
III. Gélatines dynamites : Colinite antigrisouteuse B	0.56	0.81	1	0.50	≥ 1	≥ 1
IV. Explosifs au NH⁴ NO³ : a) + nitroglycérine : Fractorite D	0.36	0.79	1	0.21	0.43	≥ 1
Id. b) + dérivés arom. nitrés : Favier IIIbis	0.33	0.80	1	0.87	≥ 1	≥ 1
V. Explosifs chloratés : Permonite	0.06	0.67	1	0.61	≥ 1	≥ 1

Rappelons que les essais isolés, exécutés avec d'autres explosifs, ont donné des résultats analogues.

CHAPITRE III

Quelques observations au sujet des résultats des essais.

Il résulte des données exposées au chapitre précédent que, pour tous les explosifs soumis aux essais, la charge-limite vis-à-vis du grisou décroît avec la section de la galerie; il en est de même vis-à-vis des poussières, si ce n'est pour la *Wetterdynamite* essayée, la Dynamite antigrisouteuse V, où, malgré la faible section, l'inflammation des poussières n'a pas été obtenue.

Le taux de la réduction varie beaucoup suivant le type d'explosif et suivant que l'atmosphère explosible est composée de grisou ou de poussières.

Les *Carbonites* se maintiennent bien en grisou, mais la chute est profonde en poussières, déjà dans les sections moyennes.

La *Gélatine-dynamite* n'a pas de chute excessive.

Les *explosifs au nitrate* éprouvent des réductions très sensibles.

Les *explosifs au chlorate* se comportent bien en poussières, ne donnant de réduction de charge-limite qu'en petite section.

Dans les milieux grisouteux, la réduction est modérée en section moyenne, mais est extrêmement forte en petite section.

Pourra-t-on déterminer ce taux avec assez de précision pour chaque type d'explosif, de façon à pouvoir, comme le proposaient MM. Will et Mente au Congrès de Londres, obtenir, dans une petite galerie, des résultats dont on pourra déduire ceux que l'on obtiendrait dans des galeries ayant les dimensions de la pratique? C'est bien possible, et nous souhaitons, dans l'intérêt de la facilité d'essais sommaires destinés à guider les fabricants d'explosifs, qu'il en soit ainsi, mais il faudrait pour cela d'autres essais encore.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il faut se borner à énoncer cette loi qui paraît générale, réserve faite pour les *wetterdynamites* dans les atmosphères poussiéreuses :

Toutes choses égales d'ailleurs, si un explosif placé dans un mortier détone dans un milieu explosible (grisouteux ou poussiéreux), la charge capable d'enflammer ce milieu diminue en même temps que la section de la galerie dans laquelle on opère (1).

(1) Nous ferons remarquer, en passant, qu'il ne s'agit ici que de l'explosion initiale, du déclenchement de l'explosion, et nullement de la propagation. Il résulte, en effet, d'observations et constatations déjà nombreuses, que les coups de poussières se propagent mieux dans les galeries de grandes dimensions que dans celles de sections restreintes.

Ce résultat n'a rien d'étonnant. Il n'est que la confirmation, par un certain nombre d'expériences nouvelles, d'une chose bien connue.

Et d'abord, il est bien avéré que la facilité d'inflammation d'un mélange combustible croît avec la pression.

Cette facilité se révèle entre autres, dans les moteurs à gaz comme le rappelait M. Heise dans sa note de 1898, analysée par M. Denoël (1), note où il est dit également : « Les essais effectués, dans cet ordre d'idées, en soumettant à l'action d'une étincelle électrique de longueur et d'intensité constantes, des mélanges de grisou et d'air à des pressions variables, ont nettement démontré que le danger d'inflammation croît avec la pression. La différence est tellement sensible qu'elle se manifeste déjà pour des accroissements de pression correspondant à une profondeur de puits de 700 à 800 mètres. Ce phénomène est facile à expliquer : avec la densité croît le nombre de molécules gazeuses rencontrées par l'étincelle et portées à haute température. »

C'est aussi cette considération qui a motivé à Frameries l'exécution de certaines expériences, notamment sur les rallumeurs, dans des atmosphères sous pression dans l'appareil imaginé par notre regretté collègue Stassart (2).

Or, lorsqu'une charge d'explosifs détone dans un espace quelconque occupé par un gaz, il s'exerce au premier instant une compression violente qui est en rapport avec la nature de l'explosif et qui est la même *au premier instant*, quelle que soit la grandeur de l'espace. Mais, l'influence de celui-ci se fait sentir immédiatement après et, si l'espace est restreint ou étroit, ce qui, vu la rapidité des phénomènes considérés, est à peu près la même chose,

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, t. III.

(2) Voir *Revue Universelle des Mines*, t. IV, 4^{me} série, et *Annales des Mines de Belgique*, t. IX, p. 170.

l'effet de la compression subit une persistance favorable à l'inflammation du milieu.

C'est là un premier point.

D'un autre côté, s'il est vrai que la détente, nécessaire à la sécurité, des gaz produits par l'explosion exige d'autant plus de temps pour se produire jusqu'à refroidissement suffisant que le poids de l'explosif est plus considérable, ce qui explique le danger des fortes charges, il est clair que le rétrécissement de l'espace équivaut à une augmentation de la charge, et, par conséquent, que l'inflammation sera provoquée par une charge-limite plus faible dans un espace plus restreint.

Ce danger des espaces limités était déjà signalé par la Commission française qui s'exprimait ainsi dans son « Rapport supplémentaire » de 1888 : « Il importe, en outre, de remarquer que la sécurité dans l'emploi des explosifs autour d'une atmosphère grisouteuse repose, comme on l'a vu plus haut, sur le mélange presque instantané des gaz de la détonation avec une masse d'air ambiant suffisante. Il serait donc dangereux de tirer des coups de mine dans un espace trop limité avec un poids d'explosif assez grand pour que le volume de l'air ambiant soit comparable avec celui des gaz de la détonation. »

Rappelons aussi que dans les études antérieures à l'établissement du siège d'expériences de Frameries (1), il a été fait remarquer que si l'abaissement par détente de la température des gaz dégagés est une condition nécessaire, elle est insuffisante et l'échauffement des couches d'air par compression est aussi à considérer, d'où l'influence de la *brisançe*.

Pour qu'il n'y ait pas inflammation, la compression doit rester en dessous de certaines limites et sa durée doit être

(1) WATTEYNE ET DENOEL, *Annales des mines de Belg.*, t. III, et *Bulletin de la Société de l'Industrie minière* (Congrès de Paris 1900).

inférieure à celle du retard à l'inflammation correspondant à la température atteinte. La compression initiale, *au contact du fourneau*, dépend de la nature de l'explosif et des conditions du tir et est indépendante de la forme ou de la section de la galerie. Elle engendre dans celle-ci un ébranlement ondulatoire qui se propage par un mécanisme de compressions et de détentes successives et qui s'amortit tout en transmettant la chaleur au milieu ambiant.

Mais la propagation de l'ébranlement n'est pas la même dans tous les milieux. Elle varie notamment avec la grandeur de l'espace où elle se produit. Or, la résistance des petites sections à la propagation du choc initial entraîne évidemment une augmentation de la durée et de la grandeur de la compression.

Dans les milieux restreints, le mécanisme de la propagation peut aussi jouer un rôle par la superposition des ondes directes et réfléchies par les parois et qui peuvent donner lieu à des ondes très comprimées portées à des températures très élevées. Cet effet peut être d'autant plus marqué que les obstacles où les ondes seront réfléchies seront plus près du centre de l'explosion; l'influence de l'étroitesse de la galerie se révèle donc une fois de plus comme nuisible.

La généralité des phénomènes d'une diminution de la charge-limite dans des galeries de dimensions restreintes (bien entendu entre certaines limites) est donc aisément explicable.

Les mêmes raisons générales qui expliquent la réduction de la charge-limite dans une atmosphère grisouteuse s'appliquent à ce qui se passe dans un milieu poussiéreux. Mais on conçoit aussi qu'il y ait des différences, et que, pour certains explosifs, la réduction de la charge soit plus forte en présence des poussières que du grisou et que pour d'autres ce soit le contraire qui se produise.

La température et la vitesse de la détonation, et aussi la

composition des gaz produits par l'explosion interviennent dans ces différences.

En terminant cet exposé, nous croyons de notre devoir d'insister de nouveau sur des observations émises maintes fois à propos des essais sur les explosifs.

Bien que l'on se soit préoccupé, au Siège d'Expériences de Frameries, de se placer dans les conditions les plus rapprochées possible de celles de la pratique des mines, il est manifeste, et ce qui précède a mis le fait en lumière une fois de plus, qu'il s'en faut encore de beaucoup qu'il ait pu en être tout à fait ainsi.

Certes, comme il est dit plus haut, il n'y a pas lieu de s'émouvoir outre mesure de l'énorme réduction qui, pour certains explosifs, affecte la charge-limite dans les galeries de 0^m28 de section, car jamais dans la pratique, il n'est question de miner dans de pareils réduits ; mais la section de 0^m95 peut parfois, quoique rarement, se rencontrer.

En outre, la question de la densité de chargement, par les incertitudes qu'elle soulève, est assez troublante.

L'augmentation de pression avec la profondeur entraîne aussi un surcroît de danger.

Puis, les irrégularités dans la fabrication des explosifs peuvent diminuer considérablement le degré de sûreté de ceux-ci.

Par contre, il est vrai, le bourrage apporte un surcroît important de sécurité, surcroît paraissant plus considérable pour les explosifs S. G. P. que pour les autres (1). Aussi, tout en recommandant l'usage exclusif des explosifs S.G.P., insistons-nous sur la nécessité d'un bourrage soigné.

Mais on ne peut pas toujours escompter avec certitude

(1) WATTEYNE et STASSART, *Publication du Congrès de Liège*, 1905, et *Annales des Mines de Belgique*, t. X; *Publication du Congrès de Rome*, 1906.

l'appoint de sûreté provenant du bourrage, puisque son efficacité est annihilée, ou tout au moins considérablement réduite dans certains cas de la pratique, notamment celui où les gaz de l'explosion rencontrent des fissures de terrains par où ils s'échappent sans avoir travaillé.

Ainsi, malgré tout, l'emploi des explosifs dans les mines grisouteuses ou poussiéreuses reste-t-il une opération dangereuse et il importe, tout en n'employant que les explosifs les moins dangereux, bien bourrés et à charges limitées, de ne négliger aucune des précautions habituelles pour éviter de miner dans des atmosphères inflammables ou susceptibles de l'être.

C'est moyennant la superposition de toutes ces précautions que nous pourrions améliorer de plus en plus la situation encourageante où se trouvent actuellement, vis-à-vis des accidents en général et, en particulier, des accidents de grisou, les mines de notre pays.

Bruxelles, mars 1911.