

SERVICE  
DES  
ACCIDENTS MINIERS ET DU GRISOU

---

LES  
EXPLOSIFS DE SURETÉ

AU SIÈGE D'EXPÉRIENCES DE FRAMERIES

PAR

V. WATTEYNE

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

ET

S. STASSART

Ingénieur principal des Mines, à Mons  
Professeur d'exploitation des mines à l'Ecole des mines du Hainaut.

[6222352]

---

**I. — Introduction. — Quelques données statistiques.  
Rappel succinct des résultats des essais sur les lampes de  
sûreté.**

Nous l'avons dit à diverses reprises dans des publications précédentes, des deux problèmes dont l'étude fait l'objet de nos travaux actuels au siège d'expériences de Frameries, à savoir la recherche des meilleurs modes d'éclairage pour les travaux souterrains et celle des explosifs dont l'emploi présente le moins de danger dans les mines grisouteuses et poussiéreuses, le plus important est sans aucun doute celui relatif aux explosifs.

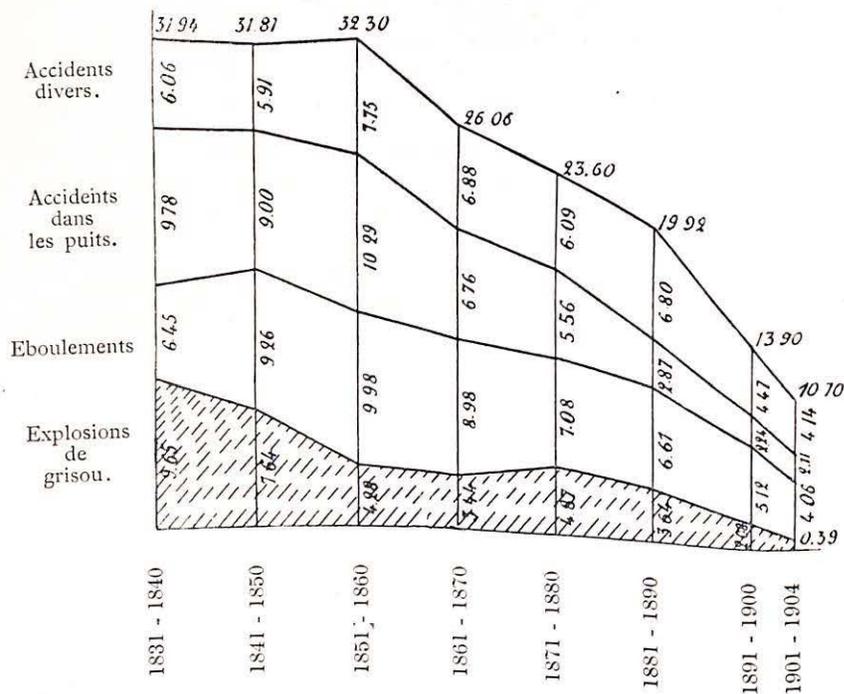
Nous avons fait connaître les causes de cette plus grande importance de la question des explosifs : les quelques données statistiques qui vont suivre et que nous

repreons de la communication présentée par nous au Congrès international des Mines, de la Métallurgie, etc., à Liège, fin Juin dernier (1), la font ressortir encore.

Voyons d'abord quelle place occupent les accidents de grisou parmi les accidents miniers en général.

Le diagramme ci-dessous va nous l'apprendre. Il indique en effet, en grandes lignes, comment se répartissent les ouvriers tués par les accidents miniers de diverses causes depuis 1830.

FIG. 1. — Proportions d'ouvriers tués, par 10,000 ouvriers occupés pour les périodes décennales 1830-1904



(1) WATTEYNE et STASSART. — Les Lampes de sûreté et les Explosifs, au siège d'expériences de Frameries. — Publications du Congrès international des Mines, de la Métallurgie, de la Mécanique et de la Géologie appliquées.

Faisons remarquer de suite combien a été grande la diminution des explosions, surtout après 1850, à la suite de l'application du règlement général sur l'aérage, et depuis 1890, époque où l'emploi des explosifs de sûreté s'est substitué progressivement aux explosifs éminemment dangereux employés généralement précédemment.

Signalons aussi en passant, non sans une certaine satisfaction d'amour-propre national, à quel chiffre est tombé dans notre pays le risque professionnel de l'ouvrier mineur.

Le chiffre de 10.10 ouvriers tués par 10,000 ouvriers occupés et qui est le chiffre moyen des années 1901-1904, est le plus bas qui ait été atteint dans aucun pays, et cela malgré que les mines belges, profondes, tourmentées et éminemment grisouteuses, peuvent être considérées comme les plus dangereuses du monde entier.

Sans aucun doute on doit estimer ce chiffre comme trop élevé encore et l'on ne doit pas se lasser de chercher à le réduire. Les résultats déjà obtenus, et qui sont la récompense des efforts réalisés, sont trop encourageants pour qu'on ne poursuive pas, sans relâche, la lutte contre les dangers, nombreux encore, qui menacent la vie de nos mineurs.

Mais revenons-en au grisou.

Les accidents dus au grisou sont de diverses espèces. Ils se distinguent en deux catégories principales : les explosions ou coups de feu qui sont seuls mentionnés dans le diagramme, et les accidents où le grisou, sans s'enflammer, occasionne des asphyxies. Les cas les plus remarquables de cette dernière classe d'accidents sont ces funestes phénomènes dont nous avons eu jusque dans ces derniers temps le triste monopole, grâce à la nature spécialement grisouteuse de nos mines et à la profondeur très grande atteinte

par nos exploitations; nous voulons dire les *dégagements instantanés*.

Ces phénomènes sont, comme on sait, caractérisés par des invasions brusques de grisou sortant abondamment des couches mêmes, avec violentes projections de charbon broyé ou pulvérisé. On désigne, dans le Borinage, ces phénomènes sous le nom de *volcans*, et cette expression caractérise bien leur mode de manifestation. Les ouvriers qui se trouvent à proximité et qui n'ont pu se sauver à temps sont renversés et asphyxiés, soit par le grisou, soit par le charbon menu refoulé ou projeté.

Il est arrivé, rarement toutefois, que les gaz refoulés ont, sur leur route rencontré une cause d'inflammation. Il en est alors résulté d'effroyables catastrophes.

Mais, quelque dignes d'intérêt que soient ces phénomènes, ils ne constituent pas l'objet du présent travail et, si nous en avons parlé, c'est pour les écarter, ainsi que les asphyxies dans d'autres circonstances, de notre examen, et de nos relevés. Même, pour ne retenir que les causes d'inflammation qui font l'objet de nos expériences à la station d'essai de Frameries, nous éliminons tous les dégagements instantanés, comme ceux, rares d'ailleurs, accompagnés d'inflammation. Cette catégorie d'accidents comporte une étude toute spéciale qui n'a rien de commun avec celles entreprises actuellement à notre siège d'expériences.

Les *coups de feu* ou *explosions* dont il nous reste à nous occuper sont, à part quelques accidents exceptionnels généralement peu meurtriers, occasionnés ou par les lampes ou par les mines que l'on tire pour détacher les roches ou le charbon.

Les **lampes** et les **explosifs** sont ainsi les deux grandes causes d'explosions dans les mines; ce sont d'ailleurs, à de bien rares exceptions près, les deux seuls

motifs d'introduction de flammes dans les travaux souterrains.

De ces deux causes, la première était dominante dans les temps anciens; c'est ainsi que de 1821 à 1850, l'emploi des lampes a occasionné en Belgique 58 % du nombre des inflammations du grisou, tandis que les explosifs ne sont intervenus que pour 22 %. De 1851 à 1880, les lampes ont encore produit 52 % des inflammations, les explosifs intervenant dans cette cause pour 37 %. Mais, dans la période suivante, les proportions ont été renversées. En effet, de 1881 à 1890, la proportion des coups de feu dus à l'emploi des lampes n'a plus été que de 28 %, tandis que celle des explosions dues à l'emploi des explosifs atteignait 64 %.

Cette période est celle où la prépondérance de l'emploi des explosifs comme cause des explosions a atteint son maximum. Et cette prépondérance est bien plus accentuée encore si l'on considère le nombre des victimes. En effet, dans la même période de 1881-1890, le nombre de tués par les explosions de grisou de toute nature s'est élevé à 3.64 par 10,000 ouvriers du jour et du fond (1); par les explosions dues aux deux causes précitées, il a été de 2.91 par 10,000 ouvriers occupés, dont 0.48 seulement pour les inflammations occasionnées par les lampes et 2.43 pour les explosions provoquées par l'emploi des explosifs.

Dans la période décennale suivante, 1891-1900, la proportion s'est renversée encore, en même temps qu'il s'est produit une notable diminution des accidents dus aux inflammations de grisou. La proportion des ouvriers tués par suite de ces inflammations pour les deux causes dont s'agit, a été de 2.08 (2) par 10,000, dont cette fois 0.45

(1) La proportion pour tous les accidents dus au grisou a été de 4.37 par 10,000 ouvriers.

(2) La proportion des ouvriers tués pour tous accidents de grisou a été de 2.79; dans ce chiffre sont compris les ouvriers asphyxiés dans plusieurs dégagements instantanés.

seulement par suite de l'emploi des explosifs et 1.63 pour les inflammations occasionnées par les lampes (1).

Enfin, la dernière période, qui n'est que de quatre ans seulement, 1901-1904, a été bien plus favorable encore. Il n'y a eu en tout, par 10,000 ouvriers occupés que 0.39 ouvriers tués par les inflammations de grisou (2). Cette fois c'est à l'emploi des explosifs, que sont dues les deux inflammations survenues pendant cette période.

Nous verrons bientôt les causes de ces fluctuations.

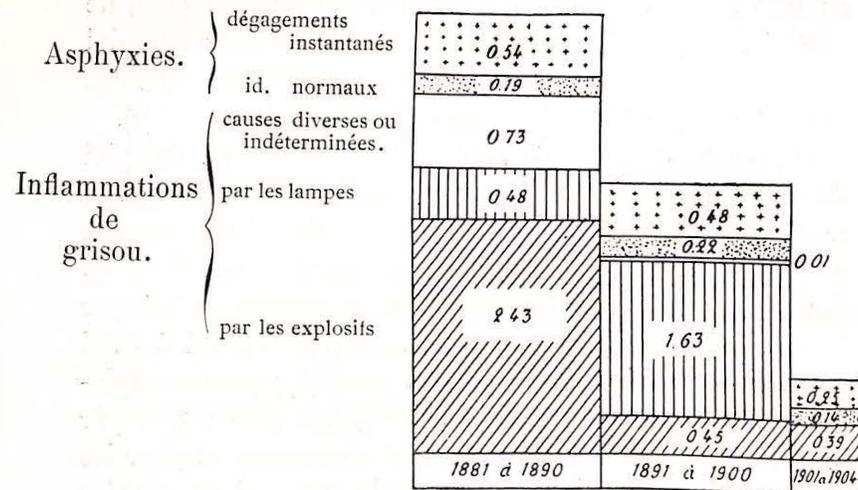


FIG. 2.

La répartition des tués par les accidents dus au grisou depuis 1880 est figurée par le diagramme ci-dessus qui indique pour les périodes décennales 1881-1890 et 1890-1900 et pour la période 1901-1904 le nombre moyen d'ouvriers tués annuellement par 10,000 ouvriers occupés.

(1) Parmi ces dernières est classée la catastrophe d'Anderlues du 11 mars 1892 qui a occasionné la mort de 160 ouvriers. Les causes de cette catastrophe n'ont pu être établies d'une façon positive, mais on a de fortes raisons de supposer que l'inflammation a été provoquée par la flamme d'une lampe.

(2) La proportion des ouvriers tués pour tous accidents dus au grisou a été de 0.78.

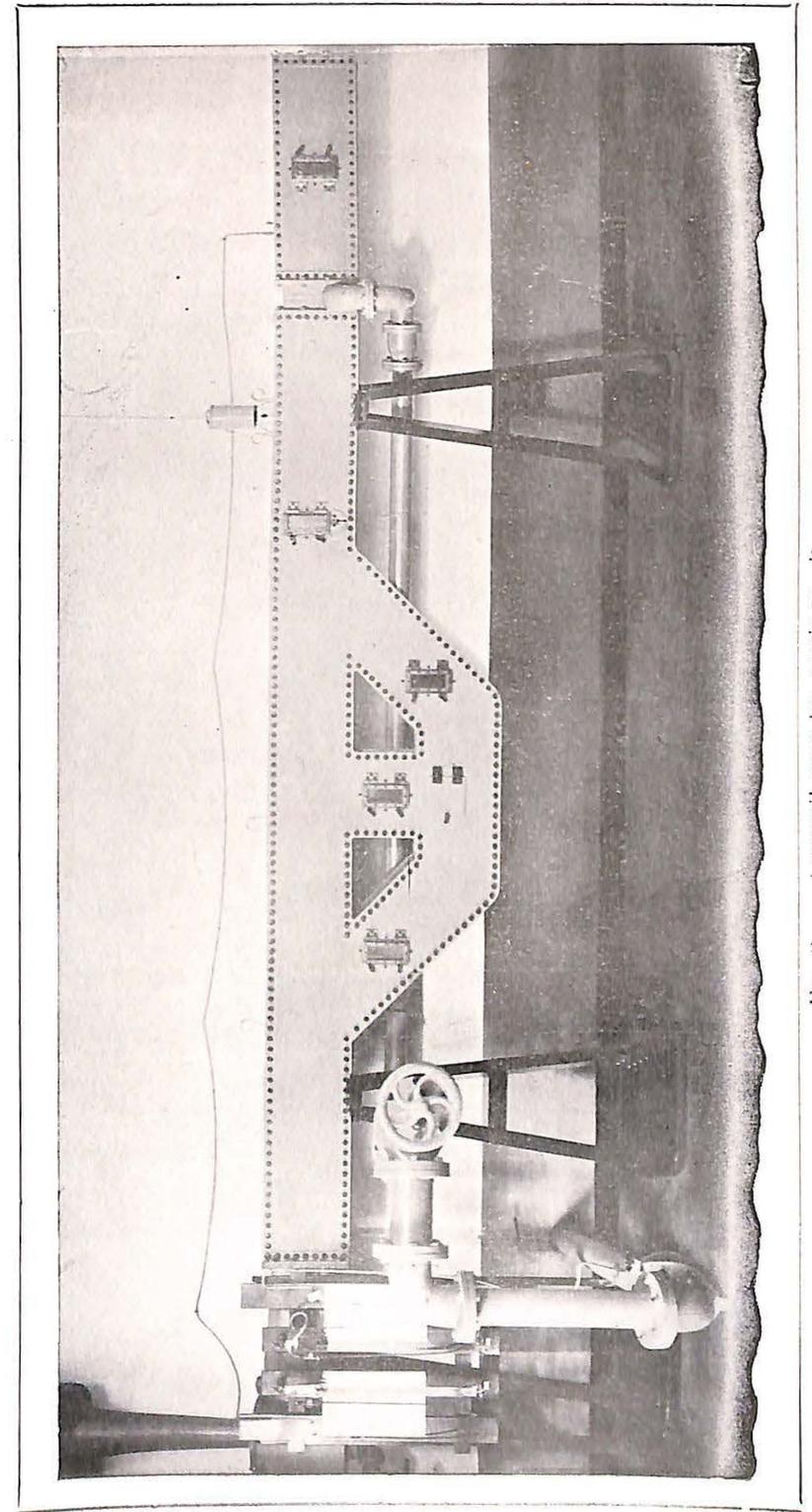


FIG. 3. — Appareil pour les essais en vitesse.

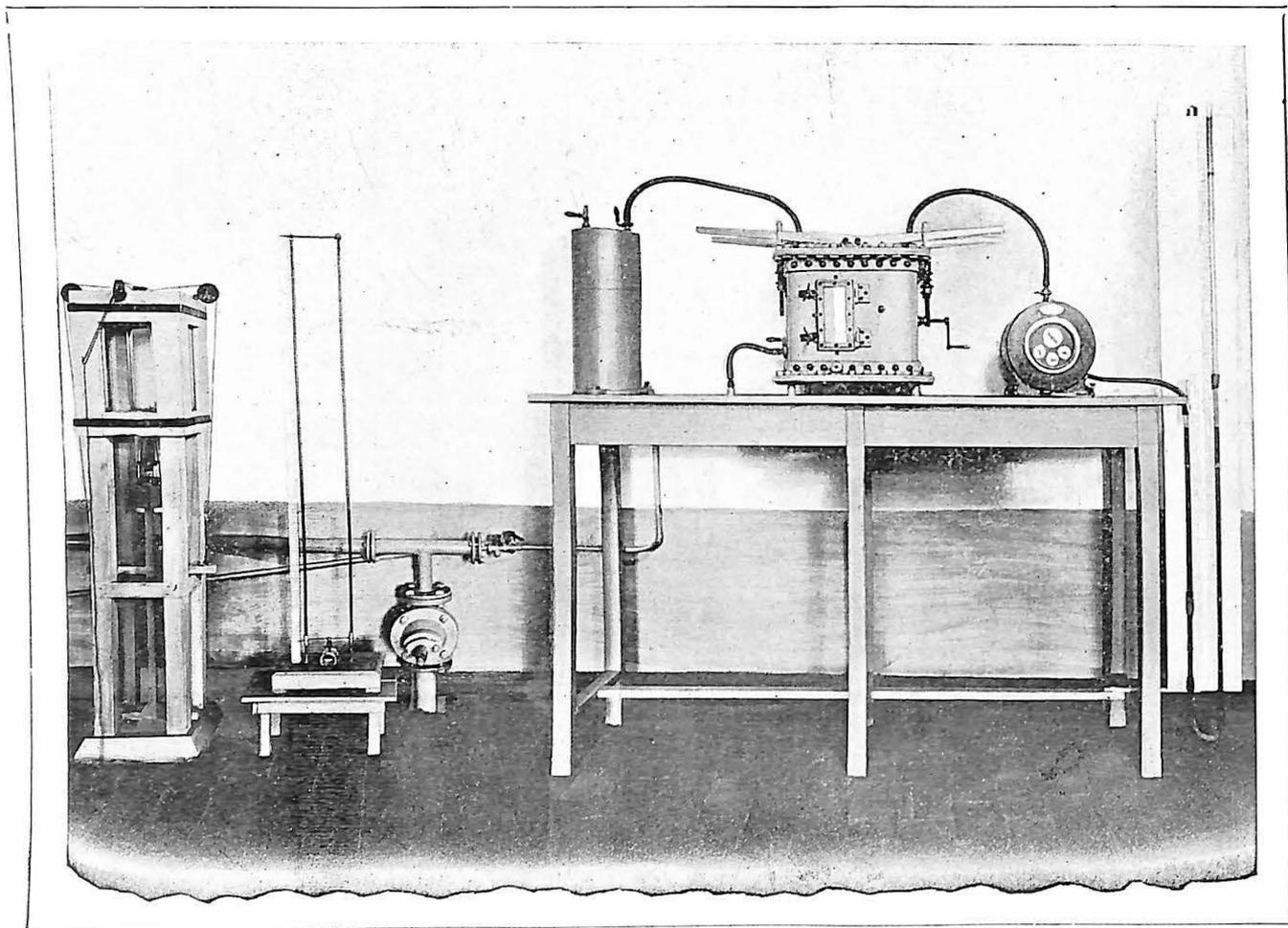
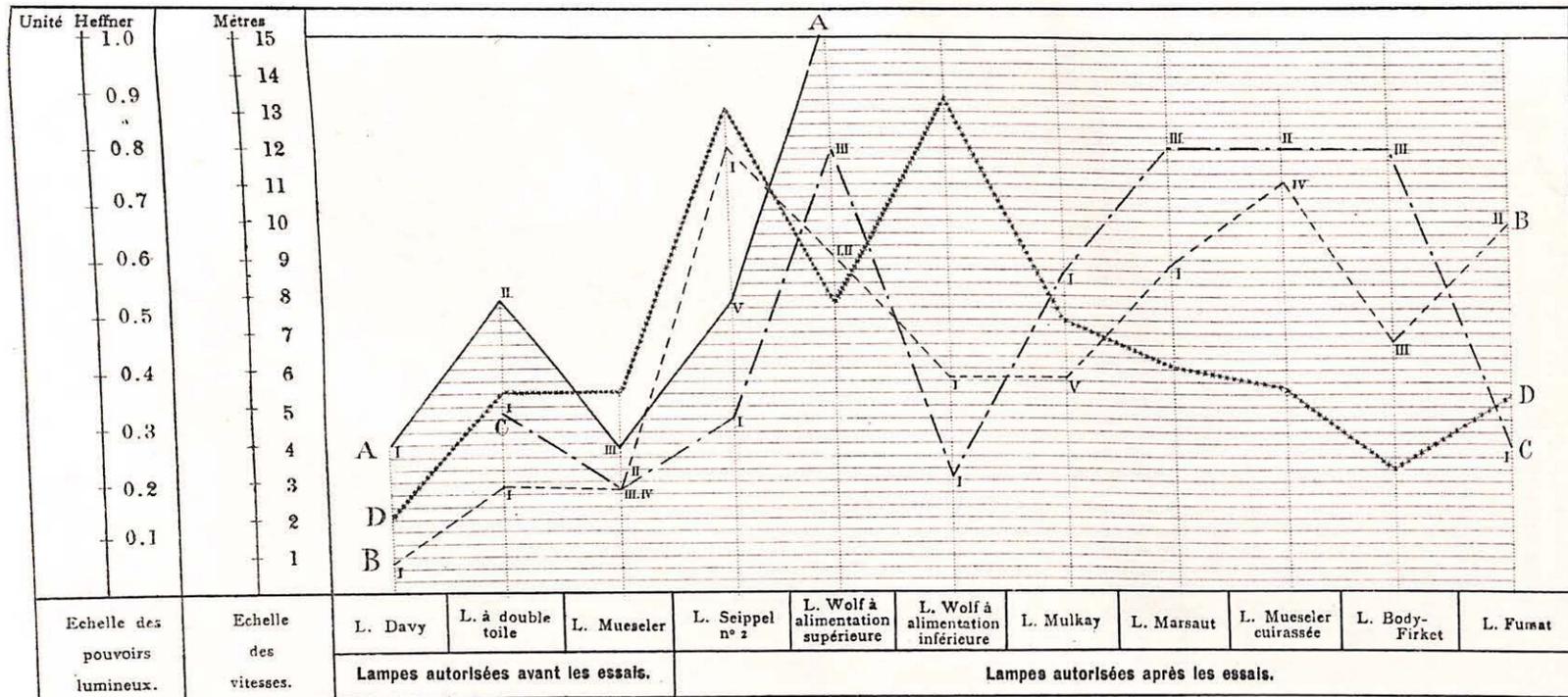


FIG. 4. — Appareil pour les expériences dans les atmosphères en repos et en surpression.

Fig. 5. — Lampes de sûreté. — Résultats des essais.



Les lampes ont été soumises à l'action de courants grisouteux, d'une teneur de 8 % de méthane, et ayant respectivement les cinq orientations suivantes : I, courant horizontal ; II, descendant à 45° ; III, montant à 45° ; IV, vertical ascendant et V, vertical descendant.

Les ordonnées des diagrammes sont proportionnelles aux vitesses minima correspondant à :

- A. L'inflammation du milieu extérieur par traversée des toiles ou chute d'un fragment du verre (tracé —) ;
- B. A la teinte rouge sombre de la toile (tracé - - -) ;
- C. A la première rupture du verre (tracé —.—.—) .

Les ordonnées du diagramme \* \* \* \* sont proportionnelles aux pouvoirs lumineux effectifs moyens pendant un poste d'une durée de 10 heures.

Les chiffres I, II, etc., indiquent l'orientation du courant pendant l'expérience correspondante.

La zone de sécurité obtenue lors des expériences est hachurée.

La question des lampes et des expériences auxquelles elle a donné lieu ayant été traitée complètement dans les *Annales des Mines de Belgique* (1), nous nous attacherons spécialement, dans ce travail, à la question des explosifs, reproduisant pour les lecteurs des *Annales* les parties y relatives de notre communication du Congrès de Liège, que nous compléterons par l'exposé des résultats des expériences auxquelles nous avons procédé depuis lors.

Nous ne reviendrons un instant sur la question des lampes que pour rappeler, par deux photographies, les dispositions principales des appareils d'essais et, par un diagramme, les principaux résultats des essais.

Les photographies représentent : l'une (fig. 3) l'appareil pour les essais en vitesse, l'autre (fig. 4) l'appareil pour les expériences dans les atmosphères en repos et en surpression.

Ces appareils ont été complètement décrits antérieurement.

Le diagramme (fig. 5) indique, en cinq tracés, comment les diverses lampes soumises à nos essais se sont comportées aux divers points de vue intéressant la sûreté, à savoir :

- A. L'inflammation du milieu extérieur;
- B. Le rougissement des toiles;
- C. La rupture du verre.

Le 4<sup>e</sup> tracé, D, indique le pouvoir lumineux.

La légende annexée à la figure en indique suffisamment la portée.

Le tracé A est évidemment le plus important; il est en effet le critérium principal du degré de sûreté de la lampe. Aussi est-il dans le diagramme le point de départ d'une surface hachurée qui constitue en quelque sorte la zone de sûreté des lampes essayées.

---

(1) WATTEYNE et STASSART, Expériences sur les lampes de sûreté (*Annales des Mines de Belgique*, t. IX) et Nouvelles expériences sur les lampes de sûreté (*Annales des Mines de Belgique*, t. X).

Les statistiques reproduites plus haut démontrent amplement que les explosifs étaient devenus la cause principale des catastrophes résultant de l'inflammation du grisou et des poussières charbonneuses.

La prépondérance de cette cause avait été croissant jusque vers la fin de la période décennale 1881-1890. Cette progression s'explique :

D'une part, par la généralisation de l'emploi et par les perfectionnements des lampes de sûreté, par l'amélioration de l'aérage des mines, par l'activité plus grande de la surveillance, etc...;

D'autre part, par l'intensité de plus en plus grande de l'exploitation, d'où l'emploi plus fréquent des explosifs par l'augmentation de la profondeur, ce qui rend les gisements plus grisouteux, par les progrès même de la ventilation qui, de concert avec l'augmentation de la profondeur, ont rendu les mines de plus en plus poussiéreuses. Cette dernière cause a une très grande importance : On sait que si les lampes, supposées même tout-à-fait défectueuses, ne peuvent mettre le feu qu'à un mélange où la proportion de grisou atteint environ 7 %, teneur bien supérieure à celle susceptible d'être décelée par les lampes elles-mêmes, il en est autrement des flammes dues à la déflagration ou à la détonation des explosifs qui peuvent, avec l'intervention des poussières soulevées par l'ébranlement de l'air, mettre le feu à des mélanges où le grisou est en si faible proportion qu'il ne puisse être décelé à la lampe la plus sensible. Il en résulte que, tandis qu'on peut se prémunir dans une large mesure contre le danger de l'explosion par la flamme des lampes, on reste en quelque sorte constamment exposé à un danger d'explosion, malgré tous les soins et la bonne ventilation, toutes les fois qu'on lance dans l'atmosphère de la mine les flammes chaudes et violentes des explosifs. L'accroissement incessant de ce danger redoutable a fait

rechercher les moyens de le combattre et c'est précisément pendant cette période 1881-1890, où tant d'accidents dus à cette cause se sont produits, que les études faites en vue de les prévenir ont été activement poussées. Ces études ont été fructueuses et les efforts accomplis ont été récompensés par d'heureux résultats :

C'est ainsi que nous avons vu dans notre pays la proportion par 10,000 ouvriers employés, des tués par les inflammations de grisou dues à l'emploi des explosifs tomber de 2.43 qu'elle était pendant la période de 1881-1890 à 0.45 pendant la période de 1891-1900, et à 0.39 pendant la période de quatre ans qui a pris fin le 31 décembre 1904.

Ces études et ces efforts avaient porté sur deux points :

1° La réduction, dans la mesure du possible, de l'emploi des explosifs et la substitution de ceux-ci par d'autres moyens dépourvus de danger ;

2° L'amélioration de la qualité des explosifs et la recherche de la possibilité de produire un explosif qu'on puisse impunément faire détoner au sein d'une atmosphère explosible, c'est-à-dire un *explosif de sûreté*.

Dans ces deux ordres d'idées, des progrès ont été accomplis. Mais nous devons reconnaître que dans le premier des deux ils ont été faibles. En effet, après avoir donné beaucoup d'espérances, les procédés proposés pour remplacer l'emploi des explosifs n'ont pas vu leur succès s'accroître. Dans un travail présenté au Congrès de Paris, en 1900, MM. Watteyne et Denoël (1) ont fait connaître quels étaient ces procédés, qui jusqu'alors avaient eu un succès croissant. Nous nous contenterons aujourd'hui de constater que depuis lors c'est plutôt un recul qui s'est manifesté.

La question des *Explosifs de sûreté* a fait, au contraire, un pas en avant considérable.

(1) *Les Explosifs dans les mines de houille de Belgique*. Bulletin de l'Industrie minière, t. XIV.

Comme nous le verrons, l'explosif de sûreté qui semblait au début constituer un idéal presque chimérique est devenu une réalité. Non pas que l'explosif de sûreté absolue ait été découvert, il ne le sera sans doute jamais, son existence paraissant impossible, mais on possède dès à présent un certain nombre de substances qui, pour autant qu'elles soient d'une fabrication constante et homogène, peuvent être employées avec relativement peu de danger, en charges compatibles avec les exigences de la pratique des mines.

Les fluctuations de la consommation des explosifs dans les mines de houille, tant sous le rapport de la quantité, que sous celui de la qualité des explosifs consommés, peuvent être suivis aisément en Belgique par suite des statistiques de cet emploi que le *Service des accidents miniers et du grisou* établit depuis 1888, d'après les éléments recueillis par les ingénieurs du Corps des mines.

Les mines franchement grisouteuses, c'est-à-dire celles classées en Belgique dans la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> catégorie, étant les seules intéressantes à ce point de vue, nous ne rappellerons sommairement que ce qui concerne ces dernières.

Comme terme de comparaison, disons d'abord que la quantité moyenne d'explosifs consommés pour tous usages dans les mines de houille de Belgique a été, pendant la période considérée, de 45 kilogrammes par 1,000 tonnes extraites.

Mais, parmi les divers usages des explosifs dans les mines, le plus intéressant à considérer, comme étant celui qui entraîne le plus de danger, est le *coupage des voies*, dit aussi *bosseusement*, c'est-à-dire l'élargissement des galeries d'exploitation. Cette opération a lieu, en effet, en plein chantier d'abatage, là où le grisou se dégage de la veine mise à nu, où il est exposé à séjourner en certaines proportions dans les remblais et où le sol, le boisage et les parois sont souvent tapissés de poussières très pures provenant

tant de l'abatage que du boutage et du chargement. C'est pour cette opération que le règlement de 1895, qui régit les mines de Belgique, a édicté de nombreuses interdictions. L'emploi des explosifs est, en effet, interdit pour le coupage des voies : dans la galerie supérieure de retour d'air, dans toutes les galeries, sauf la galerie d'entrée d'air, ou dans toutes les galeries des chantiers, suivant qu'il s'agit de mines de la 2<sup>e</sup> catégorie A, de la 2<sup>e</sup> catégorie B ou de la 3<sup>e</sup> catégorie ; dans les mines de la 2<sup>e</sup> catégorie B, pour le coupage de toutes les galeries situées à l'écart du courant d'air normal ; dans les mêmes mines, pour tous les travaux ventilés avec aérage descendant.

Aussi, dans les statistiques a-t-il été fait une place à part au coupage des voies et cette opération a-t-elle toujours été examinée de plus près que l'emploi des explosifs pour les travaux préparatoires, où il est généralement beaucoup moins dangereux.

Si nous ne parlons pas de cet emploi pour l'abatage de la houille, c'est qu'il est interdit en Belgique dans toutes les mines grisouteuses.

La proportion des explosifs consommés pour le coupage des voies, par 1,000 tonnes extraites, est moyennement de 25 à 26 kilogrammes pour toutes les mines.

Elle est de 36 kilogrammes pour les mines sans grisou, et de 34 kilogrammes pour les mines à grisou de la 1<sup>re</sup> catégorie.

Dans les mines de la 2<sup>e</sup> catégorie, elle n'est moyennement que de 17 kilogrammes, et elle est de 2 kilogrammes pour les mines de la 3<sup>e</sup> catégorie.

On voit combien la consommation est plus faible dans les mines franchement grisouteuses.

Mais la difficulté de l'élargissement des galeries, et par conséquent la nécessité de l'emploi des explosifs, étant d'autant plus grande que la couche est plus mince, puisqu'il

reste plus de roches à entailler pour mettre les galeries à section convenable, on a cherché un terme approximatif qui permit d'un seul coup d'œil de comparer l'importance relative de l'emploi des explosifs dans telle ou telle couche, et dans tel ou tel charbonnage. Ce terme, c'est la *densité du minage au coupage des voies*, qui est le produit du chiffre représentant en mètres l'ouverture de la couche par celui représentant en kilogrammes la quantité d'explosifs consommés pour le coupage des voies pour 1,000 tonnes de charbons extraits.

Dans les études comparatives sommaires, on peut se contenter de considérer ces chiffres qui donnent une idée des efforts plus ou moins grands que l'on a faits pour restreindre l'emploi des explosifs.

Le diagramme suivant permet d'apprécier ce qu'a été la densité de minage depuis 1893.

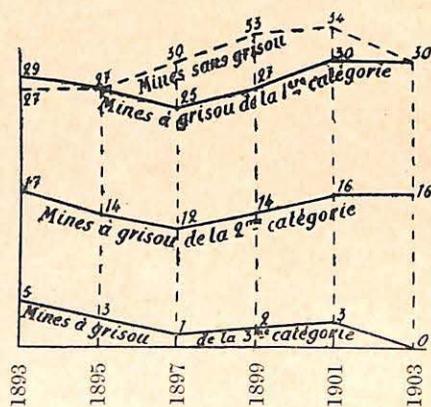


FIG. 6.

On y voit, pour les mines de la 2<sup>e</sup> catégorie, ce chiffre tomber progressivement de 17 à 12 depuis 1893 jusqu'en 1897; mais ce mouvement s'est arrêté et la densité de minage a atteint le chiffre 16 dans ces dernières années.

Dans les mines de la 3<sup>e</sup> catégorie, il y a eu aussi un relè-

vement après 1897, mais il y a eu un nouvel abaissement et le chiffre est tombé à 0 en 1903.

Si le progrès concernant la restriction de l'emploi des explosifs ne s'est pas maintenu, il en a été tout autrement de celui concernant la qualité des explosifs employés.

Disons d'abord que la poudre noire a vu son emploi se restreindre de plus en plus et disparaître complètement pour le coupage des voies dans les mines franchement grisouteuses.

Quant à l'emploi des explosifs de sûreté, le diagramme ci-dessous fait voir dans quelles proportions leur emploi

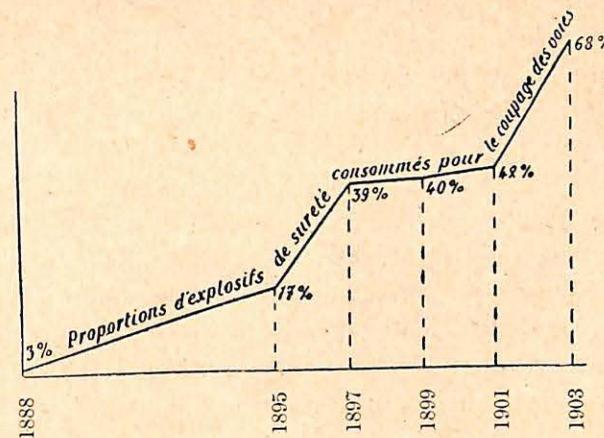


FIG. 7.

relatif s'est accru pour le coupage des voies. Ce diagramme donne depuis 1888 la proportion % d'explosifs de sûreté rapportée à la consommation totale pour le coupage des voies dans les mines de la 2<sup>e</sup> catégorie.

En 1888, on était au début de l'emploi des explosifs de sûreté, la proportion n'était alors que de 3%; en 1895, elle a atteint 17%; la proportion a ensuite rapidement grandi jusque 39% en 1897 et a atteint 68% en 1903.

Il est impossible de ne pas rapprocher l'une de l'autre la constatation de ce progrès considérable dans la qualité des explosifs employés depuis 1888 et celle de la diminution remarquable des explosions précisément depuis la même époque et de ne pas voir dans cette coïncidence une relation de cause à effet.

## II. — Les explosifs de sûreté. — Leur critérium.

Il résulte logiquement de ce qui précède l'extrême importance qu'a la question des *Explosifs de sûreté*, importance non contestée d'ailleurs, puisque l'on s'est préoccupé largement de cette question dans tous les pays miniers et que l'on s'en préoccupe encore, mais que les heureux résultats déjà obtenus mettent plus que jamais en lumière.

Nous ne referons pas ici l'histoire de ce qui a été fait dans les divers pays dans cet ordre d'idées; dans le travail déjà cité, MM. Watteyne et Denoël en ont fait l'exposé devant le Congrès de Paris, en même temps qu'ils ont fait connaître leurs idées, qui sont nôtres également, sur la théorie des explosifs de sûreté.

Comme les conclusions du dit travail sont le point de départ de nos expériences de Frameries, on nous permettra d'en reproduire une partie ici.

» *Au point de vue théorique*, la sûreté des explosifs en présence du grisou et des poussières de houille inflammables est une fonction de l'écart entre la durée du retard à l'inflammation et celle du refroidissement complet des produits de l'explosion.

» Le premier terme dépend à la fois des circonstances extérieures et de la nature de l'explosif, le second dépend de la nature et du poids de l'explosif qui détone.

» Pour un explosif quelconque, la sûreté n'est jamais

que relative et ne peut se concevoir qu'en dessous d'une certaine limite de charge.

» Les principales conditions dont dépend la valeur relative des divers explosifs au point de vue de la sécurité sont la température de détonation, la pression initiale et la vitesse de l'explosion. Ces éléments sont caractéristiques pour un explosif donné, supposé de composition chimique homogène et sous un état physique déterminé. De leur combinaison plus ou moins heureuse dépend la grandeur de l'écart entre la durée du retard à l'inflammation et celle de la détente d'un poids donné de l'explosif. Leur influence sur la grandeur de cet écart est encore imparfaitement définie, ce qui tient à la complexité extrême des phénomènes qui entrent en jeu.

» Il y aurait donc, au point de vue spéculatif, le plus grand intérêt à poursuivre les études expérimentales. Les points qui demandent surtout à être plus intimement connus sont l'importance de la vitesse de l'explosion et celle de la pression initiale des gaz. Les effets de ces deux éléments sont confondus dans l'essai au bloc de plomb par lequel M. Heise détermine le pouvoir brisant, mais leur détermination isolément contribuerait vraisemblablement à jeter de nouvelles lumières sur cette discussion. Sans doute, nous entrons ici dans le domaine de recherches très délicates, mais les sciences physiques mettent chaque jour à notre disposition de nouveaux et puissants moyens d'investigation et nous font entrevoir la possibilité d'arriver à la connaissance théorique complète des explosifs de sûreté.

» *Au point de vue pratique*, il résulte de l'insuffisance de nos connaissances actuelles qu'on ne peut enserrer dans une formule à la fois simple et exacte les conditions multiples dont dépend la sûreté des explosifs en présence du grisou et des poussières de houille; mais nous possédons le moyen de déterminer expérimentalement la *charge limite*

de sûreté qui est l'expression de l'écart entre la durée du retard à l'inflammation et celle de la détente des gaz produits par l'unité de poids de l'explosif. Elle résume à la fois l'influence de la nature physique et chimique de l'explosif et celle de la grandeur de la charge; elle donne, par conséquent, la plus juste idée du degré de sûreté relative des divers explosifs.

» La charge limite doit être déterminée dans des conditions identiques pour tous les explosifs et se rapprochant, autant que possible, des conditions les plus dangereuses pouvant se rencontrer en pratique dans les travaux des mines de houille.

» Un explosif de sûreté sera par suite caractérisé par une charge limite suffisamment élevée; rigoureusement, elle devrait être égale au maximum des charges qu'on emploie en pratique avec cet explosif. Ainsi, la sécurité serait garantie, indépendamment de toutes les précautions dont il convient toujours d'entourer l'emploi des explosifs, mais qui peuvent être omises par suite de la négligence des boute-feu.

» Pour apprécier jusqu'à quel point un explosif se rapproche de cet idéal, il faut tenir compte, non seulement de la grandeur de la charge limite de sûreté, mais surtout de la puissance de travail quelle représente. C'est donc cette dernière quantité qui est la véritable unité de mesure du degré de sûreté des divers explosifs. Seront seuls classés comme explosifs de sûreté ceux pour lesquels cette caractéristique sera supérieure à un minimum donné, équivalant, par exemple, à l'énergie potentielle d'une charge moyenne de dynamite n° 1. Eu égard à la nature particulière du travail à effectuer et aux chances de danger, ce minimum pourrait être différent suivant que les explosifs sont destinés à l'abatage de la houille ou aux travaux au rocher ».

La charge limite ainsi déterminée nous paraît donc être, en dernière analyse, le criterium le plus sûr pour l'estimation de la valeur pratique d'un explosif au point de vue de la sécurité. Cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas autre chose à faire qu'à déterminer cette charge limite, et, dans le paragraphe ci-dessus reproduit : « Il y aurait donc au point de vue spéculatif le plus grand intérêt, etc. », la voie est indiquée pour d'autres travaux qui auraient pour but de pénétrer plus profondément dans la manière de se comporter des explosifs et d'étudier séparément les divers phénomènes qui se passent lors de la décomposition de ces substances.

Il n'en est pas moins vrai que, même si un autre criterium en résulte pour l'appréciation des qualités des explosifs de sûreté, la résultante finale semble devoir être encore la charge limite qui sera, jointe à l'indication de la puissance relative, ou mieux, exprimée en grammes d'un explosif étalon, l'expression de la valeur pratique de l'explosif.

Sans donc rejeter aucune théorie, pas plus celle justement célèbre de la Commission française que celles mises en avant dans d'autres pays, nous ne pouvons jusqu'ici les considérer que comme des éléments d'appréciation et d'études, précieux sans doute et qu'il importe de prendre en sérieuse considération, mais en évitant de le faire d'une façon exclusive pour chacune d'elles.

### III. — Etat de la réglementation en Belgique.

#### La première liste des explosifs de sûreté.

Notre première préoccupation, une fois en possession du siège d'expériences qui nous permettait de déterminer les charges limites dans d'aussi bonnes conditions que possible, a été de chercher à établir une liste d'explosifs présentant

une charge limite suffisamment élevée en puissance effective pour être compatible avec les exigences de la pratique.

Voici les circonstances qui nécessitaient l'établissement urgent de cette liste.

On sait que l'emploi des explosifs dans les mines est régi en Belgique par l'arrêté royal du 13 décembre 1895.

Les dispositions de cet arrêté sont fort restrictives en ce qui concerne l'emploi des explosifs en général.

C'est ainsi que l'usage de tout explosif, quel qu'il soit, est interdit :

- 1° Pour l'abatage de la houille;
- 2° Pour l'abatage de roches dans les galeries ventilées avec aérage descendant;
- 3° Dans les galeries où l'on s'attend à rencontrer des anciens travaux;
- 4° Pour le coupage des voies: dans la galerie supérieure de retour d'air, dans toutes les galeries sauf la galerie d'entrée d'air, ou dans toutes les galeries du chantier, suivant qu'il s'agit de mines de la 2<sup>e</sup> catégorie A, de la 2<sup>e</sup> catégorie B ou de la 3<sup>e</sup> catégorie;
- 5° Dans les mines de la 2<sup>e</sup> catégorie B pour le coupage de toutes les galeries situées à l'écart du courant d'air normal;
- 6° Dans les mêmes mines, pour tous les travaux ventilés avec aérage descendant;
- 7° Dans les travaux en roches qui s'avancent vers une couche à dégagement instantané de grisou, etc.

Si l'on tient compte, en outre, des diverses conditions auxquelles est soumis l'emploi des explosifs là où il est permis, on doit reconnaître que ce règlement est plus prohibitif que n'importe quel autre.

Mais, en revanche, aucune spécification, si ce n'est à l'égard de la poudre noire qui est interdite dans beaucoup de cas, n'est faite quant à la nature de l'explosif à employer

et les explosifs brisants les plus dangereux sont mis sur le même pied que les explosifs de sûreté les plus sûrs, ou, si l'on veut, les moins dangereux.

Il y avait là une lacune que des instructions ministérielles ont comblée en partie et voici comment :

Par suite même de la rigueur des prescriptions relatives à l'emploi des explosifs, d'assez fréquentes dérogations sont nécessaires.

MM. les Ingénieurs en chef, directeurs de service, quand ils croient pouvoir accorder des dérogations, les subordonnent à des conditions plus ou moins sévères suivant les dangers plus ou moins grands que l'on redoute. Parmi ces conditions se trouvait souvent celle de n'employer que des explosifs de sûreté.

Le 27 octobre 1900, une circulaire ministérielle a rendu obligatoire cette condition.

Mais il fallait savoir ce qu'il fallait entendre par l'expression *explosifs de sûreté*.

Nombre d'explosifs prétendant répondre à cette qualification étaient employés dans nos charbonnages.

Pour les besoins de la statistique, M. Watteyne et Denoël avaient, en l'absence d'un champ d'expériences qui seul pouvait permettre un classement exact, déterminé d'après des considérations théoriques, d'après quelques expériences et d'après des analogies, quels étaient ceux de ces explosifs qui avaient le plus de titres pour être rangés dans la catégorie d'explosifs de sûreté.

Voici d'ailleurs comment ils s'exprimaient après avoir exposé dans les *Annales des Mines de Belgique* (1) les conclusions d'une étude sur les Explosifs de sûreté, conclusions qui devaient être reproduites devant le Congrès de Paris et dont nous avons donné plus haut la teneur.

(1) T. III, 4<sup>e</sup> livr. *Emploi des explosifs dans les mines de houille de Belgique pendant l'année 1897.*

« Les conclusions que nous venons de tirer de notre étude doivent être maintenues dans toute leur rigueur si l'on veut établir un classement exact et la valeur comparative des nombreux produits que fournit l'industrie sous le nom d'explosifs de sûreté.

» Mais, si l'on se borne à un triage approximatif, n'ayant d'autre but que de diviser les explosifs en deux catégories suivant que leur caractère dangereux paraît plus ou moins prononcé, on peut y arriver en se basant sur les nombreux faits d'expériences et les principes théoriques qui s'en dégagent.

» Nous avons dû procéder à un triage de ce genre pour les explosifs employés dans notre pays et au sujet desquels des divergences de vues se révèlent dans les formulaires statistiques remplis d'après les indications des directeurs de charbonnages.

» L'anti-grisou Favier n° II, la grisoutine et la dahménite *A* qui ont fait l'objet de nombreuses expériences, sont considérés, par tous ceux qui les emploient, comme *explosifs de sûreté*. On est assez bien d'accord aussi pour donner ce titre aux diverses grisoutines, qui ont pour elle l'autorité de la Commission française. Bien que, d'après les résultats auxquels nous avons fait allusion plus haut, des réserves s'imposent en ce qui concerne quelques-uns de ces produits, tenant compte de ce qu'ils ne sont employés chez nous qu'à l'abatage de la roche, nous avons maintenu sur notre liste ceux dont la température de détonation ne dépasse pas 1870°.

» En ce qui concerne le classement d'autres explosifs dont le caractère dangereux est discuté, à défaut d'essais directs, nous nous sommes inspirés :

» 1° De la similitude de composition chimique de ces explosifs et de ceux qui ont fait l'objet des expériences les plus sérieuses ;

» 2° De la température de détonation ;

» 3° De ce fait que les mélanges à base de nitrate ammonique sont d'autant moins sûrs que la proportion du corps carburant ou explosif qu'on y ajoute est plus élevée. »

La liste des explosifs ainsi déterminée a été successivement complétée avec les mêmes réserves, et est devenue la suivante. Ce sont ces explosifs qui jusqu'en ces derniers temps, ont été considérés comme explosifs de sûreté pour l'application de la circulaire ministérielle du 27 octobre 1900.

Antigrisou Favier n° II :	Nitrate ammonique . . .	80.9
	Binitronaphtaline . . .	11.7
	Chlorure d'ammonium . . .	7.4
Favier n° IV :	Nitrate ammonique . . .	95.5
	Binitronaphtaline . . .	4.5
Grisoutite de Matagne et dynamite		
antigrisouteuse de Baelen :	Nitroglycérine . . . . .	44
	Cellulose . . . . .	12
	Sulfate de magnésie . . . . .	44
Densité <i>D</i> :	Nitrate ammonique . . . . .	81.1
	Nitrate de strontium . . . . .	10.4
	Trinitrotoluol . . . . .	8.5
Densité <i>E</i> :	Nitrate ammonique . . . . .	82.74
	Nitrate de strontium . . . . .	11.42
	Trinitrotoluol . . . . .	5.84
Antigrisou d'Arendonck :	Nitroglycérine . . . . .	27
	Coton-poudre . . . . .	1
	Nitrate ammonique . . . . .	72
Gélinite à l'ammoniaque :	Nitroglycérine . . . . .	29.3
	Coton-collodion . . . . .	0.7
	Nitrate ammonique . . . . .	70
Forceite antigrisouteuse n° 1 :	Nitroglycérine . . . . .	29.4
	Coton nitré . . . . .	0.6
	Nitrate ammonique . . . . .	70

Gélatine à l'ammoniaque A ou n° 2 :	Nitroglycérine . . . . .	30
	Nitrocellulose . . . . .	3
	Nitrate ammonique . . . . .	67
Minolite nouvelle :	Nitrate ammonique . . . . .	87
	Nitrate de sodium . . . . .	3
	Québracho pulvérisé, impré- gné de résine . . . . .	2
	Binitronaphtaline . . . . .	3
	Trinitronaphtaline . . . . .	5
Dynamite de sûreté :	Nitroglycérine . . . . .	24
	Coton nitré . . . . .	1
	Nitrate ammonique . . . . .	75
Flammivore :	Nitrate ammonique . . . . .	85
	Sulfate ammonique . . . . .	5
	Coton collodion . . . . .	10
Dahménite A :	Nitrate ammonique . . . . .	91.3
	Naphtaline . . . . .	6.5
	Bichromate de potasse . . . . .	2.2
Nitro-ferrite n° 1 :	Nitrate ammonique . . . . .	93.5
	Ferrocyanure de potassium . . . . .	2
	Sucre cristallisé . . . . .	2.5
	Trinitronaphtaline . . . . .	2
Poudre blanche Cornil :	Nitrate ammonique . . . . .	90
	Chlorure ammonique . . . . .	5
	Trinitrophtaline . . . . .	3
	Soufre . . . . .	2
Fractorite :	Nitrate ammonique . . . . .	90
	Colophane . . . . .	4
	Dextrine . . . . .	4
	Bichromate de potasse . . . . .	2
Expl. Lebeau ou Casteau n° 1 :	Nitrate ammonique . . . . .	90
	Nitro dextrine . . . . .	10
Baelénite :	Nitrate ammonique . . . . .	85
	Trinitrotoluol . . . . .	15

Veltérine n° 2 :	Nitrate ammonique . . . . .	93
	Trinitrocrésylate ammonique . . . . .	7
Wallonite :	Nitrate ammonique . . . . .	90
	Brai nitré . . . . .	10
Westphalite :	Nitrate ammonique . . . . .	91
	Nitrate potassique . . . . .	5
	Résine . . . . .	4

Mais quand fut installé le siège officiel d'expériences de Frameries, dès nos premiers essais, nous pûmes reconnaître que les réserves exprimées sur les qualités des explosifs ci-dessus désignés n'étaient que trop fondées, et s'il restait vrai néanmoins que ces explosifs étaient, au point de vue du degré de sûreté, les meilleurs de ceux employés jusqu'alors dans notre pays, il ne tarda pas à être avéré, ainsi que la preuve en sera donnée plus loin, que la plupart d'entre eux ne méritaient pas la qualification d'explosifs de sûreté.

Il importait donc de reviser au plus tôt cette liste et de doter notre industrie minière d'explosifs d'une sûreté plus effective; ce qui nous a été rendu possible : d'une part, par les modifications que nos fabricants ont, instruits par nos expériences, apporté aux formules défectueuses de fabrication qu'ils suivaient précédemment; d'autre part, par l'introduction de certains explosifs qui avaient donné de bons résultats à l'étranger et dont nous avons vérifié les qualités dans notre appareil d'expériences.

Ces préliminaires posés, nous allons nous occuper de plus près de nos expériences, en faisant connaître successivement nos appareils d'essais, notre manière de procéder et les résultats des dites expériences.

IV. — La galerie d'essais des explosifs. — Description sommaire.

L'installation pour l'essai des explosifs a été décrite dans des publications antérieures (1) et n'a subi depuis lors que des modifications peu importantes. Nous nous contenterons d'en donner ici quelques vues photographiques (fig. 8 à 13) et d'en rappeler en peu de mots les principaux éléments constitutifs.

L'installation comprend :

La galerie d'essais avec le massif du mortier (fig. 8, 9, 10, 11 et 14);

La salle des machines (fig. 11);

Le local d'observations (fig. 12);

La galerie d'essais a une section elliptique de 2 mètres carrés et une longueur de 30 mètres, pouvant être portée à 100 mètres. Ces longueurs sont prévues pour les expériences sur l'inflammation des poussières.

La paroi de la galerie est constituée d'une triple épaisseur de madriers, maintenus à l'extérieur par une armature solide en fer et également à l'intérieur par des anneaux métalliques reliés aux cadres extérieurs. Ces anneaux intérieurs ont été ajoutés parce que, à la suite de la chasse d'air, résultant de l'explosion, il se produit un vide relatif dans la galerie et, à plusieurs reprises, avant cette consolidation, la paroi de la galerie s'est, en quelque sorte, affaissée sous l'action de la pression atmosphérique. Soit dit en passant, ceci est une nouvelle preuve de l'importance du choc en retour dans les explosions de grisou, importance constatée dans maints accidents.

(1) Voir notamment : *Annales des Mines de Belgique*, t. VII, Emploi des explosifs dans les mines de houille de Belgique en 1901. — *Revue universelle des Mines*, 4<sup>e</sup> liv., t. IV, La station d'essai des lampes et des explosifs. — *Annales des mines de Belgique*, t. IX, Le siège d'expériences de l'Administration des mines, à Frameries : Aperçu sommaire, etc.

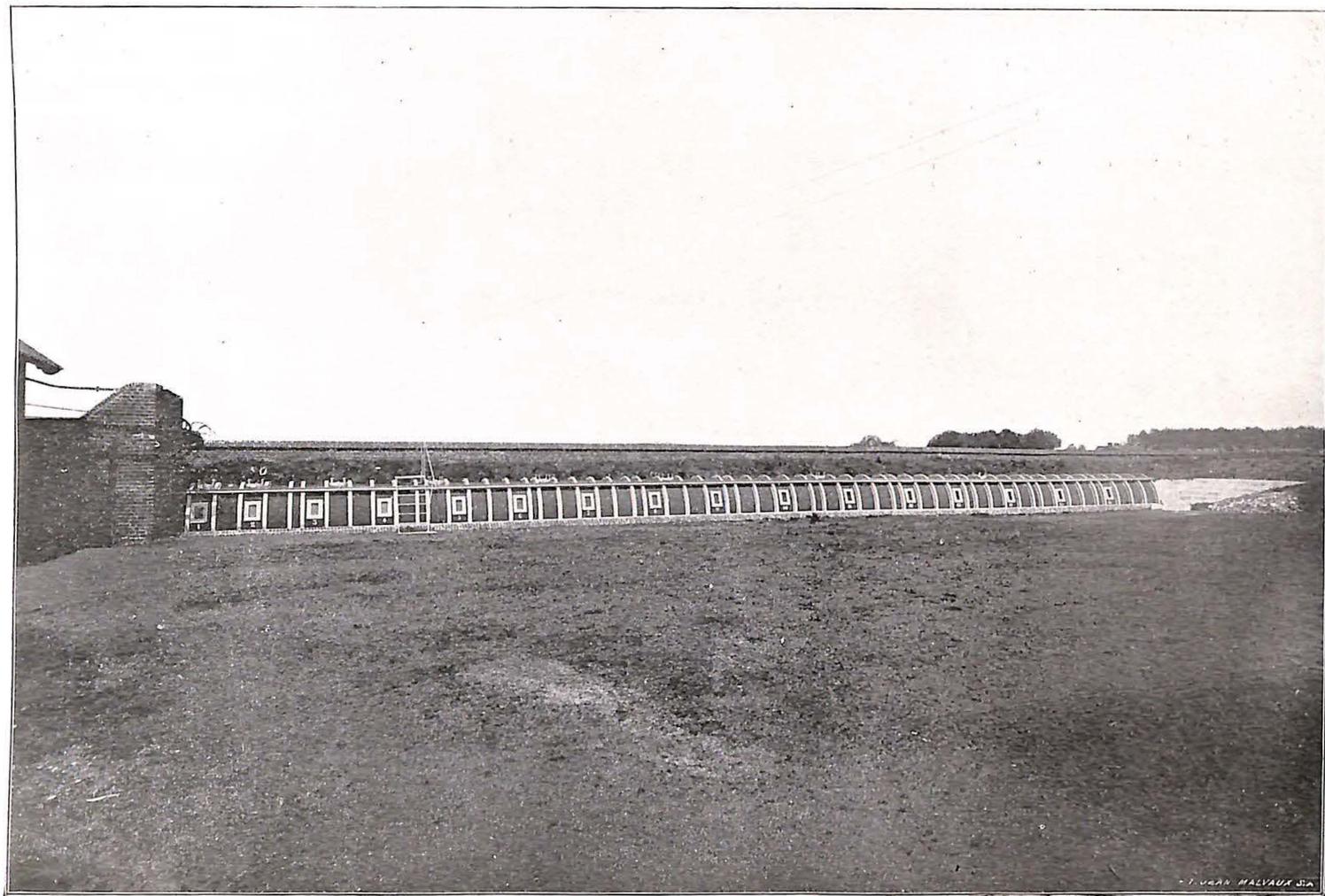


FIG. 8. — Galerie d'essais, vue du local d'observation.

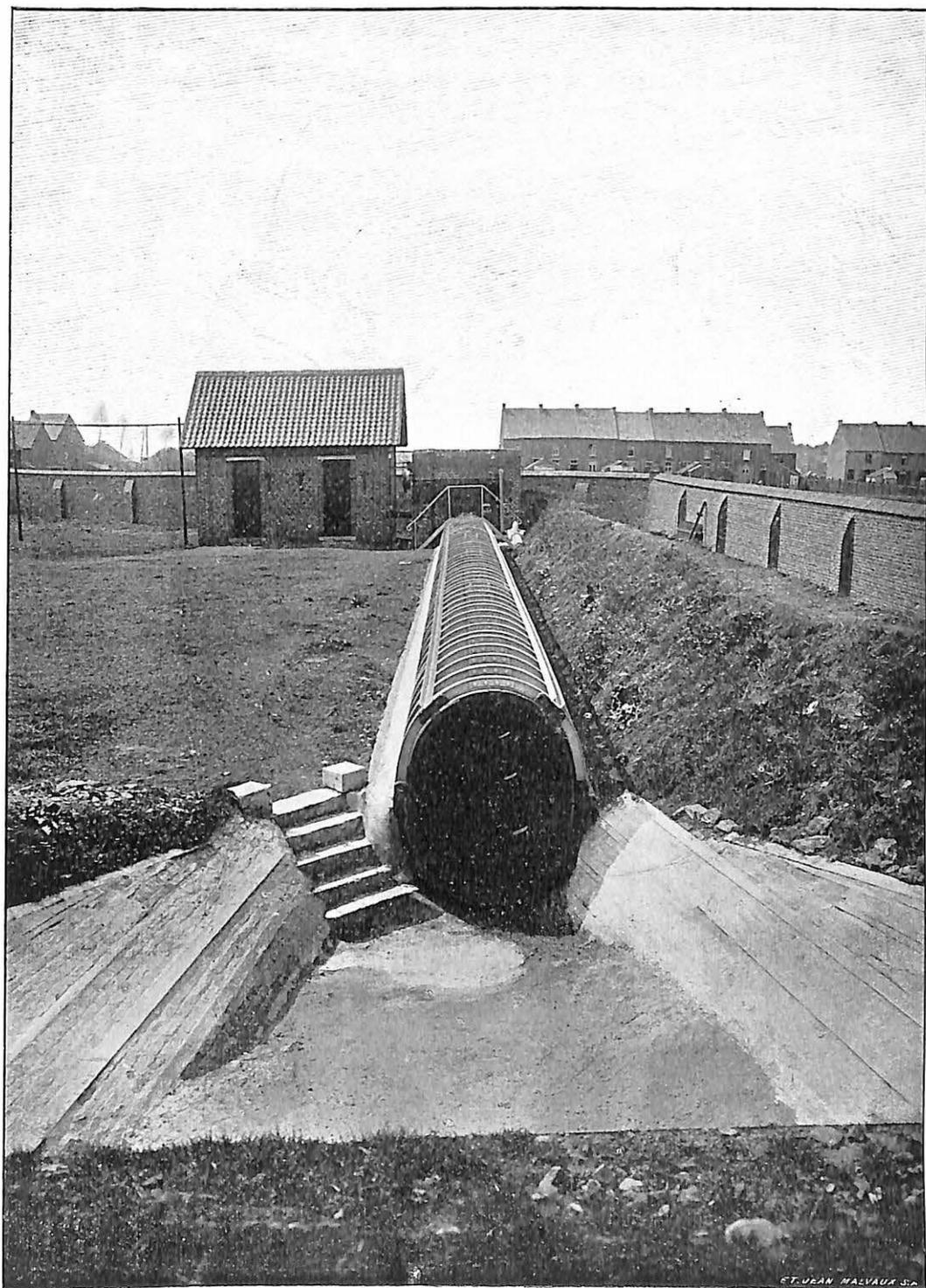


FIG. 9. — Galerie d'essais, vue de face.

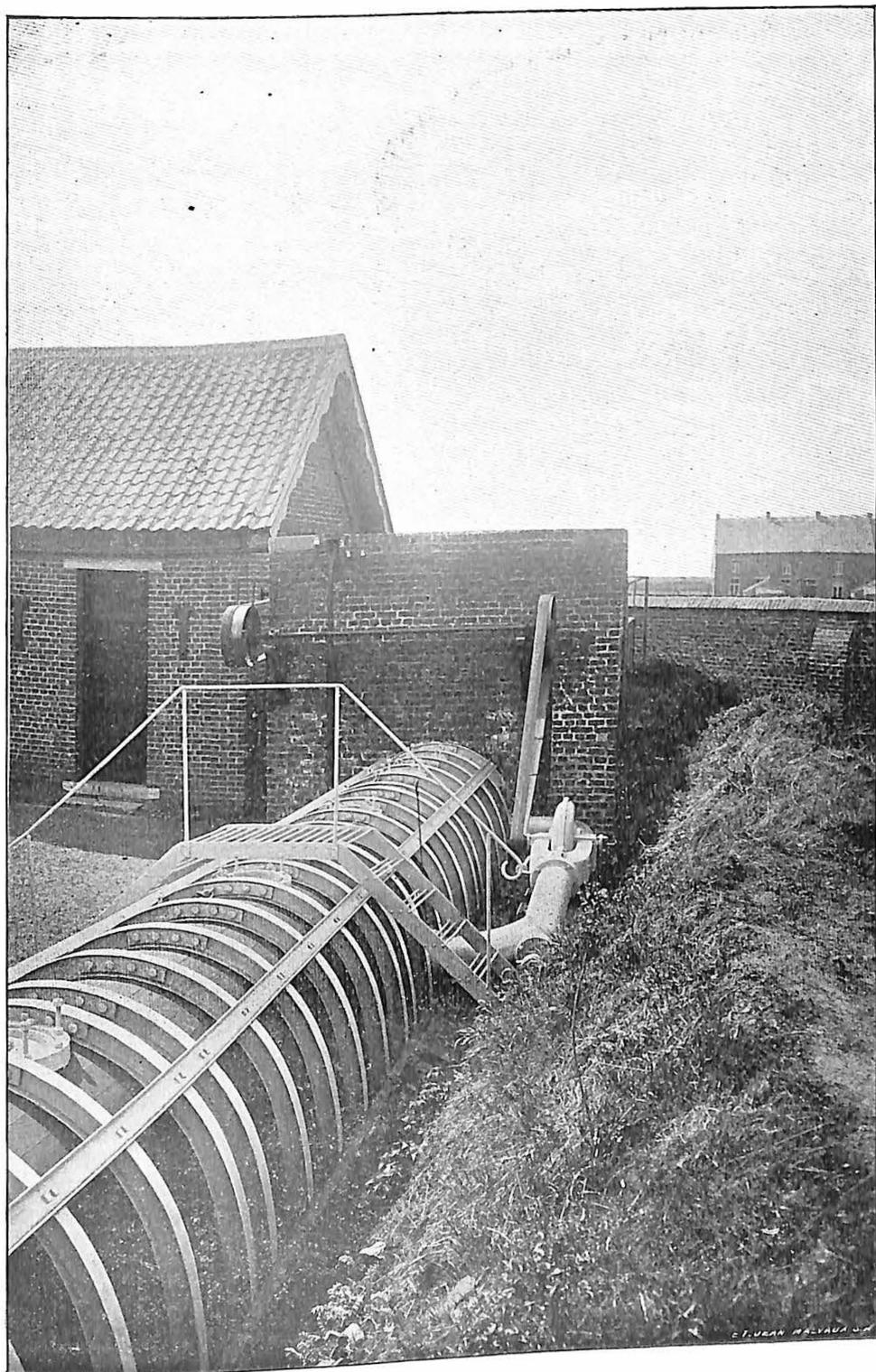


FIG. 10. — Galerie d'essais, vue du dessus, et ventilateur mélangeur.

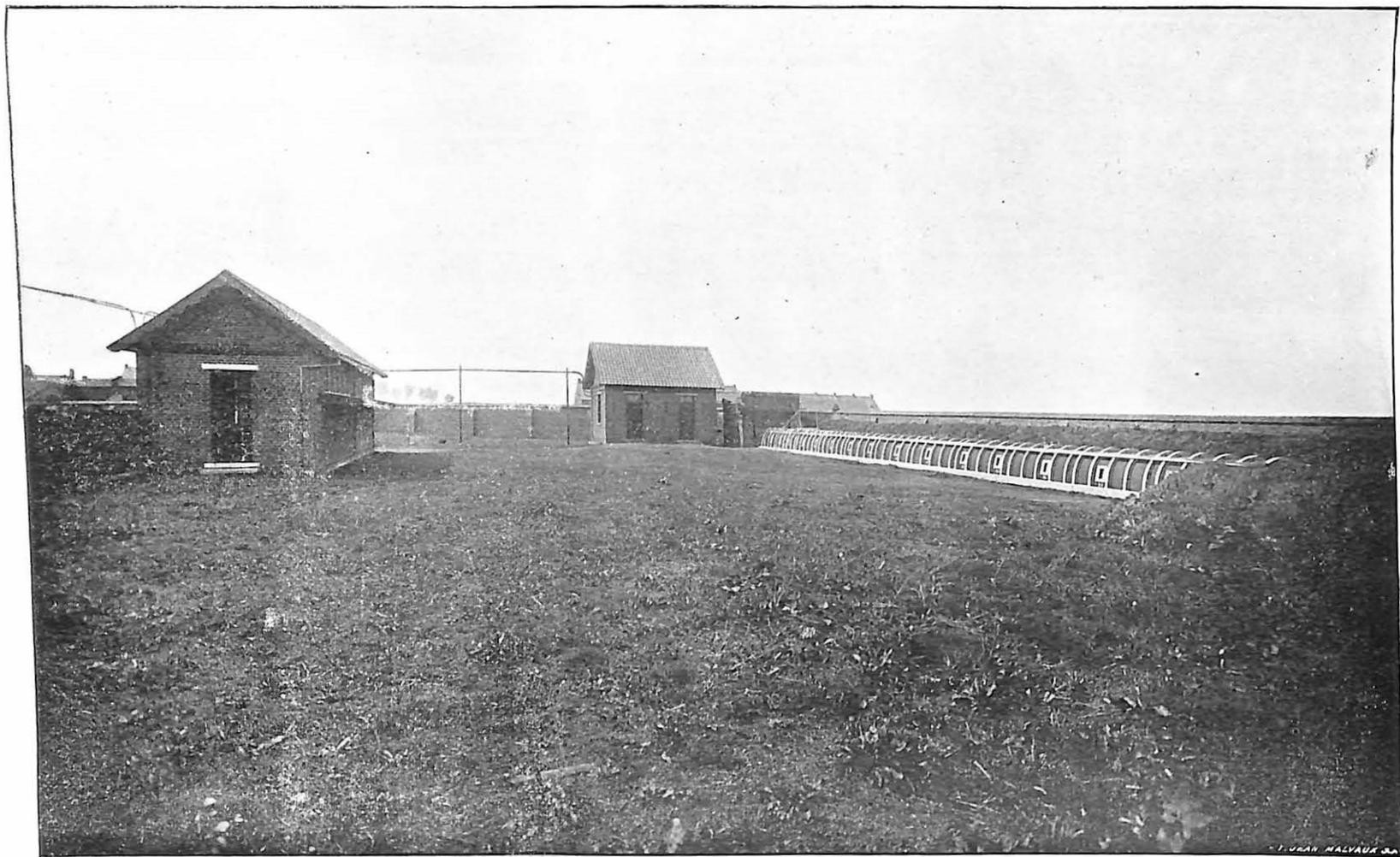


FIG. 11. — Galerie d'essais; à gauche le local d'observations; au fond la salle des machines.

La galerie est munie de fenêtres et de soupapes de sûreté. Elle est ouverte à une extrémité, fermée à l'autre par le massif en maçonnerie contenant le logement du mortier.

Les mortiers sont constitués d'une âme et d'une frette, le tout en acier. Ceux que nous avons utilisés jusqu'à présent avaient une capacité de charge sans bourrage de 500 à 900 grammes d'explosif, suivant la densité de ceux-ci. L'un provenait de la firme Cockerill, l'autre d'une maison étrangère. Le premier a résisté à 1400 coups et la frette a pu être réutilisée; la figure 13 montre (n° 1) l'aspect intérieur de l'âme. Le second s'est rompu, âme et frette, à la vingtième expérience; les débris de ce mortier sont numérotés 2 dans la figure 13. Nous venons de recevoir des mortiers d'une capacité triple (fig. 13, n° 3) qui nous permettront non seulement de pouvoir déterminer les charges limites d'inflammation des explosifs de haute sûreté, mais aussi de placer la charge dans une gaine en ciment, de façon à nous rapprocher plus encore des conditions de la pratique, sous le rapport tant de la densité du chargement que sous celui de la nature des parois.

La chambre d'explosion est constituée par une certaine portion de la galerie qu'on isole au moyen d'une cloison en papier. On obture de la même façon les ouvertures des soupapes.

La figure 14 montre l'intérieur de la chambre d'explosion, avec le tuyau d'amenée du grisou; au fond, le mortier; au-dessus de celui-ci, la soupape qui ferme l'orifice vers le ventilateur purgeur; près de là, le radiateur; à droite, les orifices vers le ventilateur mélangeur; à l'entrée, le cercle destiné à contenir la cloison en papier; au-dessus, les ouvertures de sûreté; à gauche les fenêtres d'observation.

Le grisou est jaugé par un compteur (fig. 12) avant de pénétrer dans la galerie.

Nous verrons plus loin comment le mélange intime est obtenu.

Un ventilateur aspirateur opère la purge après chaque explosion.

Le local d'observation (fig. 11 et 12) comporte une fenêtre de 12 mètres de longueur. Il contient le compteur et l'explosif électrique qui sert à la mise à feu des mines.

Le bâtiment des machines (fig. 11) comprend le moteur à vapeur, le ventilateur aspirateur et un broyeur à boulets, système Krupp, qui produit de la poussière de charbon, traversant un tamis de 1,250 mailles par centimètre carré.

#### V. — Les expériences.

Celles-ci ont, jusqu'à présent, consisté à déterminer :

1° La *charge limite*, sans bourrage, des explosifs figurant sur l'ancienne liste des explosifs classés de sûreté, et d'un certain nombre d'explosifs nouveaux, soumis à l'agrément ;

2° La *charge extrême* avec bourrage, de quelques-uns des explosifs précédents ;

3° La puissance des explosifs.

##### 1° DÉTERMINATION DE LA CHARGE LIMITE SANS BOURRAGE.

###### A) *Constitution de la charge.*

*Explosifs.* — Les échantillons destinés aux essais provenaient directement des fabricants et étaient accompagnés d'une déclaration de composition.

Chaque échantillon a subi une analyse de contrôle. Les résultats de celle-ci n'ont pas décelé, sauf dans un cas, des différences notables avec les compositions déclarées. Les

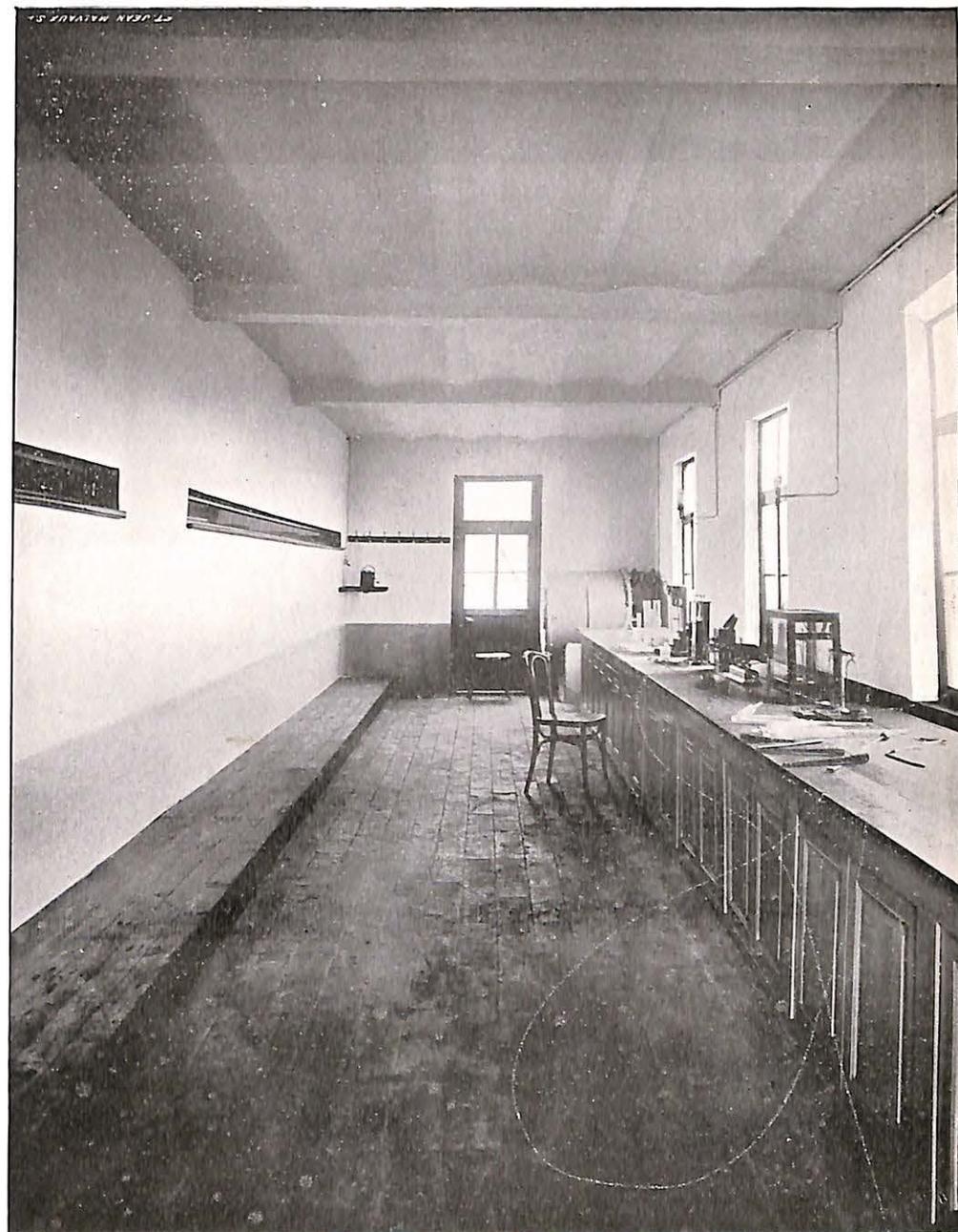


FIG. 12. — Intérieur du local d'observations; au fond, le compteur à grisou.

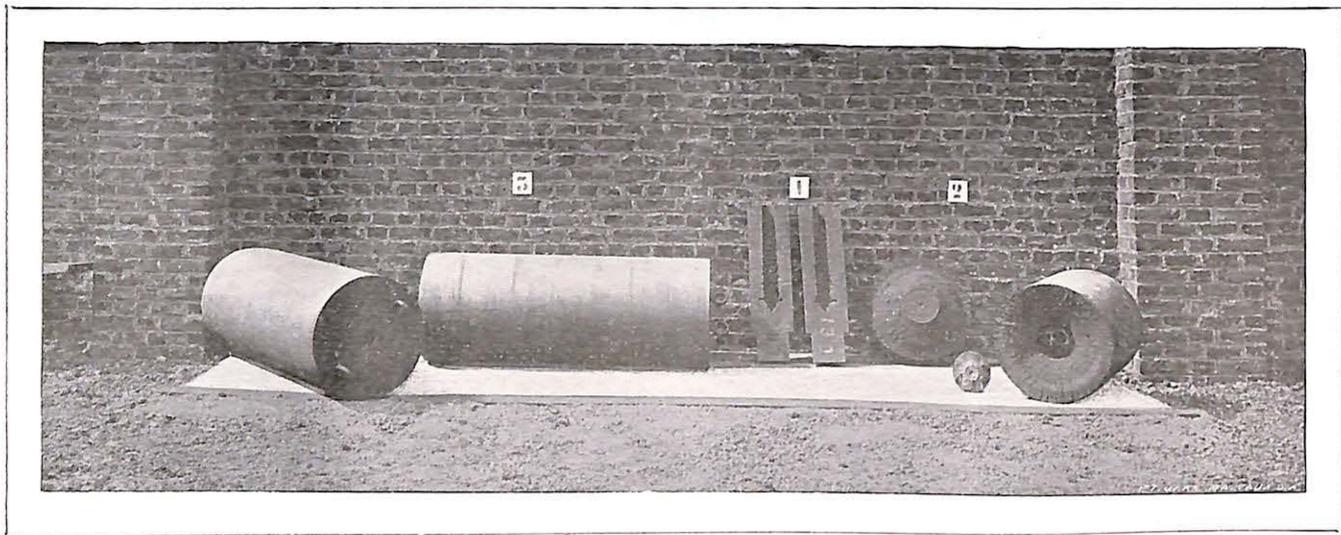


FIG. 13. — Mortars.

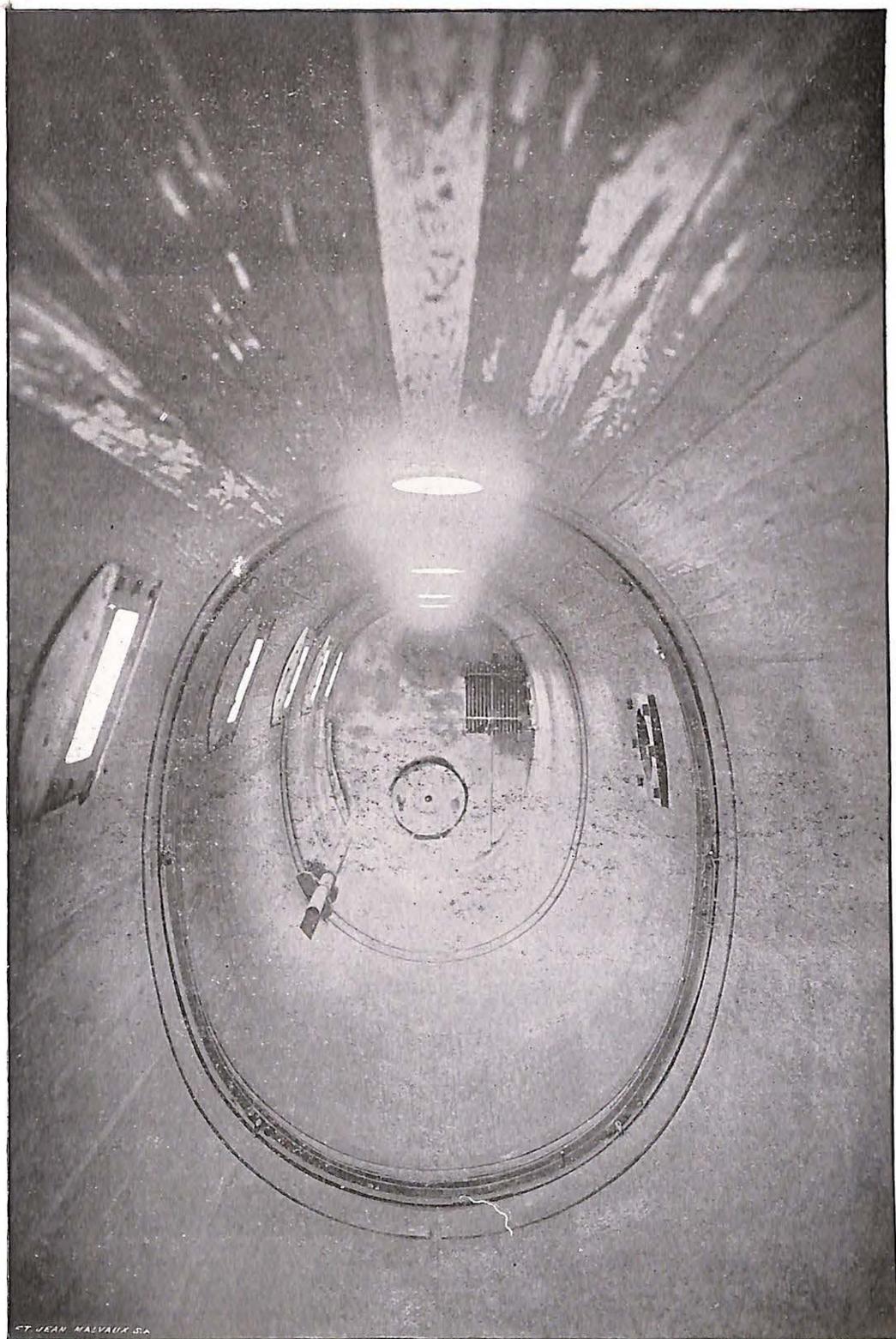


Fig. 14. — Galerie d'essais, vue intérieure de la chambre d'explosion.

cartouches étaient généralement identiques à celles utilisées en usage courant, leur diamètre a été compris entre 27 et 32 millimètres. Six explosifs étaient encartouchés sur 43 millimètres de diamètre, un autre sur 23 millimètres.

Les cartouches munies de deux enveloppes étaient essayées dans cet état.

*Densité de chargement.* — Antérieurement aux expériences de classement, des essais déjà nombreux (environ 500) avaient été effectués, ce qui avait eu pour effet d'agrandir dans des proportions appréciables la capacité du fourneau du mortier. Les dimensions moyennes du fourneau au cours des essais de classement peuvent être fixées ainsi qu'il suit : Diamètre moyen de la chambre d'explosion : 65 millimètres; diamètre à la gueule : 61 millimètres; longueur : 500 millimètres.

Les dimensions à l'état neuf étaient : Diamètre : 55 millimètres; longueur 470 millimètres.

Quelques essais préliminaires avaient démontré que la densité de chargement avait une influence manifeste sur la valeur de la charge limite et que la sûreté diminuait avec l'augmentation de la densité de la charge. Il y avait donc lieu de donner à ce facteur une valeur élevée et aussi peu variable que possible, de façon à rendre comparables les résultats fournis par les divers explosifs.

A cet effet, les charges ont été réparties suivant deux files de cartouches, disposées parallèlement et de longueurs égales. A partir de 50 grammes, la charge, en raison de sa minime importance, n'a pu être disposée que sur une file unique. Dans ces conditions la densité de chargement a passé de 0.347, avec des cartouches de 27 millimètres de diamètre, à 0.482 avec des cartouches de 32 millimètres, soit une variation maxima de 39 %. Six explosifs ont été fournis en cartouches de 43 millimètres de diamètre. La

charge dans ce cas a été nécessairement constituée en une seule file; la densité, qui était de 0.437, restait comprise entre les limites ci-dessus.

A titre comparatif, nous signalons que, lors des derniers essais du siège d'expériences de Gelsenkirchen (1), la densité de chargement pour des cartouches des diamètres ci-dessus était respectivement de 0.158 et 0.192, tout au moins dans les cas les plus fréquents, où la charge entière pouvait être placée sur une seule file. Cette différence importante dans la densité de chargement est sans doute une des raisons pour lesquelles certains des résultats que nous avons obtenus diffèrent de ceux du laboratoire de Gelsenkirchen.

*Détonateurs.* — Le type de détonateur à employer a été laissé au choix du fabricant et correspond à celui utilisé couramment en pratique, à savoir le n° 6 (1 gramme de substance détonante) pour les explosifs contenant de la nitroglycérine, à l'exception des gélatines, le n° 7 (1 1/2 gr.) pour les Densites, le n° 8 (2 grammes) pour les autres.

Les explosifs donnant couramment des détonations incomplètes avec le détonateur n° 8 ont été rejetés.

### B) Constitution de l'atmosphère explosive.

*Gaz constitutifs.* — Le mélange explosif est constitué d'air et de grisou. Celui-ci est capté, ainsi qu'il a été dit, dans les travaux du siège n° 3 de l'Agrappe.

Nous rappelons que le grisou contient de 75 à 80 % de CH<sup>4</sup> et 2 1/2 à 3 % de CO<sup>2</sup> et que, la présence de celui-ci étant de nature à diminuer l'inflammabilité du mélange, la teneur en CO<sup>2</sup> est abaissée à 1 1/2 % par le passage du gaz dans un épurateur à chaux.

(1) Glückauf, 1903, n° 19.

La capacité du gazomètre (150 mètres cubes) assure largement la constance de la composition du gaz pour une, et même pour plusieurs séries d'essais.

*Capacité du mélange explosible.* — Le volume du mélange explosible emprisonné au moyen d'une cloison en papier à l'extrémité de la galerie où est disposé le fourneau est de 10 mètres cubes.

*Homogénéité.* — L'homogénéité parfaite du mélange gazeux est absolument nécessaire si l'on veut obtenir des résultats exacts et comparables.

En effet, la gueule du mortier se présente à la partie inférieure de la galerie, alors que le grisou, en raison de sa faible densité, tend à monter et à séjourner à la couronne de celle-ci. Si le brassage est insuffisant, il peut se faire que l'atmosphère, vis-à-vis de l'orifice du fourneau, soit moins inflammable que dans les zones supérieures, ou même qu'elle ne soit pas inflammable du tout, la différence entre la teneur normale des essais, 8 %, et la teneur limite d'inflammabilité, 6 %, étant très minime.

Dans notre installation, le mélange des gaz est obtenu :

1° En faisant arriver le grisou par un tuyau (voir fig. 14) placé à la partie inférieure de la galerie et s'étendant sur toute la longueur de la chambre d'explosion. Cette conduite est percée de 600 trous, lesquels sont inégalement répartis, de façon à uniformiser la venue du gaz tout le long du tuyau, malgré la chute de pression qui s'y produit;

2° En brassant les gaz au moyen d'un ventilateur-mélangeur placé extérieurement à la chambre d'explosion et communiquant avec les deux extrémités de celle-ci (voir fig. 10 et 14). Des registres, placés sur les canalisations d'entrée et de sortie des gaz, permettent d'isoler le ventilateur, lors du tir des mines.

Le ventilateur est activé pendant la venue du grisou dans la chambre, laps de temps suffisant pour qu'il aspire et refoule 70 mètres cubes, soit 7 fois environ le volume du mélange.

Le brassage énergique qui résulte de ces sept passages consécutifs assure la constance de la composition à 1/1000 près, entre le ciel et le sol de la chambre d'explosion. Des prises d'essai faites à diverses hauteurs de la dite chambre nous ont donné tout apaisement à cet égard.

Ainsi qu'il a été dit, l'atmosphère de la galerie a été préalablement à l'introduction du grisou, parfaitement assainie par une purge énergique du ventilateur aspirateur.

*Teneur d'inflammabilité maximum.* — La teneur de plus grande inflammabilité a été déterminée expérimentalement en recherchant les charges limites d'un même explosif faisant explosion en présence d'atmosphères contenant différentes proportions de méthane, depuis 6 1/3 % jusqu'à 11 %.

L'explosif utilisé était le Favier n° 0, ayant la composition suivante :

Nitrate ammonique . . .	83 %
Trinitronaphtaline . . .	3.5 %
Chlorure ammonique . . .	13.5 %

Pour chacune des teneurs, la charge-limite a été trouvée en diminuant progressivement de 25 grammes la quantité d'explosif détonant, jusqu'à l'obtention d'une charge ne donnant pas d'inflammation dans quatre essais consécutifs.

Le diagramme ci-contre, où les inflammations sont figurées par de petits cercles noirs et les non-inflammations par de petits cercles blancs, indique que la teneur de plus facile inflammation est comprise entre 7 et 8 %, mais plus voisine de ce dernier chiffre. De part et d'autre de cette valeur, les charges limites augmentent assez notablement; c'est ainsi qu'aux teneurs respectives de 6 1/3 et 10 % leur

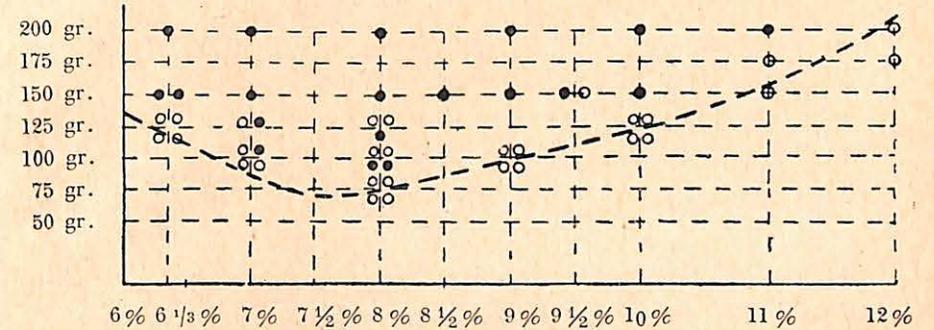


FIG. 15.

accroissement atteint 66 %. Cette progression paraît continuer au delà de 10 %, ainsi que le montrent les quelques expériences effectuées à 11 et 12 %.

Une deuxième série d'expériences analogues mais moins complète, a été effectuée sur un explosif binaire du type Favier IV.

Les résultats obtenus ont confirmé les déductions tirées des premiers essais.

Les gaz, dégagés par la détonation de quelques-uns des explosifs essayés, contiennent une certaine proportion de gaz combustibles.

Il est possible que, pour ces explosifs, la teneur de plus facile inflammation soit inférieure à 8 %; mais cette différence doit être faible, car il y a lieu de remarquer que la proportion de gaz combustibles dégagés, ramenée en teneur de méthane, est peu élevée.

Quelques essais (6) effectués sur un explosif de cette catégorie (minite), aux teneurs respectives de 7 1/2 et 7 %, n'ont pas décelé de réduction dans la valeur de la charge limite.

La teneur des expériences officielles de classement a été fixée à 8 %.

*Absence de poussières charbonneuses en suspension dans le mélange explosible.* — Le rôle des poussières dans l'inflammation des atmosphères grisouteuses n'est plus contesté, mais cette influence néfaste se manifeste surtout avec les mélanges à teneur faible qui sont rendus explosibles de par l'intervention des poussières.

Il est très douteux, au contraire, que la présence de poussières dans un mélange gazeux à 8 % de  $\text{CH}_4$  puisse augmenter l'inflammabilité de celui-ci et il nous semble même plus rationnel de croire que l'existence des poussières dans un tel mélange aurait plutôt un effet opposé, en augmentant singulièrement les proportions du combustible par rapport au comburant.

En tout cas, si l'on s'en rapporte aux idées développées devant le Congrès de Paris, dans le travail déjà rappelé, le double retard à l'inflammation qui a lieu lors d'une explosion de poussières a manifestement pour conséquence que le grisou est enflammé tout d'abord, s'il est en proportion suffisante.

Une considération d'un autre ordre est la suivante : Une condition indispensable pour les expériences de classement est que celles-ci s'exécutent dans des circonstances identiques pour chaque expérience.

Or, si une telle constance est facile à obtenir avec les atmosphères gazeuses, il n'en est pas de même avec les mélanges de gaz et de poussières. Certes, par des soins méticuleux, on peut arriver à obtenir des poussières de charbon dans des conditions de ténuité, de sécheresse et même de composition sensiblement égales. Mais, ce que l'on ne peut garantir, c'est l'égale suspension des poussières dans l'atmosphère, dont l'explosibilité pourra, en conséquence, varier avec la plus ou moins grande proportion de poussières soulevées.

Telles sont les considérations qui nous ont engagés à

n'utiliser, pour les essais de classement, que des atmosphères explosibles uniquement gazeuses, nous réservant d'ailleurs d'étudier cette importante question des poussières dans des expériences spéciales ultérieures.

*Obtention de la teneur à 8 % de méthane.* — Avant de pénétrer dans la chambre d'explosion, le grisou, venant du gazomètre, passe par un compteur.

Des expériences de tarage, effectuées au moyen de l'appareil de Mertens et de l'éprouvette de Le Châtelier, ont permis de déterminer quels sont les volumes de gaz à introduire pour obtenir des mélanges de diverses teneurs.

Pour un même pourcentage à réaliser dans la chambre d'explosion, ces volumes varient avec la teneur en méthane du grisou emmagasiné dans le gazomètre.

La température de l'atmosphère extérieure a aussi une influence; en effet, les pertes normales de la chambre pendant l'introduction des gaz sont proportionnelles à la différence entre la température extérieure et la température normale de 25° à laquelle se font les essais. Lorsque la température extérieure descend en dessous de 0°, la variation du volume devient appréciable.

*Vérification de la teneur.* — A chaque séance d'essai, il est procédé, dès la première ou la seconde expérience, à une prise d'échantillons du mélange explosif, dont la teneur est vérifiée au moyen de la méthode de la limite d'inflammabilité.

Les essais sont poursuivis simultanément sur deux ou trois explosifs, de telle façon que les dix expériences, déterminatives de la charge limite, se répartissent sur un assez grand nombre de séances, ce qui augmente encore les garanties d'exactitude.

*Température du mélange.* — La température du mélange est comprise entre 20° et 25°; elle est obtenue au

moyen de deux radiateurs. L'un de ceux-ci est placé dans la conduite d'aspiration du ventilateur mélangeur, le second dans la chambre d'explosion (fig. 14). Sur les dix essais à la charge limite, il y en a toujours trois ou quatre au moins effectués à la température limite de 25°.

Des différences de 10° ne nous ont d'ailleurs pas paru avoir une influence décelable sur la valeur des charges limites.

c) *Recherche de la charge limite.*

Celle-ci est déterminée par dix essais ne provoquant pas l'inflammation du mélange grisouteux. On commence, au moyen de quelques expériences préliminaires, par produire l'inflammation, puis on diminue les charges progressivement d'un échelon jusqu'à l'obtention de la charge limite.

La valeur de l'échelon est de 50 grammes pour les charges supérieures à 200 grammes, de 25 grammes seulement pour les charges inférieures à cette quantité.

d) *Explosifs essayés.*

Les explosifs pour lesquels la charge limite, sans bourrage, a été recherchée, comprennent :

a) Ceux qui figurent sur la liste ci-dessus donnée des explosifs, classés de sûreté et encore fabriqués couramment à l'époque des essais, à savoir : la *Grisoutite*, la *Fractorite*, la *Gélatine à l'ammoniaque*, la *Dynamite de sûreté (dynamite antigrisouteuse, type IV)*, la *Baelenite*, le *Favier II*, le *Favier IV*, la *Densité D*, la *Densité E*, la *Wallonite (Wallonite I)*, la *Minolite nouvelle*, la *Westphalite*, la *Grisoutine I*;

b) Des explosifs nouveaux, à savoir : la *Grisoutine II*, le *Flammivore O*, le *Flammivore I*, la *Dynamite antigrisouteuse, type V*, la *Baelenite II*, le *Favier II<sup>bis</sup>*, la *Densité II*, la *Densité III*, la *Poudre blanche Cornil I<sup>bis</sup>*, la *Wallonite II*, la *Wallonite III*, la *Yonckite V*, la

*Kohlencarbonite*, la *Carbonite II*, l'*Ammoncarbonite*, la *Gélatine-carbonite*, le *Sécurophore I*, le *Sécurophore II*, le *Sécurophore III*, la *Fractorite B*, la *Mimite*, la *Colinite antigrisouteuse*.

Les explosifs figurant sur l'ancienne liste des explosifs reconnus et qui n'étaient plus fabriqués à l'époque des expériences sont : la *Forcite antigrisouteuse II (dynamite antigrisouteuse de Baelen)*, l'*Antigrisou d'Arendonck*, la *Gélinite à l'ammoniaque*, la *Forcite antigrisouteuse I*, le *Flammivore*, la *Nitroferrite I*, la *Poudre blanche Cornil*, l'*Explosif Lebeau* ou *Casteau* et la *Vellérine II*.

La *Dahménite A* avait cessé d'être utilisée en Belgique, lorsque les essais ont commencé.

2° DÉTERMINATION DE LA CHARGE EXTRÊME AVEC BOURRAGE.

Les essais déterminatifs de la *charge extrême* avec bourrage n'ont pu, jusqu'ici, faute de temps, être aussi nombreux, ni aussi répétés que les expériences relatives aux charges sans bourrage. Il s'en suit que les chiffres trouvés pourront subir ultérieurement quelques corrections à la suite de nouveaux essais et ce particulièrement en ce qui concerne les explosifs dont la composition n'est pas absolument homogène. Néanmoins, ces expériences quelque incomplètes qu'elles soient encore, nous paraissent mériter d'être signalées dès à présent, d'autant plus qu'il en avait été tiré des conclusions d'une certaine importance pour la *charge maximum* à admettre pour l'emploi des explosifs.

La composition du mélange explosif et la température à laquelle il est porté sont restées les mêmes que précédemment. Le bourrage a été constitué d'un tiers de sable et de deux tiers d'argile sèche, passant à travers un crible dont les trous ont 2 1/2 millimètres de diamètre. Ce mélange était placé dans une enveloppe en papier ordinaire de 100 millimètres de longueur et de 52 millimètres de diamètre.

L'âme du mortier qui a servi à ces expériences était neuve et le fourneau avait un diamètre de 55 millimètres. La charge était disposée ainsi qu'il a été exposé antérieurement, c'est-à-dire en deux files parallèles. La cartouche-bourre était ensuite introduite et tassée légèrement au moyen d'un bourroir en bois, de façon à ce qu'elle vint en contact avec la paroi du fourneau sur toute la périphérie.

### 3° PUISSANCE DES EXPLOSIFS.

La puissance des explosifs a été mesurée par la méthode de la bombe de plomb (fig. 16). Celle-ci a les dimensions suivantes, lesquelles diffèrent très peu de celles adoptées, alors que nos premiers essais avaient déjà été effectués, par le Congrès de chimie appliquée de Berlin :

		Dimensions préconisées par le Congrès.
Hauteur . . . . .	200 m/m	200 m/m
Diamètre . . . . .	197 »	200 »
Hauteur du fourneau . . . . .	120 »	125 »
Diamètre. . . . .	025 »	025 »

L'étalon est constitué par une charge de 10 grammes de dynamite à 75 % de nitroglycérine. Cet explosif a été choisi en raison de la simplicité et de la constance de sa composition.

La puissance est mesurée par le *poids équivalent*, c'est-à-dire par le poids de l'explosif considéré qui produit dans les mêmes conditions une excavation d'une amplitude égale à celle développée par la charge étalon. L'explosif est encartouché dans du papier blanc ordinaire. On se rapproche plus ainsi des conditions de la pratique qu'en enveloppant l'explosif dans une feuille d'étain. La présence de l'étain est également de nature à modifier la composition et partant la résistance du plomb, quand on fait emploi de bombes refondues.

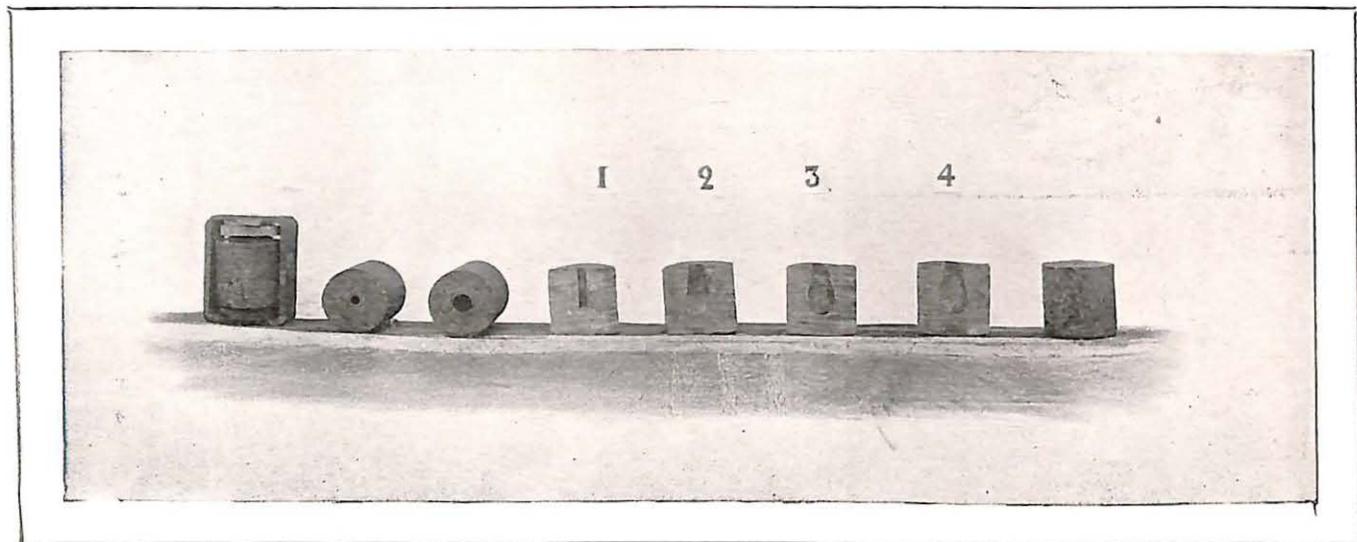


FIG. 16. — Blocs de plomb.

Le détonateur doit nécessairement être de même puissance; il doit être suffisant pour provoquer l'explosion des explosifs les moins aptes à détoner; c'est donc le n° 8 qui s'impose.

Le bourrage s'effectue en versant d'abord 20 centimètres cubes de sable fin sec, en tassant ensuite de l'argile légèrement humide au dessus.

Le sable a pour but de préserver les explosifs contenant des sels hygroscopiques, tel que le nitrate d'ammoniaque notamment, contre les effets de l'humidité.

Le bourrage est ensuite calé et serré au moyen d'une frette en fer et de coins en bois.

Le Congrès de Berlin a préconisé l'usage d'un bourrage de sable d'une hauteur déterminée, non tassé et non calé. La seule raison invoquée en faveur d'un semblable dispositif est la crainte qu'un bourrage tassé et calé ne soit pas toujours comparable à lui-même.

Par contre, le bourrage non calé présente, à un plus haut degré qu'avec notre système, l'inconvénient d'offrir une résistance variable suivant la vitesse de détonation de l'explosif, et ce au détriment des explosifs de plus grande sûreté.

L'inconvénient reproché au bourrage calé s'atténue presque complètement, quand, ainsi que c'est le cas à Frameries, c'est le même opérateur qui procède toujours à cette opération en prenant toutes les précautions pour que l'intensité du bourrage et du calage soit la même.

Le plomb des bombes a été refondu trois fois. Contrairement à une opinion généralement reçue que le plomb s'aigrit par suite des explosions et que, refondu, il ne donne plus la même amplification de volume, les étalonnages effectués après chacune des fusions, n'ont pas montré une variation de volume sensible dans un sens plutôt que dans l'autre. Cette constance relative des résultats provient des soins apportés à la fusion : maintien du bain du plomb

fondu pendant un temps suffisant, enlèvement complet des crasses surnageant, secousses continues imprimées au moule pendant le coulage, lequel est effectué lentement, de façon à laisser évacuer les bulles d'air. Aussi dans les nombreux plombs mis en usage, il n'a jamais été constaté trace de soufflures. A chaque fusion, il a été procédé à un étalonnage par trois essais. La puissance de chaque explosif a été déterminée également par trois ou quatre essais. Il n'a pas été tenu compte des résultats différant de plus de 8 % du volume étalon.

La moyenne des poids trouvés pour un explosif donné a été ramenée par interpolation à celui correspondant au volume étalon.

La variation maxima des résultats pour un même explosif a été de 2 1/2 % par rapport à la moyenne; mais généralement ces différences n'ont pas dépassé 1 à 1 1/2 %.

Les poids équivalents, qui sont en raison inverse de l'énergie de l'explosif, ont été consignés au tableau général récapitulatif des expériences.

La figure 16 donne la photographie de divers blocs de plomb; celui de gauche est chargé et fretté; le suivant est un bloc n'ayant pas servi: il est figuré scié au n° 1; le suivant a servi: les coupes n°s 2, 3 et 4 indiquent les élargissements produits par divers explosifs.

## VI. — Résultats des essais et conclusions.

### 1° CHARGE LIMITE SANS BOURRAGE

Comme nous l'avons vu, le chiffre qui représente la *charge limite* de chacun des explosifs que nous avons essayés est celui de la charge la plus forte pour laquelle il n'y a jamais eu inflammation de mélange grisouteux, l'expérience étant faite sans bourrage. La concordance de dix expériences au moins a été jugée nécessaire pour que le chiffre puisse être considéré comme établi.

Les détails de ces expériences sont donnés dans la série de tableaux ci-après, spéciaux à chaque explosif, et dans lesquels les inflammations et non inflammations obtenues sous les diverses charges mentionnées en grammes dans la colonne supérieure, sont figurées par des petits cercles respectivement noirs ou blancs.

On remarquera combien différents l'un de l'autre sont certains de ces tableaux au point de vue de la constance des résultats, différences attribuables sans doute au plus ou moins d'homogénéité des explosifs.

TABLEAUX DE DÉTAIL DES EXPÉRIENCES.

1. *Fractorita.*

30	50	75	100 gr.
○ ●	●	●	●

Charge limite inférieure à 30 grammes.

2. *Baelenite I.*

30	50	75	100	150	200 gr.
○ ○ ●	●	●	●	●	●

Charge limite inférieure à 30 grammes.

3. *Gélatine à l'ammoniaque.*

30	50	75	100	150	200 gr.
●	●	●	●	●	●

Charge limite inférieure à 30 grammes.

4. *Minolite nouvelle.*

30	50	75	100
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ●	○ ●	● ●

Charge limite : 30 grammes.

5. *Densite D.*

50	75	100	125 gr.
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ●	○ ●	●

Charge limite : 50 grammes.

6. *Favier IV.*

50	75	100	150	200 gr.
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ● ●	○ ●	●	● ●

Charge limite : 50 grammes.

7. *Favier II.*

50	75	100	125	150 gr.
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ●	○ ○ ●	●	● ●

Charge limite : 50 grammes.

8. *Wallonite I.*

50	75	100	200 gr.
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ●	●	●

Charge limite : 50 grammes.

9. *Dynamite antigrisouteuse IV.*

50	75	100	200 gr.
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ● ●	●	●

Charge limite : 50 grammes.

10. *Westphalite.*

50	75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	500	
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ●	○ ○ ○ ●	○ ○ ○ ● ●	○ ○ ○ ○ ○ ○ ●	○ ○ ○ ● ●							

Charge limite : 50 grammes.

11. *Densite E.*

100	125	150	175	200 gr.
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ●	○ ●	●	○ ●

Charge limite : 100 grammes.

12. *Baelenite II.*

75	100	125	150	175	200 gr.
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ●			

Charge limite : 75 grammes

13. *Yonckite.*

75	100	125	150	175	200	250	300	350	400 gr.
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ●								

Charge limite : 75 grammes.

14. *Flammivore O.*

75	100	125	150	175	200	400 gr.
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ●					

Charge limite : 75 grammes.

15. *Grisoutine I.*

75	100	125	150	250 gr.
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ● ●	○ ●	○ ●	○ ●

Charge limite : 75 grammes.

16. *Wallonite II.*

100	125	150	175	200 gr.
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ●	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ●	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ●

Charge limite : 125 grammes.

17. *Sécurophore I.*

125	150	175	200	250	300	350	400 gr.
○ ○ ○	○ ○ ○			○	○		
○ ○ ○ ○	○ ○ ○	●	●	●	●	●	●
○ ○ ○	●						

Charge limite : 125 grammes.

18. *Gélatine Carbonite.*

200	250	300	350	400	450	500	550	600
○ ○ ○	○ ○ ○		○ ○	○ ○ ○ ○		○ ○ ○	○	
○ ○ ○ ○	●	●	●	●	●	●	●	●
○ ○ ○								

Charge limite : 200 grammes.

19. *Grisoutite.*

200	250	300	350	400
○	○	○ ○ ○	○ ○ ○	● ●
		○ ○ ○ ○	●	
		○ ○ ○		

Charge limite : 300 grammes.

20. *Sécurophore II*

250	300	350 gr.
○ ○ ○		○
○ ○ ○ ○	●	●
○ ○ ○		

Charge limite : 250 grammes.

21. *Ammoncarbonite.*

350	400	450	500
○	○ ○ ○	○ ○ ○	
	○ ○ ○ ○	○ ○	●
	○ ○ ○	●	

Charge limite : 400 grammes.

21<sup>bis</sup>. *Ammoncarbonite, enveloppe paraffinée enlevée.*  
(Mêmes échantillons que pour les essais précédents)

550	600	650
○ ○ ○	○ ○ ○	
○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	●
○ ○ ○	● ●	

Charge limite : 550 grammes.

22. *Fractorite B.*

300	450	500	550
○	○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○
	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	●
	○ ○ ○	●	

Charge limite : 450 grammes.

23. *Favier II<sup>bis</sup>.*

300	400	450	500 gr. (1)
○	○	○ ○	○ ○ ○
			○ ○ ○ ○
			○ ○ ○

Charge limite d'au moins 500 grammes.

24. *Densite II.*

400	500	550	600
○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	●

Charge limite : 550 grammes.

25. *Wallonite III.*

350	400	550	600	650	700	750
○	○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ●	●	●

Charge limite : 600 grammes.

26. *Poudre blanche Cornil I<sup>bis</sup>.*

400	500 gr. (1)
○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Charge limite d'au moins 500 grammes.

(1) La charge limite de 500 grammes n'a pu être dépassée en raison des dimensions du fourneau.

27. *Densite III.*

150	200	250	300	400	500	600	700	750	800
○	○	○	○	○	○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ●	●

Charge limite : 700 grammes.

28. *Flammivore I.*

400	500	600
○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ●

Charge limite : 500 grammes.

29. *Carbonite II.*

550	600	650	700 gr.
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ●	○ ○ ○ ○ ○ ●	●

Charge limite : 550 grammes.

30. *Grisoutine II.*

500	600	650	700 gr.
○	○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	●

Charge limite : 650 grammes.

31. *Dynamite antigrisouteuse V.*

400	500	600	650	700
○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ●

Charge limite : 650 grammes.

32. *Minite.*

600	750	800	850	900
○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ●	○ ○ ○ ○ ●	○ ○ ●

Charge limite : 750 grammes.

33. *Colinite antigrisouteuse.*

800	850	900 (1)
○	○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

34. *Kohlencarbonite.*

500	700	800	900 (1)
○ ○	○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Charge limite d'au moins 900 grammes.

(1) La charge de 900 grammes n'a pu être dépassée en raison des dimensions du fourneau.

35. *Sécurophore III.*

600	750	800	850	900
○	○	○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ●

Charge limite d'au moins 850 grammes.

Le tableau général récapitulatif suivant donne, pour chacun des explosifs dont les détails des essais viennent d'être exposés, les nom, composition, diamètre des cartouches, numéro du détonateur, charge limite, poids équivalent à 10 grammes de dynamite n° 1, poids équivalent à la charge limite en dynamite n° 1, cube de roches pouvant être abattu par la charge limite (nous reviendrons plus loin sur les chiffres des trois dernières colonnes). Les explosifs sont donnés dans l'ordre des charges équivalentes à leur charge limite.

Les noms des explosifs appartenant à l'ancienne liste sont en caractères italiques.

Les noms des explosifs classés comme explosifs de sûreté sont soulignés.

Tableau général récapitulatif des expériences.

Numéros	DÉNOMINATION de L'EXPLOSIF	COMPOSITION	Diamètre de la cartouche m/m	Détonateur no	Charges en grammes		Poids équivalent en énergie à 10 gr. de dynamite no 1. Gr.	Poids équivalent de la charge limite en dynamite no 1 Gr.	Cube de roches en- levé en coupage de voie par la charge limite. M <sup>3</sup>
					maxim. n'en- flammant pas (charge limite)	minimum enflammant			
1	<i>Fractorite</i>	Nitrate ammonique . 90 Colophane . . . . 4 Dextrine . . . . . 4 Bichromate de potasse 2	27	8	...	30	10 71	infér. à 28	infér. à 0.117
2	<i>Baelenite</i>	Nitrate ammonique . 85 Trinitrotoluène . . 15	27	8	...	30	10.22	infér. à 29	infér. à 0.124
3	<i>Gélatine à l'am- moniaque</i>	Nitroglycérine . . . 30 Nitrocellulose . . . 3 Nitrate ammonique . 67	23	8	...	30	9.65	infér. à 32	infér. à 0.130
4	<i>Minolite nouvelle</i>	Nitrate ammonique . 87 Nitrate de sodium . . 3 Québracho pulvérisé imprégné de résine . 2 Binitronaphtaline . . 3 Trinitronaphtaline . 5	31	8	30	50	14.93	21	0.088
5	<i>Densite D</i>	Trinitrotoluol . . . 8.5 Nitrate de strontium . 10.4 Nitrate ammonique . 81.1	30	7	50	75	15.12	33	0.139
6	<i>Favier IV</i>	Nitrate ammonique . 95.5 Binitronaphtaline . . 4.5	32	8	50	75	13.67	37	0.155
7	<i>Favier II</i>	Nitrate ammonique . 80.9 Binitronaphtaline . . 11.7 Chlorure ammonique 7.4	32	8	50	75	11.56	43	0.181
8	<i>Wallonite</i>	Nitrate ammonique . 90 Brai nitré . . . . . 10	32	8	50	75	10.70	47	0.197
9	<i>Dynamite anti- grisouteuse IV ou Dynamite de sûreté</i>	Nitroglycérine . . . 24 Nitrocellulose . . . 1 Nitrate ammonique . 75	27	8	50	75	10.56	47	0.197
10	<i>Westphalite</i>	Nitrate ammonique . 91 Nitrate de potasse . . 4 Colophane . . . . . 5	30	8	50	75	10.60	47	0.197
11	<i>Densite E</i>	Trinitrotoluol . . . 5.84 Nitrate de strontium . 11.42 Nitrate ammonique . 82.74	30	7	100	125	18.67	53	0.223

Numéros	DÉNOMINATION de L'EXPLOSIF	COMPOSITION	Diamètre de la cartouche m/m	Détonateur no	Charges en grammes		Poids équivalent en énergie à 10 gr. de dynamite no 1. Gr.	Poids équivalent de la charge limite en dynamite no 1 Gr.	Cube de roches en- levé en coupage de voie par la charge limite. M <sup>3</sup>
					maxim. n'en- flammant pas (charge limite)	minimum enflammant			
12	<i>Baelenite II</i>	Nitrate ammonique . 95 Trinitrotoluène . . 5	27	8	75	100	13.24	56	0.235
13	<i>Yonckite V</i>	Perchlorate ammonique 53.24 Oxalate ammonique . 32.30 Trinitronaphtaline . 14.46	30	8	75	100	12.05	62	0.260
14	<i>Flammivore O</i>	Nitrate ammonique . 70 Nitrate de baryte . . 15 Cellulose . . . . . 5 Binitrotoluol . . . 10	43	8	75	100	11.53	66	0.277
15	<i>Grisoutine I</i>	Nitroglycérine . . . 24 Nitrocellulose . . . 1 Nitrate ammonique . 75	27	8	75	100	10.78	69	0.290
16	<i>Wallonite II</i>	Nitrate ammonique . 70 Nitrate de soude . . 20 Brai nitré . . . . . 10	32	8	125	150	14.04	88	0.370
17	<i>Sécurophore I</i>	Nitroglycérine . . . 40 Nitrocellulose . . . 1 Nitrate ammonique . 27 Nitrate de potasse . . 4 Sel d'acide sébacique . 12.5 Farine de seigle . . . 10 Farine de bois . . . . 2 Hydrocarbure liquide 3.5	27	6	125	150	11.95	105	0.441
18	<i>Gélatine-Carbo- nite</i>	Nitroglycérine . . . 27 Coton collodion . . . 0.7 Colle de gélatine-glycér. 6.5 Chlorure ammonique . 14 Nitrate de soude . . . 22.8 Nitrate ammonique . 29	26	8	200	250	13.73	146	0.613
19	<i>Grisoutite</i>	Nitroglycérine . . . 44 Sulfate de magnésie . 44 Cellulose . . . . . 12	27	6	300	350	16.80	179	0.752
20	<i>Sécurophore II</i>	Nitroglycérine . . . 36.36 Nitrocellulose . . . 0.91 Nitrate ammonique . 24.55 Nitrate de potasse . . 3.64 Acide sébacique . . . 11.36 Farine de seigle . . . 9.09 Farine de bois . . . . 1.82 Hydrocarbure liquide 3.18 Chlorure de sodium . 9.09	27	6	250	300	13.49	184	0.773

Numéros	DÉNOMINATION de L'EXPLOSIF	COMPOSITION	Diamètre de la cartouche m/m	Détonateur no	Charges en grammes		Poids équivalent en énergie à 10 gr. de dynamite no 1. Gr.	Poids équivalent de la charge limite en dynamite no 1 Gr.	Cube de roches en- levé en coupage de voie par la charge limite. M <sup>3</sup>
					maxim. n'en- flammant pas (charge limite)	minimum enflammant			
21	<u>Ammoncarbonite</u>	Nitrate ammonique . . . 82 Nitrate de potasse . . . 10 Farine de blé . . . 4 Nitroglycérine . . . 4	28	8	400 (550)	450 (600)	15.74 (254)	254 (349)	1.067
		sans enveloppe paraffinée							
22	<u>Fractorite B</u>	Nitrate ammonique . . . 75 Oxalate ammonique . . . 2.2 Chlorure ammonique . . . 20 Binitronaphtaline . . . 2.8	43	8	450	500	15.73	286	1.201
23	<u>Favier IIbis</u>	Binitronaphtaline . . . 2.4 Nitrate ammonique . . . 77.6 Chlorure ammonique . . . 20	32	8	500	(1)	17.06	supér. à 293(1)	supér. à 1.231
24	<u>Densite II</u>	Trinitrotoluol . . . 7.5 Nitrate de potasse . . . 30 Nitrate ammonique . . . 62.5	30	8	550	600	18.52	297	1.247
25	<u>Wallonite III</u>	Nitrate ammonique . . . 70 Nitrate de soude . . . 25 Brai nitré . . . 5	32	8	600	650	19.76	304	1.277
26	<u>Poudre blanche Cornil Ibis</u>	Nitrate ammonique . . . 77 Nitrate de potasse . . . 1 Binitronaphtaline . . . 3 Chromate de plomb . . . 1 Chlorure ammonique . . . 18	30	8	500	(1)	16.40	supér. à 305(1)	supér. à 1.281
27	<u>Densite III</u>	Trinitrotoluol . . . 4 Nitrate ammonique . . . 74 Nitrate de soude . . . 22	30	7	700	750	22.60	310	1.302
28	<u>Flammivore I</u>	Nitroglycérine-gélatinée . . . 4 Nitrate de potasse . . . 10 Nitrate ammonique . . . 82 Farine de seigle . . . 4	43	8	500	550	15.33	326	1.369
29	<u>Carbonite II</u>	Nitroglycérine . . . 30 Nitrate de soude . . . 24.5 Farine de blé . . . 40.5 Bichromate de potasse . . . 5	27	6	550	600	16.41	335	1.407
30	<u>Grisoutine II</u>	Nitroglycérine . . . 44 Sulfate de soude . . . 44 Farine de bois . . . 12	43	6	650	700	19.16	339	1.424

(1) Les dimensions du mortier n'ont pas permis d'atteindre la charge d'inflammation.

Numéros	DÉNOMINATION de L'EXPLOSIF	COMPOSITION	Diamètre de la cartouche m/m	Détonateur no	Charges en grammes		Poids équivalent en énergie à 10 gr. de dynamite no 1. Gr.	Poids équivalent de la charge limite en dynamite no 1 Gr.	Cube de roches en- levé en coupage de voie par la charge limite. M <sup>3</sup>
					maxim. n'en- flammant pas (charge limite)	minimum enflammant			
31	<u>Dynamite antigri- souteuse V</u>	Nitroglycérine . . . 44 Sulfate de soude . . . 44 Cellulose . . . 12	27	6	650	700	18.08	359	1.508
32	<u>Minite</u>	Nitroglycérine . . . 25 Nitrate de potasse . . . 35 Farine de seigle . . . 39.5 Soude . . . 0.5	43	6	750	800	18.53	405	1.700
33	<u>Colinite antigrisouteuse</u>	Nitroglycérine . . . 25 Nitrate de potasse . . . 34 Nitrate de baryte . . . 1 Farine de blé . . . 38.5 Farine d'écorce . . . 1 Carbonate de soude . . . 0.5	43	6	900	(1)	18.12	supér. à 497(1)	supér. à 2.087
34	<u>Kohlencarbonite</u>	Nitroglycérine . . . 25 Nitrate de potasse . . . 34 Farine de blé . . . 38.5 Nitrate de baryte . . . 1 Farine d'écorce . . . 1 Soude . . . 0.5	27	6	900	(1)	17.97	supér. à 501(1)	supér. à 2.104
35	<u>Sécurophore III</u>	Nitroglycérine . . . 25 Nitrate de potasse . . . 34 Nitrate de baryte . . . 1 Bicarbonat de soude . . . 0.5 Farine de seigle . . . 38.5 Farine de bois . . . 1	27	6	850	900	15.51	548	2.302

(1) Les dimensions du mortier n'ont pas permis d'atteindre la charge d'inflammation.

## 2° CHARGE EXTRÊME AVEC BOURRAGE.

Voici les résultats des essais, encore bien incomplets, comme nous l'avons dit, effectués dans cet ordre d'idées.

EXPLOSIF	CHARGES EN GRAMMES				AUGMENTATION DE LA CHARGE	
	sans bourrage		avec bourrage de 100 m/m de long.		égale ou supérieure à	inférieure à
	n'enflam-mant pas	enflam-mant	n'enflam-mant pas	enflam-mant		
Gélatine-dynamite . . .	—	25	50	75	25	75
Gélatine à l'ammoniaque.	—	30 et moins	150	200	120	170
Grisoutine I (1) . . . .	—	30	130	200	100	170
Favier IV . . . . .	50	75	400	450	350	400
Fractorite . . . . .	—	30	400	500	370	470
Densite D . . . . .	50	75	500	550	450	500
Favier II. . . . .	50	75	500 (2)	—	450	—
Grisoutite . . . . .	300	350	600 (2)	—	300	—

## 3° PUISSANCE DES EXPLOSIFS. — SON EXPRESSION PRATIQUE.

Les poids équivalant à l'énergie de 10 grammes de dynamite sont donnés plus haut dans le tableau général récapitulatif. Ils ont varié, pour les explosifs expérimentés, entre 9.65 grammes et 22.60 grammes. La plupart des

(1) Cette grisoutine avait la composition suivante :

Nitroglycérine . . . . .	29
Nitrocelluse . . . . .	1
Nitrate ammonique . . . . .	70

(2) Les charges n'ont pu être plus élevées par suite des dimensions du fourneau.

explosifs de sûreté ont leurs poids équivalents compris entre 16 et 19 grammes.

La charge limite étant connue et le poids équivalent étant déterminé, il est aisé d'en déduire la charge équivalente, en explosif étalon (la dynamite n° 1), de la charge limite de chacun des explosifs.

Il va de soi que c'est la connaissance de cette charge équivalente qui est la plus intéressante à connaître car c'est cette charge qui donne la vraie valeur de l'explosif de sûreté. Ces chiffres sont donnés dans l'avant-dernière colonne du tableau général.

Pour aller plus loin dans les conséquences pratiques de nos essais, nous avons pensé qu'il serait intéressant de connaître le cube de roches qui pourrait être abattu au coupage des voies par une charge équivalant à la charge limite

Des expériences ont été effectuées à notre demande au siège de Crachet, appartenant à la Compagnie des Charbonnages belges, dans les couches Veinette, Torioire, Grand Corps, à l'effet de déterminer le rapport existant entre la charge et le volume de roches abattues. L'explosif utilisé était la grisoutite. Il a été reconnu qu'en coupage de voie, en mur résistant, des charges respectives de 300, 400, 500 grammes enlevaient environ 0<sup>m</sup>750, 1<sup>m</sup>3, 1<sup>m</sup>250 de terrain.

Adoptant ce rapport, nous avons établi les cubes de roche respectifs qui peuvent être abattus, en coupage de voies, par les charges limites de sûreté des divers explosifs.

Il va de soi que ces chiffres ne constituent qu'une approximation et qu'en pratique ils varieront beaucoup suivant la durée et la compacité des roches, leur dégagement plus ou moins grand, la grosseur des bancs, etc. Ils varieront aussi pour chaque explosif suivant les qualités spéciales de celui-ci et selon que leur « brisance » sera plus ou moins bien appropriée aux roches qu'elles doivent abattre.

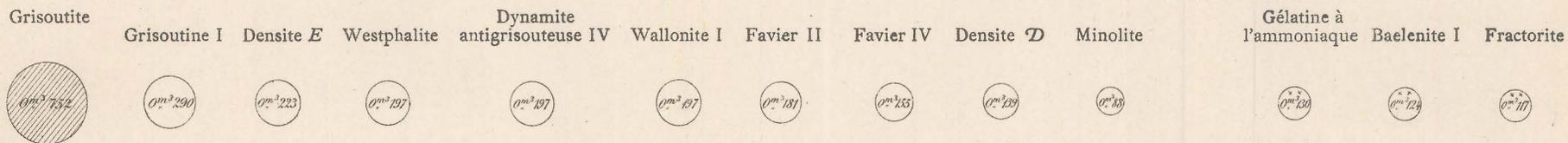
Nous croyons cependant que ces chiffres ont leur utilité pour rendre plus sensible ce fait important qu'à l'heure actuelle le problème des explosifs de sûreté, sans être résolu complètement, a déjà reçu des solutions partielles applicables dans la pratique des mines.

Pour donner une idée plus claire des résultats obtenus, nous donnons (fig. 17) la traduction graphique des chiffres de la dernière colonne du tableau, en représentant ceux-ci par une série de cercles dont la surface est proportionnelle aux volumes abattus par la charge limite.

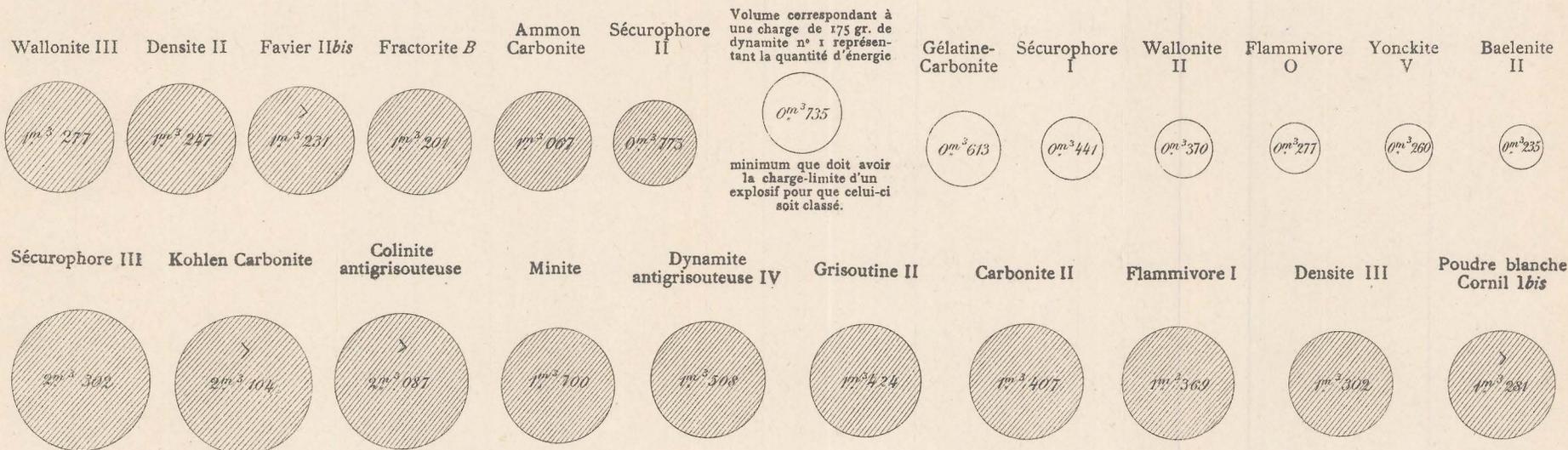
Dans ce graphique, les explosifs sont répartis en deux groupes, l'un contenant les explosifs admis antérieurement aux essais, comme explosifs de sûreté, le second, les explosifs nouveaux. Les produits actuellement classés sur la base que nous indiquons plus loin, reconnus officiellement comme explosifs de sûreté ont leurs cercles hachurés.

FIG. 17. — Volumes des roches abattues en coupage de voies par la charge-limite :

I. — Des explosifs classés de sûreté avant les essais du Siège d'expériences de Frameries :



II. — Des explosifs nouveaux présentés à l'agrément comme explosifs de sûreté :



Les surfaces des cercles sont proportionnelles aux volumes de roches abattues ; échelle 5 centimètres carrés par mètre cube.

Les explosifs actuellement classés de sûreté ont leur cercle hachuré.

La charge de première inflammation n'a pas été atteinte pour les explosifs marqués du signe > ; Les chiffres indiqués pour ceux-ci sont donc des minima.

Le volume de roches abattues par les explosifs marqués du signe xx correspondent à des charges qui enflamment encore le mélange grisouteux.

## 4° QUELQUES CONCLUSIONS RÉSULTANT DE NOS ESSAIS.

Comme nous l'avons déjà dit, notre seul but a été jusqu'ici d'établir d'une pièce la charge limite des divers explosifs, nous réservant plus tard de rechercher le pourquoi de ces charges limites et éventuellement de déduire de nos expériences des données théoriques utiles pour l'amélioration de solutions obtenues. Nous appelons cependant l'attention sur certains faits qui paraissent se dégager de nos essais et qu'il peut être utile de mettre en lumière dès à présent sans toutefois que nous les considérons tous comme absolument établis, ni qu'ils soient tous entièrement nouveaux.

A. — Nos expériences ont confirmé l'influence sur la *sûreté des explosifs*, ou tout au moins de certains d'entre eux, de la *vaporisation d'une certaine quantité d'eau*, ou de la *gazéification d'une substance volatile*, au moment de l'explosion. Ce résultat a été mis particulièrement en lumière par les deux faits suivants :

L'accroissement de la charge limite de la grisoutite, lorsqu'on substitue le sulfate de soude, cristallisant à basse température et contenant 10 molécules d'eau; au sulfate de magnésie qui n'en retient que 7. Cette proportion plus grande d'eau de cristallisation, environ 8 %, a eu pour effet de plus que doubler la charge limite.

De même l'augmentation de chlorure ammonique, passant de 8 à 20 %, accroît la charge limite de l'explosif Favier II dans des proportions extraordinaires, de 75 grammes à plus de 500 grammes. Certes l'accroissement de la proportion de chlorure ammonique est accompagnée d'une diminution de 12.6 à 2.4 % de binitronaphtaline, qui a évidemment un effet également favorable. Mais, si l'on considère les mauvais résultats donnés par le Favier IV, lequel ne contient cependant que 4.5 % de binitronaphtaline, on est amené à conclure que la haute charge limite

atteinte par le Favier II<sup>bis</sup> est due en très majeure partie au chlorure ammonique.

B. Les *différences constatées relativement aux inflammations et non inflammations* produites par un même explosif, détonant dans les mêmes conditions, *ne peuvent être attribuées qu'au manque d'homogénéité* dans la composition des cartouches.

Ces différences s'accusent immédiatement par l'irrégularité plus ou moins grande des résultats figurés dans les petits tableaux spéciaux à chaque produit.

Plus un explosif sera homogène, plus sera resserrée la zone dans laquelle on constatera simultanément des inflammations ou des non inflammations.

Il est remarquable que la plupart des explosifs contenant de la nitro-glycérine ont une plus grande régularité. Ceci provient probablement de ce que les substances entrant dans la composition des autres explosifs y figurent en proportions très dissemblables. Il est évident que l'homogénéité relative est plus difficile à atteindre dans une composition où les deux constituants sont respectivement dans les proportions de 5 et 95 par exemple, que dans une autre où les pourcentages des éléments se rapprochent de 50 %.

C. — *L'influence de l'enveloppe paraffinée* des cartouches, dont le rôle a été diversement apprécié, semble réelle si l'on en juge par les résultats fournis par l'Ammoncarbone. Le même échantillon de cet explosif a donné respectivement une charge limite de 600 et de 450 grammes, suivant que les cartouches étaient dégarnies ou non de leur enveloppe paraffinée.

D. — *L'action favorable* au point de vue de la sûreté de l'augmentation de la dose de nitrate ammonique, déjà constatée précédemment, est notamment confirmée par les résultats des Baelenites I et II, Wallonites I et II, etc.

Le premier de ces explosifs, Baelenite I, contient 85 % de nitrate ammonique, en présence de 15 % de trinitrotoluène, et a une charge limite d'inflammation de 30 grammes, tandis que le second, dans lequel la proportion de nitrate ammonique monte à 95 %, en regard de 5 % de trinitrotoluène, n'enflamme qu'à la charge de 100 grammes. Il en est de même des Wallonites.

E. — *La température de détonation calculée*, bien que constituant un élément précieux d'investigation, *ne peut à elle seule mesurer la sûreté*.

C'est ainsi, pour ne citer que les exemples les plus frappants, que parmi les explosifs essayés, les types binaires Favier IV, Baelenite II, dont les températures sont inférieures à 1500° ont respectivement des charges d'inflammation de 75 et de 100 grammes, alors que la Kohlencarbonate, dont la température est de 1561° (Bichel) ou de 1845° (Heise), n'enflamme pas à la charge de 900 grammes.

F. — *La sûreté d'un explosif ne dépend pas seulement de sa composition chimique*, mais aussi de son mode de fabrication. On se rappelle l'exemple en quelque sorte classique de la Dahmenite A, cité par M. Heise, et où la charge limite variait dans de larges proportions suivant le grenage.

Nous avons constaté des faits semblables lors de nos essais, au cours desquels des explosifs de composition chimique identique et ne présentant même aucune différence d'aspect, ont donné des résultats différents suivant qu'ils étaient fabriqués par telle ou telle firme.

Ces faits d'expérience viennent encore à l'appui de l'opinion qu'il est impossible d'enserrer dans une formule les conditions d'où dépend la sûreté d'un explosif, et qui sont probablement extrêmement complexes.

La conclusion pratique est qu'il ne faut considérer la charge limite déterminée que pour chacun des explosifs

*essayés* et nullement pour tous les explosifs de même composition qui peuvent être fabriqués par des firmes diverses.

G. — Une *bourre* de faible longueur légèrement tassée, *renforce déjà considérablement la sûreté*. Cette influence varie dans de grandes limites avec la nature de l'explosif.

Elle est minime avec les explosifs brisants ordinaires; elle est relativement faible avec les mélanges de nitroglycérine et de nitrate ammonique, tels que la Grisoutine I, la Gélatine à l'ammoniaque. Par contre, elle est très élevée pour les explosifs contenant une forte proportion de nitrate d'ammoniaque, et pas de nitroglycérine, tels que les Favier II et IV, la Densite, ainsi que pour les Wetterdynamites.

#### 5° CLASSEMENT DES EXPLOSIFS DE SÛRETÉ ET CHARGES

##### MAXIMA D'EMPLOI.

Pour être pratique, un explosif de sûreté doit avoir une charge limite représentant une énergie suffisante.

Les essais de classement ont été effectués sans bourrage, en raison des dimensions des appareils dont nous disposons et de la grandeur des charges.

La quantité d'énergie jugée minimum, dans ces conditions, pour satisfaire aux exigences de la pratique a été admise correspondre à 175 grammes de dynamite n° 1.

Un explosif sera donc classé de sûreté si une charge de celui-ci, supérieure ou égale en énergie à 175 grammes de dynamite n° 1, n'enflamme pas sur dix essais consécutifs effectués sans bourrage dans un mélange d'air et de 8 % de méthane, porté à la température de 25°

Ainsi que nous l'avons dit précédemment, tous les explosifs de sûreté connus enflamment les mélanges explosifs, quand on augmente suffisamment leur charge.

Il ne suffit donc pas de classer tel produit comme explosif

de sûreté, mais de fixer dans quelles limites de charge il peut être considéré comme tel.

En pratique, les explosifs sont bourrés, et les expériences relatées précédemment prouvent combien est grande l'influence du bourrage sur la sûreté de ceux-ci.

Dans les circulaires ministérielles du 31 janvier 1905 (1) et du 15 mai 1905 (2), qui ont été la consécration des résultats de nos expériences et leur conséquence administrative, il a été tenu compte des conséquences du bourrage pour la détermination de la charge maximum d'emploi. Les essais ayant établi que le surcroît de sûreté produit par une bourre de 100 millimètres de longueur faiblement tassée, correspond, au moins pour les explosifs de sûreté moyenne, à 400 grammes de charge, il a été admis que le surcroît de charge fût porté à 200 grammes à la condition que la longueur du bourrage fût portée à 20 centimètres et que ce bourrage fût fortement tassé.

Il y avait ainsi dans ce surcroît de charge ajouté à la charge limite sans bourrage un double coefficient de sécurité sur les chiffres résultant de nos expériences.

Mais dans la suite, la liste des explosifs à charge limite élevée s'étant accrue, aucune difficulté pratique ne s'opposait à ce que l'on procédât avec plus de prudence encore et que l'on augmentât le coefficient de sécurité en réduisant à la charge limite, la charge maximum d'emploi.

Cette prudence se recommandait aussi par le fait que quelques essais nouveaux ont démontré une fois de plus combien de faibles variations dans la composition et dans le mode de fabrication des explosifs influençaient sur le degré de sûreté de ceux-ci. Ces faibles variations étant toujours à redouter même dans le cas de fabrication soignée, il y a lieu de prévoir un certain amoindrissement

(1) *Annales des Mines de Belgique*, t. X, 1<sup>re</sup> livr., p. 292.

(2) *Annales des Mines de Belgique*, t. X, 3<sup>e</sup> livr., p. 1028.

accidentel de la charge limite et d'éviter de graves mécomptes.

Le surcroît de charge de 200 grammes a ainsi disparu. Restreinte dans ces conditions, la charge permise est encore compatible avec les exigences de la pratique.

On se rappellera en effet (1) que la charge pratique la plus habituelle des mines tirées dans nos mines de Belgique, varie de 200 à 400 grammes, et qu'il est extrêmement rare que le chiffre de 1,000 grammes soit atteint.

Dans les mines dangereuses il sera donc des plus aisé de restreindre la charge à la charge limite, qui, pour les explosifs qui sont classés de sûreté, varie de 250 à 900 grammes.

Les résultats des essais sur les explosifs peuvent se résumer en la comparaison suivante :

Avant les essais de Frameries, les treize explosifs classés, en usage, avaient une charge limite moyenne de 69 grammes, correspondant à une charge de dynamite n° 1 de 51 grammes.

Après les essais, les dix-sept explosifs, actuellement classés, ont une charge limite moyenne supérieure à 588 grammes, correspondant à 337 grammes de dynamite n° 1, et représentant une quantité d'énergie plus de 6 ½ fois plus grande.

On trouvera dans la présente livraison des *Annales*, page 1260, la circulaire ministérielle du 25 octobre 1905 qui donne la liste complète de ces explosifs.

Bruxelles, octobre 1905.

(1) WATTEYNE et DENOEL, Emploi des explosifs dans les mines de houille de Belgique en 1903, *Annales des Mines de Belgique*, t. X, 4<sup>e</sup> livraison.

## TABLE DES MATIÈRES

	PAGES
I. — INTRODUCTION. — QUELQUES DONNÉES STATISTIQUES. — RAPPEL SUCCINCT DES ESSAIS SUR LES LAMPES DE SURETÉ.	1039
II. — LES EXPLOSIFS DE SURETÉ. — LEUR CRITÉRIUM.	1052
III. — ETAT DE LA RÉGLEMENTATION EN BELGIQUE. — LA PREMIÈRE LISTE DES EXPLOSIFS DE SURETÉ . . . . .	1055
IV. — LA GALERIE D'ESSAIS DES EXPLOSIFS. — DESCRIPTION SOMMAIRE. . . . .	1062
V. — LES EXPÉRIENCES . . . . .	1064
1. Détermination de la charge limite sans bourrage. . . . .	
A. Constitution de la charge :	
Explosifs . . . . .	1064
Densité de chargement . . . . .	1065
Détonateurs . . . . .	1066
B. Constitution de l'atmosphère explosive :	
Gaz constitutifs . . . . .	1066
Capacité des mélanges explosibles . . . . .	1067
Homogénéité . . . . .	1067
Teneur d'inflammabilité maximum . . . . .	1068
Absence de poussières charbonneuses en suspension dans le mélange explosible . . . . .	1070
Obtention de la teneur à 8 % de méthane . . . . .	1071
Vérification de la teneur . . . . .	1071
Température du mélange . . . . .	1071
C. Recherche de la charge limite . . . . .	1072
D. Explosifs essayés . . . . .	1072

2. Détermination de la charge extrême avec bourrage . . . . .	1073
3. Puissance des explosifs . . . . .	1074

## VI. — RÉSULTATS DES ESSAIS ET CONCLUSIONS :

1. Charge limite sans bourrage . . . . .	1077
Tableaux de détail des expériences . . . . .	1078
Tableau général récapitulatif des expériences . . . . .	1084
2. Charge extrême avec bourrage . . . . .	1088
3. Puissance des explosifs. — Son expression pratique. . . . .	1088
4. Quelques conclusions résultants de nos essais . . . . .	1091
5. Classement des explosifs de sûreté et charge minima d'emploi . . . . .	1094

