

SERVICE DES ACCIDENTS MINIERS ET DU GRISOU

INSTITUT NATIONAL DES MINES
A FRAMERIES

INFLAMMATION DU GRISOU

PAR LES

lampes et les explosifs

PAR

EMMANUEL LEMAIRE

Ingénieur en Chef au Corps des Mines
Directeur de l'Institut National des Mines,
Professeur à l'Université de Louvain.

1. — Introduction.

De récentes flambées de grisou, survenues en Belgique et causées, soit par des explosifs dits de sûreté, soit par des lampes de sûreté cuirassées, soit par les étincelles qui s'échappent des tuyauteries d'air comprimé, ou attribuées à tort ou à raison à des étincelles de pic, ont vivement attiré l'attention sur la complexité des conditions dans lesquelles s'allument les mélanges grisouteux et sur les variations de composition que présente le grisou lui-même.

Le grisou naturel n'est pas formé exclusivement de méthane. On y rencontre normalement de l'acide carbonique et de l'azote en proportions parfois importantes. Il peut renfermer des hydrocarbures autres que le méthane et d'autres gaz encore, tels que l'hydrogène sulfuré, capables de modifier son inflammabilité. La présence d'hydrogène libre a également été signalée et, si on considère que

ce gaz figure parmi ceux qui résultent de la décomposition des matières végétales sous l'influence des micro-organismes, il ne serait pas surprenant de le rencontrer dans le grisou naturel. Cependant sa présence dans le grisou doit encore être considérée comme douteuse à raison des difficultés de son dosage en présence d'hydrocarbures et de la facilité avec laquelle le grisou se dissocie à des températures relativement basses.

Des essais déjà anciens effectués à Frameries ont montré que les flammes d'hydrocarbures autres que le méthane, telles que les flammes de benzine, (essence de pétrole) traversent plus facilement les tamis des lampes de sûreté que les flammes de grisou et qu'on peut obtenir des variations de la charge-limite des explosifs en faisant varier les proportions d'azote et d'acide carbonique du grisou naturel.

Des essais récents ont montré que les charges-limites tombaient dans de fortes proportions en présence de grisou additionné d'hydrogène libre. D'autre part le fait que le même explosif, tiré dans des conditions comparables, n'arrive pas à la même charge-limite dans les diverses stations d'essais, ne peut s'expliquer que par des variations dans la composition du grisou naturel.

La sécurité des mines exige donc que l'on fasse à nouveau, avec les moyens d'analyse dont on dispose actuellement, une étude complète et systématique de la composition du grisou naturel et l'Institut National des Mines a pris l'initiative de faire ce travail pour le grisou de toutes les mines belges.

Son Service Chimique s'occupe en ce moment, à mettre au point une méthode d'analyse qui soit à l'abri de toute critique.

Les flambées de grisou, dont il est question ci-dessus, ont également attiré l'attention sur le danger des mines surchargées, que la Station de Frameries a toujours assi-

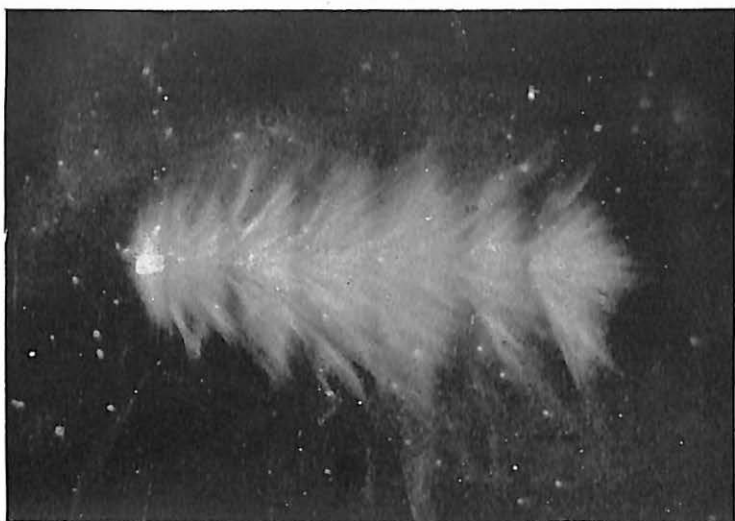
milées, dans une certaine mesure, à des tirs à l'air libre. On sait que ces tirs sont particulièrement dangereux. L'attention a également été attirée sur les variations de la réaction explosive avec les circonstances du tir.

Enfin il n'est peut-être pas sans intérêt d'attirer l'attention sur le fait qu'aux extrémités des galeries, où se font les tirs des mines et où peuvent se produire, par conséquent, les flambées de grisou, ce gaz est généralement accumulé au toit de la galerie et n'est qu'imparfaitement mélangé à l'air. Le brassage du grisou est fait par le coup de mine lui-même ou par la lampe qu'on introduit dans le gaz inflammable pour constater sa présence. Les conditions d'inflammation de ces mélanges imparfaits peuvent différer de celles des mélanges homogènes, dans lesquels se font ordinairement les essais de lampes et d'explosifs.

La tendance en Belgique, à la suite de ces accidents, est de généraliser l'éclairage électrique et d'utiliser de plus en plus la gaine de sûreté pour le tir des mines.

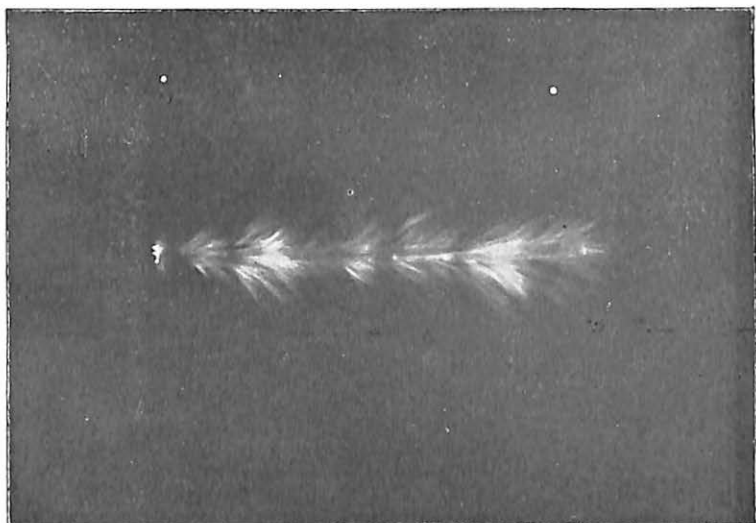
La gaine de sûreté elle-même arrive à sa forme définitive. Sous cette forme, elle se compose d'un tube en matières extinctrices agglomérées au moyen de 20 % environ de terre plastique et dans lequel l'explosif est placé directement sans interposition de papier. Une feuille de papier, portant les inscriptions réglementaires, est collée au silicate de Potassium sur le tube et en ferme les extrémités. L'épaisseur du tube varie de 3,5 à 5 millimètres, suivant qu'il s'agit du tir en roche ou du tir en veine.

Les matières extinctrices les plus efficaces sont définitivement la Cryolithe et le Fluorure de Sodium, qui permettent de tirer des charges d'explosifs importantes, à l'air libre, même en présence de grisou hydrogéné. On peut additionner ces corps de Chlorure de Sodium ou de Chlorure de Potassium pour diminuer le prix de revient, mais la sécurité diminue dans une certaine mesure.



Phot. 1. — Matagnite R.

600 grammes. — 6 cartouches de 30 m/m en une file.
Longueur de la charge 820 m/m. — Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge.



Phot. 2. — Matagnite R (autre échantillon).

600 grammes. — 6 cartouches de 30 m/m en une file.
Longueur de la charge 820 m/m. — Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge.

Ces mesures immédiates de sécurité ne doivent cependant pas faire perdre de vue la nécessité de rechercher les conditions dans lesquelles les lampes et les explosifs allument les mélanges grisouteux.

Comme contribution à cette étude, nous avons cherché à interpréter certains faits d'observation courante dans les tirs d'explosifs au mortier et lors des essais de lampes de sûreté dans des courants d'air grisouteux. C'est ce qui fait l'objet de la présente note.

2. — Inflammation du grisou par les explosifs.

Les tirs d'explosifs au mortier mettent en évidence deux faits qui paraissent très importants au point de vue du mécanisme de l'inflammation du grisou par les explosifs.

Premier fait.

Le même mélange grisouteux, le mélange à 8 % de méthane par exemple, peut donner lieu, suivant les circonstances du tir, à des explosions que l'on peut classer en très fortes, fortes, moyennes, faibles ou très faibles.

Une explosion très forte est caractérisée par une flamme rapide, visible à la plupart des fenêtres de la galerie d'essai, ainsi que par un ébranlement violent de la galerie, un bruit intense et des fumées très abondantes.

Une explosion très faible, par contre, est à peine perceptible. On n'aperçoit même pas la flamme aux fenêtres de la galerie et le bruit de l'explosif est à peine renforcé. Les fumées sont un peu plus abondantes que dans le tir en milieu non grisouteux. Si la cloison de papier, qui isole la chambre d'explosion, ne montrait pas de traces de combustion, on croirait que le grisou n'a pas été allumé.

Dans les inflammations faibles ou moyennes, la flamme de grisou n'est visible qu'à une, deux ou trois fenêtres de la galerie et elle ne semble pas se propager.

Dans certaines circonstances, l'inflammation du grisou se produit avec un retard appréciable.

Deuxième fait.

Dans les tirs d'explosifs fortement sous-oxydés, tels que l'acide picrique ou le trinitrotoluène, en milieu non grisouteux, on observe très souvent deux flammes très nettement séparées. La première, petite et de peu de durée, sortant du mortier, la seconde plus étendue et de plus longue durée, séparée de la première par une période d'extinction de durée variable.

Les gaz de ces explosifs, qui renferment une très forte proportion de gaz combustibles, ne s'enflamment pas immédiatement à leur arrivée dans l'atmosphère, mais seulement après un temps mesurable pendant lequel ils se mélangent à l'air. La flamme secondaire ne rejoint pas la flamme primaire ; elle ne se produit qu'à une certaine distance de celle-ci aux endroits où les gaz de l'explosion arrivent à se mêler convenablement à l'air.

Des flammes secondaires s'observent très fréquemment aussi dans les tirs d'explosifs sur-oxydés.

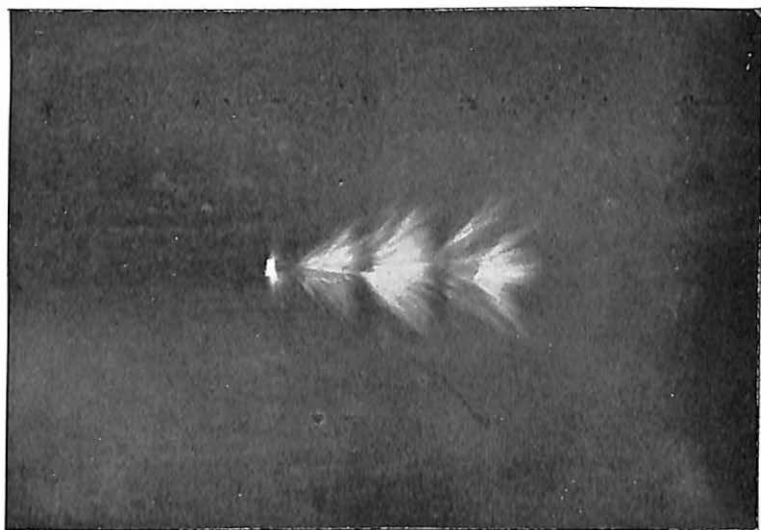
Le premier de ces deux faits montre que dans les explosions de grisou en galerie d'essai, les choses se passent comme si, au moment du tir, on ajoutait au mélange grisouteux des gaz qui en modifient les propriétés.

Le second fait montre que les gaz d'explosifs ne refoulent pas simplement l'air ambiant, mais qu'ils se mêlent rapidement à ce dernier et que, dans certains cas, une flamme peut prendre naissance dans le mélange ainsi formé, si la température après mélange est encore suffisante.

Les deux faits réunis permettent de croire qu'il y a un mélange rapide des gaz de l'explosif avec l'air grisouteux et que l'inflammation du grisou et la propagation de l'inflammation dépendent uniquement de la composition et de



Phot. 3. — **Matagnite R.**
500 grammes. — 5 cartouches de 30 m/m amorcées par une cartouche
de Dynamite n° 1 — Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge.



Phot. 4. — **Matagnite R.**
300 grammes. — 3 cartouches de 30 m/m espacées de 15 m/m.
Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge.

la température des mélanges formés, si le grisou n'a pas été allumé à son premier contact avec la flamme de l'explosif. On conçoit également que les gaz de l'explosif puissent rejoindre et perturber une flamme de grisou qui se serait allumée à la flamme de l'explosif.

Dans les tirs d'explosifs en milieu grisouteux, la flamme de grisou pourrait donc être allumée, amplifiée ou diminuée, accélérée ou ralentie, ou même éteinte, par les gaz d'explosifs qui se mêlent à l'air grisouteux avant, pendant ou après son inflammation.

La Station de Frameries soutient depuis longtemps que dans le phénomène de la détonation, une partie, qui peut être importante, des réactions se fait après le passage de l'onde explosive. Si son point de vue est conforme à la réalité, les gaz des explosifs, au moment où ils pénètrent dans le milieu grisouteux et se mêlent à ce dernier, peuvent être en état de réactions vives, en état de réactions finissantes ou en état de réactions terminées. Ils peuvent renfermer des gaz comburants, des gaz combustibles et des gaz combustibles en proportions diverses, variables avec la nature de l'explosif et les conditions du tir. De là de multiples circonstances d'inflammation du grisou. Nous verrons plus loin, en parlant des lampes de sûreté, que des gaz en état de réactions finissantes n'allument pas nécessairement le grisou.

S'il est exact que les gaz d'explosifs se mêlent presque instantanément à l'air grisouteux, les limites d'inflammabilité et les températures d'inflammation des mélanges formés doivent jouer un rôle prépondérant dans l'inflammation du grisou et dans la propagation de cette inflammation.

Il en résulterait que la teneur en méthane pour laquelle les mélanges grisouteux s'allument le plus facilement, ne serait pas nécessairement la même pour tous les explosifs

et pour toutes les conditions de tir d'un même explosif, contrairement à ce que l'on a cru jusqu'à présent.

Le danger d'inflammation du grisou résultant du mélange de l'air grisouteux avec les gaz d'explosifs, ainsi que le danger de propagation de la flamme dépendraient d'une part de la composition de l'air grisouteux et d'autre part de la composition des gaz de l'explosif, de leur volume, de leur température, de leur état de réactions plus ou moins avancées, de la vitesse avec laquelle ils pénètrent dans le milieu grisouteux et se mêlent à ce dernier, ainsi que des limites d'inflammabilité et des températures d'inflammation des mélanges formés. Ils dépendraient également du degré d'échauffement du milieu grisouteux par compression résultant du passage d'ondes de choc ou de la présence d'obstacles sur le parcours des gaz.

Suivant les circonstances, l'addition de gaz d'explosifs à l'air grisouteux, pourra déterminer ou empêcher l'inflammation du grisou ainsi que modifier ou empêcher la propagation de cette inflammation.

Comme confirmation de ce qui vient d'être dit, nous avons cherché à nous rendre compte de la manière dont les gaz des explosifs pénètrent dans le milieu ambiant et nous avons photographié dans ce but l'explosion de charges d'explosifs de 100 à 600 grammes, suspendues dans une chambre en maçonnerie de 12 mètres de longueur, 5 mètres de largeur et de 5 mètres de hauteur, complètement close. L'objectif se trouvait à 3 mètres de la charge.

Avant de discuter ces photographies, nous tenons à dire quelques mots des photographies de flammes d'explosif en général, qui ont souvent fait l'objet de critiques injustifiées.

la température des mélanges formés, si le grisou n'a pas été allumé à son premier contact avec la flamme de l'explosif. On conçoit également que les gaz de l'explosif puissent rejoindre et perturber une flamme de grisou qui se serait allumée à la flamme de l'explosif.

Dans les tirs d'explosifs en milieu grisouteux, la flamme de grisou pourrait donc être allumée, amplifiée ou diminuée, accélérée ou ralentie, ou même éteinte, par les gaz d'explosifs qui se mêlent à l'air grisouteux avant, pendant ou après son inflammation.

La Station de Frameries soutient depuis longtemps que dans le phénomène de la détonation, une partie, qui peut être importante, des réactions se fait après le passage de l'onde explosive. Si son point de vue est conforme à la réalité, les gaz des explosifs, au moment où ils pénètrent dans le milieu grisouteux et se mêlent à ce dernier, peuvent être en état de réactions vives, en état de réactions finissantes ou en état de réactions terminées. Ils peuvent renfermer des gaz comburants, des gaz combustibles et des gaz incombustibles en proportions diverses, variables avec la nature de l'explosif et les conditions du tir. De là de multiples circonstances d'inflammation du grisou. Nous verrons plus loin, en parlant des lampes de sûreté, que des gaz en état de réactions finissantes n'allument pas nécessairement le grisou.

S'il est exact que les gaz d'explosifs se mêlent presque instantanément à l'air grisouteux, les limites d'inflammabilité et les températures d'inflammation des mélanges formés doivent jouer un rôle prépondérant dans l'inflammation du grisou et dans la propagation de cette inflammation.

Il en résulterait que la teneur en méthane pour laquelle les mélanges grisouteux s'allument le plus facilement, ne serait pas nécessairement la même pour tous les explosifs

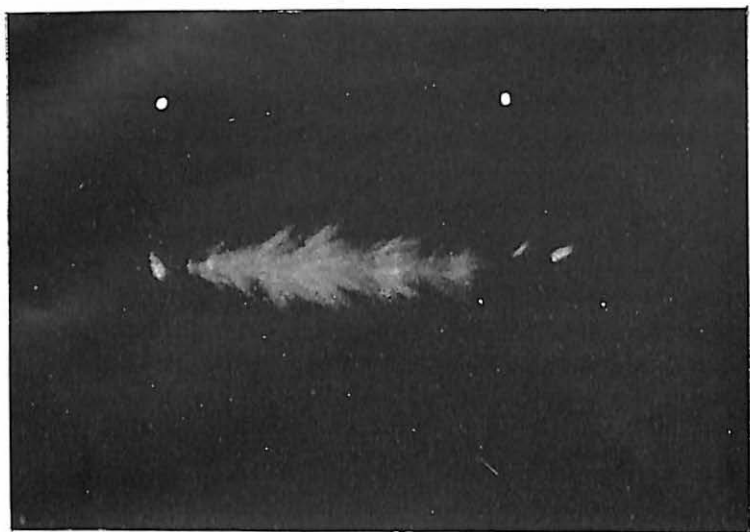
et pour toutes les conditions de tir d'un même explosif, contrairement à ce que l'on a cru jusqu'à présent.

Le danger d'inflammation du grisou résultant du mélange de l'air grisouteux avec les gaz d'explosifs, ainsi que le danger de propagation de la flamme dépendraient d'une part de la composition de l'air grisouteux et d'autre part de la composition des gaz de l'explosif, de leur volume, de leur température, de leur état de réactions plus ou moins avancées, de la vitesse avec laquelle ils pénètrent dans le milieu grisouteux et se mêlent à ce dernier, ainsi que des limites d'inflammabilité et des températures d'inflammation des mélanges formés. Ils dépendraient également du degré d'échauffement du milieu grisouteux par compression résultant du passage d'ondes de choc ou de la présence d'obstacles sur le parcours des gaz.

Suivant les circonstances, l'addition de gaz d'explosifs à l'air grisouteux, pourra déterminer ou empêcher l'inflammation du grisou ainsi que modifier ou empêcher la propagation de cette inflammation.

Comme confirmation de ce qui vient d'être dit, nous avons cherché à nous rendre compte de la manière dont les gaz des explosifs pénètrent dans le milieu ambiant et nous avons photographié dans ce but l'explosion de charges d'explosifs de 100 à 600 grammes, suspendues dans une chambre en maçonnerie de 12 mètres de longueur, 5 mètres de largeur et de 5 mètres de hauteur, complètement close. L'objectif se trouvait à 3 mètres de la charge.

Avant de discuter ces photographies, nous tenons à dire quelques mots des photographies de flammes d'explosif en général, qui ont souvent fait l'objet de critiques injustifiées.

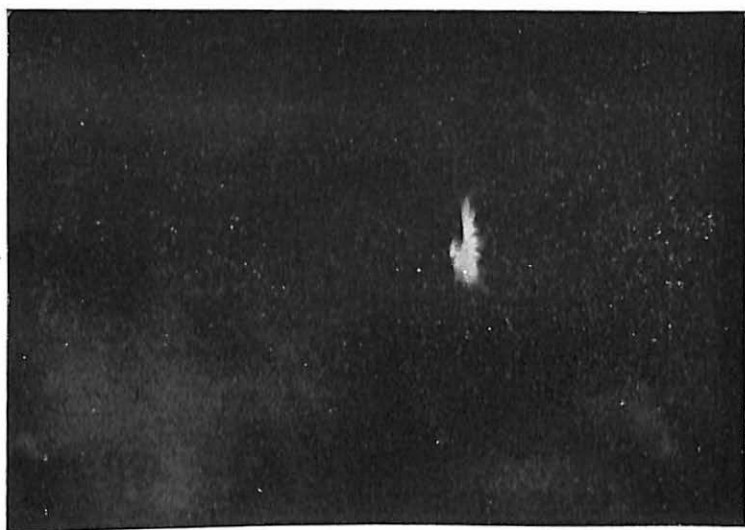


Phot. 5. — **Matagnite R.**

600 grammes. — En une cartouche unique de 30 m/m sans paraffine.

Longueur de la charge 76 m m. — Détonateur à gauche.

Objectif à 3 mètres de la charge.



Phot. 6. — Explosion d'un détonateur de 2 grammes, disposé horizontalement.

Objectif à 1m,50 du détonateur.

3. — Photographies de flammes d'explosifs.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, quand on débute dans la photographie des flammes d'explosifs, ce ne sont pas les plaques les plus rapides qui donnent les meilleurs résultats, quand l'objectif reste ouvert pendant toute la durée de l'explosion. Avec les plaques ultra-rapides on n'obtient généralement que des clichés gris que l'on croit sous-exposés alors qu'en réalité ils sont nettement sur-exposés. Le temps de pose, quand l'objectif reste ouvert pendant toute la durée de l'explosion, est généralement trop long pour la rapidité de ces plaques à gros grains de bromure d'argent. On obtient des clichés beaucoup meilleurs avec des plaques plus lentes à grains plus fins.

Jusqu'à présent tout au moins, on n'est pas encore parvenu à lire la sécurité d'un explosif sur la photographie de sa flamme, mais on peut cependant déjà éliminer par ce moyen les explosifs les plus dangereux. Pour le moment le rôle de la photographie des flammes d'explosifs est surtout de donner des indications sur le phénomène de la détonation, complètement inconnu malgré les études faites à ce jour. Les moyens de pénétrer ce phénomène sont extrêmement limités et il faut bien se servir de ceux dont on dispose, même s'ils sont imparfaits.

Il est vraisemblable que le phénomène de la détonation qui met en jeu des températures élevées et pendant lequel se produisent des destructions d'édifices moléculaires complexes, avec libération possible d'atomes, d'ions et d'électrons, est une source de radiations qui intéressent toutes les régions du spectre. Avec un objectif ordinaire, la photographie peut enregistrer une partie des radiations comprise entre le 48^{me} octave (longueur d'onde de 1,07 μ) et la 50^{me} octave (longueur d'onde de 0,265 μ), c'est à dire une partie de la région des ondes calorifiques, lumineuses et chimiques.

C'est évidemment une région intéressante à explorer. Par l'emploi d'écrans appropriés on peut arriver à isoler successivement les diverses radiations et à les situer dans la flamme de l'explosif. Un objectif en quartz permettrait de tenter l'exploration de la région de l'ultra-violet et les radiations de cette région pourraient être isolées par l'emploi d'écrans choisis.

On ne peut pas prévoir les conséquences d'une telle étude et rien ne dit qu'elle ne conduirait pas à la découverte de radiations comprises dans la région peu connue qui s'étend au-delà de la 52^{me} octave (longueur d'onde de 0,066 μ).

Grâce à la photographie on peut songer également à appliquer à l'étude des explosifs, l'analyse spectrale qui a rendu de si éminents services en astronomie et qui sera peut-être le seul moyen de pénétrer le phénomène de la détonation et de mesurer les températures mises en jeu. Le programme est vaste, mais les résultats peuvent être des plus intéressants.

4. — Constatations faites par les tirs à air libre.

Comme il a été dit plus haut, les photographies ci-jointes correspondent à des charges tirées à l'air libre dans une chambre d'assez grandes dimensions, entièrement close.

Elles donnent lieu à d'intéressantes constatations.

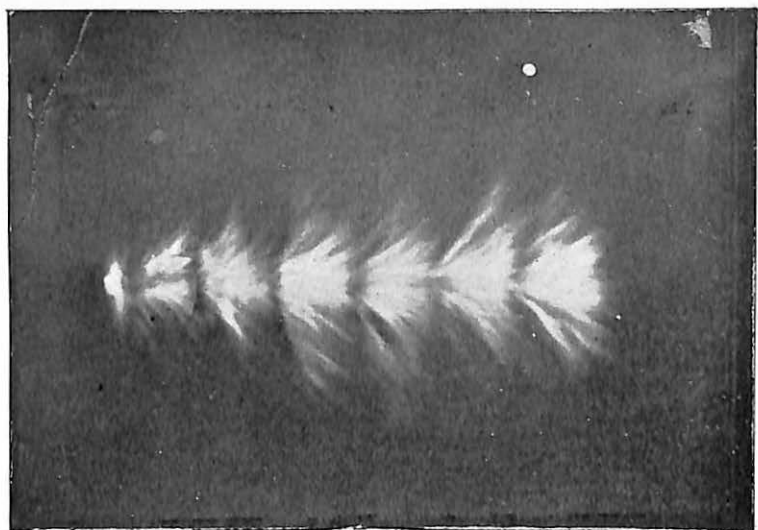
1° On remarque d'abord la structure discontinue de la flamme des explosifs, dont malheureusement les reproductions sur papier sensible ne donne pas une idée aussi nette que les clichés.

La flamme se compose d'un faisceau de dards enflammés qui s'échappent obliquement par rapport à l'axe de la charge comme si leur mouvement résultait d'une translation parallèle et d'une translation perpendiculaire à cet axe.



Phot. 7. — **Flammivore 4.**

400 grammes. — 4 cartouches de 30 m/m en une file.
Longueur de la charge 570 m/m — Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge.

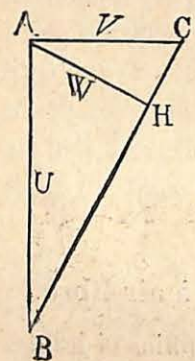


Phot. 8. — **Flammivore 4.**

600 grammes. — 6 cartouches de 30 m/m en une file.
Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge.

La direction de ces dards semble être perpendiculaire à la surface de l'onde de choc émise au passage de l'onde explosive. Si la cartouche est cylindrique, cette surface est un cône ayant le même axe que la charge.

« Lorsque la détonation se propage par tranches parallèles, disent Vennin et Chesneau (1), par exemple dans une cartouche cylindrique ou dans un cordeau détonant, la surface de l'onde de choc émise est un cône ayant le même axe que la charge explosive; en effet, en même temps que l'onde explosive avance, l'onde de choc s'étale perpendiculairement dans chaque tranche suivant un cercle de rayon croissant. Si $AB = U$ représente la vitesse de détonation et $AC = V$ la vitesse rayonnante moyenne de l'onde de choc, supposée constante sur le parcours considéré, la surface conique de l'onde a évidemment BC pour génératrice et la vitesse de propagation de cette surface, parallèlement à elle-même est représentée par la normale $AH = W$. Si on considère un point C assez éloigné du point A , on ne peut plus considérer la vitesse V comme constante à cause de l'amortissement des ondes non entretenues et par suite la surface conique s'incurve vers son axe. »

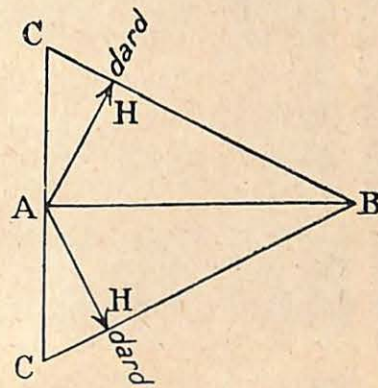


La normale AH à la surface de l'onde de choc donne évidemment la direction de la vitesse que le passage de l'onde de choc imprime au milieu ambiant. Les dards enflammés semblent avoir la même direction.

Cette structure discontinue de la flamme semble devoir être attribuée à ce que le comburant et le combustible ne

(1) I. VENNIN et G. CHESNEAU. — Les poudres et explosifs et les mesures de sécurité dans les mines de houille

sont pas uniformément répartis dans la masse en réaction. Même dans les explosifs qui ont une formule chimique définie, tels que la nitroglycérine ou les explosifs nitrés proprement dits, il n'est pas douteux que certains atomes



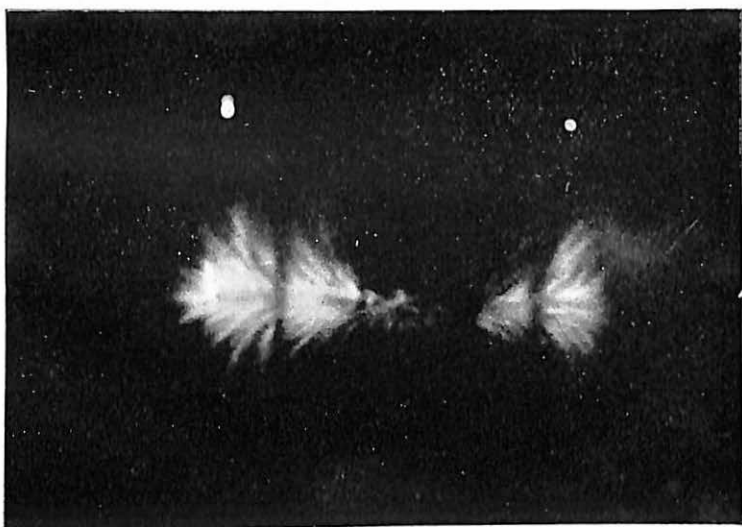
de Carbone ou d'Hydrogène sont plus voisins des atomes d'Oxygène que les autres et sont oxydés avant les autres. Il y a manifestement dans la masse en réaction des parties plus riches en Oxygène que les autres. La flamme de l'explosif ne peut donc pas avoir la structure continue qui résulterait d'une répartition tout à fait uniforme du comburant et du combustible. De là, la formation des dards.

Les produits de combustion qui correspondent aux dards enflammés que montrent les photographies, pénètrent vraisemblablement sous forme de dards dans le milieu ambiant. Il en résulte que les gaz de l'explosion ne refoulent pas simplement l'atmosphère ambiante, mais pénètrent dans cette dernière en de nombreux points, ce qui réalise un mélange rapide des gaz de l'explosion et des gaz de l'atmosphère ambiante. Le mécanisme d'inflammation de grisou exposé au début de cette note en découle.

Les dards enflammés peuvent toutefois allumer le grisou à leur premier contact avec le milieu grisouteux et avant tout mélange. Si, à raison de sa vitesse, le dard enflammé



Phot. 9. — **Flammivore 4.**
600 grammes. — En une cartouche unique de 30 m/m sans paraffine.
Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge.



Phot. 10. — **Flammivore 4.**
500 grammes. — 5 cartouches de 30 m/m en une file.
Détonateur planté verticalement au milieu de la 3^e cartouche.
Objectif à 3 mètres de la charge.

conserve longtemps son individualité en pénétrant dans le milieu grisouteux et si, en même temps, il reste en état de réaction vive qui entretient sa haute température, le grisou a toutes chances d'être allumé. Si, par contre, il perd rapidement son individualité par mélange avec le milieu ambiant et si sa période de réaction vive est de très courte durée, le danger d'inflammation du grisou et de propagation de l'inflammation dépendra principalement de la composition du mélange formé et de la température de ce mélange.

2° Un autre fait qui est mis en évidence par les photographies de flamme ci-jointes, c'est l'absence de flamme à l'arrière de la charge, c'est-à-dire à l'arrière de l'extrémité de la charge ou se trouve le détonateur.

On n'obtient aucune flamme à l'arrière si on prend la précaution de n'enfoncer dans la charge que la partie du détonateur qui contient le fulminate. Si on enfonce complètement le détonateur, c'est-à-dire si on enfonce également dans la charge la partie du détonateur qui contient l'inflammateur, une partie de la charge détone vers l'arrière.

3° Les photographies mettent en évidence un autre fait qui n'est pas dépourvu d'intérêt : c'est le transport de la charge vers l'avant pendant la détonation.

Sur la plupart des photographies on aperçoit deux repères lumineux qui indiquent la position des extrémités de la charge avant le tir et dont l'écartement sert d'échelle métrique. Ils permettent de constater que la charge se déplace toujours vers l'avant pendant la détonation. Ce déplacement est de l'ordre de $1/6$ de la longueur de la charge et n'est donc pas négligeable. Il se fait avec une vitesse qui dépasse celle de l'onde explosive ou tout au moins avant que les phénomènes qu'enregistre la photographie, ne se soient produits. Dans les tirs de six car-

touches, par exemple, il est manifeste que la sixième cartouche n'explose ou tout au moins ne donne lieu aux phénomènes lumineux enregistrés, qu'après son déplacement.

Ce déplacement de la charge vers l'avant peut être intéressant à considérer au point de vue de la formation des culots et au point de vue de la déflagration fusante. Ce déplacement vers l'avant doit avoir pour effet de comprimer les cartouches dans le fond du fourneau de mine, ce qui peut nuire à la détonation ou même l'empêcher si cette compression est trop forte.

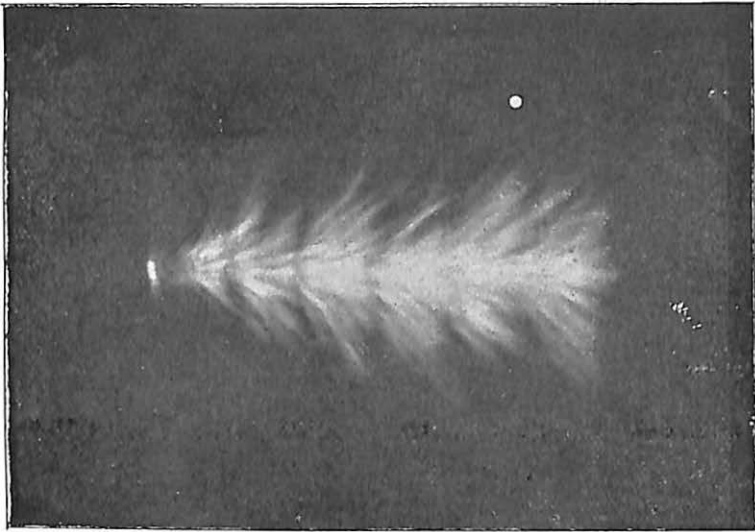
On sait d'autre part qu'en règle générale la roche est plus énergiquement broyée dans le fond d'un fourneau de mine qu'à l'endroit où se trouvent les premières cartouches. Ce fait pourrait s'expliquer par une augmentation de la densité de chargement résultant du déplacement de la charge vers l'avant. Il pourrait également s'expliquer par le fait que les gaz de l'explosion sont projetés vers l'avant, ce que les photographies montrent aussi.

4° Les photographies montrent encore qu'il y a discontinuité dans le phénomène explosif au passage d'une cartouche à l'autre. On peut compter sur la photographie le nombre de cartouches dont se composait la charge.

5° Les photographies montrent également que toutes les cartouches de la charge ne détonent pas de la même manière.

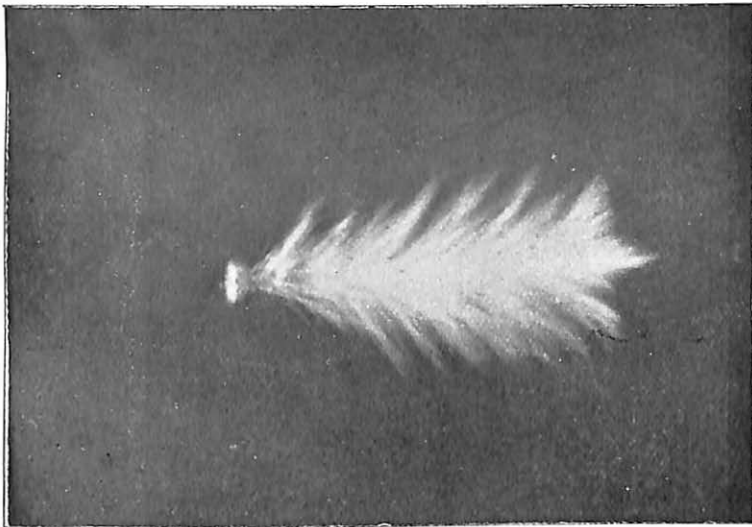
Certaines différences proviennent simplement de légères différences dans le tassement ou l'état physique de l'explosif. Si on tasse plus fortement l'explosif dans une des cartouches, la photographie de la flamme l'indique.

Certaines différences toutefois sont systématiques. C'est ainsi que la première cartouche de la charge, c'est-à-dire celle dans laquelle se trouve le détonateur, détone toujours autrement que les autres, et cette différence est surtout



Phot. 11. — Alisite.

600 grammes. — 6 cartouches de 30 m/m en une file.
Longueur de la charge 770 m/m. — Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge.



Phot. 12. — Alisite.

600 grammes. — En une cartouche unique sans paraffine.
Longueur de la charge 670 m/m. — Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge.

marquée sur la première moitié de sa longueur. L'influence du détonateur se fait encore sentir sur la deuxième cartouche qui a encore un régime de détonation différent de celui des cartouches suivantes.

A noter qu'il n'est nullement démontré que la cartouche amorcée détone plus complètement que les autres. On le croit généralement mais c'est une pure hypothèse.

Tout ce qu'on peut dire c'est que les réactions à l'endroit du détonateur ne sont pas les mêmes que plus loin.

Cette constatation enlève une grande partie de leur signification aux essais faits par Audibert pour déterminer si un explosif est sur-oxydé ou non (1). Ces essais en effet, ont été faits sur des quantités d'explosif de 10 à 25 grammes, dans lesquelles il y a à peine place pour loger le détonateur. Toute la charge est sous l'influence immédiate de ce dernier. M. Audibert a déduit notamment de ces essais que le Nitrate de Sodium, dans l'explosif essayé, se comporte comme matière inerte, ce qui est assez inattendu. On pourrait tout aussi bien conclure que les réactions sont remarquablement incomplètes à l'endroit du détonateur. Il convient en outre de faire observer que pour d'aussi faibles charges dont l'explosion ne développe que quelques calories, l'action refroidissante des parois de la cavité dans laquelle se fait le tir, peut avoir une influence prépondérante sur la marche des réactions.

6° Les photographies montrent d'une manière saisissante, l'influence de la paraffine des enveloppes sur la longueur des dards enflammés, ainsi que la nécessité, qui en découle, de supprimer le paraffinage des cartouches pour les explosifs de sûreté.

C'est ce qui a été réalisé dans le type de cartouche de sûreté décrit plus haut.

(1) E. AUDIBERT. — Etude de la Flammocite. *Annales des Mines de France*. XII^e série. Tome II, 12^e livraison.

La nécessité de supprimer le paraffinage des cartouches résultait déjà des travaux de Watteyne et Stassart et des travaux de Taffanel.

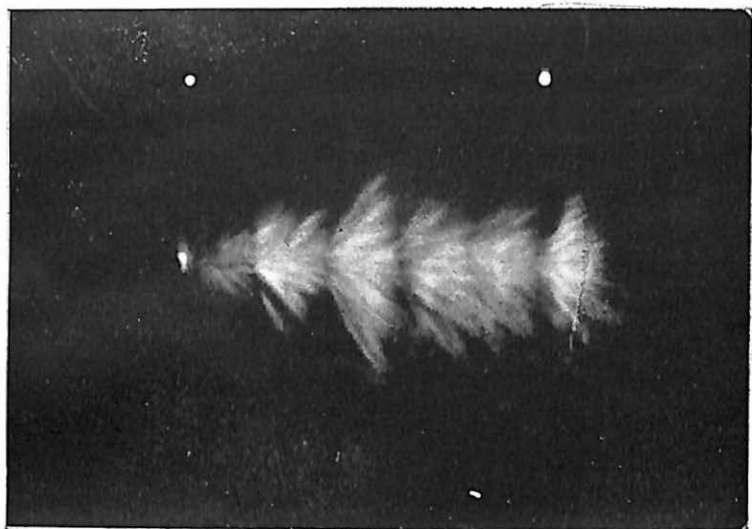
7° Les photographies montrent également des phénomènes d'interprétation difficile dans l'état actuel de nos connaissances. Telles ces flammes cylindriques brillantes ayant le diamètre de la cartouche qu'on observe, dans certains tirs, aux extrémités de la charge et parfois aussi en des points intermédiaires.

A noter aussi les points brillants lumineux dispersés sur tout le cliché qu'on observe sur certaines photographies et spécialement sur la photographie n° 1.

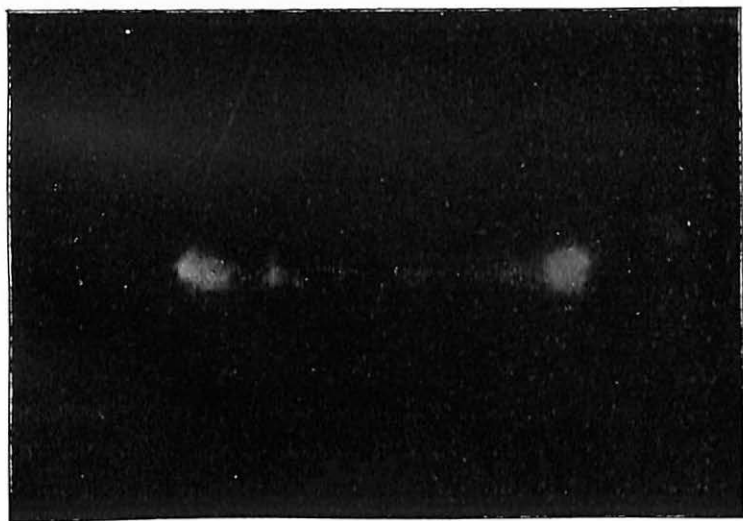
Température de détonation.

La structure rayonnée de la flamme des explosifs attire l'attention sur l'importance à donner, au point de vue de la sécurité, à ce qu'on appelle la température de détonation des explosifs, c'est-à-dire la température calculée d'après l'équation théorique de la détonation.

Il semble bien certain que la température de détonation théorique ne répond à aucune réalité, tout au moins pour les explosifs connus à ce jour. La réaction explosive en effet semble extrêmement variable avec les circonstances du tir et elle n'est jamais complète, même en mine bourrée, car il semble évident que la roche doit toujours céder avant l'achèvement des réactions. D'autre part l'état d'équilibre que l'on peut constater par l'analyse d'échantillons de gaz refroidis, ne répond certainement pas à l'état d'équilibre à haute pression et à haute température. Enfin la structure rayonnée de la flamme permet de croire que la température n'est pas uniforme à tout instant dans toute la masse en réaction. Il y a vraisemblablement des parties plus chaudes les unes que les autres correspondant à des



Phot. 13. — **Nitrobaelenite.**
600 grammes. — 6 cartouches en une file.
Longueur de la charge 750 m/m. — Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge.



Phot. 14. — **Nitrobaelenite.**
600 grammes. — En une cartouche unique sans paraffine.
Longueur de la charge 800 m/m. — Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge.

parties plus ou moins riches en comburants ou en combustibles.

Il semble donc qu'il n'y a pas lieu d'attacher d'importance à la température de détonation théorique au point de vue de l'inflammation du grisou.

Inflammation du grisou par les lampes de sûreté.

Les essais des lampes de sûreté dans les courants d'air grisouteux mettent également en évidence des phénomènes intéressants au point de vue des conditions dans lesquelles s'allume le grisou.

1° Nous avons eu l'occasion de constater dans un courant montant de grande vitesse, une sortie de flamme en forme de dard par une fente de verre sans que le feu soit communiqué au grisou.

Le contact entre le dard et le milieu grisouteux animé d'une grande vitesse était vraisemblablement de trop courte durée.

Il semble donc qu'une flamme de très courte durée puisse être mise en contact avec un mélange grisouteux sans allumer celui-ci, ce qui résulte d'ailleurs du fait que les flammes des explosifs n'allument pas toujours le grisou.

2° Nous avons publié en 1913 une étude sur les températures atteintes par les tamis des lampes de sûreté en milieu grisouteux (1). Il résulte de cette étude que pour des teneurs en grisou comprises entre 6,5 et 9,5 %, les températures que peuvent prendre les tamis, sans que le feu soit communiqué à l'atmosphère extérieure, sont comprises entre 800 et 1200°.

Dans un courant d'air grisouteux de vitesse donnée, la température du tamis augmente avec la teneur en méthane.

(1) E. LEMAIRE. — Températures atteintes par les tamis des lampes de sûreté en milieu grisouteux. *Annales des Mines de Belgique*, t. XVIII, 1^{re} livraison.



Pour des teneurs de 6,5 % le tamis laisse passer la flamme pour des températures plus basses que pour les teneurs plus élevées.

Ces faits établissent une relation manifeste entre la vitesse des réactions à l'intérieur du tamis et les sorties de flammes hors des tamis dont il est question ci-dessous.

3° On observe très fréquemment que des flammes sortent du tamis extérieur et parfois même sur toute la hauteur du tamis, du côté opposé à l'arrivée du courant, sans allumer le mélange grisouteux qui circule autour de la lampe.

Ces sorties de flammes ont également été observées par Chesneau (1). A Frameries elles ont même été observées avec certaines lampes cuirassées, mais dans ce cas elles se font par le sommet des tamis.

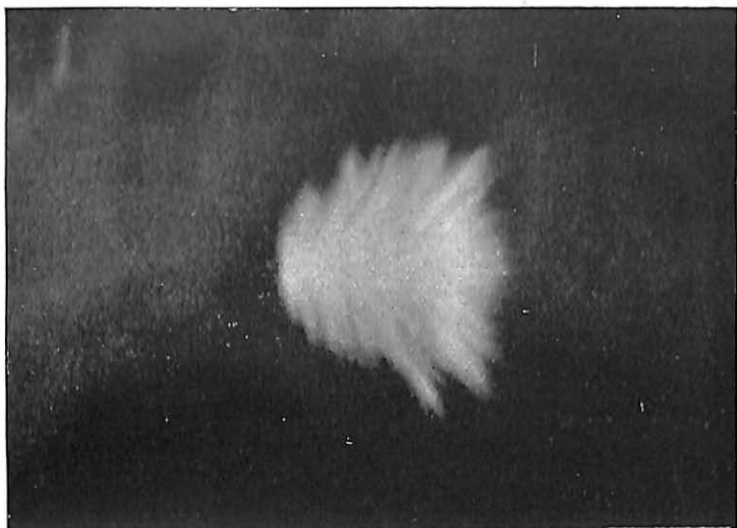
Ces flammes sont manifestement dues à des réactions qui s'achèvent dans les gaz chauds à l'extérieur des tamis.

Si la combustion du mélange grisouteux n'est pas complète à l'intérieur du tamis et n'est pas achevée au moment où les gaz chauds franchissent la toile, elle doit continuer et s'achever à l'extérieur de celle-ci, car il n'y a aucune raison que cette combustion s'arrête au passage d'un tamis porté à des températures de 800 à 1200°.

On peut donc considérer que dans un grand nombre de cas, ce sont des gaz en état de réactions finissantes qui franchissent la toile à la sortie et ces fins de réactions peuvent être plus ou moins dangereuses suivant leur degré de vivacité.

La vitesse des réactions à l'intérieur du tamis dépend de la teneur en méthane. Les réactions peuvent être plus rapidement terminées dans un mélange à 9,5 % de méthane que dans un mélange à 6,5 %. Des gaz chauds qui sortent

(1) G. CHESNEAU. — Examen d'une lampe ayant produit l'accident du 1^{er} mars 1921 aux Houillères de Petite Rosselle. *Annales des Mines de France*, livr. de juin 1922.



Phot. 15. — **Sabulite B.**

300 grammes. — 3 cartouches de 30 m/m en une file.
Longueur de la charge 365 m/m. — Détonateur à gauche.



Phot. 16. — **Yonckite 10 bis.**

400 grammes. — 4 cartouches en une file.
Longueur de la charge 410 m/m. — Détonateur à gauche.

d'un tamis porté à une température voisine de 1200° pourront ne pas allumer le grisou parce qu'ils sont en état de réactions terminées, alors que des gaz sortant d'un tamis porté à une température voisine de 800° pourront l'allumer parce qu'ils sont en état de réactions plus vives.

Comme pour les explosifs le danger des gaz chauds dépendra de leur température, de leur état de réaction plus ou moins avancées, de leur vitesse relative par rapport aux gaz froids, de la rapidité avec laquelle ils se mêlent aux gaz froids à raison des remous que la présence de la lampe crée dans la galerie, des limites d'inflammabilité et des températures d'inflammation des mélanges formés, ainsi que de la température de ces mélanges.

CONCLUSION

Tout un programme d'étude résulte des considérations qui ont été exposées ci-dessus.

Il consiste en principe à déterminer les conditions d'inflammation des mélanges grisouteux homogènes et non homogènes par les gaz chauds dans lesquels les réactions sont terminées et par les gaz chauds dans lesquels les réactions sont plus ou moins avancées.

Ces gaz chauds pourraient être lancés dans le milieu grisouteux en jets isolés ou en jets multiples et brassés ou non avec l'air grisouteux dès leur introduction.

On pourrait donc lancer dans le mélange grisouteux, avec ou sans brassage :

1° des gaz incombustibles à haute température composés d'acide carbonique, de vapeurs d'eau et d'azote ou des mélanges de ces différents gaz ;

2° des gaz combustibles, à haute température, tels que l'hydrogène et l'oxyde de carbone ou des mélanges de ces gaz ;

3° des jets de gaz enflammés à vitesse plus ou moins grande et de durée variable ;

4° des jets de gaz enflammés à divers stades de combustion réglés par passage préalable à travers des toiles métalliques à mailles plus ou moins serrées.

Les limites d'inflammabilité et les températures d'inflammation des mélanges d'air grisouteux et de produits de combustion complète ou incomplète devraient également faire l'objet d'études spéciales.

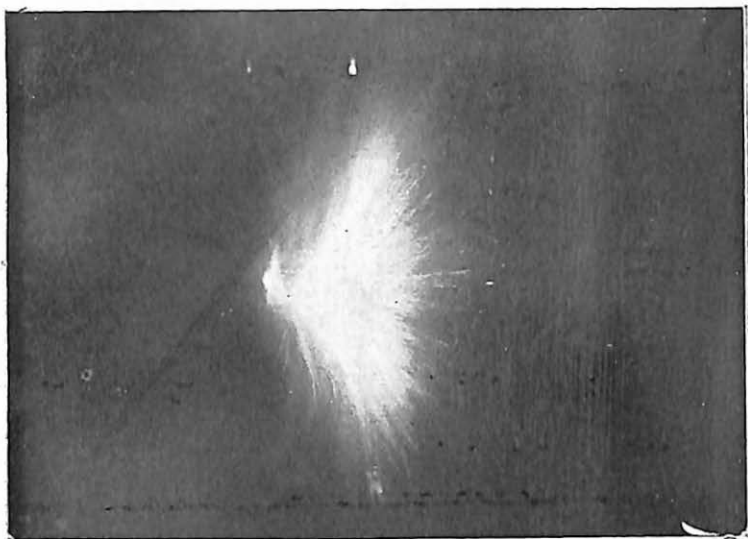
L'état d'équilibre des gaz chauds introduits dans les mélanges grisouteux devrait être déterminé en prélevant, par exemple, dans une conduite branchée sur la conduite d'amenée de ces gaz, des échantillons que l'on refroidirait brusquement, pour éviter des modifications de l'état d'équilibre.

Ces études pourraient donner d'utiles indications sur les conditions d'inflammation du grisou par les lampes et les explosifs ainsi que sur les possibilités d'arriver à l'explosif de sûreté.

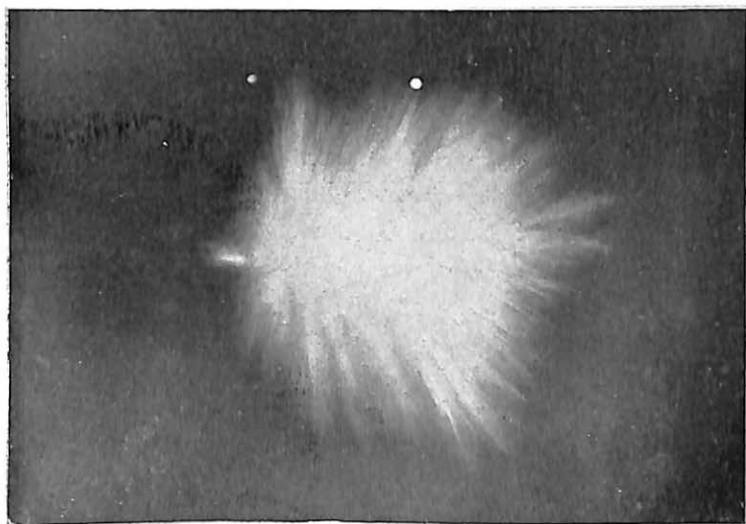
En attendant les explosifs de sécurité doivent simplement être considérés comme des explosifs moins dangereux que d'autres. Leurs défaillances, dans certains, ne peuvent cependant pas faire perdre de vue les services qu'ils ont pu rendre en d'autres circonstances.

Leur emploi ne dispense pas des mesures de sécurité extérieures à l'explosif et qui sont : une ventilation active et efficace, des boutefeux avertis et soigneux, le bourrage ordinaire, le bourrage extérieur et la gaine de sûreté. Ce dernier moyen, sous sa forme actuelle qui rend l'explosif inutilisable quand on retire la gaine, semble présenter le maximum de garantie.

Frameries, janvier 1924.



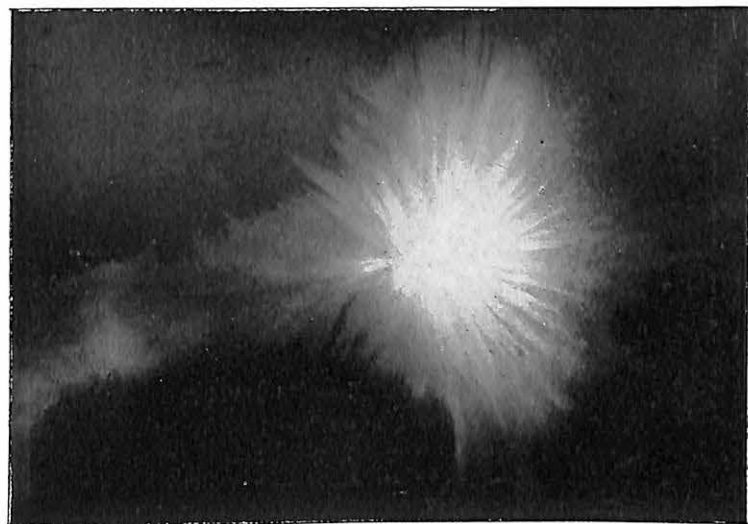
Phot. 17. — Dynamite n° 1.
200 grammes. — 2 cartouches de 30 m/m. — Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge



Phot. 18. — Dynamite n° 1.
300 grammes. — 3 cartouches en une file.
Longueur de la charge 350 m/m. — Détonateur à gauche.
Objectif à 3 mètres de la charge.



Phot. 19. — Dynamite n° 1.
200 grammes. — 2 cartouches en une file.
Détonateur à gauche, trop engagé.
Flammes secondaires.



Phot. 20. — Dynamite n° 1.
200 grammes. — 2 cartouches en une file.
Détonateur à gauche, trop engagé.
Flammes secondaires.