

Dans l'idée des chercheurs, d'ailleurs, leur emploi peut être envisagé comme addition générale à l'air de ventilation — à moins de trouver une matière extrêmement énergique et très peu coûteuse, cette solution semble encore du domaine de l'utopie — ou comme addition localisée à certains endroits dangereux, tels que les ampoules de lampes électriques, les coups de mine (l'inhibitor pourrait être un bourrage spécial par exemple), les endroits où le havage crée dans certains terrains des échauffements dangereux, etc.

Disons, en passant, que la gaine de sûreté Lemaire est, en fait, un inhibitor réalisé avant l'introduction du mot.

TRAVAUX DU S. M. R. B.

Nous allons passer en revue quelques-unes des substances étudiées à ce jour par le S. M. R. B.

Iode.

De multiples essais ont été effectués dans le but de mettre en évidence l'effet de traces de vapeurs d'iode sur la température d'inflammation du CH_4 . Ces essais ont été effectués dans un four tubulaire vertical, à parois intérieures en silice, d'environ 6 centimètres de diamètre et de 70 centimètres de longueur. Le four est chauffé électriquement et convenablement calorifugé. Pour introduire la substance inhibitrice dans le four, préalablement chauffé à une température déterminée, on sature par barbotage une fraction dosée du volume d'air nécessaire à l'aide de vapeurs de la substance inhibitrice, en évitant toute condensation.

Du CH_4 pur est, d'autre part, amené par une canalisation spéciale. Les canalisations d'air saturé de vapeurs de substance inhibitrice, du CH_4 et de l'air de combustion se rejoignent à la base du four et se raccordent à un tube en silice qui pénètre à l'intérieur du four par une ouverture centrale pratiquée dans le fond, et se termine au centre de la chambre de combustion.

Le dosage exact de la substance inhibitrice dans le mélange final peut se faire par analyse directe, ou par calcul, en tenant compte des tensions de vapeurs et des volumes des gaz.

La mise au point de ces essais est assez délicate. La fraction

d'air à saturer passe au contact de l'iode maintenu à 0° dans un récipient refroidi. On peut, en agissant sur la température et la vitesse du courant gazeux, faire varier la quantité d'iode introduite dans le four.

Il résulte des essais qu'en augmentant progressivement la teneur en iode d'un mélange grisouteux, la température d'inflammation de ce dernier augmente graduellement jusqu'à obtention d'une limite, à partir de laquelle elle diminue de nouveau. La courbe représentative de ces phénomènes passe par un maximum. Les parois intérieures du four, en silice, ne semblent exercer aucune action catalytique de « surface » en présence de vapeurs d'iode dans l'air par suite d'un phénomène de condensation sur les parois.

Lorsque le CH_4 pénètre dans l'air chargé d'iode à une température légèrement inférieure à son point d'inflammation, il se dessine une luminescence jaune-or bien marquée autour de l'orifice de dégagement de la tuyère, indice d'une certaine combustion incomplète.

Dans les essais, la teneur en CH_4 du mélange final, dans le four, est de 8 %. On n'a pas enregistré des retards à l'inflammation supérieurs à 2 secondes, et ces derniers, dans certains cas de concentrations en iode relativement élevées, demanderaient confirmation.

L'élévation de la température d'inflammation des gaz combustibles, par l'iode, semble être générale, quoique très différente d'un gaz à un autre. La température d'inflammation du CH_4 passe de 732 à 803°C pour 0 à 0,05 % (voir fig. 1).

Les essais ont porté sur du CH_4 , C_2H_2 , H_2 et CO . C'est le CO qui est le plus sensible aux vapeurs d'iode; H_2 et CH_4 sont intermédiaires, tandis que C_2H_2 est à peine influencé.

Certains composés d'iode, comme l'iodoforme, l'iodure d'éthyle et d'autres, peuvent encore exercer une action similaire à l'iode sur la température d'inflammation du CH_4 . Remarquons que ces composés n'agissent en ordre principal que par leur I^2 .

Le N_2O^4 (peroxyde d'azote) exerce un effet contraire à l'iode sur la température d'inflammation : il la diminue. Tandis qu'une faible addition de vapeurs d'iode (correspondant par exemple à une saturation de la fraction d'air à 20°C) exerce à peu près la même action inhibitrice, en augmentant la tempé-

rature d'inflammation du CH_4 , qu'une quantité plus importante d'iode (par exemple la fraction d'air saturée à 50°C), nous remarquons qu'en présence de 1 % de peroxyde d'azote, l'action des fortes teneurs en iode est exaltée.

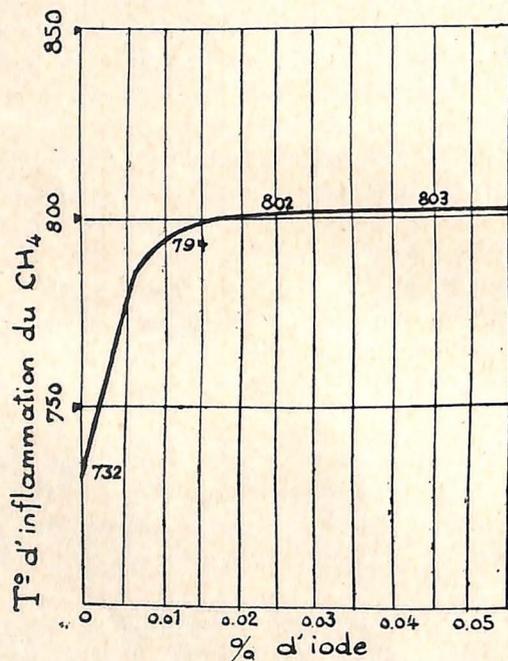


Fig. 1. — Influence de l'iode sur la température d'inflammation du méthane.

Iodure d'éthyle.

On a étudié l'action inhibitrice de l'iodure d'éthyle sur la température d'inflammation du CH_4 dans le four tubulaire concentrique.

La température d'inflammation du CH_4 passe de 732 à 832°C environ pour 0 à 0,028 % de $\text{C}_2\text{H}_5\text{I}$ (voir fig. 2).

Il semblerait cependant que l'accroissement maximum de la température d'inflammation pourrait être obtenu par une quantité de $\text{C}_2\text{H}_5\text{I}$ plus faible que 0,025 %.

Brome et composés bromés.

Le brome exerce également une certaine action inhibitrice, qu'il soit ajouté tel quel ou sous forme de composés. L'action inhibitrice du brome et de ses composés a été étudiée sur des mélanges d'air et de CH_4 et de CO . Remarquons encore que les composés de brome n'agissent que par leur Br^2 .

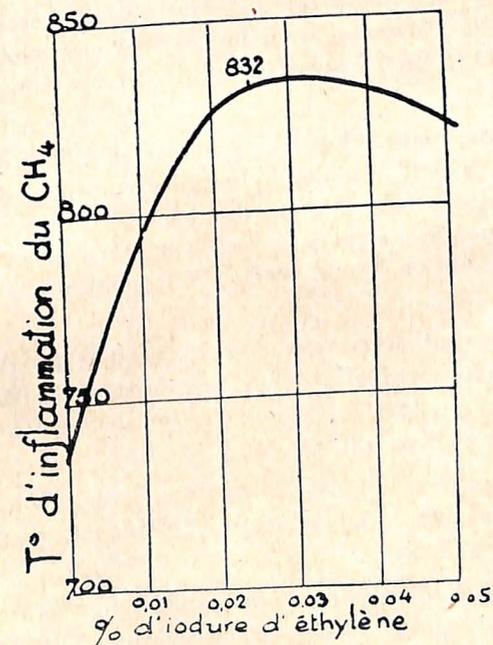


Fig. 2. — Influence de l'iodure d'éthyle sur le point d'inflammation du méthane.

Bromure d'éthylène.

La fraction d'air servant à l'introduction de la substance inhibitrice a été saturée de vapeurs de $\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$ et introduite ensuite dans le four. Les essais montrent que le bromure d'éthylène augmente notablement la température d'inflammation du CH_4 et du CO dans l'air. Le brome ne neutralise pas l'action catalytique de « surface » comme l'iode. La température d'inflammation du CH_4 passe de 732 à 838°C pour 0 à 0,3 % de bromure d'éthylène.

Le bromure d'éthylène n'augmente pas le retard à l'inflammation.

Substance inhibitrice mixte.

Mélange d'iode et de bromure d'éthylène.

Les températures maxima d'inflammation de mélanges grisouteux contenant de faibles quantités d'iode et de $C^2H^4Br^2$ sont respectivement de 803° et 838° . On sature des fractions exactement dosées du courant d'air à l'aide d'un mélange de vapeurs de I^2 et de $C^2H^4Br^2$, l'air étant porté à une température déterminée.

Si on suppose, dans ces essais, la teneur en $C^2H^4Br^2$ constante et égale à 0,3-0,4 % (teneur optimum), pour laquelle la température d'inflammation est pratiquement constante et égale à 838° , et si on fait croître progressivement la teneur en I^2 , on trouve que l'addition d'iode abaisse la température d'inflammation.

Un accroissement de la teneur en I^2 , de 0,01 à 0,03 %, provoque une chute graduelle de la température d'inflammation, de 834 à 829° , montrant ainsi que l'action de substances inhibitrices mixtes n'est pas additive.

De faibles traces d' I^2 (jusqu'à concurrence de 0,005 %) n'ont aucune influence sur la température d'inflammation en présence de 0,37 % de $C^2H^4Br^2$.

Des retards à l'inflammation plus considérables que ceux obtenus avec de petites quantités d'iode seules, ont cependant été enregistrés. Dans aucun mélange grisouteux renfermant I^2 et $C^2H^4Br^2$ ensemble, la température d'inflammation du CH^4 n'a dépassé $838^\circ C$.

Bromure d'isoamyle.

Une série d'essais ont été effectués par le S. M. R. B. dans le but de déterminer l'influence de vapeurs de bromure d'isoamyle sur la température d'inflammation du CH^4 . Les vapeurs de bromure d'isoamyle sont introduites à des doses déterminées dans le four, en saturant une fraction donnée du courant d'air total avant son admission dans le four.

Le bromure d'isoamyle est contenu dans un récipient qu'on peut porter à une température convenable. Les vapeurs dégagées sont entraînées par le courant d'air partiel qu'elles saturent avant son entrée dans le four. Le bromure d'isoamyle a des propriétés inhibitrices d'inflammation supérieures à celles du $C^2H^4Br^2$ ou de I^2 , mais il doit être mis en œuvre à des doses relativement plus élevées (voir fig. 3).

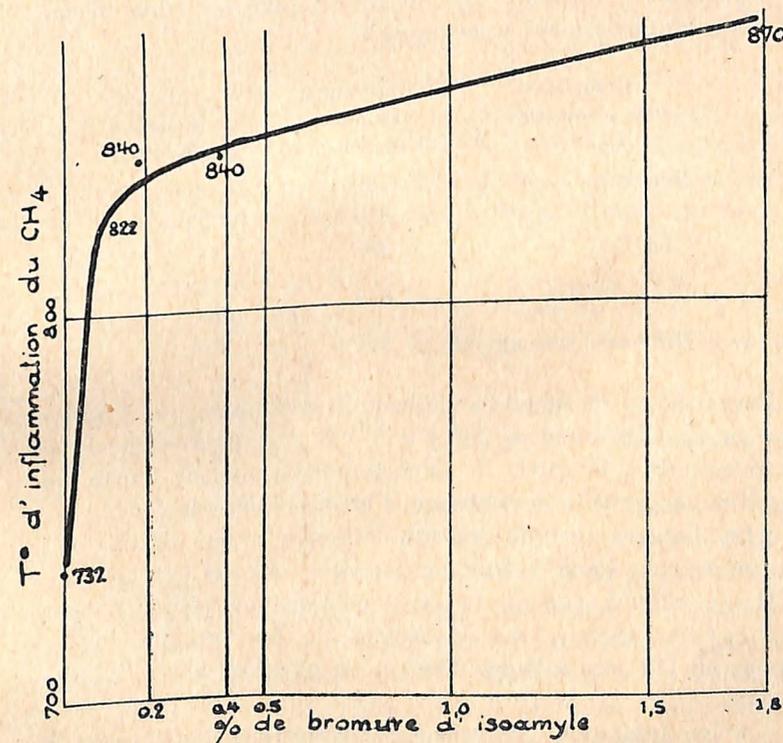


Fig. 3. — Influence du bromure d'isoamyle sur la température d'inflammation du méthane.

De petites quantités de bromure d'isoamyle augmentent rapidement la température d'inflammation de 732 à $840^\circ C$, après quoi cette action devient plus progressive.

Pour des teneurs en bromure d'isoamyle plus fortes, nous avons une augmentation plus graduelle de la température d'inflammation. Pour une teneur de 1,8 %, la température d'inflammation devient $870^\circ C$.

Il est possible que les composés bromés des hydrocarbures supérieurs soient susceptibles d'augmenter encore davantage la température d'inflammation du CH^4 , mais il ne faudrait certes pas s'attendre à une action notable.

Ci-dessous un tableau groupant, pour les principales substances inhibitrices étudiées jusqu'ici, la température maximum d'inflammation obtenue, avec le pourcentage optimum de substances inhibitrices qui y correspond :

| Désignation de la substance inhibitrice | Température maximum d'inflammation obtenue | % optimum de la substance inhibitrice |
|--|--|---|
| Néant | 732 | — |
| I^2 | 803 | 0,035 |
| $\text{C}^2\text{H}^4\text{Br}^2$ | 838 | 0,37 |
| $\text{I}^2 + \text{C}^2\text{H}^4\text{Br}^2$ | 838 | 0,15 I^2 0,08 $\text{C}^2\text{H}^4\text{Br}^2$ |
| Bromure d'isoamyle. > | 870 | |

Pour 1,98 % de bromure d'isoamyle, la température d'inflammation du CH^4 passe de 950 à 1000° C. On observe une légère luminescence à la sortie de la tuyère d'admission, due à une combustion partielle du bromure d'isoamyle dans le four.

Afin d'opérer avec du bromure d'isoamyle bien défini, on a utilisé pour ces essais la fraction bouillant entre 119 et 121° C.

Il est entendu que les résultats obtenus sont fonction, dans une certaine mesure, des dimensions du four employé, de la teneur en CH^4 du mélange final et de quelques autres facteurs encore.

L'action inhibitrice du bromure d'isoamyle est différente de celle des autres substances inhibitrices mises en œuvre. Pour des concentrations relativement élevées, une température maximum d'inflammation n'a pas été obtenue. Pour des teneurs en bromure d'isoamyle supérieures à 1,9-2,0 %, l'accroissement de la température d'inflammation pourrait être provoquée par la combustion d'une partie du bromure d'isoamyle lui-même, diminuant d'autant la quantité d'oxygène disponible.

Lorsqu'on introduit le bromure d'isoamyle dans le courant de CH^4 , en faisant passer ce gaz au-dessus du bromure d'isoamyle liquide contenu dans un récipient immergé dans un bain d'huile

chauffé électriquement à la température appropriée, on trouve que l'effet produit sur les températures d'inflammation est comparativement plus petit.

La température d'inflammation augmente progressivement avec la concentration du mélange grisouteux en bromure d'isoamyle. On observe une température maximum d'inflammation de 760° environ, pour du CH^4 renfermant 4 % de bromure d'isoamyle. Un accroissement subséquent de la teneur en bromure d'isoamyle, jusqu'à concurrence de 7,65 %, entraîne une diminution de la température d'inflammation allant jusqu'à 740° C.

Il semblerait que la combustion du bromure d'isoamyle, avec réduction subséquente de la teneur en O^2 , permette d'expliquer, au moins partiellement, les températures d'inflammation relativement élevées, observées avec les fortes teneurs en bromure d'isoamyle.

Pour vérifier ce point, on a fait passer de l'air contenant 1,5 % de bromure d'isoamyle, à la vitesse de régime, à travers le four chauffé à 900°, et on a prélevé des échantillons en plusieurs points à l'intérieur.

L'échantillon prélevé au centre renfermait 5,4 % de CO^2 et la teneur en O^2 était tombée à 9,2 %, preuve d'une notable combustion de bromure d'isoamyle.

Une série d'essais ont été effectués en vue de la détermination de la température d'inflammation du CH^4 dans une atmosphère déficiente en oxygène (renfermant moins de 20,9 % d' O^2).

Les résultats montrent que pour une teneur décroissante en O^2 de 20,9 à 15 %, la température d'inflammation augmente de 732 à 755° C. A une teneur en O^2 encore plus faible, correspond une augmentation plus rapide de la température d'inflammation jusqu'à obtenir 808° C, lorsque la teneur en oxygène de l'air de combustion tombe à 7 %. Notons que les atmosphères pauvres en O^2 donnent également lieu à la production de fumées et d'autres phénomènes, en présence de fortes proportions de bromure d'isoamyle.

Il apparaît comme probable que l'augmentation de la température d'inflammation du mélange grisouteux contenant plus de 0,5 % de bromure d'isoamyle n'est pas due à une action inhibitrice vraie, mais plutôt à une déficience progressive de la teneur en O^2 .

Bromobenzène.

L'effet de ce composé est similaire à celui des autres bromures organiques. Comme les autres, il n'intervient que par Br^2 principalement. La température d'inflammation du mélange grisou augmente de 732°C (en l'absence de bromobenzène) à 819°C pour 0,1 % de bromobenzène. Une teneur de 0,2 % de bromobenzène donne 829°C ; de 0,2 à 1,5 %, l'accroissement de la température d'inflammation est plus progressif.

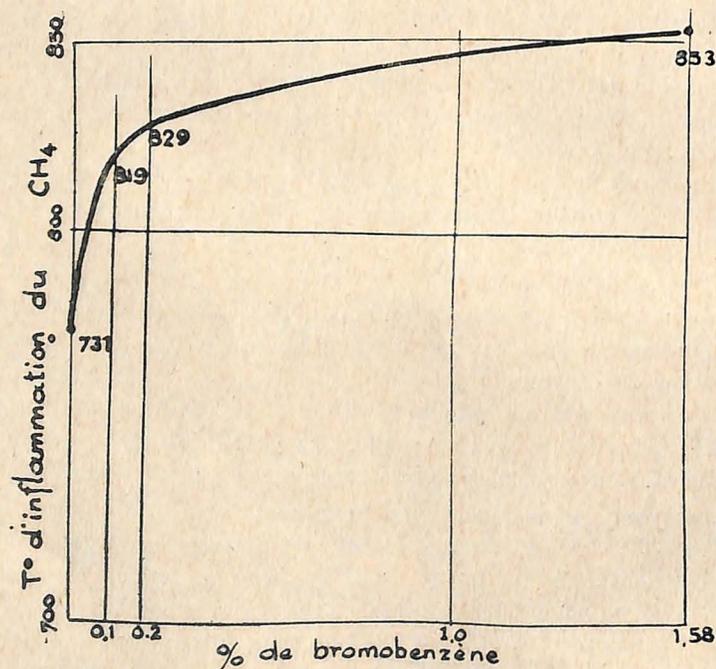


Fig. 4. — Influence du bromobenzène sur le point d'inflammation du méthane.

Pour 1,58 % (la plus forte teneur en bromobenzène essayée), la température d'inflammation est de 853°C (voir fig. 4).

L'augmentation de la température d'inflammation pour des mélanges à plus de 0,4-0,5 % de bromobenzène, peut être due à une réduction d' O^2 par suite d'une combustion partielle du bromobenzène.

Oxychlorure de phosphore (1).

Une série d'essais ont été effectués en vue de déterminer l'effet du POCl^3 sur la température d'inflammation du CH_4 .

Pour une teneur en POCl^3 de 0 à 0,6 %, la température d'inflammation croît proportionnellement à la teneur en POCl^3 , de 732 à 763°C (voir fig. 5).

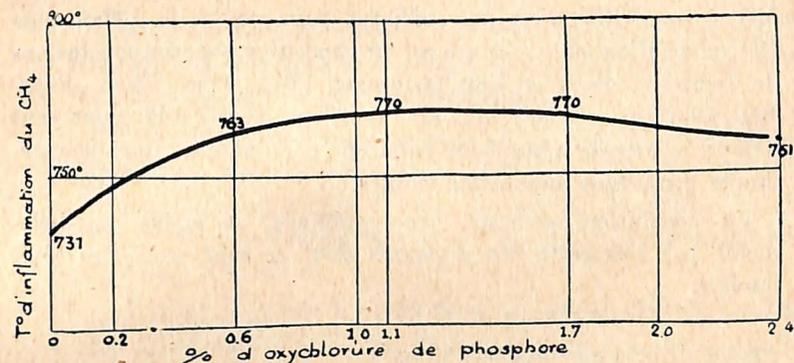


Fig. 5. — Influence de l'oxychlorure de phosphore sur la température d'inflammation du grisou.

Pour des concentrations en POCl^3 plus élevées, l'accroissement de la température d'inflammation est plus lente, pour arriver à une température maximum de 770°C , correspondant à des teneurs de 1,1 à 1,7 % de POCl^3 . Puis la température d'inflammation tombe graduellement jusqu'à 761°C , pour 2,4 % de POCl^3 , qui constitue le maximum essayé.

Pour les concentrations optima en POCl^3 (1,2 à 1,6 %), la température d'inflammation n'est augmentée que de 39°C , tandis que des accroissements de 72°C et de plus de 100°C sont obtenus avec les quantités optima respectivement de I^2 et de bromures organiques. Ces derniers apparaissent donc comme les plus efficaces.

En manœuvrant convenablement, il est possible d'opérer avec des concentrations en POCl^3 , jusqu'à concurrence de 4 %, sans pertes par condensations.

(1) Il s'agit de recherches théoriques, abstraction faite de la toxicité de divers corps essayés. Cette remarque s'applique à plusieurs d'entre eux.

Le S. M. R. B. a trouvé que pour une teneur en CH^4 de 9,97 à 9,6 %, et une teneur en POCl^3 de 0 à 3,9 %, la vitesse de propagation de flamme vers le haut diminuait de 92,5 à 31 cm./seconde.

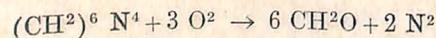
On voit donc que, quoique l'addition de POCl^3 réduise considérablement la vitesse de propagation, notamment jusqu'à l'obtention de valeurs comparables à celles des mélanges limites, 3,9 % de POCl^3 n'est pas suffisant pour rendre le mélange de CH^4 non inflammable; ce qui est en opposition avec les conclusions de Jorrißen, Booy et Van Heiningen (Rec. Trav. Chim. Pays-Bas, 1932, 51, p. 868), qui affirment que moins d'un pour cent d'oxychlorure de phosphore suffirait pour rendre tous les mélanges grisouteux non-inflammables.

La conclusion pourrait être expliquée, au moins partiellement, par l'exiguïté des appareils dont se sont servis les Hollandais.

Phénol et Hexaméthylène-tétramine.

Aucune de ces deux substances ne se comporte comme « inhibitrice » de l'inflammation du CH^4 . Le phénol ne semble participer à la réaction que lorsqu'il est présent en quantités considérables. Pour une quantité considérable de phénol mis en œuvre, la température d'inflammation du méthane n'est en augmentation que de 8° C seulement, augmentation qui peut être obtenue par l'adjonction d'une quantité convenable d'un gaz inerte comme CO^2 , N^2 et Ar.

L'hexaméthylène-tétramine, au contraire, accélère la réaction d'oxydation du CH^4 . Sa présence abaisse la température d'inflammation du CH^4 et diminue considérablement le retard à l'inflammation. On a observé des résultats similaires par la mise en œuvre de traces de formaldéhyde. Il est possible qu'à la température des essais, nous ayons une décomposition de l'hexaméthylène-tétraminé, en présence d' O^2 , avec formation de formaldéhyde, suivant l'équation :



et que la formaldéhyde formée à partir de l'hexaméthylène-tétramine primitive serait responsable pour l'abaissement de la température d'inflammation du méthane.

Dans les essais, les teneurs en hexaméthylène-tétramine variaient de 0 à 6 %, auxquelles correspondaient des diminutions de la température d'inflammation de 628 à 625° C.

Les retards à l'inflammation dus à ces composés varieraient de 2,20 à 17,30 secondes.

Plomb tétraéthyle : $(\text{C}^2\text{H}^5)^4.\text{Pb}$.

C'est la connaissance des antidétonants qui a amené les expérimentateurs à songer à ce corps; il possède une action inhibitrice d'inflammation du CH^4 intéressante.

Comme pour les autres substances inhibitrices essayées, on sature une fraction déterminée du volume d'air à mettre en œuvre à l'aide du $(\text{C}^2\text{H}^5)^4.\text{Pb}$ et on calcule la concentration en $(\text{C}^2\text{H}^5)^4.\text{Pb}$ du mélange final en se basant sur des déterminations de tensions de vapeur.

L'effet de traces de tétraéthyle de plomb est similaire, quoique moins prononcé, à celui des bromures organiques essayés. Pour 0,08 et 0,09 % de tétraéthyle de plomb, la température d'inflammation du CH^4 devient respectivement 790 et 800° C, tandis que des concentrations identiques de $\text{C}^2\text{H}^4\text{Br}^2$ donnent, comme nous avons vu, 825 et 828° C (voir fig. 6).

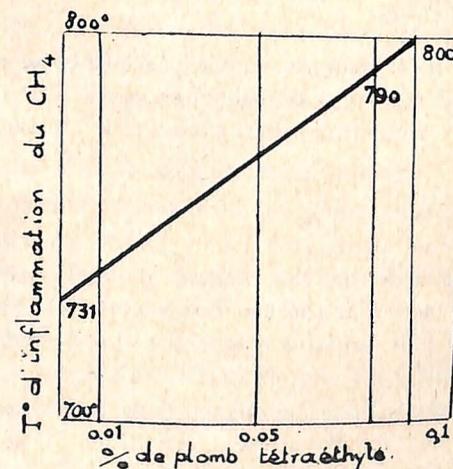


Fig. 6. — Influence du plomb tétraéthyle sur la température d'inflammation du méthane.

Le tétraéthyle de plomb (à l'état de vapeur) se décompose à 230°, en présence de l'air. Les produits de décomposition (plomb et oxyde de Pb) se déposant sur la tuyère de dégagement et sur les parois du four, en silice, y provoquent un empoisonnement, neutralisant dans une certaine mesure l'action catalytique de « surface », et donnent des résultats légèrement erronés.

Les résultats obtenus jusqu'à présent permettent de prévoir des températures d'inflammation encore plus élevées pour des teneurs plus fortes de plomb tétraéthyle.

Tétrachlorure de carbone.

Le tétrachlorure de carbone augmenterait la température d'inflammation du CH_4 , dans des conditions déterminées, d'une soixantaine de degrés. D'après certains auteurs, sa décomposition donnerait lieu à des gaz toxiques.

La formation de phosgène, à partir de CCl_4 , a lieu entre 200 et 800° C. La quantité formée est faible dans l'air sec (0,55 % au maximum de la quantité théorique), mais dans l'air humide, cette valeur atteint 64 % à 300° C.

Pour identifier ce gaz, on peut employer une solution saturée d'aniline dans d'eau, avec laquelle il donne un précipité de diphénylurée.

Bichlorure d'éthylène.

Le bichlorure d'éthylène ne semble pas influencer d'une façon appréciable la température d'inflammation du CH_4 . Idem pour un mélange de bichlorure d'éthylène et de tétrachlorure de carbone.

Gaz inertes.

L'étude d'une série de gaz inertes, et de la vapeur d'eau, montre que leur action inhibitrice respective semble être dans le même ordre que leur capacité calorifique. Le classement s'effectuerait comme suit : Ar, Az, H_2O , CO_2 , CCl_4 .

Jorrissen, Booy et Van Heiningen, dans les revues « Recueil des Travaux Chim. des Pays-Bas », nos 51 et 52 de 1932, étudient encore l'action inhibitrice du chlorure d'isobutyle, du bromure de propyle, de l'oxychlorure de soufre, du tétrachlorure de

silicium, du chloroforme silicié, de l'iodure d'isopropyle, du bromure du butyle et du bromure d'isobutyle, etc.

D'après les auteurs, parmi les substances étudiées, les suivantes se sont montrées particulièrement efficaces : bromure d'isoamyle, bromure de propyle, iodure d'isopropyle, chlorure d'isoamyle, bromure de butyle et bromure d'isobutyle.

D'après eux, une teneur en vapeur de bromure d'isoamyle supérieure à 1,5 % environ rendrait tous les mélanges grisouteux non-inflammables. Mais l'exiguïté des appareils dont se sont servi les chercheurs appelle certaines réserves et doit mettre en garde contre toute généralisation.

TRAVAUX DE JONCQUIERE.

P. A. Joncquière, dans une thèse de doctorat présentée à Leiden en 1934, aborde l'étude de certaines substances inhibitrices ou extinctrices (1).

L'auteur constate d'abord que l'addition, à l'air de la mine, de substances empêchant l'inflammation du grisou exigerait de telles quantités de substances inhibitrices que l'on peut considérer qu'il y a là un obstacle insurmontable. Aussi n'envisage-t-il l'emploi des substances inhibitrices que d'une manière tout à fait « localisée » aux endroits dangereux dans la mine.

Ces substances inhibitrices devraient pouvoir :

1°) enlever le CH_4 de l'air, par exemple par absorption ou transformation en produits non dangereux. Sans exemple jusqu'ici;

2°) neutraliser le mélange grisouteux explosif.

L'auteur a étudié spécialement certaines substances inhibitrices. Il ne s'agit pas seulement de déterminer la teneur en substance inhibitrice capable de neutraliser le mélange grisouteux le plus explosif, il faut aussi se rendre compte de l'allure de la zone entière des points d'inflammation.

Une bonne substance inhibitrice doit, ajoutée en petites quantités, neutraliser tous les mélanges grisouteux explosifs et dans

(1) De Verhinderig van Methaan — lucht explosies door « doovers ». Imprimerie : N. V. de Zuid-Hollandsche Poek en Handelsdrukkerij, La Haye.

le rétrécissement des limites d'inflammabilité, non seulement abaisser la limite supérieure, mais encore rehausser la limite inférieure.

L'auteur prend le bromure d'isoamyle comme l'extincteur le plus efficace : 1,5 % de vapeur de bromure d'isoamyle amène la coïncidence des deux limites. Mais, remarque l'auteur, l'adjonction de la quantité de substances inhibitrices, suffisante pour amener la coïncidence des deux limites d'un mélange grisouteux, peut être modifiée par ventilation, de telle manière que la teneur en substance inhibitrice soit tellement réduite que le mélange devienne explosif à un moment donné.

L'auteur recommande une extrême prudence dans les conclusions à tirer d'essais à petite échelle, dont les résultats sont relatifs. Ils permettent surtout d'opérer une sélection entre différentes substances inhibitrices avant de passer aux essais à grande échelle. Une substance inhibitrice peut être spécifique pour un gaz inflammable donné.

Le but de son étude réside dans les recherches d'une ou de plusieurs substances fluides, dont la vapeur, en petites quantités, serait capable d'amener la coïncidence des limites d'inflammabilité de mélanges grisouteux et de rendre ces mélanges non dangereux.

Son mode opératoire consiste à faire éclater quelques étincelles électriques au sein du mélange approprié et à observer les résultats. Ces essais lui ont permis de faire une première sélection entre les substances susceptibles d'être inhibitrices.

Les substances inhibitrices intéressantes ont été ensuite étudiées plus à fond. On a essayé des mélanges grisouteux à différentes teneurs en substance inhibitrice, à l'aide d'un appareil relativement compliqué qui permettrait de réaliser un grand nombre de concentrations en substances inhibitrices. A cet effet, on saturait une partie de méthane pur à l'aide des substances inhibitrices et on y ajoutait progressivement des quantités croissantes du même CH_4 pur, réalisant ainsi, dans le mélange final, qui était essayé au point de vue inflammabilité, toute une gamme de concentrations en substance inhibitrice.

A signaler un procédé plutôt original pour rendre homogène les mélanges après les additions successives. Une bille de fer est promenée à travers le mélange, sous l'action d'un champ magné-

tique extérieur. On fait passer dans le laboratoire quelques étincelles au sein du mélange approprié. Il faut que l'inflammation soit produite par les trois premières étincelles, sinon elle ne compte pas. La distance entre les pointes de l'éclateur peut être réglée.

Bromure de propyle.

Le mélange grisouteux le plus dangereux (à $\pm 9,5$ % de CH_4) est susceptible d'être neutralisé par 3 % de vapeur de bromure de propyle. Pour des mélanges à plus faible teneur en CH_4 , il faut beaucoup plus de vapeur de bromure de propyle.

L'auteur remarque, d'autre part, qu'une faible quantité de substance inhibitrice est susceptible de rendre explosif un mélange grisouteux qui ne l'était pas auparavant.

Lorsqu'on ajoute 2 % de vapeur de bromure de propyle à un mélange grisouteux à 4,5 % de CH_4 , ce dernier devient explosif (voir fig. 7).

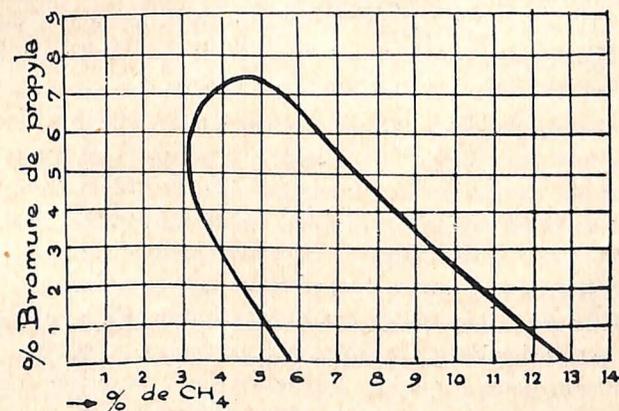


Fig. 7. — Influence du bromure de propyle sur les mélanges de grisou.

Bromure de n-butyle.

Le bromure de n-butyle s'étant avéré très efficace, une étude complète de l'influence de ce composé sur les mélanges grisouteux inflammables a été entreprise. La quantité de bromure de

n-butyle est déterminée dans le mélange final à l'aide de sa tension de vapeur.

Des résultats des essais avec le bromure de n-butyle, il ressort que le bromure de n-butyle ne saurait constituer une substance inhibitrice idéale. Il y a en réalité deux zones explosives qui se recoupent :

a) zone des mélanges de bromure de n-butyle et d'air additionnés de CH^4 ;

b) zone des mélanges (CH^4 + air) additionnés de vapeur de bromure de n-butyle.

Les résultats dépendent de la longueur d'étincelles. Il s'avère que pour des longueurs d'étincelles supérieures à 1,5 mm. par exemple, la limite supérieure de la zone d'inflammabilité doit pouvoir être fixée cependant.

Essais avec du CO^2 et SO^2 .

La pointe de la zone d'inflammabilité pour des mélanges grisouteux neutralisés au CO^2 , est donnée pour 19,6 à 20 % de CO^2 ($\text{CH}^4 = 6,4$ %). Le SO^2 paraît se modifier sous l'action de l'étincelle et se dédoubler en S et SO^3 . La limite de la zone d'inflammabilité pour SO^2 n'est pas définie.

L'auteur a préparé une série de mélanges de (SO^2 + air) et y a introduit une flamme de mélange grisouteux de 1,5 à 2 cm. de hauteur. Il observe l'extinction éventuelle. Idem pour le CO^2 . La limite d'extinction est de 6,1 à 7,8 % pour le SO^2 , et de 11,2 à 13,6 % pour le CO^2 . Le premier est donc supérieur au second (1).

Le CO^2 peut être mis en œuvre sous forme solide (neige carbonique ou carboglace). Les Anglais s'en sont servi avec succès, notamment pour empêcher l'inflammation du grisou par étincelles de pics de haveuses. D'aucuns proposent son emploi, sous forme de neige carbonique, comme bourrage des trous de mine dans les tirs.

L'auteur a étudié ensuite l'influence du POCl^3 (oxychlorure de phosphore) qui exercerait une action extinctrice remarquable

(1) Bien entendu, il s'agit ici de recherches théoriques. La toxicité de SO^2 ne permet pas d'envisager ce corps dans la pratique.

sur le charbon de bois incandescent. L'auteur part de mélanges d'air saturés de POCl^3 et note l'action extinctrice exercée sur des flammes bien déterminées de grisou exactement dosé, plongées dans le mélange (air + POCl^3).

Etude de l'effet de l'oxychlorure de phosphore et de l'acide chlorhydrique.

Détermination préalable de la tension de vapeur de POCl^3 à différentes températures. Notons que POCl^3 réagit avec l'humidité de l'air pour donner du HCl; ce gaz se dissout dans le POCl^3 liquide et est libéré lors de la solidification de ce dernier.

Technique de l'auteur. — Il ne peut plus opérer sur du mercure qui serait attaqué par POCl^3 . Il ne dose plus les gaz et vapeurs de POCl^3 par la mesure de leurs volumes, mais bien par celle de leurs tensions partielles et il en déduit le pourcentage. L'inflammation se traduit par des phénomènes lumineux éventuellement accompagnés par un choc contre les parois du laboratoire d'explosion, ou par le refoulement d'un peu de mercure, sous la poussée de l'explosion, dans un vase de niveau spécial.

L'inflammation peut être provoquée à la partie inférieure ou supérieure de la burette d'explosion verticale. D'autre part, cette dernière peut aussi être disposée horizontalement.

Après une ou deux explosions, il faut procéder à un nettoyage complet de la burette. Les électrodes doivent être plongées dans un bain d'acide nitrique concentré, après chaque explosion, ensuite rincées à l'eau et à l'alcool et séchées à l'air chaud.

L'appareillage ne comporte pas de joints en caoutchouc. Tous les joints et connexions sont rôdés. Description de l'appareillage (assez compliqué) donnant lieu à une technique plutôt laborieuse.

Des difficultés ont été rencontrées pour l'obtention d'un mélange d'essai homogène. Un perfectionnement du dispositif d'agitation s'est, dans la suite, avéré efficace. La boule de fer, enrobée de verre, est garnie d'une pointe en verre sur laquelle on soude une plaquette horizontale en verre. Après, une description du dispositif d'ignition.

L'auteur détermine avec l'appareillage décrit ci-dessus, les zones d'explosion des mélanges (CH^4 + POCl^3 + air) et (CH^4

+ HCl + air). Les résultats dépendent de la longueur d'étincelles (donc de l'énergie électrique d'ignition mise en œuvre).

L'auteur, dans ces essais, a éprouvé certaines difficultés à reproduire les résultats. Il les a surmontées, en augmentant la longueur d'étincelle, qui a été portée à 1 mm.

Comparé au POCl_3 , l'acide chlorhydrique est environ huit fois moins efficace. Phénomènes lumineux de l'inflammation, dont l'auteur a évalué la vitesse d'évolution dans la burette.

Théories de la combustion.

L'auteur s'occupe ensuite des multiples théories émises au sujet de la combustion. Il cherche une théorie lui fournissant l'explication la plus plausible des phénomènes empêchant l'inflammation du grisou. Il refait l'historique de la question, où nous relevons les noms de Volta, Berthollet, Henry, Dalton, Davy, Berzélius, A. W. Hoffmann, Bone, Wheeler, Gerhardt, Landolt, etc.

Théorie de la combustion préférentielle de l'hydrogène, théorie de l'hydroxylation du méthane, théorie de la peroxydation, théorie de la déshydratation primaire.

Théorie de la réaction à chaîne.

La plus vraisemblable, d'après l'auteur, pour l'interprétation des phénomènes de combustion lente et explosive de mélanges gazeux.

D'après cette théorie, le premier stade de réaction donnerait un produit supérieurement actif, capable d'engendrer une seconde transformation. Il y a production d'un « circuit » qui se répète toujours, à moins que la chaîne ne se brise, par la destruction ou la « désactivation » du produit supérieurement actif (porteur de chaîne).

Cette théorie est basée sur des considérations générales de physico-mathématique.

Conclusions de Joncquière.

Après discussion des diverses théories, M. Joncquière trouve que l'explication de l'action inhibitrice est donnée de la manière la plus plausible par la théorie de la réaction à chaînes molé-

laire; celle-ci explique comment de faibles quantités de certaines substances empêchent l'entrée en réaction de quantités considérables de corps susceptibles de réagir entre eux.

Il faudra donc envisager une substance inhibitrice comme un « briseur de chaîne » (Kettingverbreker) capable de neutraliser l'action du porteur de chaîne (Kettingdrager) et d'empêcher ainsi la formation ou le développement d'une chaîne moléculaire, permettant la décomposition d'un grand nombre de molécules.

La théorie de la réaction à chaîne reste muette au sujet des produits intermédiaires eux-mêmes; elle n'a de prétention qu'à la possibilité et à la vraisemblance.

Ce problème, de date récente, reste ouvert.

II. — LA QUESTION DES POUSSIÈRES DE CHARBON.

La question des poussières de charbon n'a pas cessé de préoccuper les chercheurs; elle a fait l'objet de la publication de quelques articles intéressants au cours de l'année 1934.

1. — *Les explosions de poussières au Japon.*

Le Professeur Sano, de Tokio, a publié dans le « Journal of the Faculty of Engineering », de l'Université Impériale de Tokio, une note intéressante traitant des explosions de poussières des charbons japonais.

Signalons-en quelques conclusions :

1°) L'inflammabilité des poussières de charbon japonais est à peu près proportionnelle au rendement en extrait au phénol. Cet extrait peut constituer une mesure du danger d'explosion. Cela concorde avec les données de Wheeler concernant les charbons anglais.

Le rendement en extrait au dissolvant des charbons japonais est moindre que celui des charbons anglais ou américains;

2°) L'inflammabilité des poussières de charbons japonais est approximativement proportionnelle à la quantité de M. V. L'aptitude au dégagement de M. V. des charbons japonais est supérieure à celle des charbons anglais;

3°) La teneur en M. V. est de plus grande importance pour caractériser le danger d'explosion des charbons japonais que

l'extrait au dissolvant, contrairement aux conclusions de Wheeler et de Winklaus, respectivement en ce qui concerne les charbons anglais et Westphaliens;

4°) La finesse des poussières de charbon exerce une influence considérable sur leur inflammabilité. Le danger des poussières est d'autant plus grand que les poussières sont fines. Il ne faut retenir comme dangereuses au point de vue inflammation dans l'air au repos, que les poussières de charbon dont la finesse est limitée entre les tamis de 40 et de 60 mailles par pouce carré.

Poussières de charbon oxydées. — Les échantillons oxydés avaient été exposés à l'air, en chambre noire, pendant 12 mois. Le danger d'inflammabilité des poussières de charbon oxydées est moindre que celui des poussières de charbon fraîches.

2. — *Le problème des poussières de charbon dans l'Inde.*

Les « Transactions of the Mining and Geological Institute of India », de juillet 1934, contiennent des extraits de rapports du Comité institué par le Gouvernement de l'Inde pour l'étude des dangers concernant les poussières de charbons dans les mines.

Un premier rapport traite de l'explosibilité des poussières de charbon de mines, dans l'Inde, avec références particulières à l'explosion survenue au Charbonnage de Parbelia, qui a été provoquée par des poussières de charbon.

Un second rapport traite d'une manière étendue des essais d'explosibilité des poussières de charbon en galeries et dans le fond.

Conclusions. — Les poussières de charbon suffisamment fines, de toute veine commercialement exploitable dans l'Inde, sont capables de provoquer une explosion.

Les mines de l'Inde ne sont généralement ni aussi sèches, ni aussi poussiéreuses que les mines britanniques. La quantité de poussières de charbon trouvée généralement dans les mines indiennes est moindre que dans les mines britanniques, car le travail s'y fait sur un rythme plus lent.

Le courant de ventilation est moins rapide dans la plupart des mines indiennes que dans les mines britanniques, et joue ainsi un rôle moins important dans le classement et la répartition des fines poussières de charbon.

3. — *Recherches pétrographiques concernant les poussières de charbon.*

Signalons dans la revue « Glückauf », n° 23, du 9 juin 1934, à la page 525, une note, par le Dr Ing. H. Bode, Berlin, concernant certaines propriétés pétrographiques des poussières de charbon et leur influence sur l'inflammabilité de ces poussières.

L'auteur note que pour caractériser le danger des poussières de mine, on s'est basé jusqu'ici sur leurs propriétés physiques et chimiques : teneur en M. V., dimensions des particules, cendres, etc.

L'auteur envisage l'emploi des caractères pétrographiques des poussières pour déterminer le danger. Les méthodes d'essai des poussières, en galerie, sont insuffisantes, étant donné que la composition pétrographique des poussières obtenues par broyage ne concorde pas avec celle des poussières naturelles de la mine : le durain est prépondérant dans les grosses particules, tandis que les fines particules de poussières sont composées en majeure partie de fusain et de vitrain.

On peut cependant réussir à produire artificiellement par broyage des poussières qui ressemblent pétrographiquement aux poussières naturelles de la mine.

La nécessité d'un examen pétrographique des poussières découle du fait de l'inflammabilité différente de leurs parties constituantes. Les essais de Lange, de Bode et de Oberschiur ont montré qu'il y a peu de différences entre les températures d'inflammation du durain et du vitrain, tandis que celle du fusain est totalement différente.

Les poussières de charbon seraient d'autant moins inflammables qu'elles contiendraient plus de fusain et moins de durain.

Les particules les plus fines de poussières de charbon, qui sont les plus dangereuses, peuvent avoir par rapport à la pétrographie des charbons dont elles dérivent, une constitution tout à fait différente.

4. — *Explosibilité des poussières de mine.*

Le « Colliery Guardian » du 7 septembre 1934, publie, à la page 448, un article sur l'explosibilité des poussières de mines. Les premiers essais ont permis de conclure que la présence de

50 % de stériles dans les poussières de voies était suffisante pour empêcher une explosion de poussières.

On a observé, tout au début, que les poussières d'anthracites n'étaient point susceptibles d'explosion et qu'il existait une relation entre la teneur en M. V. et la quantité de poussières inertes requises pour obtenir la neutralisation.

En 1933, T. N. Mason et R. V. Wheeler ont montré que la quantité de poussières stériles nécessaires était non seulement fonction de la nature du charbon, mais aussi de la composition des poussières stériles.

Connaissant la nature des charbons ainsi que les valeurs relatives des différentes sortes de poussières stériles, il est possible de calculer, pour chaque mine, le pourcentage minimum approximatif de poussières stériles nécessaires à la schistification efficace des galeries de mine.

Il demeure néanmoins évident que la méthode la plus satisfaisante sera toujours l'essai en galerie. Mais cet essai n'est pas pratique et peut être remplacé par un essai à l'inflammeur perfectionné de laboratoire.

Si l'essai est effectué avec cet inflammeur dans toutes les conditions prescrites, les résultats doivent être tout à fait comparables à ceux obtenus en galerie.

Les essais que nous poursuivons depuis quelques mois, à l'Institut National des Mines, avec l'inflammeur du S. M. R. B., ont confirmé, jusqu'à présent, ce parallélisme. Cette méthode permet de déterminer, pour chaque mine, la quantité minimum exacte de poussières inertes nécessaires à la schistification.

5. — *Inflammeur du S. M. R. B.*

Pour l'étude des poussières de charbon, les essais en galerie se sont avérés trop laborieux et coûteux.

La Station anglaise du « Safety in Mines Research Board » a mis au point un petit inflammeur pratique, inspiré de celui de Taffanel (voir fig. 8).

Cet inflammeur est chauffé au gaz ou à l'électricité et permet de se rendre compte, avec facilité, du comportement des

poussières de charbon, et de la valeur relative des différentes poussières stériles utilisées pour la schistification.

Cet inflammeur comporte essentiellement un petit tube en verre très résistant, chauffé vers 900° C, à travers lequel on souffle un gramme de poussières sous l'action d'un jet d'oxygène de pression déterminée (18 pouces, soit 457 mm. de mercure). L'appareil est étalonné en fonction de poussières « standard ».

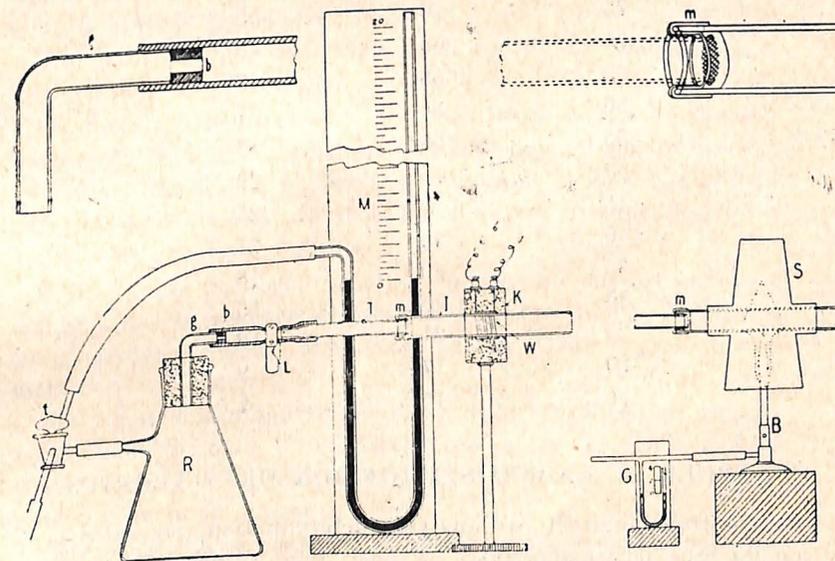


Fig. 8. — Inflammeur du S. M. R. B.

KW : four électrique (à droite est figurée la disposition pour chauffage au gaz SB).
 R : ballon où s'emmagasine l'oxygène sous une pression déterminée (18 pouces) enregistrée au manomètre M.
 T : tube où se place la poussière à expérimenter, près de la pince L qui, lors de son ouverture, livre passage au courant d'oxygène véhiculant la poussière à travers le four.
 Au-dessus, à gauche, détail du raccord au sortir du ballon R; à droite, entrée du tube de combustion où se trouve un filtre m.

Pour les essais, les différentes poussières sont passées au tamis I. M. M. de 100 mailles.

On peut agir sur certaines constantes de l'inflammeur de manière à faire concorder les résultats avec ceux obtenus en galerie.

Ci-dessous, le tableau des valeurs relatives de quelques substances pour la neutralisation de poussières de charbon de certains charbons britanniques.

Ce tableau de « conversion » a été déterminé avec les charbons suivants : Red Vein (S. Wales) à 21,7 % de M. V. et Silkstone (Yorkshire) à 36 % de M. V.

| Schistes. | Calcaires. | Gypse. |
|-----------|------------|--------|
| 75 | 70 | 55 |
| 70 | 65 | 48 |
| 65 | 60 | 43 |
| 60 | 55 | 37,5 |
| 55 | 50 | 33 |
| 50 | 45 | 29 |
| 45 | 40 | 25 |
| 40 | 35 | 21 |
| 35 | 30 | 18 |
| 30 | 25 | 15 |
| 25 | 21 | 12 |
| 20 | 17 | 9 |
| 15 | 12,5 | 7 |

CONTROLE DE LA SCHISTIFICATION DES GALERIES.

Le contrôle habituel par analyse (détermination par calcination du taux d'incombustible) est assez long. Il n'est d'ailleurs pas employable sans correction lorsque la neutralisation des galeries s'opère avec des matériaux calcaires (départ du CO²). Aussi cherche-t-on à réaliser un mode de contrôle à indications immédiates, quitte à réserver l'analyse pour les vérifications périodiques de plus d'importance.

Lorsque le matériau utilisé pour la schistification est toujours le même, on peut se contenter de déterminer la densité des dépôts de poussières : on opère au volumétre très rapidement. Bien entendu, il faut, par un tamisage préalable, avoir limité cette recherche de densité aux grains de dimensions choisies.

On opère de cette façon dans certaines mines du Pas-de-Calais, aussi bien pour déterminer la teneur du stérile des galeries que pour contrôler les opérations de lavage.

La firme E. Witte, de Dresde, a imaginé un colorimètre agréé par l'Oberbergamt de Dortmund. L'appareil a été baptisé « leucomètre » parce qu'il sert à mesurer le degré de blanc des mélanges.

Il suppose que les matières stériles utilisées pour la schistification sont constantes, d'une teinte suffisamment uniforme, sinon il faudrait des réglages variables. En fait, ces conditions sont assez souvent réalisées par le broyage des matériaux utilisés pour la schistification.

L'appareil prévu pour le fond (voir fig. 9) est une caisse hermétique pourvue d'un oculaire. Dans le champ de celui-ci se trouvent, d'une part, une alvéole contenant les poussières à examiner et, d'autre part, une fenêtre devant laquelle peut apparaître une échelle colorimétrique réalisée par un disque tournant. On compare les deux alvéoles, éclairées par une petite lampe électrique, à l'aide de l'oculaire réglable.

Grâce à un tambour gradué mobile, on amène les deux demi-disques à posséder exactement la même teinte. La lampe est alimentée à l'aide d'une petite batterie. C'est donc un **photo-mètre**.

Cet appareil n'indique pas seulement si le mélange est inflammable ou non, mais d'une façon très rapide de combien il se trouve éloigné de la limite dangereuse et permet de reconnaître immédiatement le danger.

Cette méthode, à cause de la vitesse d'opération, apporte un supplément de sécurité qui est particulièrement apprécié aux endroits à forte production de poussières.

L'auteur termine cet article en disant que pour atteindre la plus grande précision dans les mesures colorimétrique, l'appareil peut être remplacé par le leucomètre, nouveau modèle, dans lequel l'anneau-étalon mobile est remplacé par un déplacement continu de la source lumineuse le long d'une échelle graduée, réalisant une variation continue de la teinte, dans l'alvéole-fenêtre de comparaison, du clair au sombre.

Voici quelques avantages que l'auteur attribue à son procédé :

Pour assurer la sécurité contre les explosions de poussières, les réglementations allemandes prescrivent une schistification des poussières de galeries jusqu'à concurrence d'une teneur de 50 % en poussières inertes.

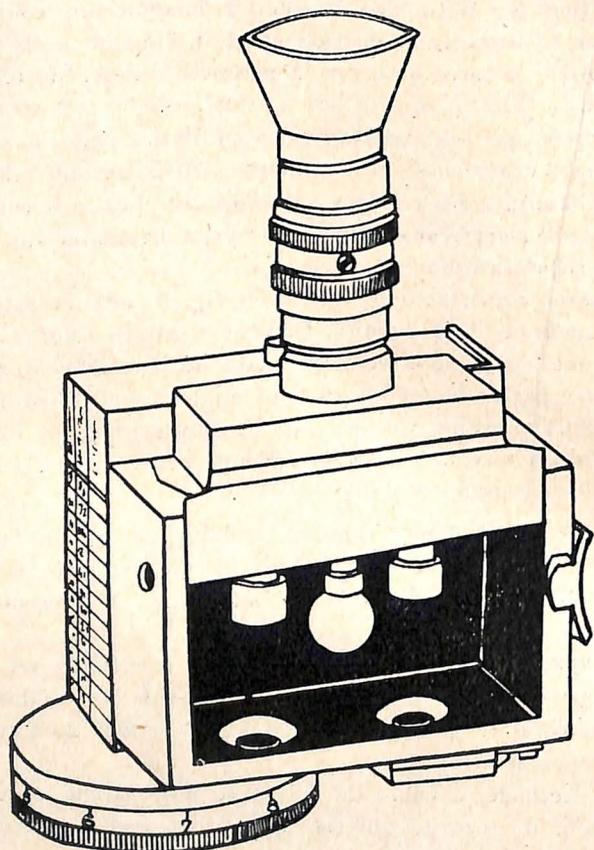


Fig. 9. — Le leucomètre Witte pour l'examen des poussières de galeries.

Des recherches anglaises et américaines ont montré qu'il faut, d'après la teneur en M. V., entre 10 et 65 % de cendres.

Au cours de l'extraction du charbon dans la mine, les poussières de galeries s'enrichissent d'une manière continue en charbon. Ces poussières de galerie se rapprochent ainsi de la limite dangereuse. On détermine actuellement le danger des poussières de mine par un dosage des cendres. Ces déterminations prennent beaucoup de temps et sont coûteuses.

1°) Ces dosages de cendres, à cause de leur lenteur, ne permettent pas de suivre progressivement le danger éventuel;

2°) Ces dosages conduisent à des erreurs. L'erreur la plus importante provient de ce que l'on néglige le degré de finesse des poussières.

La teneur en particules de finesse inférieure à 60μ , très dangereuses, ne peut être déterminée au laboratoire par tamisage.

Des poussières extrêmement fines peuvent s'accumuler dans la partie supérieure des galeries de mine et devenir dangereuses avec le temps. Ces poussières extrêmement fines et éminemment inflammables exigent un pourcentage de poussières inertes extraordinairement élevé, par rapport à la normale, dont on n'a pas toujours tenu compte.

Le développement superficiel des poussières (finesse des particules) est très important. Le mécanisme d'action des poussières inertes dans l'extinction d'une flamme n'est qu'une simple action de refroidissement par surface. Plus le développement des surfaces des poussières inertes est considérable et plus leur action de réfrigération sur les flammes sera grande.

Le procédé de détermination du degré « de blanc » de Witte ne tient compte que du développement superficiel offert par les poussières. L'auteur en expose la technique. La méthode n'est pas applicable aux poussières très sombres ou presque noires, mais celles-ci ne se présentent guère dans la mine.

Par le procédé colorimétrique, l'accroissement du développement superficiel des poussières de charbon se traduira immédiatement par une teinte plus sombre et indiquera ainsi l'accroissement de danger survenu. Idem pour des poussières stériles plus grenues ou agglomérées.

Un développement superficiel moindre des poussières stériles diminue aussi bien leur pouvoir extincteur que leur pouvoir colorant. Le mélange sera plus inflammable et demandera plus de poussières inertes additionnelles jusqu'à l'obtention de la teinte claire de sécurité.

Des poussières de charbon trop grosses et des poussières stériles trop fines fournissent automatiquement des indications dans la pratique et le contrôle de la schistification.

Dans tous les cas, dit l'auteur, la limite de sécurité de $60 + a$ % de cendres, employée jusqu'à présent, peut être erronée. La limite de sécurité colorimétrique de 9,5 degrés de blanc (Weiszgehalt) donne, par contre, une sécurité complète.

L'auteur donne un exemple pour les différentes sortes de charbons (voir fig. 10).

La courbe principale constitue une moyenne des résultats des essais américains et anglais. Des poussières de charbon plus fines et des poussières inertes plus grosses provoquent un déplacement de la courbe moyenne vers le haut. C'est la courbe supérieure. Réciproquement, la courbe inférieure se rapporte à des poussières stériles très fines et des poussières de charbon plus grenues. Or, le procédé colorimétrique enregistre l'augmentation ou la diminution de danger résultant des diverses finesses des poussières charbonneuses ou stériles.

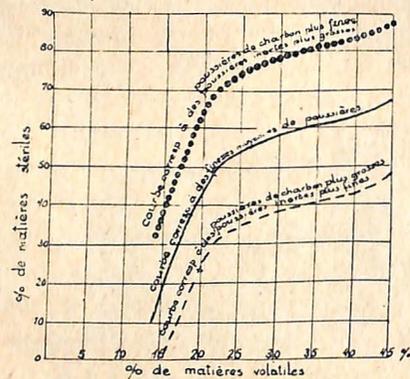


Fig. 10. — Inflammabilité de mélanges de poussières de charbon et de poussières inertes.

L'inspection d'un front de taille peut être effectué en une minute par le préposé des mines, dont l'activité se trouve ainsi automatiquement multipliée.

On indiquera à l'employé un degré colorimétrique à observer, exprimé en degré de « blanc » (Weiszgehalt), par exemple 9,5. Ce chiffre variera d'une veine à une autre.

Toute coloration foncée est dangereuse. Les tons clairs sont de sécurité. Il importe de veiller avec soin à la prise d'échantillon.

Règlement de l'Oberbergamt de Bonn sur la schistification.

Il peut être intéressant de donner également les réglementations de l'Oberbergamt de Bonn (1931) sur la schistification : Ordon-

nance de Police minière de l'Inspection Générale des Mines prussiennes à Bonn, concernant la schistification (Gesteinstaubverfahren) dans les mines de houille, du 20 avril 1931.

Cas d'application.

I.

1. — Les mines ou parties de mine dans lesquelles on exploite des couches donnant lieu à des poussières de charbon dangereuses doivent être protégées par schistification contre les explosions. Les poussières de charbon fraîches, contenant en poids plus de 14 % de matières volatiles, calculées sur la base de charbon pur, doivent être considérées comme dangereuses.

2. — Dans ces mines ou parties de mine, aucune division d'aérage ne peut comprendre plus de 100 hommes par équipe.

Sécurité obtenue par les poussières stériles.

II.

La sécurité est assurée par isolement à l'aide d'arrêts-barrages et par schistification.

Il faut isoler :

1°) à l'aide d'arrêts-barrages principaux :

a) les divisions d'aérage dans les voies d'entrée et de retour d'air ;

b) les fronts de taille en amont et en aval, ainsi que les galeries de sous-étage voisines ;

c) les travaux déhouillés et les installations de préparation au voisinage des travaux miniers.

2°) à l'aide d'arrêts-barrages déplaçables, les exploitations d'une aile d'un chantier de l'autre aile lorsque la distance entre les fronts de taille dépasse 15 m.

IV.

1. — La schistification est obligatoire dans tous les travaux qui servent à l'évacuation des produits, au roulage ou à la ventilation, à l'exception des chantiers d'abatage.

2. — Les travaux ne doivent pas être schistifiés aussi longtemps que, par suite de leur humidité naturelle, il y a absence de dispersibilité des poussières de charbon.

Les arrêts-barrages de poussières doivent être entièrement établis dans la section libre de galerie et assurer la sécurité de la section entière. Ils doivent être disposés dans le tiers supérieur de la hauteur de la galerie, mais à une distance telle, à partir du toit, qu'entre les poussières entassées et le soutènement du toit, il y ait un intervalle d'au moins 10 centimètres.

VI.

Les arrêts-barrages principaux doivent comporter 400 kilogrammes de poussières par mètre carré de section moyenne des galeries où ils se trouvent. Dans les mêmes conditions, les arrêts-barrages à déplacer et les arrêts-barrages auxiliaires (n° 10) doivent comporter chacun 80 kilogrammes de poussières inertes par mètre carré de section.

Les arrêts-barrages principaux doivent être indiqués sur la carte d'aérage par un angle droit pointillé dans la couleur de l'étage.

Schistification.

VIII.

1. — Les travaux doivent être schistifiés de telle manière que les poussières stériles pénètrent partout où il y a des dépôts de poussières de charbon. Avant de schistifier, il faut enlever les accumulations de poussières de charbon sur les parois, le sol et le soutènement.

2. — Sauf pour la schistification du front de taille (n° 18 par 2), il faut, si possible, schistifier pendant l'équipe occupant le moins de personnel. La schistification mécanique n'est tolérée qu'en l'absence du personnel des chantiers.

IX.

Il faut schistifier autant de fois qu'il faut et de telle façon que le mélange de poussières déposées ne contienne jamais plus de 50 % de matières combustibles (n° 15).

X.

S'il n'est pas possible d'effectuer et de maintenir la schistification des galeries d'exploitation et de préparation de la manière imposée, il faudra schistifier autant que faire se peut. En plus :

1°) il faudra mettre en œuvre des arrêts-barrages déplaçables à une distance maximum de 20 mètres du front de taille;

2°) Sur toute la longueur de la galerie, il faudra prévoir des arrêts-barrages fixes (arrêts-barrages auxiliaires) à des intervalles de 50 mètres. S'il n'est pas possible d'établir ces arrêts-barrages auxiliaires dans toute la section libre de galerie, ils peuvent être constitués par des bandes aménagées longitudinalement le long de la paroi.

Approvisionnement en poussières inertes.

XI.

1. — Dans les travaux d'étage schistifiés, il faut prévoir un approvisionnement de poussières pour au moins une semaine.

2. — Pour la schistification du front (n° 18 par 2), il faut prévoir, à une distance maximum de 60 mètres du front, une caisse remplie de poussières inertes, prêtes à l'emploi.

Propriétés des poussières stériles.

XII.

1. — Les poussières stériles doivent posséder les propriétés suivantes :

1°) Elles doivent passer, en totalité, à travers un tamis de lampe (144 mailles/cm²); 50 % au moins doivent passer à travers le tamis n° 80 allemand normal (6.400 mailles/cm²);

2°) Les poussières doivent conserver leur dispersibilité dans la mine;

3°) Les poussières peuvent contenir, au maximum, 20 % de matières combustibles.

2. — Les poussières inertes ne peuvent être nocives pour la santé du mineur, et sont sujettes à une autorisation à cette fin à délivrer par l'Inspection Générale des Mines.

XIII. — *Prise d'essai et Examen.*

1. — Avant l'introduction des poussières inertes dans la mine, elles doivent être examinées, au moins mensuellement, au sujet de leur finesse, de leur dispersibilité et de leur teneur en matières combustibles. A cette fin, il faut prélever une prise moyenne d'essai d'au moins une tonne.

2. — La conservation de la dispersibilité doit être éprouvée de la manière suivante : un échantillon de poussières inertes est conservé pendant 7 jours dans une capsule ouverte, au-dessus d'une nappe d'eau dans une enveloppe hermétique, ou bien pendant tout un mois dans la mine. Après ce séjour, les poussières inertes doivent encore être suffisamment sèches pour pouvoir être soufflées avec la bouche.

3. — La teneur en matières combustibles ne doit être déterminée qu'après passage de l'échantillon, séché à l'air, à travers un tamis de lampe de sécurité.

XIV

Les poussières inertes des arrêts-barrages doivent être examinées autant de fois que c'est nécessaire, au point de vue de la dispersibilité, par soufflage à la bouche, et être renouvelées quand la dispersibilité fait défaut. Les dépôts de poussières de charbon sur les arrêts-barrages doivent être enlevés.

XV.

1. — Les poussières des travaux schistifiés doivent faire l'objet d'un examen régulier, d'après l'importance de la production de poussières de charbon, pour leur teneur en matières combustibles. A cette fin, des échantillons moyens sont à prélever sur le sol, le revêtement et les parois en cinq endroits au moins, sur un minimum de 10 mètres de longueur de galerie. Il faut examiner la prise séchée à l'air et tamisée à travers le tamis d'une lampe de sûreté.

2. — Lorsque la teneur en matières combustibles dépasse 50 %, il faut un supplément de schistification. Tel doit être aussi le cas lorsqu'on reconnaît, à vue d'œil, que la teneur en poussières de charbon a augmenté dans le mélange.

XVI.

Les frais d'examen des échantillons de poussières prélevés par l'Administration des mines doivent être supportés par l'exploitant.

XVII. — *Registre de poussiérométrie.*

A chaque puits de mine autonome doit exister un registre spécial de schistification. On doit y consigner l'endroit et la date de prélèvement, ainsi que les résultats des analyses (n^{os} 13 à 15). On doit y inscrire également la date d'érection des arrêts-barrages et de la première schistification des travaux, de même que la date du dernier renouvellement de la schistification et des poussières des arrêts-barrages.

Responsabilité.

XVIII

1. — La schistification doit être effectuée par des personnes spéciales, âgées de 18 ans au moins, appelées schistificateurs. Les schistificateurs reçoivent du Directeur des travaux, contre reçu inscrit dans le registre de poussières, une notification écrite du service qu'ils doivent exécuter. Cette consigne doit être communiquée à l'Ingénieur en Chef des Mines.

2. — Dans les quartiers exploités, dans les travaux préparatoires et dans les galeries de miné, les chefs-mineurs sont responsables de la schistification sur une distance de 10 mètres du front de taille pendant leur pose de travail.

3. — Les personnes responsables de la schistification doivent avertir sans retard le porion de quartier lorsque, pour une raison quelconque, il leur est impossible de suivre les prescriptions.

XIX.

1. — Dans tout puits de mine indépendant, un inspecteur est chargé de veiller spécialement à la schistification.

2. — Les devoirs incombant au porion-schistificateur et ses rapports de service avec le Directeur des travaux, ainsi qu'avec

les porions de quartier, doivent être réglés par un ordre de service approuvé par l'Ingénieur en Chef des Mines.

3. — Les porions de quartier doivent veiller à ce que les personnes responsables de la schistification (n° 18) remplissent leurs obligations et que toutes les défauts aux installations de poussières stériles soient aussitôt éliminés. Si cela n'est pas possible, il faut suspendre les travaux dans les chantiers incriminés.

4. — Outre les porions de quartier et le porion-schistificateur, le Directeur des travaux demeure responsable des réparations et du maintien ainsi que de l'emploi réglementaire des installations prévues pour les poussières de schistification.

XX. — *Prévention de la formation de poussières et enlèvement des accumulations de poussières.*

1. — Lorsque les charbons ont une tendance à donner des poussières, les wagonnets chargés de charbon doivent être arrosés copieusement d'eau dès leur entrée dans les galeries principales de roulage. Les cas douteux doivent être tranchés par l'Ingénieur en chef des mines.

2. — Dans les galeries destinées à un convoi ou à un roulage régulier, il faut enlever du sol les accumulations considérables de poussières, les fines et les morceaux de charbon.

III. — *LES FEUX SOUTERRAINS.*

Expériences d'explosions provoquées par un feu de remblai.

(Colliery Guardian du 20-7-1934.)

(Travaux de Mason et Tideswell du S. M. R. B.)

Depuis quelques années déjà, le Safety in Mines Research Board a installé, à la station d'essais de Buxton, un dispositif lui permettant d'étudier les questions relatives aux incendies souterrains, notamment les phénomènes d'échauffement de massifs charbonneux ou de remblais, de formation de gaz inflammables, etc.

L'installation comporte une chambre entourée de maçonnerie isolante, où l'on peut reproduire un massif charbonneux, un massif de remblai de diverses compositions, des circuits d'aéragés différents, etc. Des dispositifs permettent de régler à volonté la ven-

tilation et la température du courant d'air, tandis que des appareils divers permettent des mesures rapides des températures, des prises d'échantillon de gaz à divers points, etc.

Le compte-rendu qui suit se rapporte à un feu provoqué de remblai.

Considérations générales.

Le danger d'explosion dans une zone de feu de remblai est conditionné par l'accumulation de gaz inflammables :

a) par distillation à partir du charbon échauffé;

b) par dégagement de CH_4 des strates environnantes.

Comme élément favorable, notons que la teneur en oxygène de l'air diminue spécialement dans une zone isolée par serremments, au voisinage du feu de mine. Dès que la teneur en oxygène tombe en dessous de 10 %, la formation d'un mélange gazeux explosif devient impossible.

La période dangereuse, au point de vue explosion, dans une section de mine en feu, isolée par serremments, est ordinairement assez petite. Si la vitesse de production des gaz inflammables est faible, comparée à la vitesse de réduction de l'oxygène, la période dangereuse pourra même ne jamais être atteinte.

La première série d'essais effectués dans la chambre à feu de remblai de la station d'essai de Buxton se rapporte à des échauffements dans des veines non grisouteuses. La présence de grisou amène des complications.

Un feu violent dans une zone réduite n'est guère susceptible de créer un mélange explosif par distillation de gaz inflammables à partir du charbon. La majeure partie des gaz dégagés sont brûlés au contact du feu nu et contribuent à vicier l'atmosphère à tel point que toute explosion devient impossible.

On peut supposer que dans un remblai étendu, particulièrement si le feu est abrité, les gaz distillés soient susceptibles de former un volume considérable de mélange explosif, qui pourrait prendre feu avant que la teneur en oxygène de l'atmosphère ne soit suffisamment réduite. Il est probable que tout dégagement de grisou des strates augmenterait de beaucoup le danger.

Dans le cas de feux actifs, dissimulés dans les piles de remblai de voies, il y a possibilité de formation d'un mélange gazeux

explosif, si le dégagement de gaz inflammables est considérable. Cette possibilité est maximum pendant, et immédiatement après l'isolement du feu par serremments, lorsque des gaz inflammables distillent librement à partir du massif charbonneux échauffé, et que l'air n'est pas encore suffisamment vicié par les produits de combustion.

L'existence d'un mélange gazeux inflammable au voisinage d'un feu de mine ne donne pas toujours lieu à une explosion, ni même à une inflammation, et il est probable que l'atmosphère en repos, dans une zone isolée par serremments, n'est pas propice à son inflammation. Cependant le danger existe toujours.

Dans les essais, le charbon de remblai, avant tout échauffement par oxydation sous l'action de l'air, possède une température comprise par exemple entre 80 et 90° F (26,5 et 32° C). Il est entouré d'une calorifuge de bonne qualité, maintenu à la même température.

L'air s'infiltrant à travers le remblai doit ordinairement effectuer un long parcours, et se trouve porté à la température des strates par conduction directe. Il s'échauffe encore par suite de phénomènes d'oxydation exothermiques.

De nouvelles surfaces de charbon sont continuellement exposées à l'air, par suite de fractures résultant de la pression du toit, et l'oxydation s'en trouve accélérée.

Même dans ces circonstances favorables, il faut une période d'incubation de plusieurs mois avant de voir apparaître des signes d'échauffement.

Ces conditions expérimentales sont bien moins favorables à l'éclosion d'une combustion spontanée de charbon que les conditions qui prévalent ordinairement dans la pratique. Dans la pile de remblai expérimentale, une faible étendue de charbon située près de l'entrée du courant d'air constituait le seul emplacement possible pour un échauffement spontané. Dans un remblai de mine, beaucoup de ces endroits peuvent exister, au moins temporairement, jusqu'à ce que le remblai, sous la pression du toit, soit complètement tassé.

Progression de la combustion spontanée pendant les essais.

L'essai a débuté le 14 novembre 1932. Dix pieds cubes (283 l.) d'air par minute, à une température de 95° F (35° C) sont

envoyés dans la pile de remblai pendant 5 mois. Puis cette quantité d'air injecté a varié entre 0 et 40 pieds cubes (0 et 1.132 l.) par minute.

La température de la pile, à une distance d'un pied (30 cm.) au-dessus de l'entrée d'air, est montée de 74° F (23° C) en 8 jours, et après 2 mois, elle a atteint 90° F (32° C). Aucun indice d'auto-échauffement n'était perceptible. La teneur en CO était de 0,0015 %.

On a essayé de réaliser ensuite l'échauffement forcé, en envoyant de l'air à 155° F (68° C) sur la pile, à concurrence de 25 à 40 pieds cubes par minute (707 à 1.132 l./min).

Après 8 jours, la température de la pile, à une distance d'un pied (30 cm.) au-dessus de l'entrée d'air, est de 160° F (71° C) et demeure constante pendant 4 jours. Le rapport entre le CO produit et l'oxygène absorbé est de 2,1. Aucun signe d'échauffement n'était perceptible à l'odorat.

Le jour suivant, les symptômes d'un premier stade d'échauffement du charbon étaient très évidents. Cet échauffement, accompagné de dégagement de fumées, s'est poursuivi jusqu'au 21 novembre, où la température enregistrée était de 650° C. La chambre a été isolée ensuite hermétiquement.

Une explosion s'est produite environ 5 heures après la fermeture. Au moment de l'explosion, la composition de l'atmosphère était la suivante :

| | |
|---------------------------|------|
| CO ² | 3,1 |
| O ² | 15,1 |
| CO | 1,8 |
| CH ⁴ | 4,5 |
| H ² | 3,2 |
| N ² | 72,3 |

Cette explosion a détruit de fond en comble toute l'installation.

A l'aide de graphiques indiquant les variations dans la composition de l'air de la chambre à remblai, l'auteur nous montre que la limite inférieure d'inflammabilité a été atteinte deux heures après l'isolement de la chambre et que l'inflammabilité a continué de croître jusqu'au moment où, 3 heures après, l'explosion s'est produite.

Analyse de cette explosion. — Observations générales et conclusions, relatives au rapport entre la teneur en CO trouvée et l'apparition de l'odeur particulière (stink) de remblai, et à la rapidité de formation d'une atmosphère inflammable dans la chambre à remblai, après isolement, même en l'absence de tout dégagement de grisou des strates.

L'auteur croit que le danger d'explosion est d'autant plus minime que le feu de mine est vite attaqué, et qu'on évite la production de remous. Il préconise l'établissement rapide de serements.

IV. — EMPLOI DE L'ELECTRICITE

DANS LES TRAVAUX MINIERS EN ALLEMAGNE.

Un article très intéressant, dans « Glückauf » du 10 mars 1934, p. 221, par le Prof. Dr C.H. Fritzsche, d'Aix-la-Chapelle, expose les développements techniques récents concernant l'emploi de l'électricité dans les travaux souterrains des charbonnages allemands.

Les installations électriques dans le fond doivent satisfaire aux conditions suivantes : 1°) être de sécurité; 2°) être simples d'entretien et de fonctionnement; 3°) être peu coûteuses.

Câbles et interrupteurs.

On peut grouper les câbles, d'après leur destination, en câbles fixes et en câbles volants. Tous doivent posséder une grande résistance mécanique et une grande sécurité contre l'incendie. Ces résultats sont obtenus par une gaine de plomb et une protection en fil de fer. Les extrémités de câbles sont connectées à l'aide de manchons à verrouillage remplis de coulée de masse. Les câbles mobiles ont une enveloppe en caoutchouc, encore entourée, dans certains cas, d'une gaine extérieure en chanvre de manille ignifuge.

Les câbles sont soumis à des essais très durs. On les soumet une centaine de fois, à la chute, d'une hauteur d'un mètre et demi, de blocs de plomb d'un poids de 100 kilogrammes. Ils doivent pouvoir supporter aussi, sans dégâts, le passage d'un wagonnet de 800 kilogrammes jusqu'à concurrence de 80 fois. Mais d'autres

avaries, contre lesquelles il faut se prémunir, sont encore possibles, notamment celles occasionnées par des pics à main et des pics de haveuses. La sécurité est assurée contre les dégâts de cette nature, à l'aide de fils pilotes alimentés à 24 volts par un petit transformateur logé dans un interrupteur spécial. Six fils pilotes, ou plus, sont disposés, en hélice, dans la couche extérieure de l'enveloppe en caoutchouc. La toile de cuivre, fréquemment noyée dans cette couche extérieure, peut remplir le même office.

En cas de dégâts au câble, le circuit de fils pilotes actionne un relai qui coupe le courant principal avant que le conducteur électrique ne soit lui-même détérioré.

Les fils pilotes de protection ne peuvent remplir leur office que si l'interrupteur de manœuvre possède une construction appropriée. Cet interrupteur doit permettre de couper le courant en service. Il doit en outre interrompre le circuit si le courant fait défaut à un moment donné, ainsi qu'en cas de surtension et de court-circuit.

L'auteur note que les anciens modèles d'interrupteurs de sécurité ne possédaient pas ces qualités, qui se trouvent réunies dans un interrupteur automatique de sécurité dont l'auteur publie des descriptions succinctes illustrées de photos, et dont le fonctionnement se trouve basé sur des principes électromagnétiques ou thermiques. Mais, remarque l'auteur, ces interrupteurs pour moteurs sont encore relativement encombrants, coûteux et compliqués. Ils se comportent cependant d'une façon excellente dans la pratique.

Le dernier interrupteur en date possède encore plusieurs avantages sur les précédents. Il est commandé magnétiquement. Les court-circuits éventuels provoquent le départ d'un fusible. Son avantage principal réside dans la possibilité de sa manœuvre à distance, à l'aide d'un petit interrupteur à bouton-poussoir. La commande des installations : haveuses, couloirs oscillants, etc., à distance, peut être concentrée sur un pupitre, comme dans les centrales modernes.

Les canalisations électriques à haute tension demandent des interrupteurs à bain d'huile et les préjugés que l'on peut nourrir contre l'emploi de tels interrupteurs ne se justifient pas, et n'ont pas résisté au démenti infligé par une longue expérience : pas

d'explosion d'interrupteurs à craindre. Il faut veiller cependant à ce que le courant passant par l'interrupteur ne dépasse pas l'intensité pour laquelle ce dernier a été construit.

Transformateurs.

Ils ont été pourvus récemment d'un dispositif de protection contre un excès d'échauffement, dont le fonctionnement est basé sur les propriétés des lames bimétalliques qui coupent le courant dès que la température de l'huile dépasse un certain point.

Moteurs.

Les moteurs ne peuvent donner des étincelles, doivent être robustes et demander peu de soins et d'entretien, conditions qui sont remplies par le moteur en court-circuit. Toutes les machines dans le fond, à l'exclusion des treuils, sont entraînées par des moteurs asynchrones à deux vitesses. La commande de grands treuils demande encore des moteurs à bagues avec résistances de démarrage, mais ils seront vraisemblablement remplacés bientôt par le moteur en court-circuit.

Après avoir passé en revue quelques dispositifs de commande, l'auteur remarque qu'un perfectionnement notable a été réalisé lors de l'introduction de la commande directe par moteur électrique, par l'intermédiaire ou non d'un réducteur de vitesse, éventuellement complété par chaînes et roues dentées pour augmenter l'élasticité du système.

La liaison la plus parfaite entre le moteur, le réducteur de vitesse et la machine à commander est réalisée par un dispositif spécial, dénommé « électrotambour » (en allemand *Elektrorolle*), qui combine, pour un encombrement minimum, le moteur et le dispositif à entraîner, comme réalisé depuis longtemps dans les haveuses.

Les voltages, dans les chantiers, ont une tendance à l'augmentation. Ils passent de 220 volts à 330 et 500 volts, sans poser de problèmes techniques spéciaux au point de vue de la sécurité, ni des interrupteurs. D'après Körfer, l'augmentation du voltage permettrait d'économiser de la force motrice. Les frais de câbles et d'interrupteurs seraient également réduits.

Appareils antigrisouteur.

Au point de vue de la sécurité contre le grisou, rien de particulier n'est à signaler en ce qui concerne les perfectionnements des enveloppes de moteurs et d'appareillages susceptibles de produire des étincelles. Des perfectionnements ne se sont d'ailleurs pas imposés, remarque l'auteur. L'enveloppe hermétique a répondu à l'attente, et les résultats des multiples essais d'il y a 30 ans, de Beyling, ont été pleinement sanctionnés par la pratique.

Progrès de l'électrification dans les mines.

La concentration des puits et des chantiers a été favorable à l'extension de l'emploi du courant électrique dans le fond. L'éloignement du chantier à partir du puits d'extraction est « neutralisé » par l'emploi du câble à haute tension, économique, comparé aux tuyauteries à air comprimé.

Il y a tendance à la concentration de l'énergie électrique, c'est-à-dire à l'augmentation de la puissance des moteurs, mais réduction en nombre de ceux-ci, créant ainsi des conditions plus favorables pour la commande électrique.

L'auteur signale comme fait remarquable la diversité avec laquelle les mines allemandes se sont engagées dans la voie de l'électrification et il cite quelques exemples.

La question de la commande électrique des couloirs oscillants n'est pas si simple que celle de la commande électrique de courroies transporteuses, mais des couloirs électriques fonctionnant d'une manière satisfaisante ont cependant été construits par plusieurs firmes.

Malgré tous les avantages présentés par les bandes transporteuses, remarque l'auteur, les couloirs oscillants constitueront encore pendant longtemps un moyen de transport simple et à bon marché, pour autant qu'il ne s'agisse pas de gros transports à effectuer suivant l'horizontale ou en montant; cependant, la bande transporteuse remplacera de plus en plus les couloirs oscillants, surtout depuis l'avènement de l'électrotambour (*Elektrorolle*).

Le déplacement d'une bande transporteuse dans la taille n'exige actuellement pas plus de temps que le déplacement d'une longueur équivalente de couloir oscillant. La bande transpor-

teuse consomme extrêmement plus d'énergie électrique vis-à-vis du couloir oscillant. Dans un exemple développé par l'auteur, et se rapportant à la mine Rheinpreuszen, nous notons que la consommation totale d'air des couloirs oscillants était de 1.200 m³ par heure. On leur a substitué une bande transporteuse électrique, actionnée par un électrotambour de 11 kilowatts.

Lorsqu'on l'emploie sur une pente, la bande transporteuse continue à circuler sous l'effet de la gravité, avec freinage par le moteur. D'où récupération d'énergie électrique.

Dans un autre cas, la consommation d'énergie électrique afférente à une bande transporteuse de 120 mètres de long, avec 7 à 8° de pente, était d'environ 5 kilowatts par heure, tandis qu'un couloir oscillant actionné à l'air comprimé aurait consommé 900 à 1.000 m³ d'air par heure, et un couloir oscillant électrique de 12 à 14 kilowatts par heure.

La sécurité industrielle et l'économie de la traction électrique se ressentent également, favorablement, de l'emploi des nouveaux dispositifs de transport modernes. Un exemple de fonctionnement d'une bande transporteuse dans la mine Auguste-Victoria est donné.

L'auteur signale encore les rendements notables de treuils électriques du type Westphalia dans la même mine, avec dispositif spécial de captation des poussières; ils sont avantageux dans un demi-dressant. Pour les puits intérieurs, l'auteur signale surtout le grand rendement du treuil électrique. Exemple pris dans la mine Auguste-Victoria.

Le treuil électrique est appelé à se propager de plus en plus. L'auteur regrette cependant que l'on n'ait pas développé une forme constructive plus ramassée pour les treuils de grandes dimensions destinés aux puits intérieurs, ce qui dispenserait d'établir une chambre spéciale.

Il faut signaler encore des perfectionnements apportés par l'électricité dans la mécanisation des dispositifs de remblayage, pour la commande des roues à godets, des remblayeuses, etc. Récemment, on a installé dans la mine Rheinpreuszen une remblayeuse électrique basée sur la force centrifuge et qui donne un rendement de 70 à 80 m³ par heure.

L'auteur signale l'importance qu'acquiert l'éclairage électrique des tailles et des chantiers. Il est effectué d'ordinaire par l'inter-

médiaire d'un transformateur sec de 1 à 5,5 KVA. Emploi très indiqué de l'électricité comme agent de signalisation.

La nécessité d'un éclairage plus intensif des chantiers plaide en faveur de l'éclairage électrique du fond. Les installations d'éclairage électrique du chantier d'abatage peuvent être reliées, à peu de frais, à un réseau électrique de distribution. La mine Minister Stein a pratiquement tous ses chantiers éclairés à l'électricité.

L'auteur se demande même jusqu'à quel point il est encore nécessaire et utile de munir les ouvriers d'une lampe portative quelconque. Wencker croit résoudre au mieux ce problème en fournissant aux ouvriers de petites lampes, susceptibles de brûler pendant deux heures et qui ne sont censées intervenir que lorsque le courant viendrait à faire défaut.

L'auteur parle ensuite de la simplification intervenue dans la pose et l'entretien des installations électriques du fond. Nécessité d'instruire les surveillants de mine des choses électriques.

En conclusion, l'auteur croit que les installations électriques dans le fond fonctionnent sans défaillance.

Au point de vue économique, l'auteur fait apparaître, chiffres à l'appui, l'économie effectuée par l'introduction de l'électricité dans la mine. Le développement technique des installations et des machines électriques dans le fond, de même que les avantages indirects et directs résultant de l'emploi de force motrice mixte (électricité + air comprimé), par comparaison avec l'emploi de l'air comprimé uniquement, ont donné un grand essor à l'électrification des mines.

Par exemple, dans la mine Rheinpreuszen, les moteurs électriques de sécurité sont passés, durant ces 7 dernières années, de 105 à 2.200 kilowatts, c'est-à-dire que leur puissance a été multipliée par 21. Dans la mine Minister Stein, l'électrification est passée de 50 % en 1930, à 80-90 % à l'heure actuelle. Autres exemples, tant dans les mines à couches en plateure que dans celles à couches en demi-dressants ou en dressants.

L'auteur remarque, en terminant, que toutes les mines allemandes ont fait beaucoup de progrès en ce qui concerne leur électrification, mais qu'elles doivent encore baisser pavillon devant les mines écossaises, qui montrent la voie vers d'autres possibilités d'électrification.

V. — LES PHENOMENES D'ELECTRICITE STATIQUE
DANS LA NATURE ET DANS L'INDUSTRIE.

Le Bureau des Mines des Etats-Unis, dans son bulletin n° 318, traite de l'importante question de l'électricité statique dans la nature et dans l'industrie.

Cette étude débute par une partie historique très intéressante, faisant remonter les premières observations de phénomènes d'électricité statique à quelque 600 ans avant J.-C.

NATURE DE CES PHENOMENES D'ELECTRICITE
STATIQUE.

Electrisation par choc.

Deux corps prennent une certaine charge électrique par le fait même de leur « collision », due à deux mécanismes de chargements différents : une électrisation de contact et une électrisation de séparation, due à l'inertie d'électrons libres.

Tagger a imaginé un dispositif dans lequel de petites sphères de verre, d'ébonite, de caoutchouc durci et d'autres substances étaient fixées au bout d'un bras mobile et pouvaient ainsi tomber sur un enclume en acier « poli », à des vitesses variables et déterminées.

Les charges électriques « engendrées » ne constituent qu'une faible portion, probablement moins de 1 %, de la quantité d'énergie de choc.

Electrisation par pression.

Phénomènes piezo-électriques bien connus, exhibés par des cristaux de quartz et certains autres cristaux. Naylor et Ramsey affirment que la friction provoque un contact intime, immédiatement suivi de séparation, occasionnant une telle élévation de potentiel que la charge apparaît aussitôt.

Dans l'industrie, on aurait obtenu 80.000 volts par des frictions de courroies sur poulies, mais ces cas sont relativement rares.

Il y a aussi des phénomènes d'électrisation par induction. La question de l'électrisation des poussières est particulièrement importante. Dans toute formation d'une suspension de poussières, il se développe des charges électriques dont l'importance est fonc-

tion d'un certain nombre de facteurs, tels que la quantité de poussières, leur rapidité de mise en suspension dans l'air, leur nature et les conditions atmosphériques.

Quelques exemples d'électrisation de poussières, à grande échelle, sont offerts par la nature : électrisations se manifestant au-dessus de volcans, tempêtes de poussières dans le désert du Sahara (souvent accompagnées de charges électriques énormes).

Un ballon dirigeable passant à travers un nuage de poussières peut recevoir des charges suffisantes, de nature opposée, pour donner des étincelles. On a fait cette hypothèse pour la perte du « Dixmude ». L'auteur cite encore quelques exemples d'électrisations produites par des orages. Par une journée calme, remarque Benade, lorsque l'air est fortement chargé de poussières, son potentiel peut varier durant des heures entre 5.000 et 10.000 volts, pour une intensité d'un micro-ampère environ.

Partie expérimentale.

Les premières expériences décisives d'électrisation de poussières ont été vraisemblablement effectuées par Lichtenberg vers 1776. Davy et Knoblanck ont fait également de multiples essais dans ce domaine.

Knoblanck croit que les charges électriques créées par friction sont engendrées dans un film d'eau excessivement ténu (de l'ordre de quelques molécules peut-être) qui se trouve normalement à la surface de tous les corps. Un tel film d'eau est susceptible de contenir des ions en dissolution.

Rudge a trouvé que : 1°) les suspensions de poussières d'éléments non métalliques sont électrisées positivement; 2°) les suspensions de poussières d'éléments métalliques sont électrisées négativement; 3°) les poussières solides, de nature acide, et les oxydes susceptibles de former des acides, donnent des suspensions chargées positivement. Les oxydes basiques forment des suspensions chargées négativement;

4°) la charge que prennent les poussières est contraire à celle de l'ion de la même substance, en dissolution;

5°) dans le cas de sels, la charge d'électrisation est apparemment fonction de la puissance relative des ions acides et basiques;

6°) la similitude de corps engendre la similitude de charges.

Rudge conclut que, dans tous les cas, la charge est réellement due à des particules très fines dans l'air.

La nature de la substance heurtée par les jets d'air comprimé poussiéreux n'affecte en rien la charge.

L'auteur parle encore des expériences de Wittmann, Stager, Boning, Israel et des électrisations de poussières de sucre étudiées par Beyersdorfer en 1922.

Beyersdorfer a montré que de l'ozone et du pentoxyde d'azote sont formés dans une décharge électrique silencieuse et il croit que ces gaz sont susceptibles de se former dans des nuages de poussières fortement chargés, les rendant ainsi plus sensibles à l'explosion.

Blactin et Robinson ont étudié l'électrisation des poussières de charbon. Cette électrisation a été, jusqu'à présent, *insuffisante* pour enflammer des suspensions de poussières de charbon. Ces chercheurs ont provoqué l'inflammation de mélanges grisouteux à l'aide d'étincelles électriques provoquées par le passage d'un mélange d'air et de poussières de charbon à grande vitesse à travers un long tube en fer, de grand diamètre.

Blactin et Robinson affirment que dans certaines conditions atmosphériques et électriques favorables, un courant d'air ne renfermant qu'une très faible quantité de poussières de charbon (de l'ordre de 4,1 à 1,1 gr. par m³), qui se meut à une très grande vitesse dans une tuyauterie bien isolée, peut donner des étincelles capables d'enflammer le grisou.

Des essais montrent qu'à certains jours (pendant lesquels l'humidité relative de l'air dépassait environ 65 %) aucune charge électrique ne pouvait être accumulée.

Il faut donc mettre les tuyauteries et canars de ventilation efficacement à la terre. Mais, remarque l'auteur, cette mise à la terre parfaite dans bien des endroits où on utilise un système de ventilation auxiliaire, plus particulièrement dans les mines chaudes et profondes, n'est pas chose aisée. Le facteur principal gouvernant l'importance des charges électriques accumulées sur des poussières est la finesse des particules. On a essayé de baser une méthode de détermination de la finesse de poussières du charbon sur l'électrisation présentée par ces poussières.

Les différences d'électrisation exhibées par des poussières de charbon de différentes provenances ont été attribuées à un fac-

teur de finesse, inconnu, et à des changements superficiels dus à l'exposition à l'air.

Walther et Franke ont opéré sur des poussières de lignite.

Le voltage d'électrisation obtenu augmente avec l'accroissement de la quantité de poussières en suspension, de la pression du jet d'air, de la surface totale exposée par les poussières, de la température et de la teneur en bitume.

Le voltage décroît avec l'augmentation du diamètre de la tuyauterie, avec l'augmentation de l'humidité de l'air ou du charbon et avec le remplacement de l'air par un gaz inerte.

L'auteur note que les liquides à haute résistivité électrique, comme les huiles et beaucoup de dissolvants organiques, sont très susceptibles à électrisation. L'air, au voisinage de chutes d'eau, est chargée d'électricité négative. Un peu d'histoire à ce sujet. Etudes expérimentales concernant les électrisations provoquées par des chutes d'eau.

La thérébentine et le mercure, en ruisselant à travers l'air atmosphérique, lui communiquent respectivement des charges égales à deux et quatorze fois celles obtenues avec de l'eau distillée.

Dans un essai avec un jet d'eau de 0,8 millimètre de diamètre et de 1^m,20 de longueur, Lenard a obtenu une charge de 4.000 volts.

Les essais décrits par l'auteur, et d'autres encore, dit-il, viennent à l'appui de la théorie d'après laquelle sur une surface d'eau pure, il existe normalement une double couche d'ions (—) et (+), les premiers étant au-dessus des seconds. Mais pour d'autres liquides et électrolytes, cette disposition peut être différente.

Phénomènes d'électrisation présentés par les liquides inflammables : éther, sulfure de carbone, benzol.

Du benzol passant dans une tuyauterie, à la vitesse de 4 mètres par seconde, a donné lieu à des voltages jusqu'à 4.000 volts, approximativement proportionnels à la vitesse d'écoulement, et les voltages obtenus étaient les plus grands avec des tuyauteries en fer.

En mélangeant une petite quantité de benzol commercial à du benzol pur, on obtient un produit qui ne donne pas lieu à ces phénomènes d'électrisation.

Dolézalek affirme que la nature de la surface interne des tuyauteries exerce une grande influence sur la nature de la charge. L'électrisation est presque aussi aisée pour l'éther sec que pour le benzol, et 4.000 volts ont été obtenus avec l'éther sec, dans un essai.

Il faut, d'après Richter : 1°) mettre à la terre toutes tuyauteries métalliques et tous réservoirs contenant du liquide inflammable, et 2°) employer du verre au lieu de métal là où la mise à la terre est impossible.

Les opinions ne sont cependant pas concordantes à ce sujet. E. de Haën croit que le verre se charge plus facilement que le métal et ne devrait jamais être substitué à ce dernier.

Dolézalek prétend que la mise à la terre ne constitue pas une garantie dans le cas de la benzine; il prétend même que la mise à la terre est ici défavorable, ce qui n'est pas l'avis de Richter, confirmé par Holde. Il semblerait exister, d'après Rodde, une vitesse optimum d'écoulement pour la production d'électricité statique. Si cette vitesse devient trop grande, il n'y a pas formation de charges électriques.

Des phénomènes d'électrisation peuvent également être produits par des gaz et des vapeurs : vapeur d'eau, CO², etc.

Backhaus résume comme suit différentes manières de production d'électricité statique :

- 1°) par écoulement du dissolvant liquide à travers des tuyauteries ou des tubes;
- 2°) par passage du dissolvant liquide d'un récipient ou d'une tuyauterie dans l'air ou un autre milieu gazeux;
- 3°) par passage de vapeurs du dissolvant dans un milieu gazeux, à travers une ouverture;
- 4°) par passage de gaz à travers un dissolvant liquide.

Le barbotage de gaz à travers des liquides aux fins d'agitation pourrait ne pas être de sécurité dans le cas de dissolvants à faible conductibilité.

Dangers d'électrisation afférents à l'industrie du nettoyage à sec et de la teinturerie. En rapport avec ces industries, Richter a trouvé qu'un faible pourcentage d'oléate de magnésium ajouté à l'essence empêche l'accumulation de charges statiques.

Dangers d'électricité statique afférents à l'industrie du coton, auxquels on obvie en humidifiant l'air des salles d'usine ou par l'interconnexion ou la mise à la terre de toutes les parties des machines.

Phénomènes d'électrisation dans l'industrie des grains et des produits à base de grains, dus aux poussières produites dans ces industries.

Phénomènes d'électricité statique provoqués par des chutes de toit susceptibles de donner lieu à des étincelles : Rees croit à des phénomènes de piezo-électricité. La fissuration des roches est susceptible de provoquer des phénomènes d'électricité statique. Dans les mines profondes, le poids de la surcharge des mort-terrains peut devenir tel que même de grands piliers de charbon peuvent être écrasés. Ces fractures violentes font apparaître de l'électricité statique.

Les expériences de Walther et de Franke, de Blactin et de Robinson ont montré que des poussières de charbon véhiculées par un courant d'air sont susceptibles de développer une charge électrostatique élevée, suffisante pour donner une étincelle enflammant le CH⁴.

Au cours de ses recherches sur l'électrisation des poussières, Rudge a mesuré un potentiel de près de 300 volts produit par une suspension modérée de poussières de charbon soulevées par un train de wagonnets dans une mine. Des expériences de laboratoire effectuées avec les mêmes poussières soufflées à travers un tube métallique ont donné des étincelles d'un centimètre de longueur.

Si donc, continue Rudge, nous imaginons un système comprenant un nuage de poussières de charbon ou autres, brusquement soulevées, un conducteur isolé, un conducteur mis à la terre à proximité de ce dernier, et un mélange de gaz explosif, une explosion est susceptible de se produire. L'auteur cite plusieurs cas d'explosions de grisou provoquées par la foudre qui s'introduit dans le puits de mine par les câbles et passe ensuite par les rails des galeries. D'où nécessité de protéger les châssis à molettes par des parafoudres. Plusieurs exemples de l'effet de la foudre dans la mine.

Des charges électrostatiques de puissance considérable sont induites quelquefois dans la croûte terrestre par les nuages en

temps d'orage. Au point de vue danger d'inflammation du grisou, il n'y a qu'un remède absolument efficace : ne pas permettre d'accumulation de gaz.

Audibert et Delmas font mention de plusieurs accidents dans lesquels du grisou a été enflammé par des étincelles provoquées par l'air comprimé.

Rappelons qu'à l'Institut National des Mines, nous avons souvent reproduit, devant des centaines de visiteurs, l'inflammation du grisou par l'étincelle de décharge d'une tuyauterie d'air comprimé véhiculant des poussières.

L'auteur examine les charges d'électricité statique susceptibles de s'accumuler sur le charbon pulvérisé utilisé fréquemment comme combustible. Quoique des suspensions de poussières de charbon dans l'air n'aient pas encore été enflammées expérimentalement par des étincelles d'électricité statique, il n'existe pas encore assez de preuves pour garantir l'assertion qu'une telle inflammation est impossible.

L'auteur parle ensuite des dangers présentés par les accumulations d'électricité statique dans quelques autres industries. Il commente l'abondance des phénomènes d'électricité statique dans la nature qui constituent un danger très étendu et réel. Il examine quelques conditions favorables à l'accumulation dangereuse d'électricité statique (surtout faible degré hygrométrique de l'air).

L'auteur examine ensuite les rapports entre l'intensité des étincelles et le danger de l'électricité statique. L'intensité d'étincelle nécessaire à l'inflammation de différentes substances inflammables varie entre de larges limites. Elle est fonction non seulement de la nature de la substance, mais également de la répartition des poussières dans l'air, de l'énergie des étincelles. Quelques exemples.

Wheeler a montré que pour qu'un mélange gazeux fasse explosion, il faut qu'une « sphère » minimum du mélange gazeux soit portée à la température d'ignition.

Morgan a trouvé qu'il fallait un minimum de 0,002 joule environ pour enflammer des mélanges à 8,8 % de CH_4 et d'air. Cette valeur a été confirmée par les essais de Blacktin et de Robinson.

On croit généralement que la seule fonction de l'étincelle électrique dans le processus d'inflammation consiste à fournir une source intense d'énergie thermique. Un certain nombre de chercheurs, cependant, prétendent que la réaction est catalysée positivement par des moyens purement électriques qui, d'après Beyersdorfer, sont susceptibles, dans certains cas, de dépasser considérablement en importance l'effet thermique de la décharge électrique.

La fonction des phénomènes d'ionisation dans beaucoup de phénomènes de combustion est encore un point d'interrogation. Certains travaux non encore publiés, de Lewis et Kreutz, à la Station expérimentale de Pittsburgh du Bureau des Mines, semblent indiquer que l'injection d'ions dans un mélange grisouteux explosif diminue la température d'inflammation de ce dernier.

L'auteur suggère ensuite quelques mesures de sécurité à envisager dans l'industrie pour neutraliser le danger des charges d'électricité statique, notamment l'enlèvement des dépôts de poussières de charbon, la mise à la terre efficace de toute source possible d'électricité statique, l'humidification de l'atmosphère, l'ionisation de l'air à l'aide de rayons X ou de rayons ultraviolets avec augmentation de sa conductibilité.

L'auteur termine en suggérant quelques mesures de sécurité à employer en cas d'incendie ou d'explosion. Eviter de soulever des nuages de poussières en projetant inconsidérément de l'eau. Inspection systématique des usines, mises à la terre, maintien d'un degré hygrométrique élevé, installation adéquate d'extincteurs d'incendie, schistification des poussières de charbon dans la mine.

VI. — HYGIENE.

1. — Silicose.

La question des recherches concernant la silicose est à l'ordre du jour, surtout depuis 1932.

Plusieurs hypothèses ont été confrontées en ce qui concerne la cause réelle de cette maladie. Le Dr W. R. Jones, du Collège des Sciences et Technologie de Londres, accuse la sérécite, silicate hydraté d'aluminium et de potassium, minéral fibreux du groupe du mica (C. G. 15-9-1933).

D'après le Dr J. Haldane, cependant (C. G. 14-12-1934), la sérécite ne produit aucune des apparences caractéristiques de la silicose dans les poumons et le rôle principal, dans la silicose, reviendrait à des particules de silice libre, de quartz, de quelques microns de diamètre.

La sérécite neutraliserait même tout l'effet nuisible des particules de quartz.

D'après le Dr E. H. Kettle (C. G. 15-6-1935), il faut absolument que la silice soit solubilisée dans l'organisme pour être dangereuse. On ne connaît pas exactement le mode d'action de la silice dissoute dans la production de tissus fibreux. Kettle suggère que la silice dissoute agit chimiquement comme un poison des cellules.

L'action de la silice sur les poumons serait susceptible d'être exaltée, éventuellement, par la présence d'autres poussières (poussières de charbon notamment) ainsi que par l'inhalation de certaines vapeurs nitreuses produites par la détonation d'explosifs.

Le Prof. Henry Louis (C. G. 23-2-1934) parle de l'action des pyrites de fer dans la production de la silicose.

Les recherches concernant la silicose sont surtout poursuivies par examen de coupes minces de poumons au microscope pétrographique et au microscope polarisant.

2. — *Asphyxie. — Traitement au mélange anhydride carbonique et oxygène.*

La circulaire n° 64 du Département des Mines britannique (commentée par le Sous-Secrétaire des Mines), datée du 24 octobre 1933, attire l'attention sur les avantages d'un mélange d'anhydride carbonique et d'oxygène administré, par respiration artificielle, en cas d'empoisonnement au CO ou de choc électrique, ainsi qu'après asphyxie due au grisou (1).

Des appareils appropriés pour l'administration, par respiration artificielle, de ce mélange existent à l'heure actuelle sur le marché.

(1) L'addition de CO₂ à l'oxygène est pratiquée depuis un certain temps déjà en Belgique; l'appareil du Dr Latinne est notamment utilisé avec succès depuis quelques années, à la Centrale de sauvetage de Marcinelle.

L'oxygène peut être remplacé à la rigueur par de l'air atmosphérique pur.

Si on administre le CO₂ avec de l'oxygène, on peut se servir d'un masque fermé. Si on l'administre avec de l'air, il suffira de provoquer une petite décharge de CO₂ à un pouce environ (25 mm.) de distance du nez et de la bouche du patient.

On peut également employer un masque spécial « à sac » comme le « sparklet resuscitator ».

Le Secrétaire des Mines cite deux cas récents où la valeur du traitement au mélange (93 % O₂ + 7 % CO₂) (1) est particulièrement mise en vedette. L'effet de ce mélange respiratoire est très rapide.

Le Secrétaire des Mines insiste pour que les centrales de sauvetage soient équipées, le plus rapidement possible et sans attendre les délais légaux, de ces nouveaux appareils à respiration artificielle au O₂ + CO₂.

La plupart des appareils à respiration artificielle à oxygène, existants, peuvent être aisément adaptés au mélange (O₂ + CO₂).

Quelques détails concernant le traitement au mélange (O₂ + CO₂).

Action du CO₂ respiré.

La respiration d'une certaine quantité de CO₂ stimule les parties du cerveau régulatrices de la respiration : celle-ci devient plus profonde et la circulation du sang est activée.

Résultats. — L'absorption de l'oxygène par le sang et, en cas d'empoisonnement par le CO, l'élimination du CO du sang se trouvent accélérées.

Appareils. — Le mélange (CO₂ + O₂) peut être obtenu tout préparé en bonbonnes, en même temps que les appareils spécialement construits pour administrer le mélange, généralement à 7 % de CO₂ et 93 % d'O₂. Il faut prévoir une grande quantité de mélange et une respiration artificielle aisée.

(1) Signalons que l'on fait souvent usage du mélange 95 O₂ + 5 CO₂.

Manière de procéder. — La personne asphyxiée sera évacuée le plus rapidement possible de la zone dangereuse, dans l'air frais. Elle recevra toujours les premiers soins dans le fond. Elle sera mise au chaud et on commencera immédiatement et sans interruption la respiration artificielle avec administration sans délai du mélange ($\text{CO}^2 + \text{O}^2$) jusqu'à rétablissement de la respiration naturelle, mais le minimum sera de 15 minutes.

En cas d'intoxication par le CO, l'administration du mélange ($\text{CO}^2 + \text{O}^2$) doit être continuée encore pendant 5 à 10 minutes après le rétablissement de la respiration naturelle, de façon à vider le sang du CO.

Dans tous les cas d'asphyxie, le patient devra être tenu au chaud et au repos, même après rétablissement apparent, et gardé en observation jusqu'à l'arrivée du médecin.

Au moindre signe de respiration défaillante, il faut reprendre le traitement au mélange ($\text{CO}^2 + \text{O}^2$).

Ad. B. et F. V. O.

BIBLIOGRAPHIE

A propos des cancers du goudron, par D^r Langelez, Inspecteur général chef du Service médical du Travail. (*Revue de Pathologie et de Physiologie du Travail*, n° 5, février 1935.)

Dans ce travail, l'auteur relate les résultats d'une enquête faite dans les fabriques d'agglomérés, les fabriques de sous-produits, les usines de distillation de goudrons et les fabriques de carton bitumé. Au total 39 usines ont été visitées et 410 ouvriers — 376 hommes et 34 femmes — examinés. Après avoir rappelé quelques détails techniques relatifs aux procédés industriels utilisés dans ce genre d'entreprises et signalé les influences nuisibles auxquelles les travailleurs sont exposés, le docteur Langelez fait un relevé des lésions de la peau constatées; celles-ci se dénombrent comme suit : 202 cas de modifications de coloration de la peau, 150 cas de verrues et de cicatrices de verrues, 42 cas d'épaississement de la peau, 2 cas de cancer en évolution, 5 cas de cancer opéré et 16 lésions suspectes. Un tableau détaillé donne la répartition des différentes lésions constatées d'après le genre d'industrie, l'âge des ouvriers ainsi que leur temps de service. Ce tableau relève que pour un temps de service inférieur à un an, il n'existe pas de « verrues », la lésion la plus importante au point de vue de l'action du goudron; la proportion s'élève progressivement pour atteindre 100 p. c. après 25 ans de service. Des considérations relatives aux lésions constatées suivent ces données statistiques; le trouble de la peau le plus inquiétant est la verrue; celle-ci peut, ou bien s'étioler, tomber et ne laisser qu'une cicatrice, ou bien, dans certains cas, elle évolue vers la cancérisation (épithélioma de la peau). L'histoire d'une douzaine de malades est intéressante à ce point de vue.

Les causes du cancer du brai ont été longtemps discutées et à l'heure actuelle encore, le problème étiologique de cette maladie n'est pas complètement résolu. Certains auteurs ont fait intervenir l'action de l'arsenic; d'autres le phénol ou l'anthracène. D'après les conceptions les plus récentes, le cancer du brai serait dû à l'action d'un hydrocarbure se trouvant dans