

Institut National des Mines
PATURAGES

Conférence restreinte des Directeurs des Stations d'essais

Varsovie — Octobre 1961

RESUMES DES COMMUNICATIONS

E. DEMELENNE

Administrateur-Directeur de l'Institut National des Mines

par

H. CALLUT

Ingénieur en Chef-Directeur des Mines

(suite)

2. GRISOU

SOMMAIRE

21. GRISOMETRIE.

211. *Grisoumètres.*

2111. *Communications.*

Grisoumétrie, par A. Monomakhoff (France).

Etudes supplémentaires sur la téléométrie automatique, par T. Suzuki (Japon).

Grisoumètre déclencheur rapide, par V.K. Perepelitsa (U.R.S.S.).

2112. *Discussion.*

212. *Lampe à flamme.*

2121. *Communications.*

Le comportement de la lampe à flamme dans la détection des couches de grisou au toit des galeries, par A.R. Baker et D.A. Windle (G.B.).

Essais sur la lampe à flamme comme avertisseur d'un manque d'oxygène, par E. Demelenne (Belgique).

2122. *Discussion.*

213. *Conclusion.*

22. RISQUE DE GRISOU

Expériences sur la stratification du grisou au toit des galeries dans le cas de l'existence de plusieurs points de dégagement, par S.J. Leach et L.P. Barbero (G.B.).

Le dégagement de grisou et la lutte contre les concentrations de gaz trop élevées aux Mines d'Etat néerlandaises, par L.A.G.L. Arets, W. Maas, P.J. Muysken, J. Stuffken, F.C.M. Wijffels (Pays-Bas).

Recherche d'un critère de détermination de la vitesse minimale d'un courant d'air assurant le mélange du grisou à l'air dans les travaux miniers, par J. Sobala et J. Marcol (Pologne).

Réduction du nombre de dégagements instantanés par la perforation des couches, par M.L. Szirtes (Hongrie).

Coupe-flamme pour les conduites de mise à l'air libre des installations de captage de grisou, par W. Bartknecht (R.F.A.).

2 I. GRISOMETRIE

La grisométrie présente une importance considérable.

Elle est en effet un facteur essentiel de la sécurité dans la mine puisqu'elle permet de connaître le caractère grisouteux de l'atmosphère et par suite de prendre des mesures en conséquence.

L'expérience incline d'ailleurs à croire que la plupart des accidents dus au grisou se sont produits par ignorance de la situation grisométrique dans les travaux en cause.

A la rigueur, la lampe à flamme pourrait suffire pour détecter le grisou mais ses indications prêtant à discussion et n'étant pas enregistrées, son autorité peut parfois laisser à désirer.

Cette lampe a toutefois sûrement rendu et rend encore les plus grands services comme grisomètre et, si parfois des accidents lui ont été attribués, souvent d'ailleurs faute de trouver une autre cause, nul doute qu'elle a permis d'en éviter beaucoup d'autres.

Il faut bien se dire que, si l'on peut compter ceux qu'on lui a attribués, on ignorera toujours le nombre de ceux qu'elle a contribué à éviter. C'est là, l'ingratitude inhérente à la fonction de sécurité, que cette fonction soit celle d'un appareil, d'un homme ou d'un service !

Mais, il est un fait que, contrôlée sommairement et mise dans les mains de personnes quelconques, comme ce fut parfois le cas, elle peut présenter un danger et c'est pourquoi, depuis longtemps, on a essayé de la remplacer par des appareils plus sûrs et plus précis.

Dans ces dernières années, plusieurs types de grisomètres ont été mis au point dans certains pays et donnent satisfaction.

On peut citer notamment le grisomètre Verneuil 54 et l'interféromètre japonais dont les principes de fonctionnement sont repris dans les nouveaux appareils qui font l'objet de certaines communications.

Outre ces simples détecteurs, on va disposer dorénavant, grâce à l'électronique, d'appareils qui surveillent l'atmosphère comme des sentinelles. Ils pourront, automatiquement, si la teneur en grisou devient exagérée, couper le courant des appareils électriques ou donner l'alarme à l'endroit que l'on choisira au fond comme à la surface.

Outre la teneur en grisou, ils pourront relever la température, l'humidité, la pression de l'air et communiquer ces renseignements à celui qui les leur demandera d'un point choisi du fond ou de la surface.

Ils pourront aussi enregistrer tous ces renseignements.

Cinq communications sont à classer au chapitre « Grisométrie ».

Elles peuvent être réparties en 2 groupes :

- un premier groupe, comprenant trois d'entre elles, a trait aux nouveaux appareils dont nous venons de parler et
- un second groupe, comportant les deux autres, vise la lampe à flamme.

2 I I. Grisomètres.

2 I I I. COMMUNICATIONS

Communication n° 31. — Grisométrie, par A. MONOMAKHOFF (France) (1).

Dans cette communication, il est d'abord question du *grisomètre déclencheur rapide type ADR-59* qui a déjà été décrit lors d'une précédente conférence, à Verneuil en 1958, mais qui, depuis, a subi des perfectionnements.

C'est une « sentinelle » qui surveille en permanence l'atmosphère en un point déterminé. Il coupe automatiquement, en moins de 2 secondes, le courant du réseau en cas de dépassement d'une certaine teneur en grisou.

De plus, il donne l'alerte par signal acoustique lors de ce dépassement. Son champ d'application comprend les travaux électrifiés susceptibles d'être affectés par un afflux de grisou et particulièrement par les dégagements instantanés.

L'élément doseur de ce grisomètre est un analyseur de méthane, par rayonnement infra-rouge et l'ensemble de l'appareillage qui n'est pas de sécurité intrinsèque, est contenu dans un carter antidéflagrant alimenté par le réseau.

En principe, l'élément doseur comprend deux faisceaux de rayons infra-rouges émis par deux filaments montés en série. Ces faisceaux, d'égale intensité, sont régulièrement interrompus en phase par un obturateur rotatif et passent l'un dans une chambre contenant de l'air et l'autre dans une deuxième chambre contenant l'air à analyser. Ils en sortent pour rentrer chacun dans l'un des deux compartiments, remplis de méthane, du détecteur. Ces deux compartiments sont séparés par une membrane flexible conductrice voisine d'une électrode métallique fixe isolée. Membrane conductrice et électrode métallique forment les deux armatures d'un condensateur raccordé à un montage électronique alimenté par le réseau.

Le faisceau ayant traversé la chambre à air pur arrive intact dans son compartiment du détecteur du fait que l'air pur n'absorbe pas ces rayons.

Le méthane qui se trouve dans ce compartiment absorbe l'énergie correspondant à son spectre et

(1) Le texte intégral de cette communication sera publié prochainement dans la Revue de l'Industrie Minière.

s'échauffe. Il donne ainsi des impulsions de pression, synchrones du mouvement de l'obturateur.

L'autre compartiment du détecteur reçoit un faisceau d'autant plus affaibli en rayons du spectre du méthane qu'il y a plus de méthane dans la chambre d'analyse. L'échauffement et, par conséquent, les impulsions de pression y sont moindres. Les vibrations de la membrane de séparation ont d'autant plus d'amplitude que la différence des impulsions dans l'un et l'autre compartiment est plus forte.

La variation moyenne de la capacité du condensateur, formé par la membrane et l'électrode fixe, qui résulte du mouvement de la membrane, est déterminée électroniquement et traduite en tension continue.

Cette tension est la mesure de la teneur en méthane dans la chambre d'analyse.

L'appareil, qui est raccordé au réseau, est *auto-contrôlé* du fait que tous ses organes ont une sécurité positive : les relais sont excités, l'analyseur de grisou produit un signal même en l'absence de grisou, le flotteur du débitmètre provoque l'alarme s'il tombe sous un niveau déterminé, etc. En cas de panne à l'un quelconque de ces éléments, il se produit un signal d'alarme lumineux qui informe que l'appareil n'est pas en service effectif. Son échelle de dosage s'étend de 0 à 2 % de CH₄ avec une précision meilleure que $\pm 0,2$ % pour le déclenchement et de $\pm 0,05$ % CH₄ en fonctionnement non dynamique.

Enfin, disons encore que l'appareil peut être pourvu d'un enregistreur.

M. Monomakhoff décrit ensuite le *grisoumètre Verneuil téléindicateur*.

Cet appareil a pour but de contrôler, à distance, les teneurs en grisou entre 0 et 8 %, en des endroits quelconques de la mine et particulièrement en ceux qui sont interdits momentanément au personnel comme c'est le cas lors des tirs dans les mines à dégagements instantanés.

Cet appareil n'est pas raccordé au réseau comme le précédent.

Il est autonome, facilement transportable et il est de sécurité intrinsèque.

L'appareil comprend 3 éléments :

a) la « tête de mesure » qui comporte deux filaments de platine identiques à ceux du grisoumètre « Verneuil 54 », enfermés dans un triple tamis de lampe à flamme.

Le principe en est le suivant :

Ces deux filaments, formant chacun un bras d'un pont de résistance, sont chauffés par la pile d'alimentation de ce pont. L'un spiralé, à pas plus large que le second, reste à une température inférieure à la température de combustion catalytique du méthane, tandis que le second est à une température légèrement supérieure. Le grisou brûle au contact de ce dernier, en élève la température, d'où une augmentation de résistance qui déséquilibre le pont. La

tension apparaissant dans la diagonale de mesure par suite du déséquilibre indique la teneur en méthane.

Cette tête de mesure, que l'on suspend à la couronne de la galerie, est reliée par un câble de 5 m de longueur à

b) un poste « codeur » qui comprend la pile d'alimentation et le dispositif électronique de codage qui transforme le signal continu donné par la tête de mesure en un signal alternatif dont la fréquence est fonction de la teneur en CH₄ de l'atmosphère ;

c) un « poste de lecture » relié au « poste codeur » par une ligne sommaire quelconque à 2 conducteurs (de tir par exemple). Ce poste de lecture comporte un fréquencemètre et donne directement la teneur en CH₄ dans la « tête de mesure ». L'appareil est commandé à partir du poste de lecture et une mesure dure de 2 à 3 secondes. C'est donc un appareil discontinu devant être manœuvré par un opérateur éloigné du point de dosage.

La troisième réalisation envisagée est le *Central de télégrisoumétrie*.

La réalisation du grisoumètre téléindicateur devait naturellement conduire à la conception du central de télégrisoumétrie, et c'est ce qu'explique pour finir M. Monomakhoff.

La première version de ce central comportera 12 postes de dosage répartis dans la mine aux points à surveiller et reliés à un poste installé à la surface.

L'ensemble de l'appareillage placé dans la mine est de sécurité intrinsèque.

Le poste de surface procédera automatiquement, à des intervalles de quelques minutes, à l'interrogation des différents points de dosage et à l'enregistrement des résultats obtenus.

Un signal d'alerte pourra être déclenché en cas de dépassement de la teneur en grisou en l'un de ces points et une liaison téléphonique pourra être établie avec ce point grâce à un combiné téléphonique portatif se raccordant à la ligne de télétransmission.

Communication n° 50. — Etudes supplémentaires sur la téléméthanométrie automatique, par T. SUZUKI (Japon).

On connaît l'*interféromètre Riken-Keiki* qui est sur le marché depuis quelques années et qui rend de grands services.

Le principe de cet appareil est le suivant :

Deux rayons lumineux, émis par une ampoule électrique, passent l'un dans une chambre contenant toujours de l'air pur et l'autre dans une chambre contenant le mélange à analyser. Ces deux rayons sont ensuite superposés dans le champ d'un microscope sur une échelle graduée en % de CH₄.

Par cette superposition, ils donnent lieu à toute une série de franges d'interférence colorées, visibles dans le microscope. L'une d'elles est noire.

Quand la chambre d'analyse ne contient que de l'air pur, cette frange noire doit être au zéro de l'échelle. Lorsque cette chambre contient un mélange d'air et de grisou, cette frange noire se déplace vers la droite et indique, sur l'échelle, la teneur en grisou.

Malgré l'utilisation croissante de cet appareil (M. Suzuki nous dit, en effet, qu'au Japon il y a actuellement 3 fois plus d'interféromètres que de lampes à flamme), un autre grisoumètre a été créé.

Il s'agit du « méthanomètre à thermistances » dont voici le principe.

Deux thermistances identiques forment deux bras d'un pont de résistance. Ces thermistances sont des éléments à coefficient de température négatif, c'est-à-dire que leur résistance électrique diminue fortement quand leur température augmente. L'une est montée dans une chambre comprenant de l'air pur et l'autre dans la chambre d'analyse. Les thermistances sont chauffées par la pile d'alimentation du pont. Le pont est équilibré quand les deux chambres renferment de l'air. Lorsque la chambre d'analyse contient de l'air grisouteux, la thermistance qui s'y trouve se refroidit du fait de la conductibilité thermique plus élevée du méthane. Ce refroidissement entraîne une augmentation de la résistance de la thermistance et un déséquilibre du pont. Ceci se traduit par l'apparition dans la diagonale de mesure d'une tension continue sensiblement proportionnelle à la teneur en méthane dans la chambre d'analyse.

Afin d'en faire des *appareils d'alarme*, l'interféromètre et le méthanomètre à thermistances ont été pourvus l'un et l'autre, soit d'une lampe rouge, soit d'un vibreur sonore, soit des deux dispositifs à la fois.

Dans le premier (interféromètre), une cellule photo-électrique au CdS, alimentée par une pile de 67,5 V, surveille la position de la frange noire de référence et provoque l'alarme si cette position dépasse un repère déterminé.

Quant au second (méthanomètre à thermistances), il a simplement été muni d'un relais galvanométrique, à contact réglable, agissant sur les circuits d'alarme.

Ces appareils d'alarme peuvent aussi être montés pour l'enregistrement ou pour commander le déclenchement de l'énergie électrique dans le quartier surveillé.

Ils peuvent aussi être équipés de plusieurs tubes de prélèvement avec vannes électromagnétiques de commutation, mais ils sont alors alimentés par le réseau.

Et l'on ne s'est pas arrêté en si bon chemin. En effet, pour terminer, M. Suzuki nous parle du *patrouilleur de sécurité* qui a pour objet de rendre véritablement automatiques les opérations de contrôle de l'atmosphère de la mine.

Cet appareil, en forme d'obus, contient un méthanomètre à thermistances, un moteur d'entraîne-

ment, des appareils de mesure, un poste transmetteur et un poste récepteur radioélectrique à modulation de fréquence (94 - 100 kc), les dispositifs d'alarme et la batterie d'alimentation, le tout dans un volume de quelques décimètres cubes.

Cet appareil est destiné à circuler dans les galeries de mines sur un câble ou un monorail suspendu près du toit. Il est télécommandé par radio à partir d'un poste central où sa position est enregistrée ; il envoie à ce poste les résultats d'analyse de la teneur en grisou et éventuellement ceux d'autres mesures concernant la vitesse, la température, l'humidité, la pression de l'air.

Enfin, un *patrouilleur* plus simple a été réalisé pour les ateliers de minage. Suspendu à un monorail en bois, il s'approche du front de tir contre lequel il s'arrête pour y faire l'analyse de l'air, puis revient en arrière en donnant l'alarme s'il y a lieu.

Communication n° 58. — Grisoumètre déclencheur rapide, par V. K. PEREPELTSIA (U.R.S.S.)

Celle-ci a trait également à un *grisoumètre déclencheur rapide* analogue à celui dont il a été question dans la communication de M. Monomakhoff.

Le principe de base pour le dosage du grisou est le même dans les deux appareils, à savoir l'absorption sélective des rayons infra-rouges par le méthane.

Toutefois, l'appareil de M. Perepelitsa présente deux particularités, à savoir : les rayons infra-rouges sont interrompus à la fréquence sonore de 450 Hz et la chambre spéciale d'analyse permet une grande vitesse d'entrée de l'air à analyser.

Pour les deux appareils, un dépassement de la teneur en grisou fixée se traduit par un signal électrique qui agit directement sur le dispositif de déclenchement du réseau.

En U.R.S.S. comme en France, on s'est attaché à rendre automatique la coupure du courant électrique dans un quartier où du grisou apparaît en teneur supérieure à une valeur fixée.

Cette automaticité est particulièrement nécessaire pour les mines à dégagements instantanés de grisou.

Ce que l'on recherche également, c'est la rapidité d'intervention car, en cas de dégagement instantané, le grisou afflue très vite.

Le retard au déclenchement de l'appareil de M. Perepelitsa n'excède pas 450 ms.

Cet appareil est également branché sur le réseau et est autocontrôlé.

2112. DISCUSSION

La discussion ouverte au cours de la séance prévue pour ces communications se limite presque exclusivement à poser des questions de telle sorte qu'une séance spéciale est organisée sur le sujet entre spécialistes.

De renseignements recueillis au cours de cette séance, on peut retenir ce qui suit.

Dans les pays de l'Est, il y a en service de nombreux interféromètres de production soviétique. Les Tchèques ont entrepris la fabrication de ce type d'appareil et ont mis au point un grisomètre enregistreur acoustique. Celui-ci possède une échelle de 0 à 3 % ; la fréquence utilisée est de 1.800 Hz et la longueur de la chambre d'analyse de 370 mm.

Le débit maximum est de 1 l/min. Le changement de la vitesse du son est mesuré au moyen d'un phasemètre.

Le contrôle et le calibrage se font sans dispositif supplémentaire.

L'appareil est alimenté sous la tension de 220 V, après stabilisation magnétique. Il actionne un dispositif de signalisation.

L'échelle pourrait éventuellement être portée jusqu'à 10 %.

Certains pays cherchent un appareil de construction simple. Aux États-Unis, un appareil relativement simple est à l'essai. Il est essentiellement composé de 2 bilames chauffés par un filament activé.

A l'air pur, la température de celui-ci est de 240° C. Cet appareil a été conçu pour être installé à front sur les machines d'abattage.

Pour la teneur de 1,5 %, le premier bilame ferme un contact et une lampe clignote. Pour la teneur de 2,5 %, le deuxième bilame intervient et coupe le courant sur la machine. L'appareil fait partie intégrante de la machine. Le temps de réponse est de 2 s. La durée de vie du catalyseur est très longue. Il n'y a pas de compensation pour la température ou les gaz étrangers : on a cherché surtout un appareil simple et robuste.

Les appareils présentés par M. Suzuki (Japon) dans sa communication en sont au stade des essais au fond. Sur le déclencheur rapide russe à infra-rouge, on obtient les précisions suivantes. L'appareil fonctionne sans interruption pendant un poste et si nécessaire pendant les 3 postes consécutifs. Les filtres sont normalement renouvelés à chaque poste, mais ces renouvellements sont évidemment en relation avec le degré d'empoussiérage de la mine. Le réglage se fait normalement au début du poste et la précision est de $\pm 0,5$ % de CH₄ : il sera vraisemblablement possible de la porter à $\pm 0,3$ % en améliorant la stabilité de la fréquence et des amplificateurs. Le détecteur est ici une membrane microphonique et non un condensateur. Cet appareil est réservé aux mines à dégagements instantanés.

Dans les appareils Verneuil, il n'y a pas de catalyseur sur les filaments ; d'où leur grande précision. Les filaments avec catalyseur ont une durée extrêmement longue, mais la précision peut être mise en défaut lorsque l'appareil a été utilisé à des teneurs très fortes. Le filament manifeste une certaine hystérèse et l'indication est trop forte.

L'enregistreur katarométrique néerlandais donne des résultats remarquables au point de vue précision. Il est également très pratique parce qu'il est alimenté par une turbogénératrice à l'air comprimé. L'inconvénient majeur est la nécessité d'absorber complètement le CO₂ et la vapeur d'eau.

Un petit appareil katarométrique a été développé en U.R.S.S. à l'usage des bouteilles. L'échelle est divisée en deux parties : l'une blanche qui va jusqu'à 1 % de CH₄ et l'autre rouge qui s'étend de 1 à 3 % de CH₄. Quand l'aiguille reste sur la partie blanche, le bouteillon peut miner.

Le nombre de grisomètres portatifs en service s'accroît constamment dans la plupart des pays miniers ; dans les plus importants de ces pays, il atteint plusieurs milliers actuellement.

212. Lampe à flamme.

2121. COMMUNICATIONS

Communication n° 40. — Le comportement de la lampe à flamme dans la détection des couches de grisou au toit des galeries, par A. R. BAKER et D. A. WINDLE (Grande-Bretagne).

Si la lampe à flamme permet une bonne détection du grisou lorsqu'elle est plongée entièrement dans un mélange homogène, il n'en est pas ainsi lorsqu'on l'emploie dans un mélange hétérogène stratifié, tel que celui que l'on peut trouver au toit des galeries, lorsque la vitesse du courant d'air est faible et le dégagement de grisou suffisant. Les ouvertures d'entrée d'air de la lampe sont, en effet, situées au bord inférieur de la cuirasse pour les lampes à alimentation supérieure et en dessous du verre pour celles à alimentation inférieure, c'est-à-dire de 15 à 20 cm sous le sommet de la lampe.

Comme la lampe ne peut déceler que la teneur en grisou de l'air qui y pénètre, elle ne donnera aucune indication dans une couche de mélange grisouteux de moins de 15 à 20 cm qui existerait au toit d'une galerie. C'est probablement là l'explication de certaines explosions survenues dans des travaux où la lampe à flamme n'avait pas indiqué la présence de grisou.

Les auteurs ont mis en évidence cette déficience de la lampe à flamme en introduisant de la fumée dans la mince couche de grisou.

Ils expliquent cette déficience de la manière suivante.

Lorsque la lampe est chaude et que la couche de grisou est calme, un courant de convection s'élève autour de la lampe et fournit, aux ouvertures inférieures et même supérieures de la cuirasse, un air venant de la base de la lampe et contenant peu de méthane (fig. 1).

La plus grande partie de cet air pénètre dans la lampe par les ouvertures inférieures. Cependant, si la lampe est froide, l'air pénètre, en très grande par-

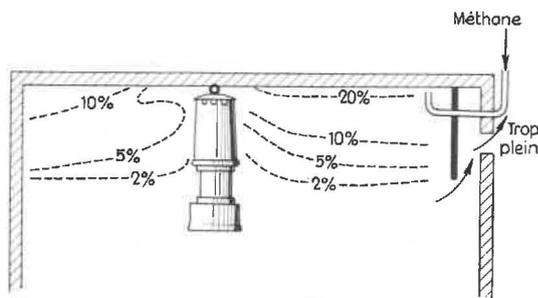


Fig. 1.

tie, par les ouvertures inférieures et, si l'on bouche celles-ci, la lampe n'est plus suffisamment alimentée et s'éteint.

Les auteurs se proposent de remédier à cette insuffisance en aménageant la lampe en conséquence, ce qui serait assurément une amélioration importante de ce grisoumètre qui, bien que fort ancien, peut encore rendre beaucoup de services.

Communication n° 75. — Essais sur la lampe à flamme comme avertisseur d'un manque d'oxygène, par E. DEMELENNE (Belgique).

La lampe à flamme est un appareil très simple qui possède le grand avantage de donner des indications permanentes et d'être à sécurité positive en ce qui concerne celles-ci.

Si la tendance générale est de la remplacer, pour la grisoumétrie, par des appareils ne présentant plus aucun danger vis-à-vis du grisou, et donnant éventuellement l'alarme, la lampe à flamme est encore actuellement, à notre connaissance, le seul dispositif pouvant alerter le mineur en cas de manque d'oxygène dans l'atmosphère.

Ce manque d'oxygène peut être créé par addition de grisou ou de CO_2 à l'air ou par accroissement de la teneur en azote, comme c'est parfois le cas dans les vieux travaux humides et non aérés. Dans ce dernier cas, il est vraisemblable qu'il y a d'abord formation de CO_2 , puis dissolution plus ou moins poussée de celui-ci dans l'eau.

On a étudié le comportement de la lampe, ainsi que celui de petits animaux, dans des atmosphères ainsi sous-oxygénées. Il en résulte que les écarts entre les teneurs mortelles pour les animaux expérimentés et les teneurs donnant l'alarme par extinction de la lampe, garantissent une certaine marge de sécurité. D'après certaines autorités médicales, il semble qu'il pourrait en être ainsi également pour l'homme, avec réserve toutefois pour le CO_2 , qui provoque l'extinction de la lampe à benzine pour une teneur dans l'air de 11 % environ, alors que l'homme peut déjà être gravement incommodé par une teneur plus faible.

Il serait intéressant de voir s'il n'est pas possible, en agissant sur le combustible de la lampe, de faire

en sorte que celle-ci s'éteigne pour une teneur en CO_2 plus faible.

D'autre part, des essais effectués sur les lampes à flamme en présence de grisou montrent une fois de plus que ces lampes présentent une grande sécurité pour autant qu'elles soient en bon état.

Il est probable d'ailleurs que cette sécurité pourrait encore être accrue en profitant des progrès faits dans la fabrication du verre, des matières plastiques, des aciers inoxydables, etc.

2122. DISCUSSION

Au cours de la discussion sur les communications relatives aux lampes à flamme, le délégué anglais donne les précisions suivantes sur les dispositions possibles pour rendre efficace la détection du grisou au toit par la lampe à flamme.

Le premier moyen et le plus ancien est d'injecter dans la lampe l'air prélevé au toit au moyen d'une poire comme pour n'importe quel grisoumètre.

Le second moyen consiste à entourer la cuirasse de la lampe, d'un cylindre métallique ouvert à sa partie supérieure et fermé à sa base située au niveau du bord supérieur du verre. Dans ce cylindre s'établit un courant de convection : l'air ne peut plus pénétrer dans la lampe que par la partie supérieure du cylindre. La teneur indiquée est celle de la couche supérieure (fig. 2).

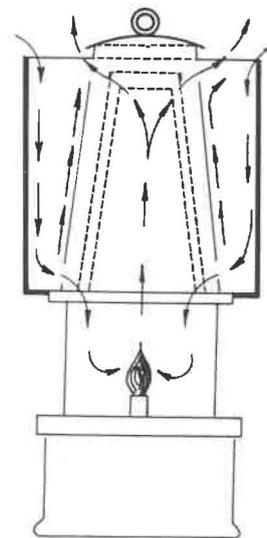


Fig. 2.

213. Conclusion.

On peut dire que, si la grisoumétrie était jusqu'à ces dernières années restée en retard sur la mécanisation des différentes activités de la mine, elle vient de faire un bond en avant qui la place en flèche et c'est assurément tant mieux pour la sécurité.

2.2. RISQUE DE GRISOU

Les communications à classer sous ce chapitre sont au nombre de cinq. Elles traitent de sujets très variés comme le dégagement normal et ses différents facteurs, les accumulations de grisou et les moyens de lutte contre celles-ci, les dégagements instantanés, la sécurité de la mise à l'air libre du grisou capté.

La communication anglaise n° 42 sera résumée en premier lieu parce qu'elle rappelle certaines notions utilisées par d'autres auteurs.

Communication n° 42. — Expériences sur la stratification du grisou au toit des galeries dans le cas de l'existence de plusieurs points de dégagement, par S. J. LEACH et L. P. BARBERO (Grande-Bretagne).

Dans une publication antérieure, MM. Bakke et Leach (du S.M.R.E.) ont étudié l'accumulation du grisou en couches au toit des galeries dans le cas d'un seul point de dégagement. Ils ont établi des recommandations pour la dispersion de telles couches, notamment par la ventilation. Ces recommandations seront utilement rappelées ici.

La tenue au toit d'une couche de méthane dépend de l'importance du dégagement (V), de la vitesse du courant d'air le long de la surface inférieure de la couche (U), du rapport de la différence des densités à la densité de l'air ($\Delta\rho/\rho$), de la largeur de la galerie (D), de l'inclinaison et du coefficient de frottement superficiel des parois de la galerie et de la couche elle-même.

Les quatre premières variables indépendantes peuvent être groupées avec l'accélération de la pesanteur pour former un rapport sans dimension

$$U/\sqrt[3]{g\Delta\rho V/\rho D},$$

appelé « nombre stratifiant ».

Pour les couches de méthane se formant au toit dans un courant d'air, le nombre stratifiant devient

$$U/37\sqrt[3]{V/D}$$

dans laquelle

U : vitesse moyenne en ft/min ;

V : débit de dégagement de méthane en ft³/min ;

D : largeur de la galerie en ft.

Le nombre stratifiant recommandé est donné à la figure 3 pour l'aéragé ascensionnel et l'aéragé descendant en fonction de l'inclinaison de la galerie. Une faible diminution de la vitesse U faisant passer le nombre sous la valeur recommandée entraîne un allongement considérable de la couche de méthane.

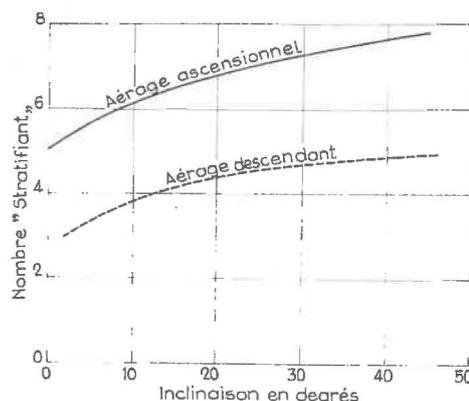


Fig. 3. — Nombre « stratifiant » recommandé.

Pour l'étude du cas de points de dégagement multiples, les auteurs MM. Leach et Barbero ont utilisé une galerie de 7×7 ft, en plein cintre, d'une longueur de 250 ft et y ont réparti 8 sources de grisou distantes de 30 ft. Ils ont déterminé par analyse la répartition exacte du grisou au toit pour différentes vitesses d'air et mesuré la longueur d'une couche limitée inférieurement par un plan à la concentration 10 % et d'une autre limitée par la teneur 5 %.

Dans le cas d'une seule source, d'un seul point de dégagement, il n'y a qu'une longueur de couche. Dans le cas de plusieurs sources, il y a normalement une longueur pour chaque source : ces longueurs sont additionnées et la somme comparée à la longueur constatée pour une source unique dans les mêmes circonstances.

Les résultats expérimentaux sont donnés au tableau I.

De ce tableau, découlent les conclusions suivantes :

- Pour un nombre stratifiant petit, la longueur des couches au toit est plus grande dans le cas de points de dégagement multiples.
- Quand le nombre stratifiant atteint la valeur recommandée (5,3 pour un aéragé ascensionnel dans une galerie inclinée à $1/27$), il n'y a pas de différence significative dans la longueur de la couche de méthane, que le grisou soit émis par une source ou par plusieurs.

Les recommandations faites antérieurement pour le cas d'un seul point de dégagement restent donc valables pour le cas de sources multiples, tout au moins en galeries horizontales ou faiblement inclinées.

TABLEAU I.
Longueur de la couche de méthane pour un et huit points de dégagement.

Débit de méthane V : ou ft/min	Vitesse de l'air U : ft/min	Nombre « stratifiant » $U/37 \sqrt[3]{V/D}$	Nombre de sources	Longueur de la couche : ft	
				Limite 10 %	Limite 5 %
12	83	1,9	1	85	115
			8	141	229
66	173	2,2	1	185	+
			8	229	+
11	106	2,4	1	56	75
			8	91	148
2,3	62	2,4	1	18	25
			8	16,5	33
58	256	3,5	1	52	70
			8	62	109
58	330	4,5	1	34	60
			8	40	54
58	400	5,4	1	27	35
			8	28,5	33,5

Communication n° 2. — Le dégagement de grisou et la lutte contre les concentrations de gaz trop élevées aux Mines d'Etat néerlandaises, par L.A.G.L. ARETS, W. MAAS, P.J. MUYSKEN, J. STUFFKEN et F.C.M. WIJFFELS (Pays-Bas).

Cette communication donne le résultat de nombreux travaux et recherches poursuivis pendant plusieurs années.

Les Hollandais ont réussi à déterminer d'avance, tout au moins pour une certaine catégorie de couches, le dégagement de grisou qui se produira lors de l'exploitation future d'une taille. Ils peuvent ainsi prévoir, lors du projet d'exploitation, les mesures les mieux appropriées pour maintenir la teneur en grisou sous une limite raisonnable : ventilation, captage de grisou, et au besoin remblayage au lieu de foudroyage.

Ces résultats ont été acquis grâce à des recherches de laboratoire concernant l'adsorption du grisou par le charbon sous haute et basse pressions en fonction de la teneur en matières volatiles et de la température, à des mesures de pression en trous de sonde et aussi à l'établissement de cartes de grisou où est indiqué, sur l'avancement des tailles, le volume moyen de grisou dégagé par tonne extraite en 24 heures.

Ce dernier travail de très longue haleine, puisqu'il a été entrepris en 1930, a permis d'établir no-

tamment l'influence de chacune des couches voisines, supérieures et inférieures sur le dégagement d'une taille, d'évaluer l'augmentation du dégage-

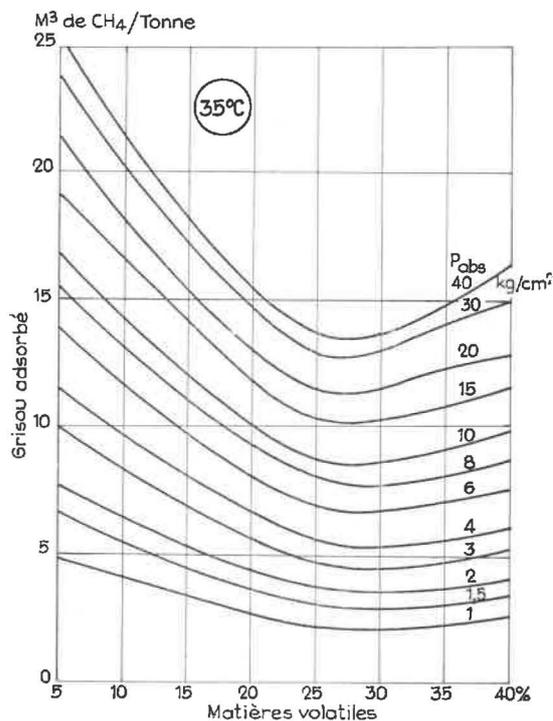


Fig. 4. — Adsorption du grisou par le charbon sous différentes pressions et à la température de 35° C.

ment avec la profondeur ou la diminution de ce dégagement lorsqu'on passe du foudroyage du toit au remblayage complet.

Les recherches concernant l'adsorption du grisou ont conduit à des résultats traduits en diagramme pour chacune des températures considérées, soit 25,35 et 50° C. La figure 4 représente l'adsorption du grisou à la température de 35° C.

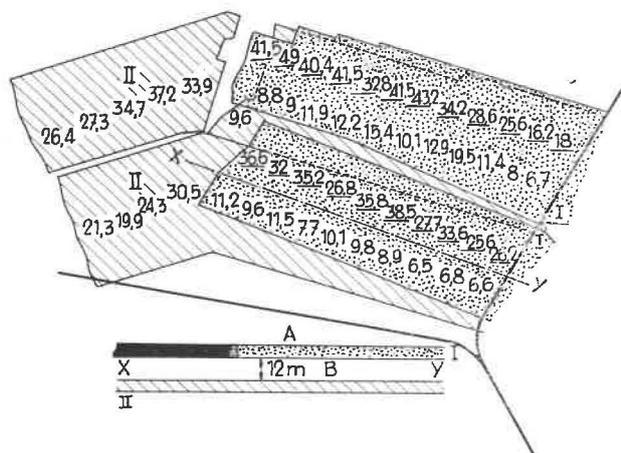


Fig. 5.

La figure 5 représente une petite partie d'une carte de grisou. La couche A, dont les dégagements sont soulignés, a été exploitée la première sur la partie est du quartier. La couche B sous-jacente a été exploitée ensuite sur toute la largeur du quartier. Lorsque l'exploitation de la couche B est passée en massif vierge, le dégagement est passé de 10 à 30 m³/t.

L'étude des cartes de grisou ainsi que celle des déformations des terrains à différentes hauteurs au-dessus d'une taille en exploitation ont permis d'établir la courbe d'influence de la figure 6. Elle signifie

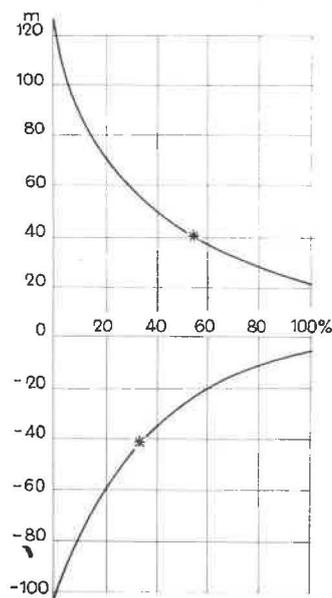


Fig. 6. — Courbe d'influence.

qu'une veine délivre dans l'exploitation 55 % du grisou qu'elle contient si elle se trouve à 40 m en toit et 35 % si elle est située à la même distance en mur.

Pour établir cette courbe, on a admis que des couches voisines contiennent la même quantité de grisou par tonne.

La quantité de grisou qu'une couche peut contenir au maximum a été déterminée d'après les expériences de laboratoire. Elle est reproduite à la figure 7.

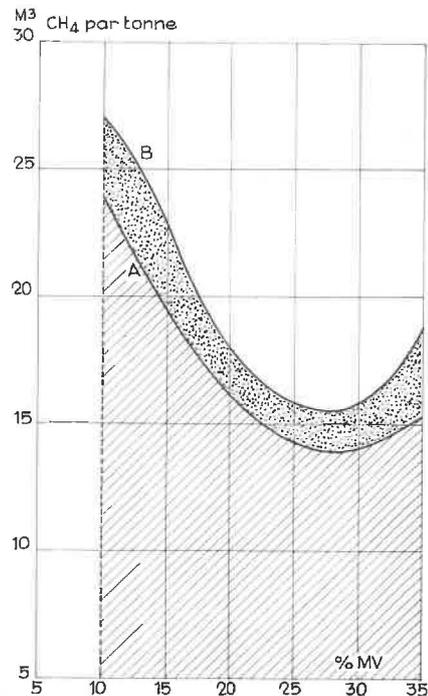


Fig. 7. — Maximum de la quantité de CH₄ contenue dans le charbon.

La courbe A donne le grisou adsorbé à la température de 30° C, ce qui correspond aux conditions existant aux profondeurs d'exploitation actuelle. La courbe B tient compte du grisou emmagasiné dans les pores à la même pression.

L'étude des cartes de grisou a également permis d'établir l'augmentation du dégagement avec la profondeur. Les auteurs émettent l'hypothèse que, s'il en est ainsi, c'est parce qu'une partie du grisou contenu dans la couche a pu s'échapper en circulant le long de la couche jusqu'à l'affleurement. Cette quantité disparue est d'autant moindre que le charbon est moins poreux et que la distance à l'affleurement est plus grande. Ils ont ainsi tracé un diagramme donnant pour différents types de couches, en fonction de la distance à l'affleurement, la quantité de grisou qu'elles contiennent encore effectivement, en % du maximum qu'elles pourraient contenir. Ce diagramme est donné à la figure 8.

Il montre qu'à même distance de l'affleurement, les couches à 20-25 % de matières volatiles sont beaucoup plus grisouteuses que celles à 10 - 15 - 28

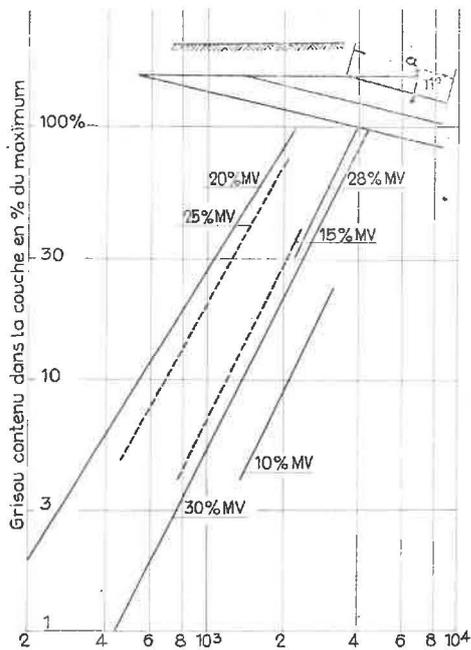


Fig. 8. — Distance (a) à l'affleurement en m.

et 30 % de matières volatiles. Ceci est en accord complet avec la courbe de porosité de King et Wilkins qui présente un minimum pour 20 % de matières volatiles.

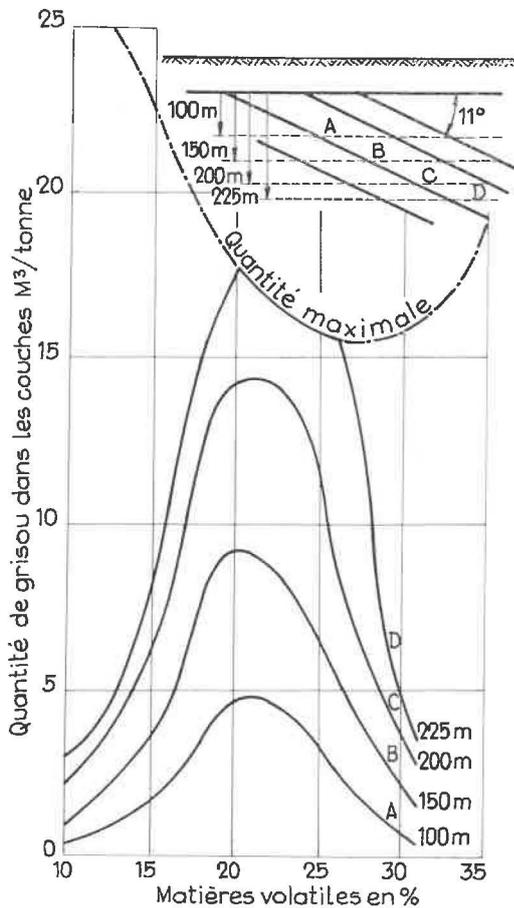


Fig. 9.

Il faut remarquer qu'en cas de failles ou de dislocations, la répartition du grisou peut être tout autre : la roche ne peut plus alors être considérée comme imperméable et la distance à l'affleurement peut être beaucoup plus courte.

La figure 9 découlant des figures 4 et 5 donne, pour différentes profondeurs, la quantité de grisou se trouvant dans la couche en fonction de la teneur en matières volatiles.

Ce dernier diagramme joint à la courbe d'influence permet donc d'établir des précisions de dégagement qui se révèlent généralement exactes et d'envisager à l'avance les moyens d'y remédier.

Le moyen le plus efficace de diminuer le dégagement de grisou est de capter celui-ci, soit par trous de sonde, soit par galerie. Ce dernier cas est d'application lorsqu'un bouveau en creusement rencontre une faille collectant le grisou sur une partie du gisement et ne peut être continué sans risque grave. La méthode la plus pratique du captage par trous de sonde est brièvement décrite par les auteurs. Les résultats obtenus indiquent que le remblayage de la taille et la ventilation en rabat-vent sont défavorables dans l'application de la méthode.

Les expérimentateurs ont cherché aussi à éviter les concentrations au toit des galeries de retour d'air des tailles. Ils attachent à ce point une très grande importance pour la sécurité. Ces concentrations en couches au toit leur apparaissent comme beaucoup plus dangereuses qu'une augmentation de la teneur moyenne de 1,5 à 2 %. Cette teneur moyenne varie en effet d'une manière très régulière au cours d'une semaine et se reproduit avec une dispersion très faible d'une semaine à l'autre.

Dans les retours d'air des tailles où le maximum autorisé est de 2 %, la vitesse de l'air doit être de 2 m/s au moins. Pour une source de grisou de 1 m³/min par 6 m de longueur de galerie, le nombre indicatif stratifiant (voir communication précédente) est égal à 6, et le mélange s'effectue déjà sur une longueur de 2 m. En réalité, le débit de grisou est moindre et pratiquement la différence des teneurs au toit et au mur ne dépasse jamais 0,25 % de CH₄.

L'étude du dégagement de grisou dans les préparatoires en veine (chassages) est moins avancée. L'enregistrement de la teneur en CH₄ en un ou plusieurs points a déjà permis cependant de faire les constatations suivantes :

- Si l'avancement est rapide, le dégagement des parois n'est pas négligeable.
- Le tir en charbon donne dans la teneur une pointe qui ne diminue pas dans son parcours vers l'arrière, si ce n'est par introduction d'air frais dans la galerie.

La communication rapporte également quelques dégagements instantanés survenus aux Mines d'Etat.

Les rapporteurs émettent à ce propos l'idée originale qu'une taille en exploitation détend les terrains

sous-jacents suivant un triangle de 200 m de hauteur dont la pointe est vers le bas et dont la base est égale à la longueur de la taille plus 40 m de part et d'autre. Tous les dégagements instantanés se sont produits en dehors de ces zones.

La mesure, destinée à éviter les dégagements instantanés intempestifs, qui consiste à forer des trous de sonde en avant du front, à y mesurer la pression du gaz et à n'avancer que lorsque cette pression est inférieure à 5 kg/cm² est également originale.

Communication n° 54. — Recherche d'un critère de détermination de la vitesse minimale d'un courant d'air assurant le mélange du grisou à l'air dans les travaux miniers, par J. SOBALA et J. MARCOL (Pologne).

Cette recherche a été conduite en mines grisouteuses. Les auteurs ont relevé point par point la vitesse de l'air dans la section de multiples galeries de dimensions, formes et revêtements différents. Ils ont également déterminé la teneur en grisou en ces divers points. Les premiers relevés ont permis de tracer les lignes d'égale vitesse dans chaque section. Le contour correspondant à la vitesse égale à 90 % du maximum a été spécialement retenu et sa surface (a) a été mesurée, ainsi que la hauteur (h) de

son centre de gravité au-dessus du sol. Ceci a permis de calculer les deux rapports a/A et h/H , A et H étant respectivement la surface totale et la hauteur totale de la section.

Le grand nombre de mesures effectuées a permis de tracer le graphique de ces rapports en fonction de la vitesse moyenne de l'air (fig. 10). Le rapport a/A atteint sa valeur maximale de 0,33 pour la vitesse de 4,70 m/s et le rapport h/H croît jusqu'à 0,52, valeur qu'il atteint pour la vitesse de 2 m/s.

Ces diagrammes montrent bien qu'à partir d'une certaine vitesse moyenne, la répartition de l'air dans la section ne change plus et que, pour disperser des concentrations de grisou, une augmentation de la vitesse moyenne au-dessus de 5 m/s n'améliorera pas les résultats.

Ces observations concernent uniquement les galeries dont la section n'est pas encombrée par des canars.

La présence de ceux-ci au toit, surtout en plusieurs lignes, dérange très fortement la répartition de la vitesse. Le courant d'air est très faible à couronne au-dessus de ces engins et le grisou s'accumule alors très facilement dans cette partie de la section en teneur supérieure à 5 %.

Les résultats des analyses effectuées dans le courant d'air et au-dessus du garnissage dans la galerie

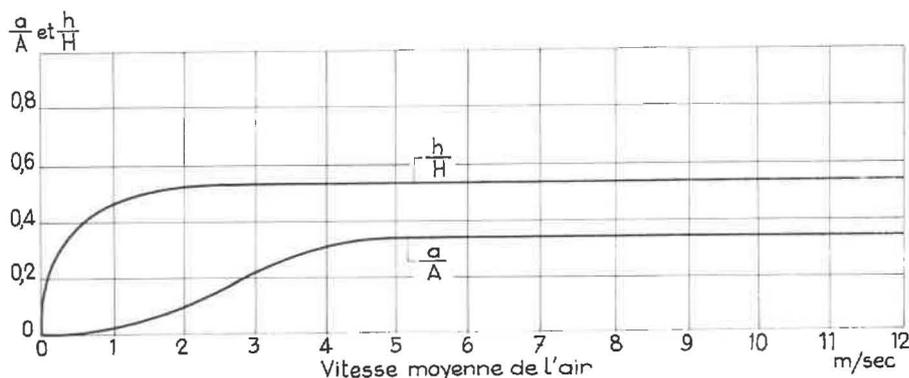


Fig. 10.

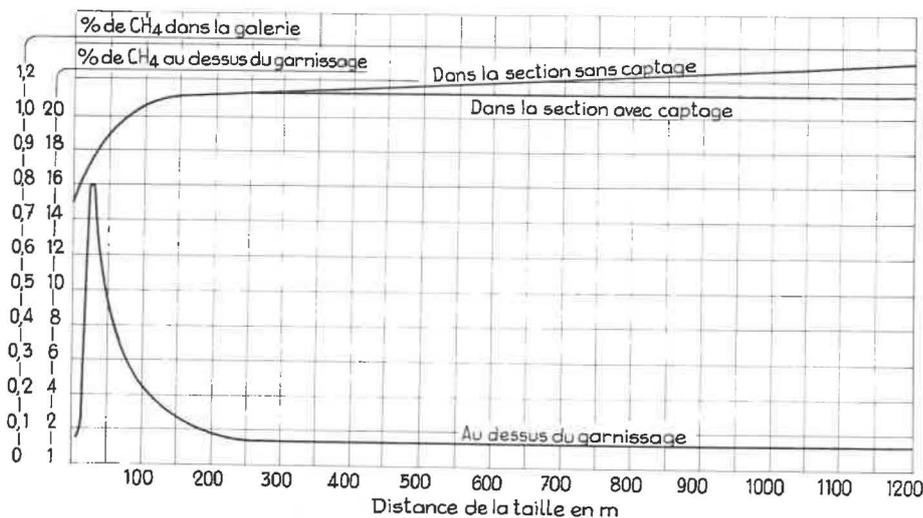


Fig. 11.

de retour d'air d'une taille en activité, sont représentés à la figure 11.

Le maximum de la concentration au-dessus du garnissage se trouve à 30 m du front de taille. Ceci indique que le grisou rencontré au-dessus du garnissage provient des remblais non tassés. Drainé par les fissures résultant de la détente des terrains, il s'accumule dans les vides créés par l'exploitation et non ventilés.

Il en est ensuite expulsé par le tassement des terrains et pénètre, en traversant les épis de remblai, dans la galerie de tête où il se concentre d'abord au-dessus du garnissage. Il se dilue petit à petit dans le courant d'air dont il élève la teneur.

Dans le cas étudié, il n'y a aucune autre concentration de grisou parce qu'il n'y a pas de soufflard.

Les auteurs rapportent quelques cas où des soufflards existaient le long de la galerie. Des accumulations de grisou se présentent alors au-dessus du garnissage à hauteur du soufflard. Elles peuvent s'étendre ou non dans la section de la galerie suivant le débit du soufflard et la vitesse du courant d'air. Les cas examinés ne sont pas assez nombreux pour pouvoir fixer une limite à la vitesse de l'air en fonction du débit de gaz.

Communication n° 68. — Réduction du nombre de dégagements instantanés par la perforation des couches, par M. L. SZIRTES (Hongrie).

L'auteur rappelle d'abord quelques dégagements instantanés qui se sont produits au cours des années 1957 et 1960 dans les mines de Pecs, exploitant de la houille liasique.

C'est en vue de réduire le nombre de ces derniers dégagements qu'une nouvelle méthode a été mise au point.

Cette nouvelle méthode part de la théorie suivante.

En avant du front d'abattage, les roches et la veine sont soumises à des tensions très élevées. Si le régime de ces tensions ne se modifie pas au cours de l'avancement du front d'abattage, celui-ci finit par être soumis à ces contraintes dépassant ce qu'il peut supporter, et c'est le dégagement instantané. Mais si les tensions peuvent se modifier d'une manière régulière au cours de l'avancement du front par exemple, pour le recul de la veine vers les surfaces libres, le dégagement instantané est évité.

La méthode proposée est destinée à favoriser la modification lente du régime des tensions. Elle consiste à creuser des cavités en avant du front d'abattage au moyen d'un jet d'eau à haute pression.

Chassage en veine.

Son application dans les chassages en veine présente trois phases :

- 1°) forage du trou et creusement de la cavité ;
- 2°) drainage du grisou ;
- 3°) injection d'eau.

— Première phase : *Forage du trou et creusement de la cavité* (fig. 12).

Une pompe à eau débite 30 litres/min sous une pression de 30 à 40 kg/cm² dans le tube perforateur. Celui-ci, d'un diamètre de 3/4" et d'une longueur

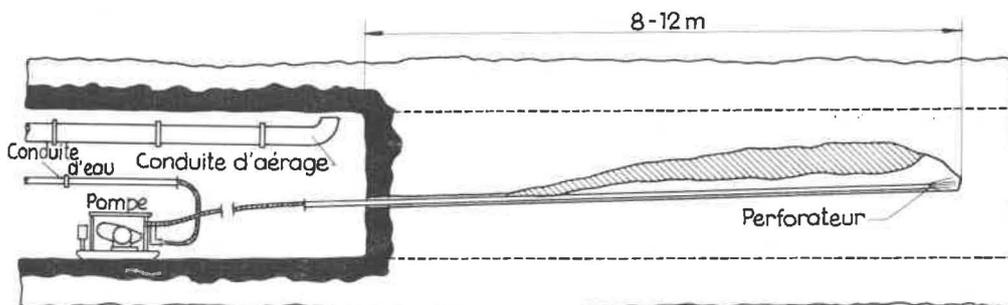


Fig. 12. — Perforation.

Il cite le cas notamment d'une projection de 1.400 t de charbon avec dégagement de 273.000 m³ de grisou et renversement de l'aérage.

Il classe ensuite les dégagements en provoqués et inattendus. Parmi les premiers, il distingue ceux qui se sont produits sur tir de ceux qui se sont déclenchés avec un certain retard. Il constate que la proportion des dégagements inattendus, laquelle dépasse 50 %, et celle des dégagements retardés, supérieure à 20 %, augmentent avec la profondeur d'exploitation.

de 8 à 12 m, se termine par 3 gicleurs. C'est le triple jet d'eau sortant de ceux-ci qui creuse le trou et la cavité dans la veine.

Ce forage est accompagné de différents phénomènes. Sur les trois premiers mètres environ, sur une longueur moindre si la veine est dérangée, le perforateur creuse un fourneau de 2" environ de diamètre. Le dégagement de grisou ne dépasse pas celui d'un front d'abattage.

Au-delà, le dégagement de grisou augmente fortement. Il projette le charbon hors du trou jusqu'à une distance de 5 à 6 m.

Le dégagement gazeux et les projections atteignent le maximum de leur intensité à 5-8 m en avant du front, puis ils se stabilisent à une intensité un peu moindre.

Après sortie d'une certaine quantité de charbon, le soutènement de la galerie subit une pression qui persiste jusqu'à la fin du forage.

Pendant le forage du second trou, les mêmes phénomènes se produisent avec plus d'intensité.

On peut forer un trou de 8 - 12 m avec enlèvement de 3 - 4 m³ de matériaux en 20 à 30 min.

— Deuxième phase : *Drainage du grisou* (fig. 13).

Un tube de 1 1/2" de diamètre et de 6 m de longueur en tronçons d'un mètre est introduit dans le trou. Pour cela, le tube perforateur est retiré et réutilisé à l'intérieur du tube de drainage pour faciliter l'introduction de celui-ci.

Le tube de drainage est à paroi pleine sur ses trois premiers mètres (côté entrée du trou) ; sur le reste, il est perforé de trous de 5 mm de diamètre. Après placement, il est raccordé au moyen d'un tube flexible à l'entrée de la conduite de canars aspirants. Un tuyau de drainage débite couramment 3 à 5.000 m³ en 24 heures. On envisage de raccorder ces tuyaux à la conduite de captage.

— Troisième phase : *Injection d'eau* (fig. 14).

Elle se fait au moyen de la pompe de forage dont le refoulement est maintenant raccordé au tuyau de drainage. Celui-ci est tellement bien serré dans la veine qu'il est inutile de prévoir de dispositif d'étanchéité.

La pression utilisée est de 45 à 50 atm. L'opération dure 15 à 25 min. On injecte ainsi 450 à 750 litres d'eau dans le charbon.

L'injection a pour but d'empêcher l'écoulement du charbon et de diminuer la formation de poussières.

La méthode a été appliquée avec succès dans 200 cas. On cherche à présent à la mécaniser avec commande à distance.

Recoupe de couches.

Dans ce cas, le creusement est arrêté à 5 m de la couche. La couverture est percée de trous de 120 à 200 mm de diamètre et la veine est extraite en partie par ces trous au moyen d'un jet d'eau sous pression de 5 à 10 kg/cm². L'extraction de la veine est d'ailleurs facilitée par le dégagement gazeux.

L'emploi du procédé est devenu obligatoire dans les mines grisouteuses hongroises pour la recoupe des couches.

Communication n° 38. — Coupe-flamme pour les conduites de mise à l'air libre des installations de captage de grisou, par W. BARTKNECHT (R.F.A.)

Les installations de captage de grisou sont pourvues, à la surface, d'une conduite de mise à l'air libre entrant en fonction si la production de grisou dépasse la demande ou si, par suite de rentrée d'air dans l'installation, le mélange est trop pauvre en méthane et ne peut être utilisé sans danger.

La foudre peut allumer les gaz sortant de la conduite, et dans certaines conditions, la flamme pourrait se propager dans l'installation en remontant à contre-courant.

Pour éviter ce danger, la conduite de mise à l'atmosphère doit être pourvue d'un coupe-flamme le-

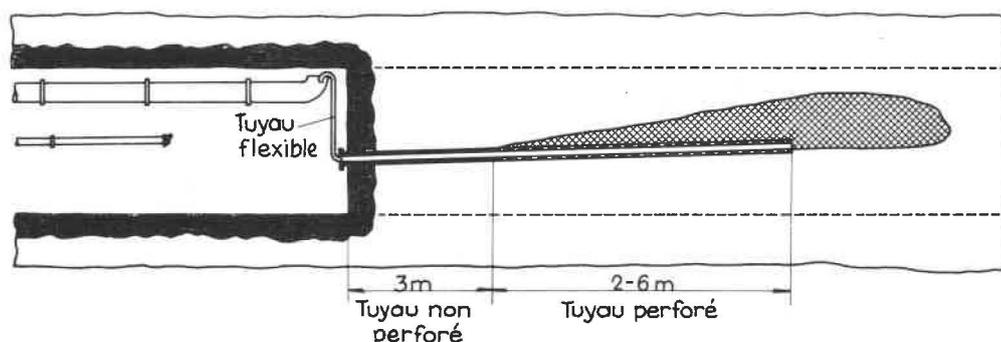


Fig. 13. — Drainage.

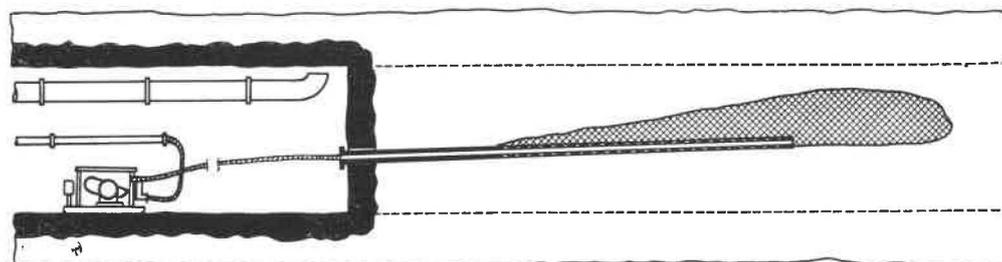


Fig. 14. — Injection d'eau.

quel sera avantageusement constitué par un lit de gravier.

Afin de limiter la perte de charge de ce lit, et d'obtenir un débit élevé de gaz uniquement par tirage naturel, la section de la conduite est suffisamment élargie au niveau du coupe-flamme.

L'auteur a essayé les deux modèles représentés à la figure 15.

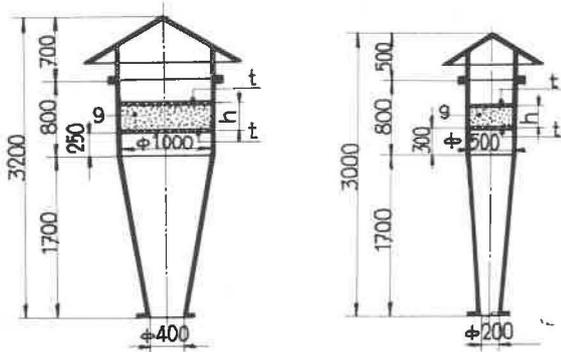


Fig. 15.

Coupe-flamme grand modèle Coupe-flamme petit modèle

g = gravier
h = hauteur du lit
t = tamis

Le lit de gravier est maintenu entre deux tamis en nylon à mailles de 4 mm, retenus chacun par une tôle perforée. Il est bien connu que la sécurité la plus grande et la perte de charge la plus faible sont obtenues avec un gravier dont les éléments ont autant que possible une forme régulière tendant vers la sphère.

L'auteur a effectué ses essais sur des billes de verre de 5, 6 et 8 mm de diamètre.

Le mode opératoire est le suivant. Le coupe-flamme est monté dans l'élément élargi de la conduite. Celui-ci est rempli d'un mélange de grisou

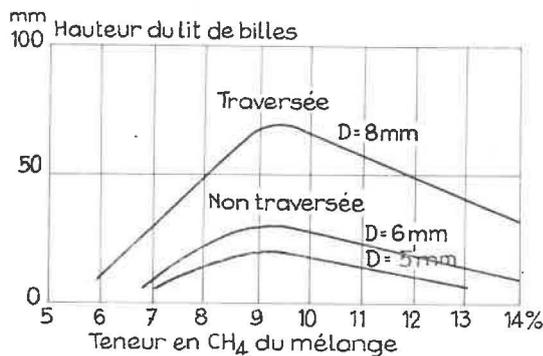


Fig. 16. — Coupe-flamme grand modèle.

Hauteur expérimentale de sécurité du lit de billes.

et d'air, lequel est allumé au moyen d'une étincelle électrique au-dessus du coupe-flamme. On constate si celui-ci laisse passer la flamme ou non.

Les résultats sont exprimés aux figures 16 et 17 respectivement pour le grand et le petit modèle.

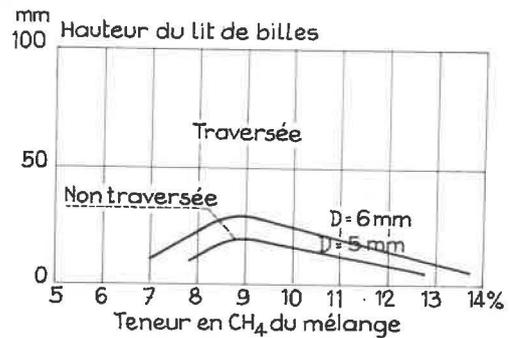


Fig. 17. — Coupe-flamme petit modèle.

Hauteur expérimentale de sécurité du lit de billes.

Ces graphiques indiquent, pour les différents diamètres D des billes, la hauteur du lit nécessaire pour empêcher la propagation de la flamme en fonction de la teneur en méthane du mélange inflammable.

Les hauteurs expérimentales de sécurité qui résultent de ces essais sont indiquées au tableau II.

TABLEAU II.

Hauteurs expérimentales de sécurité pour les mélanges méthane-air.

Diamètre des billes	Hauteur en mm pour		
	D = 5 mm	D = 6 mm	D = 8 mm
Coupe-flamme grand modèle	20	56	70
Coupe-flamme petit modèle	20	30	

Si l'on produit l'étincelle électrique à l'intérieur du lit, il y a une propagation de l'inflammation du mélange grisou-air dès que le diamètre des billes atteint 8 mm et cela, quelle que soit l'épaisseur du lit. Pour un mélange hydrogène-air, le maximum du diamètre des billes est de 2 mm.

L'auteur a également procédé à toute une série d'essais sur des mélanges de méthane, d'éthylène et d'air.

Il émet pour terminer l'idée que la propriété des dispositifs à billes d'arrêter la flamme est due à la perte d'énergie qu'ils provoquent. Mais cette perte d'énergie n'est autre que la perte de pression (Δp) que subit le gaz en traversant le lit de billes :

$$\Delta p = k \cdot h \cdot W^n$$

ou k est le coefficient de résistance des billes utilisées ;

h : la hauteur expérimentale de sécurité ;
 W : la vitesse du gaz ;
 n : exposant égal à 2 pour $W \geq 2$ m/s.

Cela signifie que deux coupe-flamme de même perte de charge présentent la même sécurité quel que soit le diamètre des billes. Pour de tels coupe-flamme, $k \cdot h = \text{constante} = 105$, si h est exprimé en mm. Cette règle permet à l'auteur de calculer la hauteur expérimentale de sécurité pour des billes de 4 et 7 mm et d'établir le tableau III donnant la hauteur statistique de sécurité présentant un risque de traversée de 10^{-6} , ainsi que la hauteur proposée.

L'emploi de billes d'un diamètre inférieur à 3 mm est à déconseiller à cause du colmatage possible par les poussières entraînées par le gaz.

TABLEAU III.

Diamètre des billes	Hauteur expérimentale de sécurité	Coefficient de résistance	Hauteur expérimentale calculée	Hauteur statistique de sécurité	Hauteur de sécurité proposée
4	—	7	15	21	50
5	20	5,2	20	28	60
6	32	3,3	32	45	90
7	—	2,0	52	73	150

Un lit de billes présente une perte de charge d'environ 60 % inférieure à celle d'un lit de gravier fin de 6-10 mm.

(à suivre)