

Analyse des gaz dans les mines

par A. HAUSMAN
Ingénieur Principal à INICHAR (1)

SAMENVATTING

In geval van brand laat de snelle ontleding van luchtmonsters opgenomen in de mijn toe :

- 1) *de geschiktheid tot ontvlaming van de gasmengsels te bepalen gedurende de oprichting van afdammingen, op het ogenblik van hun sluiting en bij de heropening van geteisterde werken;*
- 2) *het gevaar tot verstikking of intoxicatie door het CO-gas vast te stellen;*
- 3) *de evolutie van de brandhaard na te gaan tijdens de bestrijding, in de afgedamde werken en bij de heropening van een geteisterde werkplaats.*

In normale omstandigheden laat de analyse toe een begin van spontane verbranding te ontdekken. De franse en duitse analysemethoden zijn gegeven.

Het onderscheid tussen de laboratoriumapparaten en de methoden gebruikt in de ondergrond wordt belicht. In het laboratorium vindt men de eudiometer Petite-Rosselle, de absorbtimeter Robert Müller en de ontleder Wösthoff, die een geoefend personeel vereisen. De infra-rood ontleders en de zuurstof-ontleder gesteund op de paramagnetische eigenschappen kunnen door eenieder bediend worden en geven onmiddellijke aanduidingen.

Vaste apparaten, zoals de registrerende methanometer Maihak of Le Rutte, Weeda en Maas geven op ieder ogenblik het CH₄-gehalte in de mijn en binnen korte tijd zal men over CO-registreerapparaten beschikken.

Draagbare apparaten zoals de colorimetrische CO-detectoren, interferometers voor mijngas-detectie, psychrometers voor de meting van de droge en vochtige temperaturen en de Auer-indicator voor de meting van de luchtstromen worden gebruikt door de verkenners van de reddingsploegen.

RESUME

En cas d'incendie, l'analyse rapide d'échantillons d'air prélevés dans la mine permet :

- 1) *de déterminer l'aptitude à l'inflammation du mélange gazeux pendant la construction des barrages, au moment de leur fermeture et lors de l'ouverture des chantiers incendiés;*
- 2) *de déterminer le danger d'asphyxie ou d'intoxication par le CO;*
- 3) *de renseigner sur l'état d'évolution du foyer pendant la lutte contre l'incendie dans les chantiers barrés et lors de la réouverture d'un chantier incendié.*

En temps normal, elle permet de déceler un début de combustion spontanée. La méthode française et la méthode allemande d'analyse des gaz sont décrites.

La distinction est faite entre les appareils d'analyse de laboratoire et ceux utilisés dans le fond. Au laboratoire, l'eudiomètre de Petite-Rosselle, l'absorbeur Robert Müller et l'analyseur Wösthoff demandent un personnel entraîné. Les analyseurs à infra-rouges et l'analyseur de l'oxygène basé sur ses propriétés paramagnétiques peuvent être manipulés par tous et donnent des indications instantanées.

Dans la mine, des appareils fixes, tels le méthanomètre enregistreur Maihak ou Le Rutte, Weeda et Maas, renseignent à tout moment sur la teneur en CH₄ et, d'ici peu de temps, on disposera d'un enregistreur de CO. Des appareils portatifs sont utilisés par les équipes de pointe : le détecteur colorimétrique à CO, l'interféromètre pour la détection du grisou, le psychromètre pour la mesure des températures sèche et humide, l'indicateur de tirage Auer pour la mesure des courants d'air.

(1) Conférence donnée à Zwartberg, le lundi 22 octobre 1956, à l'occasion de la Journée d'Etudes des Centrales de Sauvetage de Belgique.

Dans le Bultec « Mines » n° 53, août 1956 (2) qui reprend les conclusions des études faites par le Cercle d'Études « Mines » de l'A.I.Lg. à propos des feux et incendies souterrains dans les mines de houille, MM. J. Venter et J. Stassen disent dans l'introduction :

« Des causes nouvelles de dangers résultent en effet des techniques modernes et de nombreux incendies se sont produits ces dernières années.

» Certains eurent des conséquences catastrophiques et l'incendie apparaît vraiment comme l'accident le plus à craindre dans la mine moderne ».

Dans le même bulletin, les auteurs insistent sur la nécessité de prélever des échantillons d'air dans les chantiers sinistrés (notamment dans la voie de retour d'air) et d'en faire des analyses aussi rapidement que possible.

A. — UTILITE DE L'ANALYSE RAPIDE DES GAZ

Les analyses rapides mettent à notre disposition des renseignements qui permettent de suivre l'évolution de l'incendie ou du feu, de prévoir ses manifestations, et qui nous guident avec beaucoup plus de certitude dans la lutte entreprise.

Grâce aux analyses des gaz, le sauvetage n'est plus un art et il peut être conduit de façon beaucoup plus scientifique qu'autrefois.

En cas d'incendie, les analyses de gaz permettent :

- 1) de déterminer l'aptitude à l'inflammation du mélange gazeux pendant la construction des barrages, au moment de leur fermeture et lors de l'ouverture des chantiers incendiés;
- 2) de déterminer le danger d'asphyxie ou d'intoxication par le CO;
- 3) de renseigner sur l'état d'évolution du foyer pendant la lutte contre l'incendie, dans les chantiers barrés, et lors de la réouverture d'un chantier incendié.

En temps normal, elles permettent de déceler un début de combustion spontanée.

I. — CAS D'UN INCENDIE

Lors d'un incendie, les mélanges gazeux peuvent contenir de l'oxygène, de l'azote, de l'anhydride carbonique, du grisou, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène et des hydrocarbures lourds.

Les mélanges d'air et de gaz combustibles ont des limites d'explosibilité, l'une inférieure, l'autre supérieure. Ces deux limites dépendent de la température et de la pression. Elles sont considérablement modifiées par la présence dans le mélange d'éléments incombustibles. Il existe des mélanges qui contiennent des incombustibles en si grande quantité que, même dilués dans l'air, ils ne peuvent redevenir explosibles.

A cause des circonstances particulières aux incendies de mines, on ne doit pas juger du danger par la limite inférieure ou supérieure d'explosibi-

lité du mélange gazeux. On doit garder une marge de sécurité et admettre une certaine limite d'alerte.

Les Français, les Américains et les Allemands ont établi des formules et des abaques permettant de déterminer de façon certaine ces limites d'alerte lorsqu'on connaît la composition exacte des mélanges gazeux.

La méthode française déterminée par R. Loison, Ingénieur en Chef, et L. Chaineau, Ingénieur principal au Cerchar, a été exposée dans une publication Cerchar 1954. Un résumé en a été donné dans le Bultec « Mines » Inichar n° 45, 30 mai 1955, pages 900/902. J.F. Shaw vient de publier, dans le Bulletin 551 du Bureau of Mines, la méthode graphique utilisée aux U.S.A. pour déterminer l'aptitude à l'inflammation des mélanges gazeux lors des feux de mines.

Dans la suite de l'exposé, nous rappellerons la méthode allemande qui a été décrite en détail dans le Bultec « Mines » Inichar n° 45, 30 mai 1955, et qui nous paraît d'application facile.

L'analyse des gaz permet d'apprécier :

- 1) **Le danger d'explosion lors de la fermeture d'un chantier.**

De façon générale, on érige d'abord des avant-barrages pour couper toute arrivée d'oxygène sur l'incendie ou le feu, puis on construit des barrages principaux qui doivent résister à une explosion éventuelle et parfaire l'étanchéité des premiers.

On ne peut travailler à la confection de l'un ni de l'autre que si l'on se trouve en dessous de la limite d'alerte inférieure ou au delà de la limite d'alerte supérieure.

Si, au cours de l'érection des avant-barrages, l'analyse des gaz brûlés fait craindre que la limite d'alerte soit atteinte avant l'achèvement des travaux, il faut en général forcer le débit d'air dans le champ sinistré de façon à rester en dessous de l'état d'alerte. La limite d'alerte peut se déterminer, soit par diagramme, soit par le calcul. Les deux méthodes sont décrites dans le Bultec « Mines » Inichar n° 45 du 30 mai 1955, p. 895.

(2) Feux et incendies souterrains dans les mines de houille. — Conclusions des études faites par le Cercle d'Études « Mines » de l'A.I.Lg. par J. Venter et J. Stassen.

La construction des barrages principaux ne doit être commencée que si l'analyse des gaz pris au tube renifleur de l'avant-barrage du retour d'air fait reconnaître qu'il n'y a pas ou qu'il n'y a plus de danger d'explosion.

Le danger d'explosion n'existe pas :

1. Si l'on peut présumer, d'après le diagramme annexe 2 (Bultec « Mines » Inichar n° 45), que la limite d'alerte ne sera pas atteinte.
2. Si la teneur en CH_4 dépasse 16 %. A 16 %, les mélanges de CH_4 et d'air ne sont plus explosibles.
3. Si la teneur en oxygène est au moins de 2 % en dessous de la teneur critique en O_2 déterminée par le diagramme annexe 3 du Bultec « Mines » Inichar, n° 45.

2) Le danger d'explosion lors de l'ouverture des chantiers incendiés.

Lors de l'ouverture et de la ventilation des chantiers incendiés, il faut rechercher si les gaz ne contiennent pas, en plus de O_2 , N_2 , CO_2 , des quantités importantes de CH_4 et si la dilution de ces gaz par l'air n'entraîne pas la formation de mélanges explosibles. L'examen se fera à l'aide du diagramme annexe 4 du même Bultec.

3) Le danger d'asphyxie ou d'intoxication par le CO.

Une analyse du pourcentage d'oxygène contenu dans l'atmosphère détermine le danger d'asphyxie.

Le danger d'intoxication par l'oxyde de carbone dépend de la concentration dans l'air aspiré, de la durée de la respiration, de l'intensité du travail et de la constitution physique de l'homme. Le diagramme figure 1 (3) fait connaître dans quelle

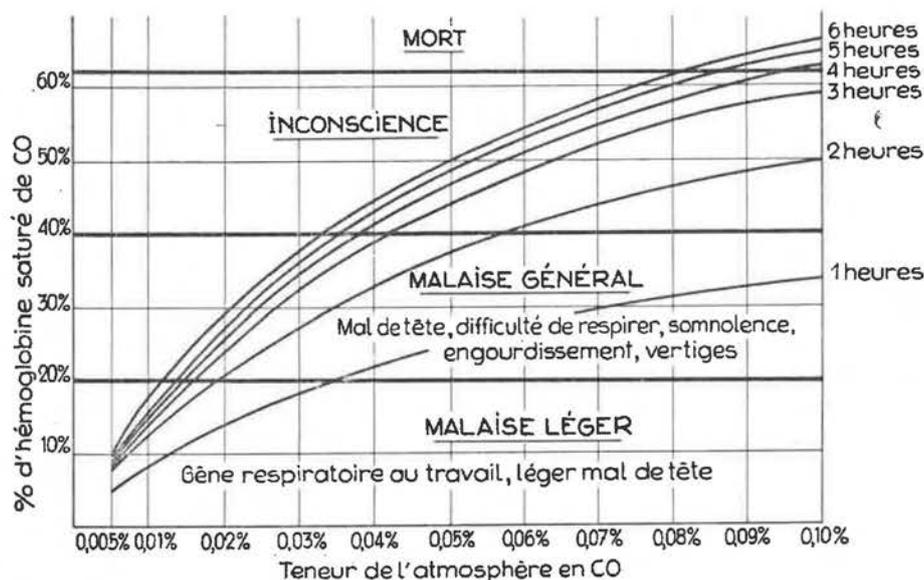


Fig. 1. — Danger d'intoxication par le CO.

mesure et dans quelles conditions on peut travailler dans une atmosphère contenant de l'oxyde de carbone.

Une quelconque des courbes tracées indique, pour un temps de travail déterminé, le pourcentage d'hémoglobine saturé suivant la teneur en CO de l'atmosphère.

4) L'évolution d'un foyer.

L'expérience démontre que, lors d'un incendie souterrain, le rapport de l'oxyde de carbone formé à l'oxygène consommé permet de tirer des conclusions valables sur l'état du foyer à chaque instant.

Ce rapport K, mesure numérique du degré d'oxydation, s'appelle l'indice caractéristique. Pour déterminer l'indice, on part immédiatement de la

teneur en CO révélée par l'analyse. Pour déterminer l'oxygène consommé, on ne peut pas se contenter de retrancher de l'air normal (20,93 % O_2) la teneur en O_2 des gaz analysés, parce que, dans le chantier incendié, la teneur en O_2 est abaissée, non seulement par les gaz de combustion, mais encore par le mélange avec d'autres gaz tels que le CH_4 . Le Bultec « Mines » Inichar n° 45 donne les deux manières de calculer cet indice caractéristique; en cas d'incendie, cet indice est utilisé dans les circonstances suivantes :

a) lors de la lutte contre le feu.

Dans les incendies de charbon en veine, les indices s'élèvent jusqu'à 25 et dans les feux apparents

(3) Extrait de : « Richtlinien für die Verhütung und Bekämpfung von Grubenbränden auf die Steinkohlenbergwerken im Verwaltungsbezirk des Oberbergamts Dortmund » — 23 mars 1951.

jusqu'à 60. L'efficacité des mesures de combat s'apprécie par la valeur des indices calculés sur des prises d'essai faites successivement au même endroit. La chute des indices indique que les mesures sont efficaces.

b) pour l'appréciation de l'évolution du feu dans les chantiers barrés.

Quand un chantier est obturé, une chute continue des indices indique que le feu s'éteint. On peut estimer que le feu est complètement éteint quand les indices des échantillons de gaz reviennent à l'indice de base. Si les indices tirés des prises d'essai se maintiennent au même niveau ou s'ils accusent une tendance à monter, c'est que l'obturation est insuffisante et il faut prendre des mesures pour étancher les barrages.

c) lors de la réouverture d'un chantier incendié.

En bonne règle, le chantier ne doit être réouvert et ventilé que si les indices sont revenus au niveau de base et s'il s'est écoulé un temps de refroidissement assez long. Si, lors de la mise en circulation de l'aérage, les indices remontent, cela signifie que le feu se ranime.

B. — METHODES ET APPAREILS D'ANALYSE DES GAZ

Les gaz à analyser sont : CO_2 , CO , CH_4 , H_2 et O_2 .

La composition des fumées d'un incendie pouvant varier très rapidement, il est d'importance capitale de connaître au plus tôt les résultats de l'analyse d'une prise. Très souvent, les résultats d'une analyse ne sont exploitables avec sécurité que si on les obtient moins de 2 heures après la prise d'échantillon.

L'analyse d'un gaz d'incendie à l'appareil d'Orsat est lente et difficile, elle doit être faite par un personnel expérimenté et la précision des teneurs en CO fournie est généralement insuffisante pour les objectifs visés.

I. — METHODES

1. Méthode française.

M. Janot, Ingénieur de la Sécurité au Groupe de Petite-Rosselle des Houillères du Bassin de Lorraine, préconise la méthode suivante qui permet une analyse complète des gaz en 15 minutes (4).

1) Le CO_2 et l' O_2 sont analysés par absorption sur une solution de soude et sur du phosphore. L'opération dure 10 minutes et la précision est de $\pm 0,05 \%$.

2) Le $\text{CH}_4 + \text{H}_2$ sont analysés en 13 minutes avec une précision de $\pm 0,03 \%$ à l'aide d'un eudiomètre mis au point à Petite-Rosselle.

II. — TEMPS NORMAL

En temps normal, l'analyse des gaz permet de déceler un début de combustion spontanée.

Dans les charbonnages ayant des couches sujettes à combustion spontanée, l'analyse des gaz faite périodiquement dans les retours d'air des chantiers en temps normal est très utile.

Même quand il n'y a aucun feu ni oxydation du charbon pouvant amener une combustion spontanée, on observe dans les retours d'air du bassin de la Rhur des teneurs en CO de $0,005 \%$ et un indice K pouvant atteindre $0,6$.

Comme point de départ pour les comparaisons, il faut donc déterminer l'indice correspondant à ce qu'on appelle l'état normal. Ces indices varient d'une fosse à l'autre, et même d'un chantier à l'autre.

Lorsque les indices ont une tendance à monter progressivement au-delà de l'indice de base, il y a danger d'incendie.

* * *

3) Le CO est analysé en 15 minutes à l'aide de l'appareil Wösthoff.

4) Le CH_4 est aussi analysé en 15 minutes à l'aide d'un autre appareil Wösthoff.

En prélevant sur une bouteille de gaz quatre échantillons mis simultanément sur les quatre appareils suivants :

- 1) absorbeurs à NaOH et P ;
- 2) un eudiomètre à $\text{CH}_4 + \text{H}_2$;
- 3) un Wösthoff à CO ;
- 4) un Wösthoff à CH_4 ;

tous les gaz sont analysés en 15 minutes. L'hydrogène est obtenu par la différence des résultats de l'eudiomètre et du Wösthoff à CH_4 .

2. Méthode allemande.

A la centrale de sauvetage d'Essen, le CO_2 et l' O_2 sont analysés par absorption, le CH_4 et éventuellement le H_2 par combustion. Ces opérations se font dans un appareil Robert Müller analogue à celui présenté figure 2.

Le CO est analysé dans un appareil Wösthoff.

Les deux appareils peuvent se placer rapidement dans des caisses et être transportés en camionnette en toute sécurité (fig. 3).

Ces méthodes (française et allemande) ont l'avantage de permettre une analyse rapide et précise des gaz.

Elles ont l'inconvénient, pour des petites centrales, d'exiger la permanence d'un technicien capable de se servir des appareils.

(4) Bultec « Mines » Inchar, n° 45, 30 mai 1955, p. 902.

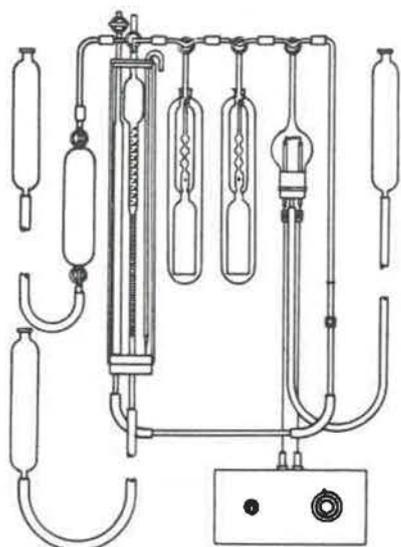


Fig. 2. — Appareil Robert Müller pour l'analyse de l'O₂, du CO₂ et du CH₄ et éventuellement du H₂.

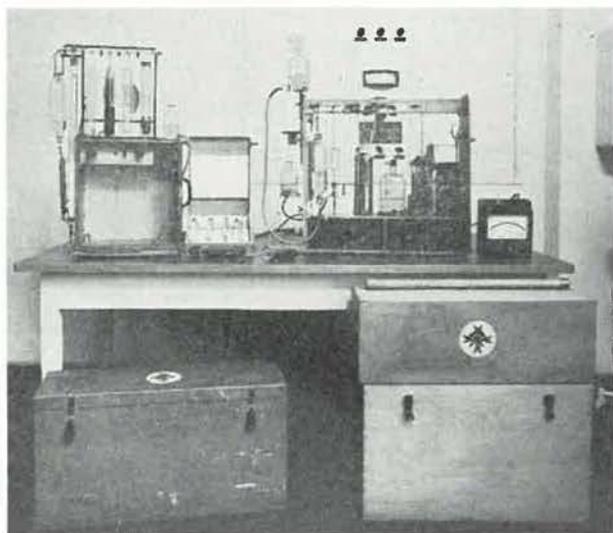


Fig. 3. — Vue des appareils utilisés à la Centrale de sauvetage d'Essen.

De l'avis de M. von Hoff, Directeur de la Centrale de Sauvetage d'Essen qui utilise l'appareil Wösthoff, il faut non seulement un personnel expérimenté pour manipuler l'appareil, mais il faut faire des analyses fréquentes. Le préposé doit acquérir et conserver le tour de main nécessaire et l'appareil doit être employé souvent pour avoir la certitude qu'il reste en bon état. La station d'Essen fait des centaines d'analyses par an.

L'appareil nécessite également un étalonnage journalier. A cet effet, on dispose d'une bonbonne contenant un gaz titrant 0,78 % de CO.

II. — APPAREILS D'ANALYSE EN LABORATOIRE

1. L'eudiomètre de Petite-Rosselle.

MM. G. Champagnac et J. Cretin, des Houillères du Bassin de Lorraine, ont construit un eudiomètre

répondant largement aux besoins d'un laboratoire de charbonnage (5).

Cet appareil est basé sur le principe de l'eudiomètre classique (fig. 4).

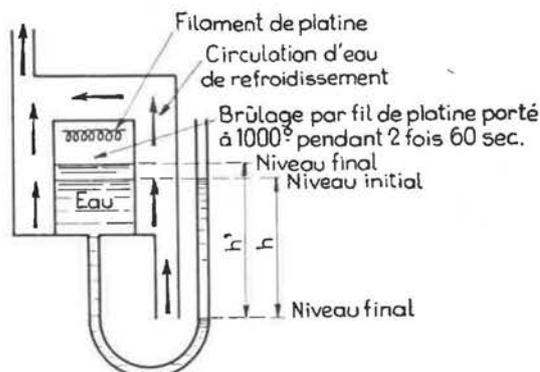


Fig. 4. — Principe de l'eudiomètre Champagnac et Cretin.

La cuve à combustion est raccordée à un tube manométrique. La combustion du méthane fait subir au gaz introduit dans l'appareil une diminution de volume double de celle du CH₄ et H₂ brûlés lorsqu'on maintient la pression constante.

Dans l'appareil, la pression ne demeure pas constante et décroît en même temps que le volume puisque, si l'eau monte dans l'eudiomètre par suite de la contraction du gaz, le niveau descend dans le tube manométrique, abaissant d'autant la pression du gaz intérieur. Le principe consiste à mesurer la dénivellation entre le niveau initial et le niveau final dans le tube manométrique que l'on gradue directement en % de méthane.

Les auteurs ont étudié l'influence de la température sur les lectures et l'influence des conditions de brûlage (température du filament et temps de brûlage).

La température des gaz au moment des lectures a une influence considérable non pas tant à cause des dilatations qu'à cause des variations de tension de vapeur d'eau qui sont très importantes aux environs de 20-25°. L'eudiomètre est entouré d'une chemise parcourue par un courant d'eau dont la température est contrôlée par un thermomètre de précision. En pratique, la température ne varie pas de plus de 1/10 de degré pendant le temps d'une analyse.

Pour assurer un brûlage complet du grisou, il faut que la spirale de platine de l'eudiomètre soit portée au moins à 1.000° et que la durée de passage du courant soit suffisante.

Deux passages de 60 sec séparés de 60 sec assurent un brûlage complet. Un dispositif ingénieux réalise automatiquement les deux brûlages.

(5) Cet appareil a été décrit en détail dans le Bulletin technique « Mines » Inichar, n° 45.

La quantité de gaz introduite dans l'eudiomètre pour chaque analyse est mesurée automatiquement, et cela de façon rigoureuse.

On a rendu automatiques toutes les opérations où pourrait intervenir le coefficient personnel de l'opérateur et cela contribue pour une grande part également à la précision de l'appareil.

2. L'analyseur de gaz « Wösthoff ».

Cet appareil peut servir à analyser séparément le CO et le CH₄.

En principe, le gaz est d'abord épuré par des absorbeurs du CO₂ qu'il contient et des autres gaz étrangers dont la présence pourrait amener des erreurs dans le dosage. Les gaz CO et CH₄ (selon le gaz qu'on désire analyser) sont transformés intégralement en CO₂.

Le gaz est alors mélangé à une solution de soude

qui réagit avec CO₂. La variation de conductibilité électrique de la solution, après réaction avec CO₂, permet de doser exactement le CO₂ et par là de connaître la teneur en CO ou en CH₄.

Toutes les mesures doivent se faire à température constante et le débit de gaz à analyser et du liquide à réaction doit être dosé d'une manière rigoureusement constante.

a) Analyse du CO (fig. 5) :

Le gaz à analyser se trouve dans le flacon B 1. Les éprouvettes C 1, C 2 et C 3 permettent de faire des prises de 100, 10 et 1 cm³. En cas de forte concentration, le gaz peut être dilué par de l'air purifié qui a passé par le purificateur M (gel de silice bleu, hopcalite et chaux sodée).

Le mélange passe dans le purificateur de gaz D où se trouvent du monobromure d'iode, du char-

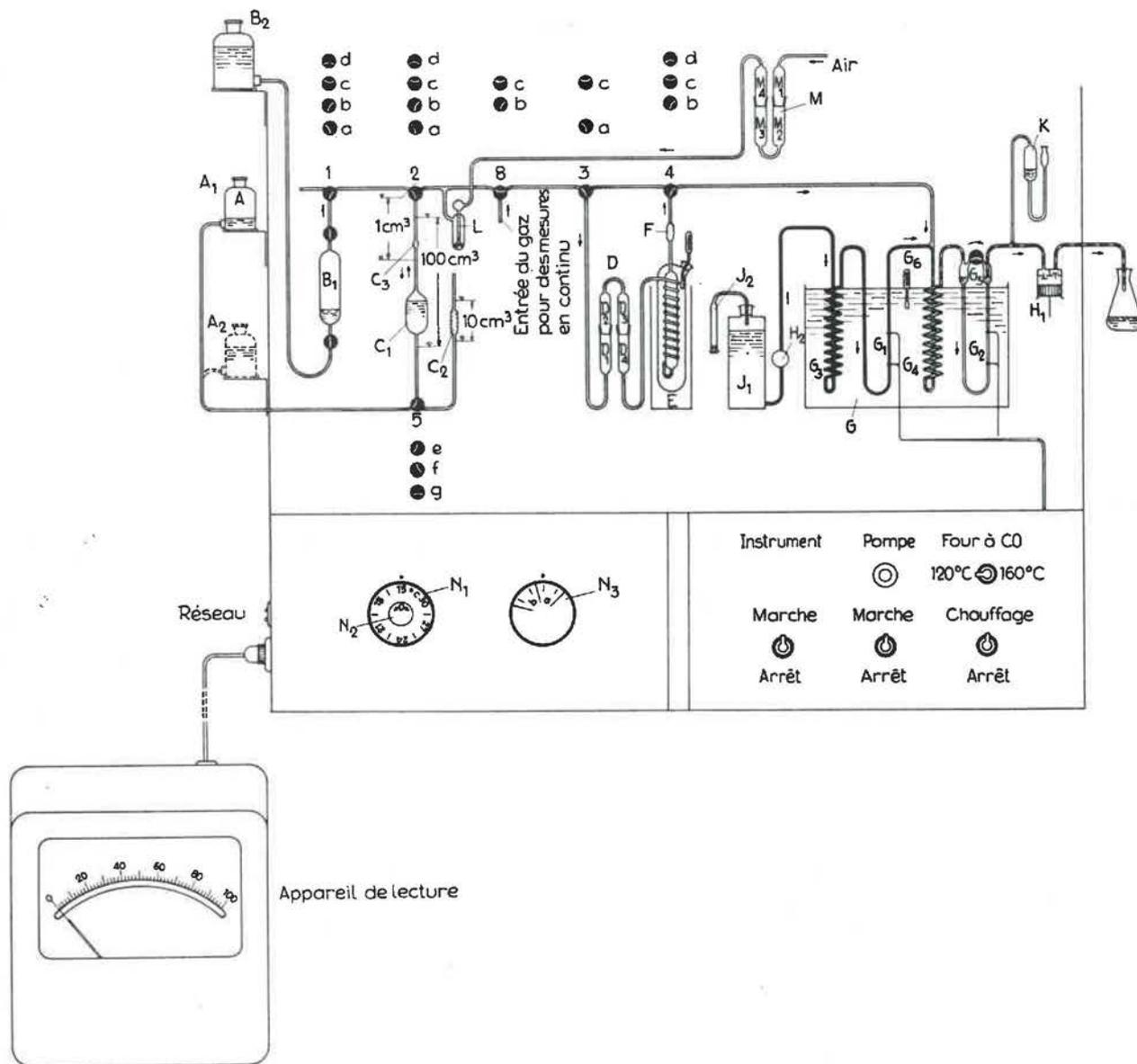


Fig. 5. — Principe de fonctionnement de l'analyseur de gaz Wösthoff.

bon actif, de la chaux sodée et du gel de silice bleu.

Purifié du CO_2 et des autres gaz gênants, il parcourt le serpentín placé dans le four E chauffé à 105 ou 120° C. Dans ce four, le CO du gaz s'oxyde au contact de I_2O_5 et donne CO_2 . Le gaz arrive alors à la cellule de mesure G, après avoir été débarrassé en F de l'iode entraîné (laine d'argent).

Cette cellule est placée dans un bain d'huile afin d'obtenir un équilibre de température, la conductibilité de la solution de soude variant avec la température (environ 2 % par degré centigrade).

La solution de soude circule au travers de la cellule sous l'impulsion d'une pompe H_2 entraînée par un électromoteur synchrone qui permet un dosage constant. Elle passe dans le serpentín d'égalisation de température G_3 , puis dans le tube en U, G_2 , où sa conductibilité électrique est mesurée entre deux électrodes. En aval de cette mesure, on introduit le gaz à analyser dans la solution. La réaction s'opère dans le serpentín G_4 . La conductibilité de la solution est mesurée entre deux électrodes dans le tube en U, G_2 . Le gaz restant est séparé de la solution en G_5 et aspiré par la pompe H 1.

La différence de conductibilité de la soude en G_1 et en G_2 donne une mesure très précise de la teneur en CO_2 , fonction de la teneur en CO. La température du bain d'huile est mesurée par G_0 . Un bouton gradué en degrés centigrades permet de faire les corrections de température.

b) Analyse du CH_4 .

Le processus est identique à celui employé pour doser le CO, mais le four à I_2O_5 est remplacé par un four en quartz où le CH_4 est transformé en CO_2 à une température de 1.100° C. Le même appareil peut donc servir au dosage des deux gaz CO et CH_4 .

3. Analyseurs de gaz à rayons infra-rouges.

On construit actuellement des cellules à rayons infra-rouges, qui permettent l'analyse instantanée des gaz autres que les gaz simples.

Ces appareils sont basés sur le fait que tous les gaz, sauf N_2 , O_2 , H_2 et les gaz rares, absorbent sélectivement la lumière infra-rouge et, fait particulièrement intéressant, que cette absorption varie de façon très importante d'une substance à l'autre.

Un gaz A absorbe, par exemple, les rayons infra-rouges de longueur d'onde L_1 , un gaz B les rayons de longueur d'onde L_2 , etc...

Pour effectuer un dosage du gaz A dans un mélange, il suffit donc de mesurer l'absorption des rayons infra-rouges de longueur d'onde L_1 .

Pour ce faire, on dispose d'une source d'infra-rouges non sélective, d'une éprouvette contenant le mélange à doser et d'une cellule réceptrice contenant une masse de gaz A pur.

Ne considérons pour l'instant que la partie droite du schéma figure 6.

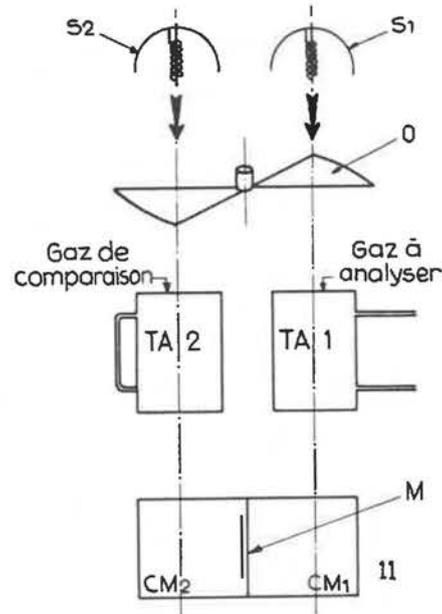


Fig. 6. — Principe de fonctionnement de l'appareil d'analyse par absorption de rayons infra-rouges.

Supposons que le mélange ne contienne que de l'air et du gaz A. Les gaz N_2 et O_2 n'absorbent pas les rayons infra-rouges.

Si nous envoyons des rayons infra-rouges au travers du gaz à analyser, le gaz A absorbera une partie des radiations L_1 suivant sa concentration et la cellule réceptrice absorbera toute la partie restante. L'absorption de rayons élève la température du gaz de la cellule réceptrice, proportionnellement à la quantité de rayons absorbés. Par conséquent, la variation de température de la cellule peut servir de mesure à la proportion de gaz A contenue dans le mélange.

Si le mélange contient de l'air et une certaine proportion de gaz A et de gaz B, il absorbera une partie des radiations L_1 et une partie des radiations L_2 . Mais comme les radiations L_2 ne sont pas absorbées par la cellule qui ne contient que du gaz A, son élévation de température ne dépendra que de la quantité de radiations L_1 .

Donc, quels que soient les composants du mélange, on ne dose que le gaz contenu dans la cellule, soit A.

Pour permettre la mesure de l'élévation de température qui est infime et pour éliminer les erreurs, on se sert d'une installation double. La mesure est faite par comparaison.

Une éprouvette, appelée éprouvette de comparaison, contient un gaz n'absorbant pas les rayons infra-rouges et l'autre, le gaz à analyser contenant une certaine proportion de gaz A, B, etc...

Pour analyser le gaz A, les deux cellules réceptrices sont remplies de gaz A pur et sont accolées.

Une membrane métallique très mince sépare les deux chambres.

La cellule correspondant à l'éprouvette de comparaison absorbera la totalité des radiations L_1 , tandis que l'autre n'en absorbera qu'une partie, comme nous l'avons vu plus haut.

La différence de température du gaz et, par conséquent, la différence de pression dans les deux cellules dépendront de la proportion de gaz A contenue dans le mélange à analyser. La flexion de la membrane médiane, sensible aux différences de pression, caractérise à son tour la concentration. Cette membrane est disposée de telle sorte qu'elle forme, avec un plateau fixe, un condensateur électrique dont la capacité varie avec la flexion.

Le contrôle de la variation de cette capacité, par l'intermédiaire d'un amplificateur électronique, permet l'alimentation d'un millivoltmètre, directement gradué en teneur de gaz A.

Sous cette forme cependant, l'appareil serait le siège d'une dérive importante provenant de l'échauffement extérieur des cellules de mesure; par l'emploi de rayonnement pulsatoire et d'un amplificateur alternatif, branché entre le condensateur et l'enregistreur, seule l'énergie sélective absorbée par le gaz des cellules réceptrices sera amplifiée.

Les variations périodiques de capacité du condensateur, d'amplitudes plus ou moins fortes suivant la teneur du gaz à doser dans la cellule d'absorption, sont transformées en variations de potentiel, amplifiées dans un système électronique, redressées et enregistrées sur un potentiomètre à plume.

Le hachage de la lumière se fait au moyen d'un disque (C) percé d'un certain nombre de trous. La fréquence de pulsation doit être très basse (environ 5 Herz) à cause de l'inertie du système de réception.

Malgré les très faibles échauffements mis en jeu dans ces récepteurs à gaz, cet appareil jouit, en dehors de sa sélectivité particulièrement précieuse, d'une très grande stabilité et d'une sensibilité remarquable; ces résultats sont acquis grâce à l'emploi du système à double faisceau parfaitement symétrique et à l'utilisation de lumière hachée et du système d'amplification alternative particulièrement stable.

4. Analyseur de l'oxygène basé sur ses propriétés paramagnétiques.

L'oxygène et l'hydrogène ne peuvent être dosés par la méthode des infra-rouges, mais il existe une méthode de dosage électrique de l'oxygène, très rapide et très précise.

L'oxygène ayant une susceptibilité magnétique d'environ 100 fois celle des autres gaz (généralement diamagnétiques), on se sert d'un analyseur qui permet le dosage d'un gaz paramagnétique dans un mélange gazeux quelconque. La mesure est indépendante des autres constituants du mélange et de leurs propriétés physiques, telles que : viscosité, conductibilité thermique et chaleur spécifique.

Le mélange à analyser passe dans les tubes T_1 et T_2 (fig. 7) placés dans l'entrefer d'un aimant

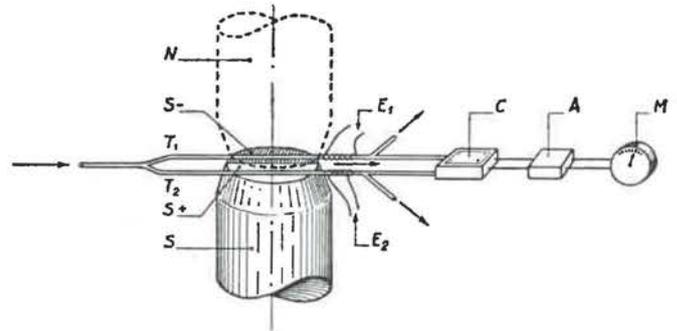


Fig. 7. — Principe de fonctionnement de l'appareil d'analyse d' O_2 basé sur ses propriétés paramagnétiques.

permanent. L'un des pôles de cet aimant est constitué moitié de fer doux et moitié d'un matériau non magnétique. Il tourne sur son axe, soumettant les deux tubes à des variations périodiques de champ qui se traduisent dans le gaz paramagnétique par des variations de force engendrées par l'action du champ non homogène. Ces forces agissent sous forme de variations de pressions sur la membrane d'un condensateur à capacité variable.

On recueille aux bornes une tension modulée, fonction de la susceptibilité magnétique du mélange de gaz. La mesure de cette tension, après amplification A et redressement, donne la teneur en oxygène du mélange : le cadran du millivoltmètre (M) est directement gradué en % d'oxygène.

L'appareil est peu sensible aux vibrations. Il peut fonctionner dans une position quelconque.

Les appareils à rayons infra-rouges et l'analyseur paramagnétique d' O_2 sont très portatifs, à lecture directe et peuvent être manipulés par un personnel non spécialisé. Nous avons pensé qu'ils pourraient peut-être remplacer les appareils d'analyse chimique dans les centrales qui ne font pas journalièrement des analyses.

On peut envisager d'analyser le O_2 , le CO_2 et le $CH_4 + H_2$ au moyen de l'appareil utilisé à la

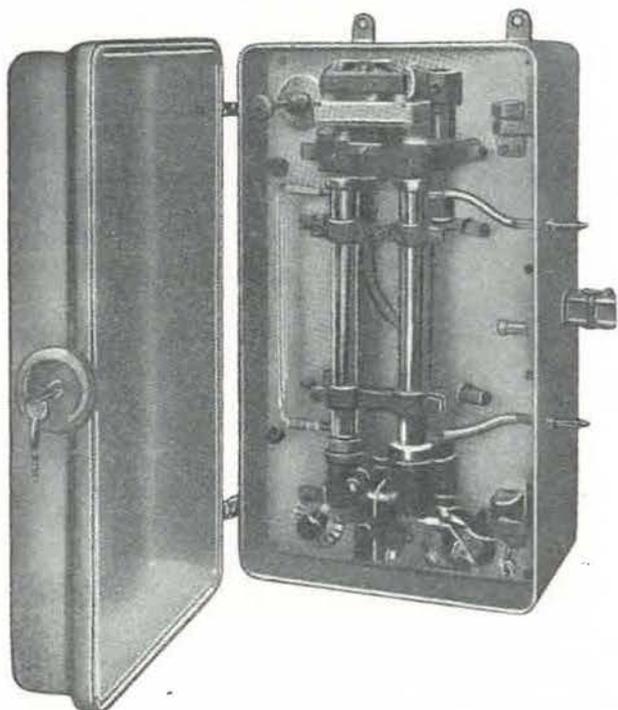


Fig. 8. — Vue d'un analyseur à infra-rouges Onera.

Centrale de Sauvetage d'Essen et avoir deux cellules à rayons infra-rouges, donnant l'une le CO et l'autre le CH₄.

Une solution plus élégante et plus rapide serait d'analyser le CO₂, CO et CH₄ au moyen de cellules à rayons infra-rouges, le O₂ au moyen de l'appareil à analyse de gaz paramagnétique et le H₂ par conductibilité thermique.

En reliant tous ces appareils en série, les teneurs des différents constituants seraient immédiatement obtenues par simples lectures sur des cadrans ou sur diagrammes enregistreurs.

Diverses firmes spécialisées dans la construction de cellules à rayons infra-rouges et autres appareils de mesure ont été consultées :

Le Contrôle de Chauffe, 146, rue des Blains à Bagneux (Seine) construit l'appareil à infra-rouge Onera (fig. 8). Il propose :

1) quatre analyseurs à infra-rouges : deux pour le CO dont un avec échelle de 0 à 0,1 % (toxicologie) et l'autre de 0 à 15 %, un pour le CH₄, avec échelle de 0 à 20 %, et un pour le CO₂, avec échelle de 0 à 15 % ;

2) un analyseur à O₂ utilisant les propriétés paramagnétiques de ce gaz, avec échelle de 0 à 21 %.

Tous ces appareils reliés en série donneraient des indications instantanées. L'ensemble coûterait environ 2.100.000 francs français.

La firme américaine MSA construit l'appareil à infra-rouges Lira (fig. 9). Elle propose :

- trois appareils d'analyse à infra-rouges ;
- un analyseur de H₂ par thermo-conductivité ;
- un analyseur de CO₂ ;

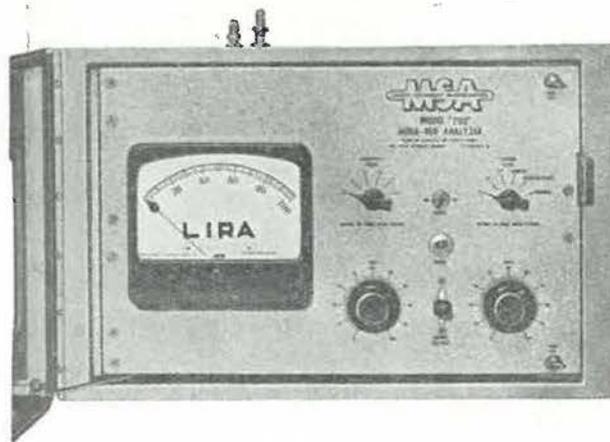


Fig. 9. — Vue d'un analyseur à infra-rouges Lira.

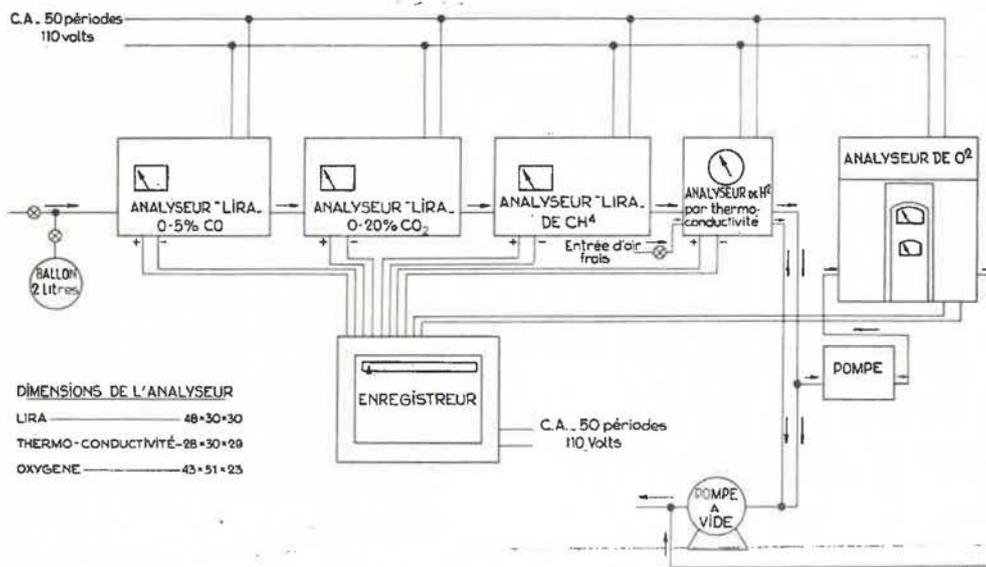


Fig. 10. — Schéma de montage d'appareils d'analyse où CO, CO₂, CH₄, H₂, et O₂ sont analysés instantanément.

disposés comme l'indique le schéma figure 10. Toutes les analyses seraient faites instantanément et enregistrées. Une prise de gaz dans un ballon de 2 litres suffirait.

Le prix de l'ensemble serait d'environ 1.000.000 de francs belges.

La firme allemande Hartmann et Braun construit l'appareil URAS (fig. 11). L'installation



Fig. 11. — Vue d'un analyseur à infra-rouges URAS.

complète de deux cellules de mesure (une à CO, l'autre à CH₄) coûterait environ 170.000 francs belges.

Enfin la firme britannique Infra Red Development Company (fig. 12) doit envoyer ses propositions.

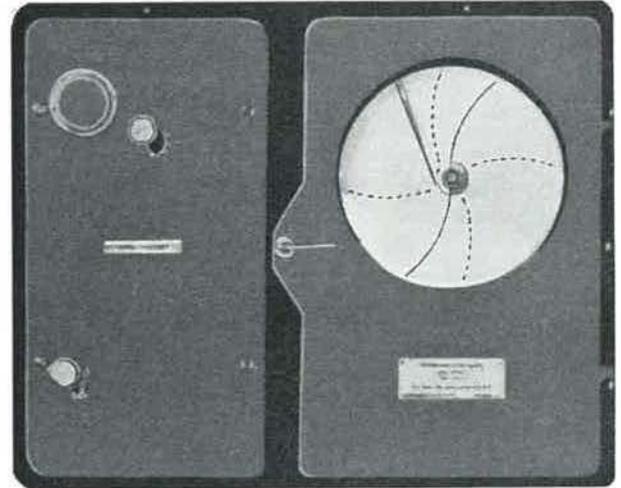


Fig. 12. — Vue d'un analyseur à infra-rouges de la Infra Red Development Company.

III. — APPAREILS D'ANALYSE AU FOND (POUR LES CENTRALES)

1. Le méthanomètre enregistreur.

En plus des appareils décrits et qui devraient équiper un laboratoire de centrale de sauvetage, nous considérons que, bien qu'il ne soit pas destiné à l'analyse des constituants d'un échantillon de gaz, l'appareil enregistreur de CH₄ est indispensable dans un sinistre important. Placé dans le retour d'air général de la mine, il renseigne à tout moment sur la teneur en CH₄ et permet de juger sans équivoque de l'influence, sur l'aérage, des diverses mesures prises.

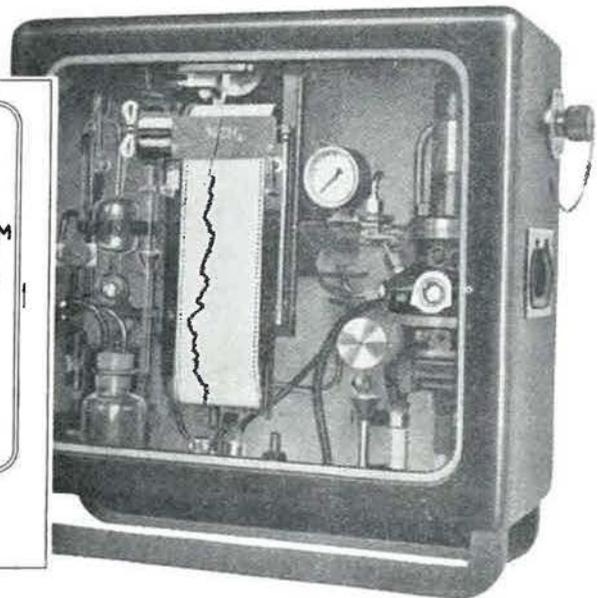
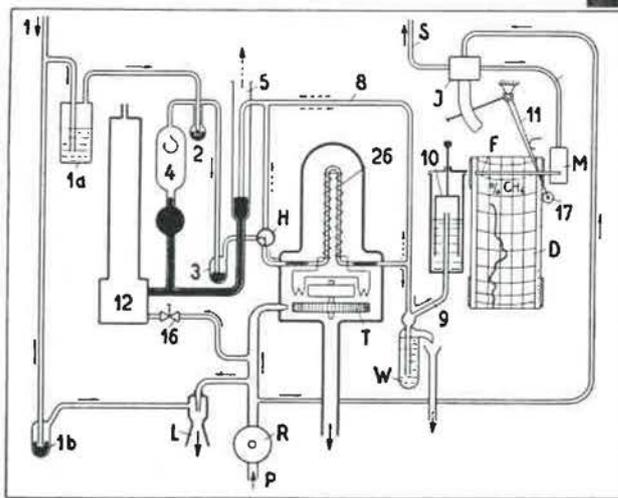


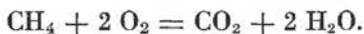
Fig. 15. — Appareil enregistreur de CH₄ Mono de la firme Mathak de Hambourg.

α) Enregistreur de CH₄ de la firme Maihak de Hambourg.

Cette firme construit un appareil enregistreur de CH₄ antigrisouteux, spécialement conçu pour être utilisé au fond de la mine. Il est commandé par air comprimé.

La détermination du pourcentage de CH₄ s'obtient par la mesure de la diminution du volume d'une quantité déterminée de mélange à analyser, après combustion du CH₄.

La combustion s'effectue suivant l'équation



H₂O se condense. Le volume du gaz résiduel est donc égal au volume du gaz initial, diminué de 2 fois le volume du CH₄ présent dans le mélange.

L'appareil comprend essentiellement (fig. 13) :

- 1) un tube à combustion (26) contenant un catalyseur spécial et chauffé par une résistance électrique;
- 2) une pompe à mercure (12) permettant de faire passer à intervalle régulier un volume déterminé du mélange à analyser dans le tube à combustion;
- 3) une cloche de mesure (10) qui se soulève proportionnellement au volume du gaz résiduel après combustion;
- 4) un appareil enregistreur qui inscrit un point à chaque analyse;
- 5) un régulateur de pression R pour l'admission d'air comprimé;
- 6) une trompe L pour l'aspiration du mélange gazeux à analyser.

L'air comprimé admis en P, maintenu à la pression constante de 2 atm au moyen du régulateur de pression R, actionne :

- 1) la trompe d'aspiration L. Celle-ci aspire de façon continue l'air de la mine dans l'appareil. Il pénètre par le tube 1 et le clapet à mercure 1 b;
- 2) la pompe à mercure (12), qui produit un mouvement périodique de va-et-vient du mercure dans le volumomètre (4), et le tuyau d'arrêt (5). La vanne (16) permet le réglage de la pompe;
- 3) le turbo-générateur T qui produit le courant de chauffage du tube de combustion (26);
- 4) l'émetteur d'impulsion J, qui commande l'étrier mobile de l'enregistreur MF et met la tuyauterie S sous pression quand la teneur en CH₄ dépasse une valeur fixée.

Les analyses successives sont provoquées par le mouvement descendant du mercure qui aspire l'échantillon, puis par son mouvement ascendant qui refoule le gaz du volumomètre (4).

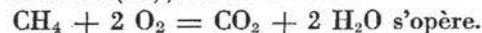
L'appareil peut effectuer 20 analyses par heure. La vanne (16) permet de réduire ce nombre à volonté.

Fonctionnement de l'appareil.

La descente du mercure dans le volumomètre (4) provoque l'aspiration par la conduite (1) d'une certaine quantité d'air à analyser; celle-ci traverse le récipient à eau (1 a) et le clapet d'aspiration (2), puis pénètre dans le volumomètre (4).

Une fois descendu jusqu'à la partie inférieure du volumomètre, le mercure remonte, refoule le gaz vers (2) et (3) et obture le tube d'arrêt (5).

La pression du gaz obture le clapet d'aspiration (2) et ouvre le clapet de refoulement (3). Le mélange passe par le robinet H dans le tube à combustion (26), où la réaction



L'eau se condense dans le séparateur automatique W et la cloche de mesure se soulève proportionnellement au volume du gaz résiduel. Elle entraîne dans son mouvement le levier (11) portant une plume. Cette dernière ne frotte pas sur le papier et ce n'est qu'à la fin de l'analyse, c'est-à-dire lorsque le volumomètre (4) est complètement rempli de mercure, que l'étrier mobile MF actionné par l'air comprimé, applique la plume contre le diagramme, enregistrant ainsi la teneur en CH₄ de l'échantillon. La plume est pressée contre le dispositif encreur avant son déplacement.

Aussitôt après l'enregistrement, le mercure redescend dans le volumomètre (4), provoquant l'aspiration d'un nouvel échantillon. Simultanément, le tube d'arrêt (5) s'ouvre et le gaz enfermé sous la cloche de mesure (10) est évacué dans l'atmosphère par la conduite (8) et le tube d'arrêt (5).

Il est possible d'adjoindre à l'appareil un dispositif de signalisation acoustique ou électrique.

Dans ce cas, l'émetteur d'impulsion J provoque la mise sous pression de la conduite S lorsque la teneur en CH₄ dépasse une valeur maxima admise. Cette conduite permet d'actionner à distance, par exemple à la surface, un dispositif d'alarme (sirène à air comprimé ou avertisseur électrique) par l'intermédiaire d'un contacteur pneumatique.

b) Enregistreur de CH₄ Le Rutte, Weeda et Maas.

W.A. Le Rutte, W. Weeda et W. Maas viennent également de construire un appareil enregistreur de la teneur en grisou dans l'air des mines (6).

Cet appareil est antidéflagrant, précis à 0,1 % près, sensible aux teneurs variant de 0 à 2 %. La source d'énergie est l'air comprimé.

L'organe assurant la mesure de la teneur en CH₄ est un catharomètre (fig. 14). Les deux résistances R 1 et R 2 sont placées dans deux cellules, dont l'une contient l'air à analyser et l'autre de l'air

(6) Applied Scientific Research 1956, Vol. 6, Section A, n° 1 — Résumé dans le Bulletin de Documentation Technique n° 29 de l'Institut d'Hygiène des Mines Hasselt, 1956, 25 juillet, p. 22/24.

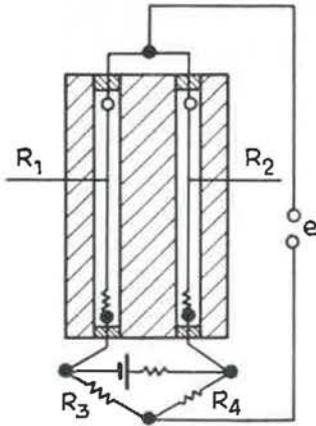


Fig. 14. — Principe de fonctionnement de l'appareil enregistreur de CH_4 Le Rutte, Weeda et Maas.

exempt de grisou. Le courant électrique passant par ces résistances les chauffe jusqu'à une certaine température, fonction de la conductibilité thermique du gaz qui les entoure. Cette conductibilité dépend elle-même de la composition de ces gaz, le grisou ayant une conductibilité thermique légèrement différente de l'air pur. La présence de CH_4 dans l'air à analyser provoquera donc un écart de température entre les deux fils; à cet écart correspond une différence de résistance ohmique qui déséquilibre le pont de Wheatstone formé par les résistances R_1 , R_2 , R_3 , R_4 . L'instrument de mesure est un millivoltmètre enregistreur e branché dans une diagonale du pont.

Celui-ci est alimenté en courant électrique par un petit turbo-générateur actionné à l'air comprimé.

La précision de la mesure est évidemment fonction de la stabilité de la tension produite. Or, celle-ci dépend de la pression de l'air comprimé d'alimentation qui n'est jamais parfaitement stable.

Un stabilisateur de tension très ingénieux a été inséré entre la génératrice et l'enregistreur. Il comporte (fig. 15) une lampe à incandescence en

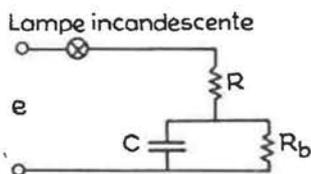


Fig. 15. — Stabilisateur de tension dans l'appareil enregistreur de CH_4 Le Rutte, Weeda et Maas.

série et un condensateur en parallèle avec le circuit d'utilisation. Lorsque la vitesse de rotation de la génératrice s'élève, non seulement la tension, mais la fréquence augmentent, ce qui permet au condensateur de dériver un courant plus important.

L'air de la mine est aspiré à travers des absorbeurs de CO_2 et H_2O , gaz perturbateurs qui ont

une grande influence sur la conductibilité thermique du gaz à analyser.

L'ensemble générateur-stabilisateur-redresseur est antidéflagrant. L'air comprimé n'est pas raccordé directement sur l'appareil, mais sur un carter étanche qui l'entoure. Par ailleurs, les caractéristiques électriques de la source sont telles qu'un court-circuit franc, réalisé entre les bornes de sortie, ne peut enflammer un mélange de gaz tonnant réalisé à partir de gaz de ville (à 60 % H_2).

2. Le détecteur de CO enregistreur.

Un appareil enregistreur de CO serait aussi d'une très grande utilité pour la conduite d'un sauvetage. Jusqu'à présent, il n'y a encore aucun appareil agréé pour le fond. Le problème est à l'étude. Les recherches sont très avancées. Il reste certains détails à mettre au point et, d'ici peu de temps, on peut espérer pouvoir disposer d'un tel appareil.

3. Appareils portatifs des équipes de pointe.

Les équipes de sauveteurs qui partent en reconnaissance doivent être pourvues d'un équipement qui leur permette d'apprécier rapidement sur place l'état de l'atmosphère dans laquelle elles se trouvent et de noter sur place certains renseignements indispensables à la conduite scientifique du sauvetage, tels par exemple :

- la température;
- le degré hygrométrique;
- la vitesse du courant d'air;
- la section;
- le débit d'air;
- le sens du courant d'air;
- les teneurs en CO et CH_4 , etc...

A cet effet, ces équipes doivent être pourvues de l'équipement suivant :

- a) un appareil respiratoire à circuit fermé;
- b) un détecteur à oxyde de carbone;
- c) un détecteur à CH_4 portatif (genre Riken Keiki, Zeiss);
- d) un tube à fumée pour déceler le sens et la vitesse des faibles courants d'air;
- e) un mètre pour mesurer les sections;
- f) un psychromètre;
- g) des ballons en caoutchouc (chambre à air de ballon de football) avec poire de soufflage pour prélever des échantillons d'atmosphère;
- h) un carnet;
- i) de la craie.

La plupart des appareils mentionnés ci-dessus ont déjà été décrits en détail, soit dans les communications de l'Institut d'Hygiène des Mines, soit dans les Annales des Mines de Belgique et les Bulletins techniques d'Inichar. Cependant, il nous a paru opportun d'en rappeler les principes de façon à rassembler dans une même publication tous

les appareils qui permettent une prospection complète de l'atmosphère de la mine en cas d'intervention.

Pour plus de détails sur ces appareils, nous prions le lecteur de se rapporter aux références signalées dans les notes infrapaginales.

c) Le détecteur colorimétrique de CO.

Les détecteurs colorimétriques de CO des firmes Auer et Dräger ont été décrits dans le Bulletin « Mines » n° 49 d'Inichar (7). Nous donnons la description et le mode d'emploi du détecteur M.S.A. (8).

La Mine Safety Appliances Company (M.S.A.) construit un détecteur colorimétrique pour l'analyse du CO dans la mine, basé sur le changement de coloration d'un réactif après passage d'une quantité déterminée de CO pendant un temps déterminé (fig. 16).



Fig. 16. — Détecteur colorimétrique MSA pour l'analyse du CO.

Le réactif est constitué par le mélange d'un complexe silico-molybdique avec du sulfate de palladium. Ce réactif jaune, mélangé avec du gel de silice, est intercalé sur une longueur de 1 à 1,5 cm dans un tube en verre scellé, de 7 mm de diamètre et de 12,5 cm de longueur, rempli lui-même de granules de gel de silice. La zone sensibilisée se trouve à peu près au tiers de la colonne de granulé. Celle-ci est maintenue en place par deux tampons de tissu.

L'aspiration du gaz est réalisée de manière à lui faire traverser la plus grande longueur de gel de silice afin de mieux le dessécher. Le tube utilisé, obturé par deux capuchons de caoutchouc, garde sa coloration intacte pendant 8 heures.

L'aspiration de l'air se fait au moyen d'une poire en caoutchouc. Le tube est maintenu contre l'orifice par un support métallique muni d'un capuchon à ressort. Le long de l'armature, un tambour porte une échelle colorimétrique qui donne la teinte du réactif en fonction de la concentration en CO et du nombre de coups de poire. L'échelle de mesure se situe entre 0,001 et 0,10 %.

Le mode d'emploi est le suivant :

1) Briser les deux extrémités d'un tube de verre en utilisant l'encoche ad hoc prévue dans la monture de l'appareil.

2) Serrer le tube entre l'orifice de la poire d'une part et le trou du capuchon à ressort d'autre part, le grand côté de gel de silice doit être tourné vers l'extérieur.

Pour réaliser une bonne étanchéité de l'appareil, il est conseillé d'humecter légèrement les extrémités du tube avant de le mettre en place.

3) Comprimer fortement la poire et, après le regonflement complet de celle-ci, comparer la teinte du réactif à l'échelle du tambour. La concentration peut être mesurée de plusieurs façons par un nombre convenable, mais différent, de coups de poire.

L'appareil, une boîte de 12 tubes et un sachet de capuchons de caoutchouc sont présentés dans un étui de cuir, muni d'une courroie de transport. Les dimensions de l'ensemble sont de 225 × 100 sur 70 mm et son poids d'environ 750 grammes (fig. 17).

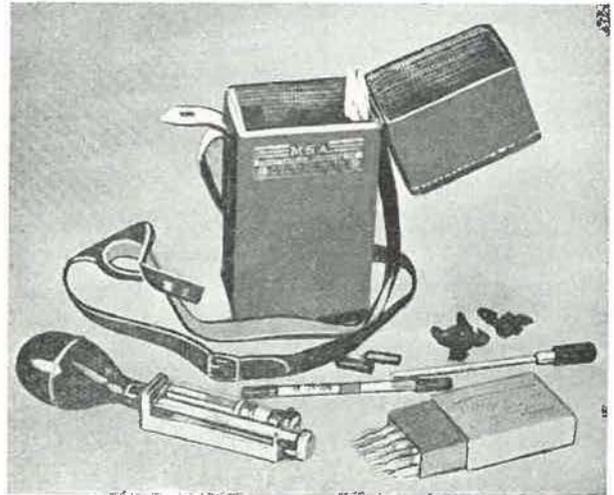


Fig. 17. — Détecteur colorimétrique de CO MSA avec boîte de 12 tubes à réaction et étui de transport.

b) La détection du grisou par interféromètre (Riken-Keiki ou Zeiss) (9).

1) Principe de l'appareil.

Le fonctionnement de ces grisoumètres est basé sur une mesure différentielle de l'indice de réfraction du mélange air-grisou après élimination de la vapeur d'eau et du gaz carbonique.

La figure 18 indique le principe utilisé. Une source lumineuse S constituée par une ampoule électrique, suivie d'un condensateur optique C, donne au travers d'une fente F un mince pinceau de rayons parallèles réfléchis par la lame à faces parallèles L. Les rayons réfléchis par la face supérieure traversent la chambre A, subissent une double réflexion totale dans le prisme P, repassent

(7) Voir Bulletin technique « Mines », Inichar, n° 49, p. 985.

(8) Voir Communication n° 74 de l'Institut d'Hygiène des Mines 1950, 22 juin.

(9) Voir A.M.B. 1954, juillet, page 546 — « Grisoumètre japonais Riken-Keiki ».

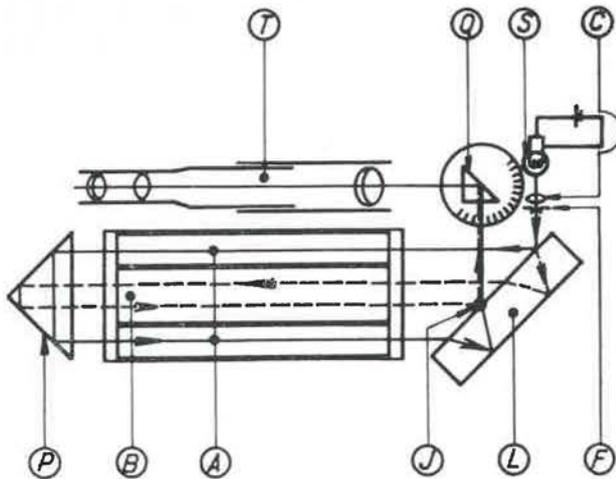


Fig. 18. — Principe des interféromètres détecteurs de grisou.

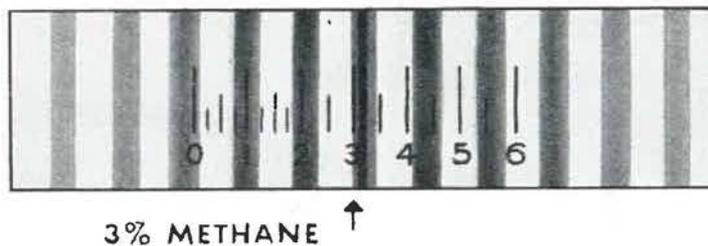


Fig. 19. — Franges à interférences observées dans la lunette.

dans la chambre A inférieure et sont à nouveau réfléchis par la lame L. Ceux réfléchis par la face inférieure traversent la chambre B, subissent aussi la double réflexion totale dans le prisme P, repassent dans la chambre B et sont à leur tour réfléchis par la lame L. Les deux faisceaux lumineux se confondent en J et tombent sur le second prisme à réflexion totale Q qui les envoie dans la lunette T.

La différence des parcours optiques des deux pinceaux lumineux produit un système de franges d'interférences dont la partie centrale est observable dans la lunette T. On règle, en orientant le prisme Q, la frange centrale du système d'interférences sur le zéro d'une graduation placée dans l'oculaire de la lunette T lorsque les chambres A et B sont remplies d'air pur.

Si la chambre B vient ensuite à être remplie par un gaz dont l'indice est différent de celui de l'air, le chemin optique du pinceau de rayons qui la traverse est modifié, ce qui entraîne comme conséquence le déplacement du système de franges d'interférences observé dans la lunette. Il suffit alors de lire la nouvelle position de la frange centrale sur l'échelle placée dans l'oculaire de T pour connaître l'indice de réfraction du gaz emplissant B (fig. 19). Bien entendu, cette échelle est directement graduée en % de CH_4 , ce qui implique que soient éliminés tous les facteurs (CO_2 , H_2O) autres que le méthane susceptible de faire varier l'indice du gaz emplissant B par rapport à

celui de l'air emplissant A et que soient réalisées les égalités de pression et de température entre les milieux de A et de B.

2) Aspect extérieur de l'appareil.

Il se présente sous la forme d'un parallélépipède de $40 \times 90 \times 100$ mm, constitué par un bâti monobloc en alliage d'aluminium coulé sur lequel viennent se fixer les différents organes. L'une des faces latérales est amovible et donne accès à la pile et à la cartouche filtrante.

Pour son utilisation dans la mine, le grisoumètre est placé dans une sacoche de cuir. L'inaccessibilité des organes internes (pile, cartouche, ampoule, etc...) est assurée par un collier en clinquant d'acier et qui est verrouillé par le système de fermeture de la sacoche, muni d'une clé.

L'appareil, placé dans sa sacoche de protection et de transport, a pour dimensions hors-tout $50 \times 100 \times 200$ mm. Seuls, restent alors accessibles :

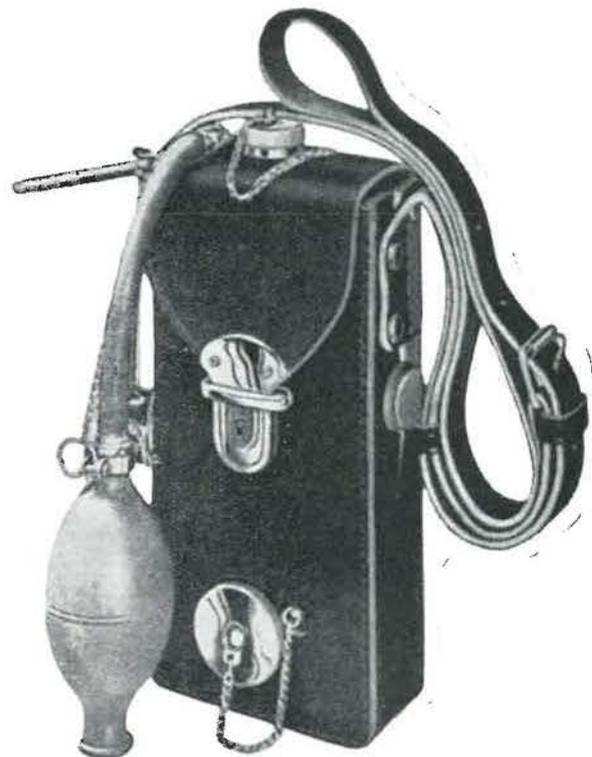


Fig. 20. — Grisoumètre Riken-Keiki dans sa sacoche.

- l'oculaire A, protégé par un couvercle métallique imperdable (fig. 20);
- le bouton de réglage du zéro, actionnant le prisme Q. Ce bouton, dont le réglage n'a en principe pas à être fréquemment retouché, est protégé par un couvercle vissé imperdable;
- le bouton de mise sous tension de l'ampoule protégé par une feuille de caoutchouc souple.

Afin de permettre le rinçage et le remplissage de la chambre B en gaz à doser, le grisomètre est muni d'une poire aspirante et d'un tube de prélèvement de gaz. Son poids en ordre de marche est d'environ 1.500 g.

3) Emploi du grisomètre.

Après avoir vérifié au jour que, lorsqu'on remplit la chambre B avec de l'air pur, la frange centrale observée dans l'oculaire est bien sur le zéro de la graduation, il suffit à l'opérateur de bien rincer cette même chambre, au moyen de cinq ou six coups de poire, avec le gaz à doser, d'appuyer sur le bouton de mise sous tension de l'ampoule et

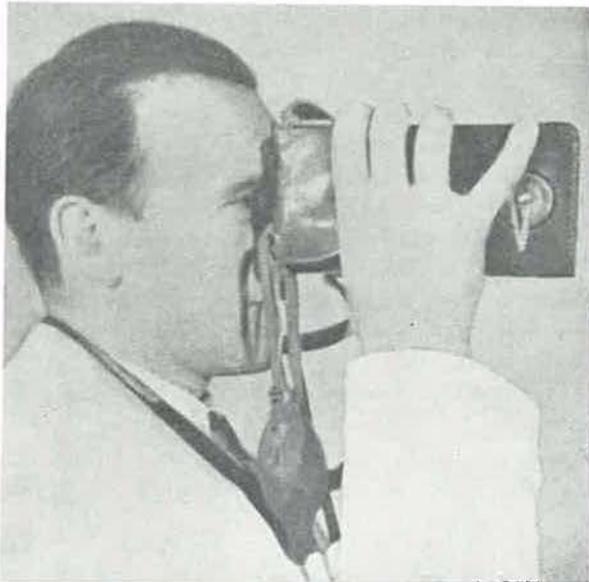


Fig. 21. — Utilisation du grisomètre.

de lire directement la nouvelle position de la frange repérée sur l'échelle de l'appareil (fig. 21). L'échelle de lecture du grisomètre Riken-Keiki, type 17, est graduée de 0 à 6 % CH₄.

c) Le psychromètre (10).

La mesure des températures sèches et humides est d'une importance capitale pour la conduite du sauvetage.

(10) Voir Communication n° 52 de l'Institut d'Hygiène des Mines, 10 novembre 1947, intitulée « Etude du climat des chantiers souterrains — Comment se mesure la teneur en humidité de l'atmosphère ».

1) Le sauveteur doit connaître les températures des galeries où il est amené à évoluer pour éviter les effets pathologiques dus au séjour dans les températures élevées (coup de chaleur, épuisement, déshydratation, crampe).

On admet généralement que les températures effectives limites ci-après, ne peuvent en aucun cas être dépassées :

$$\text{au travail : } 0,9 t_h + 0,1 t_s = 34^\circ \text{ C}$$

$$\text{au repos : } 0,8 t_h + 0,2 t_s = 36^\circ \text{ C}$$

t_h étant la température humide et t_s , la température sèche.

En Belgique, on considère que la température effective d'un chantier de travail ne peut dépasser 31° C ($0,9 t_h + 0,1 t_s = 31^\circ \text{ C}$).

Le Dr Hollmann (Allemagne), qui a spécialement étudié le sauvetage dans des conditions de température élevées, ne considère que la température humide et donne les consignes suivantes aux sauveteurs :

t_h inférieure à 29° C = pas de danger;

t_h de 29° C à 31° C = prudence;

t_h de 31° C à 33° C = n'avancer que s'il y a des vies humaines à sauver;

t_h supérieure à 33° C = se retirer lentement.

2) La direction du sauvetage peut caractériser l'état hygrométrique de l'atmosphère en un point déterminé en calculant, soit la teneur en humidité par kg d'air sec, soit le degré hygrométrique de l'air.

La teneur en humidité par kg d'air sec est donnée par la formule : $x = 0,622 p / (P - p)$ où p est la pression partielle de la vapeur d'eau et P la pression atmosphérique. Cette valeur x est une grandeur absolue indépendante de la pression et de la température locale. Elle est importante pour le calcul de la ventilation.

Le degré hygrométrique est donné par la relation $\varphi (\%) = 100 p / p_s$ où p et p_s sont respectivement la pression partielle et la pression de vapeur saturée à une température donnée.

La connaissance du degré hygrométrique peut avoir de l'importance pour l'utilisation de certains appareils (filtres à CO, par exemple).

Que ce soit pour déterminer x ou φ , on doit connaître P , p et p_s . P se mesure au baromètre, p_s est donné dans les tables pour les différentes températures et p se calcule par la formule de Sprung connaissant t_s et t_h .

$p = p_{s(t_h)} - 0,5 P / 755 (t_s - t_h)$ où $p_{s(t_h)}$ = pression de saturation correspondant à la température indiquée par le thermomètre humide (mm de hg).

Appareil de mesure de t_s et t_h — Psychromètre.

L'appareil comprend essentiellement deux thermomètres, l'un sec et l'autre humide, dont on observe simultanément les indications.

Deux conditions sont indispensables pour permettre l'emploi correct de la formule de Sprung :

1) la masse d'eau entourant le thermomètre mouillé doit être très petite, pour ne pas modifier par sa présence les conditions climatériques que l'on veut observer. Cette condition est réalisée en entourant la bulle du thermomètre d'une fine mousseline que l'on humecte avant chaque utilisation de l'appareil.

2) la vitesse de circulation de l'air au voisinage des thermomètres doit être suffisante pour rendre négligeables les échanges par rayonnement et par conduction.

Cette condition est réalisée en donnant au psychromètre un mouvement de rotation rapide (psychromètre-fronde) (fig. 22) ou en le dotant d'un petit ventilateur aspirant, mû par un mou-



Fig. 22. — Psychromètre fronde.

vement d'horlogerie ou un moteur électrique (psychromètre à aspiration). Dans ce dernier cas, les bulles des deux thermomètres se trouvent généralement protégées du rayonnement par un écran.

L'utilisation des psychromètres-frondes demande une certaine pratique, car la lecture des thermomètres doit se faire rapidement, dès l'instant où l'on cesse de faire tourner l'appareil.

L'utilisation des appareils à aspiration est beaucoup plus aisée, la lecture pouvant se faire sans hâte lorsque les thermomètres ont atteint leur température d'équilibre.

Quelques précautions sont cependant nécessaires pour arriver à un résultat parfait :

1) l'opérateur doit tenir le psychromètre à une certaine distance du corps, pour ne pas l'influencer par son rayonnement propre;

2) il doit se placer sous le vent, pour que l'air humide provenant de sa respiration ne soit pas entraîné dans l'appareil;

3) il doit disposer l'échappement du petit ventilateur aspirant de manière à ne pas contrarier son fonctionnement par le courant d'air circulant dans la galerie où s'effectue la mesure.

d) Indicateurs de tirage Auer.

La firme Auer construit des indicateurs de tirage ou tubes à fumées qui permettent de déceler toutes fuites aux portes, barrages, canalisations, etc., de connaître le sens et de mesurer la vitesse des très faibles courants d'air dans les galeries,

L'appareil comporte une éprouvette cylindrique en verre, placée sur une poire en caoutchouc munie d'une soupape d'aspiration. L'éprouvette contient un produit qui dégage une fumée d'acide sulfurique, blanche et très légère, sous l'influence de l'humidité de l'air que l'on fait passer à travers le tube en pressant sur la poire (fig. 23).

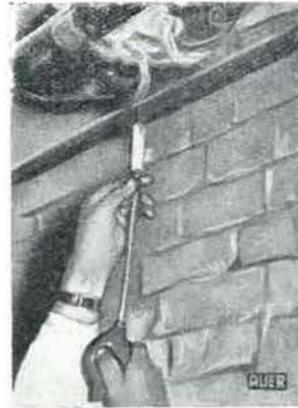


Fig. 23. — Indicateur de tirage Auer avec poire.

Le déplacement du nuage blanc indique le sens du courant d'air. En comptant le nombre de secondes nécessitées par le nuage pour parcourir un mètre, on peut déterminer la vitesse et, connaissant la section, on peut évaluer le débit.

Les éprouvettes sont livrées avec les extrémités soudées et peuvent dans ces conditions se conserver plusieurs années. Elles sont fournies en deux grandeurs, l'une les « Rauchröhrchen » de 130 mm de longueur et 6 mm de diamètre et l'autre, les « Rauchpatrone » de 210 mm de longueur et 18 mm de diamètre.

Un type de poire correspond à chaque type d'éprouvette.

Lorsqu'on désire un très grand dégagement de fumées et qu'on dispose d'air comprimé, le grand



Fig. 24. — Indicateur de tirage Auer raccordé à l'air comprimé.

tube peut être appliqué sur un appareil qui se raccorde à un flexible à air comprimé. Une vanne permet de régler le débit (fig. 24).