

# L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1958

par A. HOUBERECHTS

Directeur de l'Institut d'Hygiène des Mines,  
Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Louvain.

## SOMMAIRE

### Introduction.

#### I. — Travaux de la Section Médicale.

1. *Examens médicaux systématiques.*
  - A. Examens pratiqués en dehors de l'Institut d'Hygiène des Mines.
  - B. Examens systématiques effectués à l'Institut d'Hygiène des Mines.
2. *Mise au point de techniques au laboratoire d'épreuves fonctionnelles.*
  - A. Emploi du nitrogenmeter pour l'étude des troubles de la distribution de l'air.
  - B. Précision et validité des mesures effectuées par le métabographe de Fleisch.
3. *Résultats du cathétérisme cardiaque chez les houilleurs.*
  - A. Critères hémodynamiques du cœur pulmonaire chronique.
  - B. Comparaison entre les données hémodynamiques et l'électrocardiogramme.
  - C. Comparaison entre les données hémodynamiques et les troubles ventilatoires.
  - D. Conclusion en ce qui concerne la pathogénie du retentissement cardiaque des pneumoconioses.
4. *Tests pharmacodynamiques à l'acétylcholine et à l'aleudrine chez les houilleurs.*
  - A. But et méthodes de la recherche.
  - B. Résultats.

5. *Les lésions élémentaires de la pneumoconiose des houilleurs belges. Confrontation entre les documents anatomo-pathologiques et l'anamnèse professionnelle.*

- A. Description des lésions élémentaires.
- B. Répartition des lésions.
- C. Comparaison des données anatomo-pathologiques et de l'anamnèse professionnelle.
- D. Conclusions.

6. *Entraînement des sauveteurs à des températures sèches supérieures à 45° C avec une humidité relative voisine de 50 %.*

- A. But et description des exercices aux températures extrêmes.
- B. Réactions physiologiques aux séances d'entraînement.
- C. Incidents survenus au cours des séances d'entraînement.
- D. Conclusions.

#### II. — Travaux de la Section Technique.

1. *Lutte contre les poussières.*
  - A. Analyse des poussières. Conimétrie.
  - B. Lutte contre les poussières dans les chantiers. Matériel et procédés divers.
2. *Ventilation. Climat.*
  - A. Résolution de problèmes de ventilation par analogie électrique.
  - B. Etude des conditions climatiques du fond.
  - C. Etude des pertes de charge des puits.
3. *Enquête.*

Bibliographie.

## INTRODUCTION

Le présent article sur l'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines constitue la suite traditionnelle des rapports publiés dans les Annales des Mines de Belgique depuis 1948.

Bien que la plupart des recherches accomplies aient fait l'objet d'une Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, nous croyons bien faire en les rappelant ici d'une façon succincte.

Comme par le passé, nous profiterons aussi de cet article pour faire connaître les résultats de certains travaux qui, tout en présentant un intérêt indéniable, n'ont pas une ampleur suffisante pour justifier la diffusion d'une Communication régulière à leur sujet.

### I. — TRAVAUX DE LA SECTION MEDICALE

#### 1. — Examens médicaux systématiques.

##### A. Examens pratiqués en dehors de l'Institut d'Hygiène des Mines.

Au cours de l'année 1958, la Section Médicale de l'Institut d'Hygiène des Mines a poursuivi ses examens systématiques sur 1341 ouvriers mineurs du Bassin de la Province de Liège afin d'étudier l'évolution des atteintes pneumoconiotiques et l'influence des mesures de lutte contre les poussières dans les chantiers souterrains.

Cette recherche est rendue particulièrement difficile par la mobilité de la main-d'œuvre et par le caractère subjectif de l'anamnèse professionnelle. Certains ouvriers déclarent en effet, souvent de bonne foi, ne pas avoir été exposés à l'inhalation de poussières avant leur embauchage au charbonnage, alors qu'en réalité ils peuvent avoir encouru un certain degré d'imprégnation pneumoconiotique dans d'autres industries de leur pays d'origine. Il en résulte que certains sujets présentent une évolution défavorable, qui est attribuée à tort à l'influence exclusive des poussières de charbonnage.

Les résultats présentés doivent donc être interprétés avec beaucoup de réserve d'autant plus que certains groupes sont numériquement insuffisants pour permettre une étude statistique valable.

Néanmoins, il peut être utile d'examiner la synthèse des observations faites grâce aux examens radio-cliniques poursuivis pendant 8 ans chez les ouvriers d'un charbonnage du Bassin de la Province de Liège.

En tout, 1394 clichés radio-photographiques ont été pris en 1957 ; tous les sujets ont subi un examen clinique complet ; 264 houilleurs n'ont subi qu'un examen clinique sans radiographie à cause de la mobilité énorme de la main-d'œuvre. Aussi l'expérience a-t-elle conduit progressivement les médecins à l'habitude de pratiquer toujours simultanément les diverses explorations radio-cliniques.

En recherchant parmi les dossiers radiologiques, on y trouve 84 abatteurs et 37 ouvriers au rocher qui ont exercé cette profession dans ce charbonnage au cours des 8 dernières années et qui n'avaient

pas, il y a 8 ans, de signes nets de pneumoconiose (image O ou X).

Parmi les abatteurs, 44 sujets, ce qui représente plus de la moitié, sont restés sans changement décelable sur le cliché. Par contre, 15 ouvriers montrent une modification légère (stade 1), 19 une modification nette (stade 2) et 4 un changement important (stade 3).

Dans le groupe des 37 ouvriers à pierre, 22 furent trouvés sans modification radiologique, 12 présentent une légère anomalie (stade 1), 2 une modification nette (stade 2) et 1 un changement important (stade 3).

Lorsqu'on essaie d'analyser ces résultats en tenant compte de toutes les réserves exprimées ci-dessus, on recueille l'impression que les bouveleurs sont nettement mieux protégés que les abatteurs. Bien que les modifications légères soient plus fréquentes, les altérations sérieuses de l'image pulmonaire, sur une période de 8 ans, y sont beaucoup plus rares que chez les abatteurs. Les sujets restés radiologiquement indemnes s'élèvent à près de 60 %. Ces chiffres sont légèrement plus favorables que ceux trouvés par Van Mechelen (1) en 1951 dans un groupe de houilleurs du Bassin de la Campine, comprenant 55 bouveleurs et 66 abatteurs de charbon, occupés depuis 6 à 10 ans. Notons qu'en commentant ses résultats, Van Mechelen avait montré que la situation existant en Belgique était comparable à celle des pays voisins.

Cette constatation doit être mise en rapport avec l'efficacité plus grande de la prophylaxie technique dans les travaux au rocher. Elle fait ressortir l'urgente nécessité de renforcer la lutte contre les poussières, surtout dans les chantiers d'abatage, et d'y effectuer en temps utile le reclassement des sujets chez qui une image pneumoconiotique apparaît précocement.

##### B. Examens systématiques effectués à l'Institut d'Hygiène des Mines.

Le nombre des examens spéciaux réclamés par les médecins d'industrie à l'Institut d'Hygiène des

Mines, va tous les ans en augmentant et a atteint en 1958 le total de 514.

En fait, ce nombre approche du maximum réalisable dans les conditions actuelles d'équipement en matériel et en personnel de la Section Médicale, d'autant plus que d'année en année, les examens médicaux deviennent plus approfondis, les épreuves fonctionnelles pulmonaires devenant de plus en plus complexes.

La très grande majorité des ouvriers fut adressée à l'Institut d'Hygiène des Mines par des médecins de charbonnages désirant des précisions au moment de l'embauchage ou des examens périodiques.

Un groupe non négligeable fut envoyé par les médecins des Caisses de pension, des mutuelles ou des dispensaires antituberculeux.

Un petit groupe de sujets fut convoqué par les médecins de l'Institut d'Hygiène des Mines en vue d'expériences physio-pathologiques réalisées dans la chambre à poussières.

Tous les ouvriers examinés furent soumis à un examen radioclinique complet et la plupart ont subi un enregistrement électrocardiographique et des épreuves fonctionnelles cardio-pulmonaires avec analyse des gaz respiratoires.

Environ la moitié des ouvriers ont subi des examens tomographiques complémentaires ou des agrandissements radiographiques.

La liste suivante indique l'anomalie suspectée ou les autres motifs d'examen :

— évolution pneumoconiotique	174 cas
— surinfection tuberculeuse	72 cas
— tumeurs pulmonaires	6 cas
— cardiopathies	78 cas
— emphysème (troubles graves de la fonction pulmonaire)	74 cas
— séquelles post-infectieuses	50 cas
— surveillance périodique d'image radiologique de la pneumoconiose	19 cas
— anomalies extrapulmonaires (gastriques)	24 cas
— anomalies suspectées à l'embauchage	17 cas

Les conseils donnés aux médecins d'industrie et aux médecins traitants quant à l'activité professionnelle des intéressés, furent les suivants :

— arrêt du travail dans la mine	60 cas
— mutations de poste	90 cas
— mises en observation	51 cas
— avis tranquillisant	163 cas
— contrôle pour surveillance ultérieure	107 cas
— examen bronchoscopique et bronchographique	43 cas

En dehors de ces données d'un intérêt pratique immédiat, des directives précieuses ont pu être fournies aux médecins pour le traitement des sujets malades.

D'autre part, la documentation scientifique de l'Institut d'Hygiène des Mines s'est enrichie de toutes ces observations permettant de mieux comprendre la physio-pathologie des troubles respiratoires des ouvriers mineurs.

## 2. — Mise au point de techniques au laboratoire d'épreuves fonctionnelles.

### A. Emploi du nitrogenmeter pour l'étude des troubles de la distribution de l'air.

#### a. Description de l'appareillage.

Dans le but de préciser le diagnostic des troubles emphysémateux et du mixing pulmonaire chez le mineur silicotique, un nouveau moyen d'investigation a été mis au point, le «nitrogenmeter» de Lundin (2) (3). Cet appareil permet d'établir un dosage constant de l'azote contenu dans un gaz. Par une « needle valve » dont l'ouverture est très petite et réglable, un échantillon (20 ml/minute) du gaz à analyser est aspiré par une pompe à vide Hyvac. L'ouverture de la needle valve est réglée de façon à obtenir un vide de 2 mm Hg vérifié par un vacustat à mercure. L'échantillon du gaz à analyser est conduit dans une chambre d'ionisation ; celle-ci consiste en un tube de quartz de 15 mm de longueur et 1 mm de diamètre. Aux deux bouts se trouvent 2 électrodes entre lesquelles est maintenue une tension électrique constante. Le courant d'ionisation est choisi entre 3 et 5 mA. La lumière du tube d'ionisation est modulée à la fréquence d'environ 800 cycles/s par un disque rotatif perforé. Après être passée par une paire de filtres, qui éliminent du spectre lumineux les raies provenant d'autres gaz et pouvant impressionner la cellule, la lumière active une cellule photoélectrique. Le disque est construit de façon à donner au faisceau lumineux tombant sur la cellule photoélectrique une variation sinusoïdale. Le courant de la cellule est donc facilement amplifié et puis rectifié pour alimenter un galvanomètre inscripteur à encre (Esterline Angus Inkwriter). Le temps de réponse du nitrogenmeter est très court : 95 % de la déflexion totale sont atteints en 0,02 et les 100 % en 0,2 s.

La méthode consiste à faire respirer par le sujet de l'O<sub>2</sub> débité par une bonbonne ; l'air expiré est recueilli dans un sac de Douglas. Le sujet respirant de l'O<sub>2</sub> presque pur (99 à 99,5 % O<sub>2</sub>), l'azote contenu dans les poumons est progressivement lavé et éliminé à chaque expiration. La needle valve recueille un échantillon de gaz à chaque expiration et l'air expiré contient de moins en moins d'azote ; on peut suivre cette diminution sur la courbe inscrite par le galvanomètre. Lorsque la concentration dans l'air expiré est descendue à 2 %, le lavage des poumons est interrompu. La mesure de la concentration d'azote dans le sac de Douglas et de



la quantité de gaz expiré permet de calculer le volume pulmonaire au moment où le sujet a été branché sur le circuit d'O<sub>2</sub>.

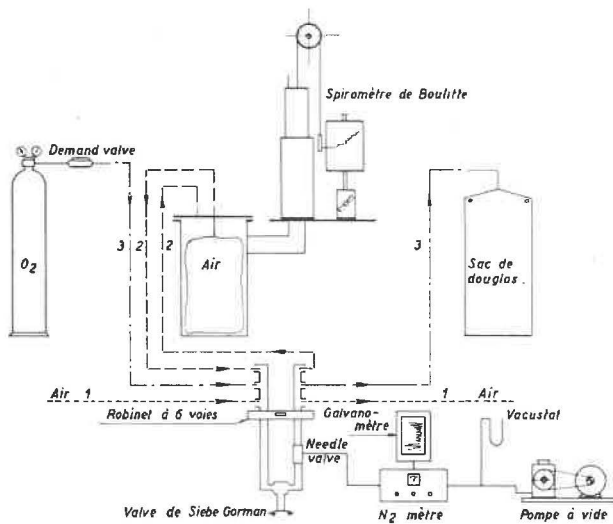


Fig. 1. — Schéma de l'installation pour l'utilisation du nitrogenmeter.

Le but étant de connaître la capacité résiduelle fonctionnelle, ce qui permet de calculer le volume pulmonaire résiduel en retranchant de la capacité résiduelle fonctionnelle le volume de réserve expiratoire, il faut brancher le sujet sur l'O<sub>2</sub> à la fin d'une expiration normale et il faut également pouvoir faire une spirométrie pour la mesure de la capacité vitale et du volume de réserve expiratoire. Pour réaliser ceci, il a été construit, par le Service Technique de l'Institut d'Hygiène des Mines, un robinet à 6 voies. Ce robinet consiste en une plaque fixe de plexiglass perforée de 2 ouvertures. Ces deux ouvertures sont reliées par des tuyaux en caoutchouc à la valve à une direction de Douglas (Siebe Gorman) par laquelle le sujet respire. La partie mobile du robinet est un disque, également en plexiglass, pourvu de 3 paires de trous. Ce disque tourne autour d'un axe central et est muni d'une manette. L'étanchéité du robinet est réalisée par un ressort à boudin qui serre fortement le disque contre la plaque fixe, qui est

enduite de graisse de silicone. En tournant le disque, les 6 ouvertures sont amenées, par paire, en face des deux ouvertures fixes du robinet. Le sujet peut ainsi respirer dans 3 circuits différents (fig. 1).

Le premier circuit est la respiration en air libre.

Le second circuit est le circuit spirométrique. En faisant inspirer et expirer le sujet directement dans un spiromètre, la composition de l'air inspiré serait rapidement altérée, la concentration d'O<sub>2</sub> diminuant par la consommation d'O<sub>2</sub> de l'organisme, et le départ de la courbe de mixing en serait perturbé ; pour éviter ceci, il a été construit un circuit spirométrique selon la méthode décrite par Donald et Christie (4). Un tonneau est pourvu de 4 ouvertures ; deux de ces ouvertures sont reliées à un spiromètre de Boullite. Dans le tonneau se trouve un sac en plastique rempli d'air et relié par une des ouvertures au robinet à 6 voies (côté inspiratoire). La deuxième ouverture du tonneau est reliée au côté expiratoire du robinet. Avant chaque épreuve, ce sac est rempli d'air par le spiromètre de Tissot.

Le troisième est le circuit d'oxygène. Une bonbonne dont la composition est connue ( $\pm 99\%$  O<sub>2</sub>) débite par une « demand valve » de l'oxygène à chaque inspiration. Les gaz expirés sont recueillis dans un sac de Douglas.

L'étalonnage du nitrogenmeter a été fait au moyen de divers mélanges d'azote et d'oxygène, pour les concentrations entre 10 et 80 % de N<sub>2</sub>, ces mélanges étant analysés par la méthode de Scholander. Pour les petites concentrations en azote, nous disposons de 3 bonbonnes contenant respectivement 4 %, 8 % et 12 % d'azote. Ceci nous permet de régler journellement l'appareil dans la sensibilité 0 - 10 % qui est la plus importante pour le calcul du volume résiduel.

#### b. Réalisation des mesures.

Les mesures sont faites de la façon suivante : le robinet est branché sur le premier circuit air - air, ce qui permet au sujet de s'habituer à respirer par la

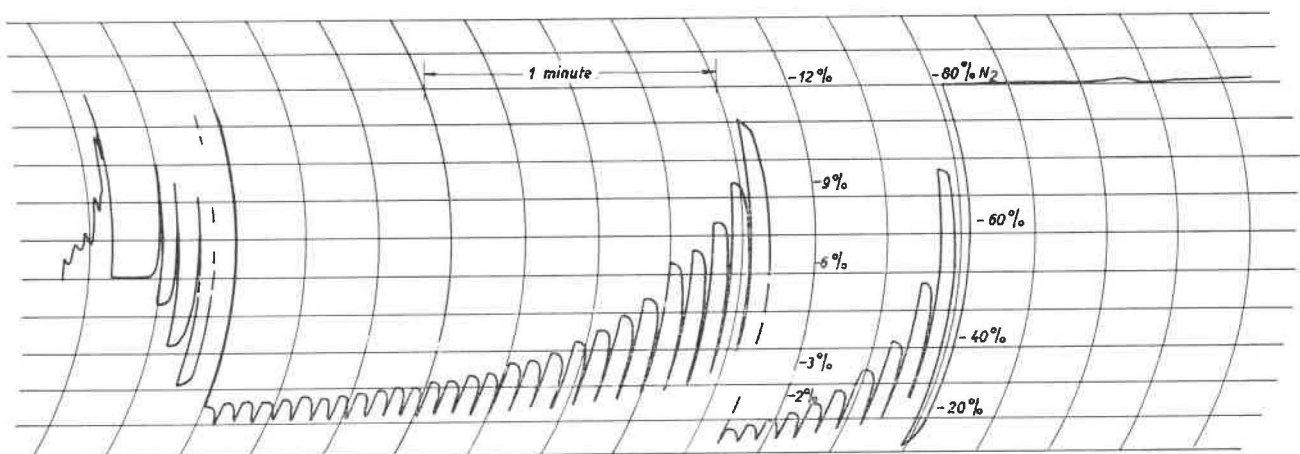


Fig. 2. — Courbe de dilution d'azote, à lire de droite à gauche.



valve de Douglas. Ensuite, le robinet est mis en position 2 et sur le spiromètre de Boulitte s'inscrit une courbe spirométrique. Une inscription de deux ou trois capacités vitales est faite, puis à la fin d'une expiration normale, le robinet est mis en position 3 et le sujet est branché sur le circuit d'oxygène pour l'inscription de la courbe de dilution d'azote (courbe du mixing). Après l'inscription de la courbe de dilution, le sac de Douglas est vidé dans le spiromètre de Tissot par l'intermédiaire de la needle valve pour la mesure du volume de gaz expiré et de la concentration moyenne d'azote.

L'intérêt de la méthode est de pouvoir mesurer en même temps le volume résiduel et le mixing (fig. 2).

*a. Mesure du volume résiduel.*

Le calcul du volume résiduel est relativement simple. En effet, tout l'azote recueilli pendant la respiration dans le circuit d'O<sub>2</sub> provient pour la plus grande partie des poumons, une petite fraction seulement provient du sang, des tissus de l'organisme et de la bonbonne d'O<sub>2</sub> qui contient toujours un petit pourcentage d'impuretés. Le volume pulmonaire mesuré est calculé d'après la formule suivante (5).

$$\text{C.R.F.} = V_e \times \left( \frac{(\text{FeN}_2 - \text{FiN}_2) - (\text{Tiss N}_2 + 0,24)}{0,8 - \text{FAN}_2^n} \right) \times \text{B.T.P.S.}$$

- C.R.F. = capacité résiduelle fonctionnelle
- V<sub>e</sub> = volume total de gaz expiré en litres A.T.P.S.
- Tiss N<sub>2</sub> = volume d'azote tissulaire expiré pendant la respiration d'O<sub>2</sub>, en litres A.T.P.S.
- FeN<sub>2</sub> = pourcentage d'azote dans le volume total de gaz expiré
- FiN<sub>2</sub> = pourcentage d'azote contenu dans les bonbonnes d'O<sub>2</sub> (environ 0,5 à 1 % N<sub>2</sub>)
- 0,24 = azote contenu dans les tuyaux de raccordement de l'appareillage (80 % de l'espace mort de l'appareil)
- FAN<sub>2</sub><sup>n</sup> = pourcentage d'azote de l'air alvéolaire à la fin de la respiration d'O<sub>2</sub> (± 2 %)
- B.T.P.S. = facteur de correction ramenant le volume mesuré à 37° C saturé de vapeur d'eau et à la pression barométrique.
- A.T.P.S. = à température et pression ambiantes et saturation en vapeur d'eau.

Le volume résiduel est obtenu en soustrayant le volume de réserve de la capacité résiduelle fonctionnelle.

Les premiers résultats obtenus par cette méthode de mesure du volume résiduel permettent de dire que ceux-ci sont sensiblement les mêmes que les ré-

sultats obtenus par la méthode à l'hélium, à la condition qu'on ait affaire à un sujet coopérant et que les mesures spirométriques (capacité vitale, volume de réserve) donnent environ les mêmes chiffres dans les deux méthodes d'examen.

*β. Index de mixing.*

La méthode du nitrogenmeter permet, en plus de la mesure du volume résiduel d'apprécier les troubles du mixing. La méthode à l'azote permet en effet de mesurer :

— Le temps d'élimination de l'azote : temps nécessaire pour faire baisser l'azote pulmonaire de la concentration normale de 80 % à 2 % pendant la respiration d'O<sub>2</sub>. Ce facteur ne tient cependant pas compte de la fréquence respiratoire, du volume courant et de la capacité résiduelle fonctionnelle, facteurs qui influencent tous le temps d'élimination de l'azote. D'après les divers auteurs, les temps d'élimination de l'azote chez le sujet normal varient entre 2 et 5 minutes.

— La ventilation totale nécessaire pour ramener la concentration alvéolaire en azote de 80 % à 2 %. Ici non plus, on ne tient pas compte de la fréquence respiratoire, du volume courant et de la capacité résiduelle fonctionnelle.

— Le « Lung Clearance Index » de Becklake (6). Ici le volume total de gaz expiré (exprimé en A.T.P.S. est divisé par la capacité résiduelle fonctionnelle (exprimée en B.T.P.S.). En d'autres mots, c'est le nombre de litres d'O<sub>2</sub> nécessaires pour laver 1 litre du volume pulmonaire. Cet index serait chez le sujet normal inférieur à 10.

— La détermination quantitative du volume relatif et absolu des diverses régions ventilées. Selon la méthode de Robertson (7) modifiée plus tard par Fowler (8) et G. Lundin (3) (9), on inscrit sur papier semi-logarithmique, d'une part, le nombre de respirations sur l'abscisse linéaire et, d'autre part, le pourcentage d'azote à la fin de chaque respiration sur l'ordonnée logarithmique (fig. 3). En joignant les divers points obtenus, on obtient exceptionnellement une droite, ce qui signifie que la ventilation des diverses parties pulmonaires est uniforme. Dans la plupart des cas, on obtient une courbe qui se décompose en deux, trois ou quatre droites représentatives des diverses fractions pulmonaires ventilées de façon différente. On constate ainsi par exemple qu'après 18 respirations, la fraction la mieux ventilée a éliminé tout son azote, tandis que la fraction lente a besoin de 38 respirations pour éliminer son azote. Cette méthode permet de calculer le volume des diverses fractions pulmonaires, la ventilation alvéolaire, l'espace mort physio-

logique et le pulmonary clearance delay de Fowler. L'index de Fowler envisage le nombre moyen de respirations pendant lesquelles une molécule d'O<sub>2</sub> reste dans les poumons durant la respiration d'O<sub>2</sub>; le clearance delay exprime une comparaison entre le nombre trouvé et le nombre tel qu'il serait chez le même sujet, si la ventilation était parfaitement uniforme.

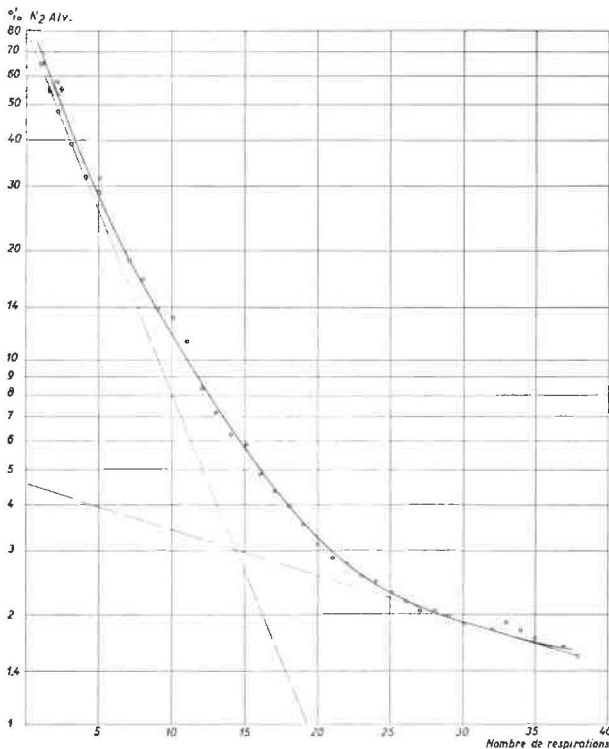


Fig. 3. — Analyse d'une courbe de dilution d'azote sur papier semi-logarithmique. Exemple d'une courbe se décomposant en deux droites.

Les recherches en cours à l'Institut d'Hygiène des Mines ont pour but de mettre en évidence la valeur de la méthode du nitrogenmeter pour la détermination du volume résiduel et des troubles de mixing dans les divers stades de la pneumoconiose.

### B. Précision et validité des mesures effectuées par le métabographe de Fleisch.

Les épreuves fonctionnelles cardio-pulmonaires, enregistrées à l'Institut d'Hygiène des Mines à l'aide du métabographe de Fleisch (10) (11) décrit dans notre précédent rapport d'activité (12), nous ont toujours donné entière satisfaction, à la fois chez des sujets normaux et chez des patients atteints d'affections pulmonaires variées.

Cependant, certaines observations et critiques, signalées par des chercheurs opérant au moyen du métabographe dans d'autres laboratoires, nous ont amenés à procéder à une série de vérifications très précises (13), dont nous exposons le résultat ci-après.

#### a. Exactitude de l'enregistrement spirométrique.

Les volumes engendrés par le déplacement de la cloche lors d'une spirométrie sont inférieurs aux volumes ventilés, par suite du refroidissement de l'air de 37° C (à l'intérieur des poumons) à 20° C (température ambiante) et de la condensation de la vapeur d'eau qui en résulte, l'air étant saturé de vapeur d'eau à la sortie des poumons. Un calcul précis montre que le déplacement d'un litre de la cloche du spiromètre correspond à un volume expiré de 1,102 litre. La transmission entre la cloche du spiromètre et la plume enregistreuse est calculée en tenant compte de cette contraction, de façon telle que 10 mm du diagramme correspondent à 1 litre B.T.P.S. (body temperature, ambient pressure, saturated). Pour vérifier l'exactitude de l'échelle du spirogramme, nous avons injecté lentement 2 litres d'air A.T.P.S. (ambient temperature and pressure, saturated), dans le circuit fermé du métabographe; ces 2 litres correspondent à 2,204 litres B.T.P.S. et auraient dû donner une dénivellation de 22,04 mm sur le diagramme. Nous avons obtenu d'une façon systématique, quelle que soit la position de départ de la cloche, une élongation de 21,4 mm, soit 2,9 % trop peu. Cette erreur peut être corrigée aisément.

D'autres erreurs « dynamiques » peuvent se produire au cours des tracés spirométriques par suite de l'inertie de la cloche et de l'élasticité des tuyaux ondulés raccordant le sujet à l'appareil. Nous avons pu prouver que de telles erreurs sont négligeables dans les conditions usuelles de la respiration humaine, bien que le risque de telles erreurs soit accru lorsqu'on allonge les tuyaux de raccord pour permettre des essais avec le sujet marchant sur un tapis-roulant voisin.

#### b. Pressions et dépressions au niveau du masque.

Nous avons mesuré au niveau du masque les surpressions et dépressions engendrées au cours d'une

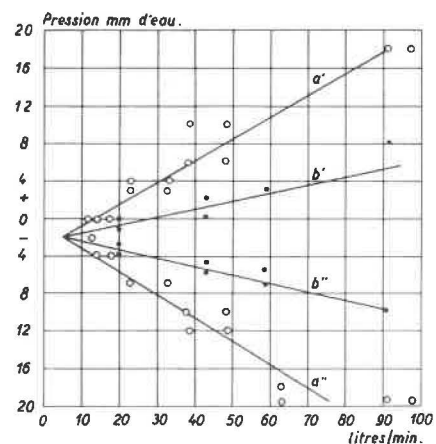


Fig. 4. — Pressions et dépressions au niveau du masque. Les courbes a' et a'' réunissent respectivement les valeurs de pression et de dépression observées à l'extrémité des tuyaux de rallonge, tandis que les courbes b' et b'' rassemblent les valeurs au niveau des tuyaux ondulés.



ventilation soit normale, soit intense. Les résultats de ces mesures sont reproduits au diagramme de la figure 4 ; les courbes a' et a'' réunissent respectivement les valeurs observées à l'extrémité des tuyaux de rallonge, tandis que les courbes b' et b'' rassemblent les valeurs mesurées à l'extrémité des tuyaux ondulés normaux. On constate que les pressions et dépressions croissent d'une part avec le débit d'air ventilé et d'autre part avec la longueur des tuyaux de raccord. Ces variations de pression sont inéluctables. En effet, la circulation de l'air à grande vitesse dans le circuit fermé du metabographe implique une chute de pression le long des tuyaux constituant ce circuit ; cette chute est compensée par l'élévation de pression engendrée dans un ventilateur. Les deux compartiments du spiromètre double couplé sont connectés respectivement aux extrémités amont et aval des tuyauteries, tandis que le sujet est raccordé par un masque au point milieu du circuit. Comme à l'équilibre la pression moyenne dans la cloche est égale à la pression atmosphérique et que le circuit est entièrement symétrique, la pression au niveau du masque est aussi égale à la pression atmosphérique ; le diagramme des pressions le long des tuyauteries est celui a de la figure 5. Lors d'une inspiration du sujet, le débit d'air est accru dans la partie 1,2 et réduit dans la partie 2,3, de sorte que la chute de pression est plus rapide entre 1 et 2 et plus lente entre 2 et 3. Comme la pression moyenne dans la cloche du spiromètre reste égale à la pression atmosphérique, le diagramme des pressions le long des tuyauteries est celui b de la figure 5. Lors de l'expiration, les phénomènes

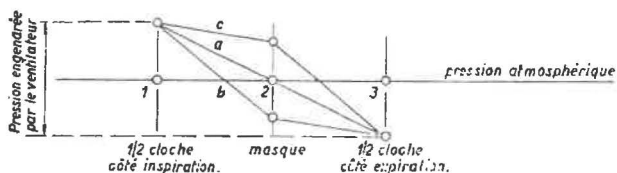


Fig. 5. — Diagramme des pressions le long du circuit d'air du metabographe. En abscisse, la longueur parcourue le long des tuyaux ; en ordonnée, les surpressions et dépressions par rapport à la pression atmosphérique.

s'inversent, d'où le tracé c. Il en résulte inéluctablement des variations de pression au niveau du masque, d'autant plus accusées que la résistance des tuyauteries est plus élevée et le débit respiratoire plus important par rapport au débit permanent circulant dans le circuit fermé. Ces considérations expliquent parfaitement les résultats expérimentaux représentés graphiquement à la figure 4. Ce n'est cependant que pour des conditions extrêmes (à savoir : tuyauteries allongées et débit ventilatoire de l'ordre de 80 litres par minute) que les dépressions et surpressions atteignent des valeurs de 15 à 20 mm H<sub>2</sub>O qui pourraient rendre non négligeable le risque de fuites au masque. De toute façon, il ne

semble pas que même de telles variations de pression soient préjudiciables à une respiration normale.

c. Teneurs en CO<sub>2</sub> de l'air inspiré.

Il est primordial que l'air inspiré, provenant de la chambre d'absorption du metabographe, soit peu chargé de CO<sub>2</sub>, car une teneur trop élevée (de l'ordre de 1 % ou plus) perturberait la respiration du sujet en provoquant l'hyperventilation. C'est pourquoi nous avons contrôlé la teneur en CO<sub>2</sub> dans le circuit fermé, côté inspiration. Nous avons dans ce but réalisé un montage nous permettant d'insuffler dans le circuit, côté expiration, un débit de CO<sub>2</sub> maintenu rigoureusement constant et déterminé au moyen d'un débitmètre à flotteur (flowrater). Nous avons pu régler de façon très exacte le débit de la pompe à KOH assurant la neutralisation de ce débit de CO<sub>2</sub> dans la chambre d'absorption du metabographe. A la sortie de l'appareil (côté inspiration), on a prélevé au moyen d'un tonomètre et analysé à l'appareil de Scholander, des échantillons d'air. Les résultats montrent que la teneur en CO<sub>2</sub> de l'air inspiré par le sujet est toujours très faible, variant linéairement entre 0,03 et 0,3 %, lorsque le débit de CO<sub>2</sub> injecté passe de 0 à la valeur exceptionnelle de 4 litres/minute. Ces teneurs ne sont pas de nature à provoquer une hyperventilation notable.

Toutes nos mesures ont été effectuées dans un « steady state » idéal. Lors de variations de l'excrétion de CO<sub>2</sub> par le sujet, il est incontestable que les variations de débit de la pompe à potasse caustique KOH, grâce auxquelles on enregistre le débit de CO<sub>2</sub> excrété, présentent un certain retard. Celui-ci est sans importance si l'on étudie l'excrétion moyenne de CO<sub>2</sub> sur une durée suffisante (5 minutes par exemple). En effet, les erreurs sur les résultats partiels se compensent mutuellement. Notons que les variations de teneur résiduelle en CO<sub>2</sub> de l'air à la sortie de la chambre d'absorption ne provoquent également que des erreurs temporaires dans la détermination du débit de CO<sub>2</sub> excrété.

d. Teneurs en O<sub>2</sub> du circuit gazeux.

Le circuit du metabographe étant initialement rempli d'air de composition normale, l'oxygène consommé par le patient est remplacé par un volume égal d'oxygène provenant d'une bonbonne. Si celle-ci contient un pourcentage notable de gaz autres que O<sub>2</sub>, ces gaz remplaceront partiellement l'oxygène initial du circuit fermé et la teneur en O<sub>2</sub> s'abaissera progressivement dans le temps. Nous n'avons pas procédé à des contrôles directs de la teneur en O<sub>2</sub>. Le calcul montre en effet que, si l'on utilise des bonbonnes à 99,5 % d'O<sub>2</sub>, la baisse de teneur en O<sub>2</sub> reste inférieure à 1 % même après un effort de 200 watts poursuivi pendant 20 minu-



tes. On peut d'ailleurs ramener aisément la teneur en O<sub>2</sub> à sa valeur normale en extrayant une petite quantité d'air du circuit, puisque cet air à 20 % de O<sub>2</sub> sera automatiquement remplacé par de l'oxygène presque pur.

#### e. Essais divers.

Les mesures auxquelles nous avons procédé et qui ont été rapportées sommairement ci-dessus ont été comparées à des vérifications récentes effectuées par A. Fleisch et ses collaborateurs, et concordent de façon satisfaisante avec celles-ci (13).

D'autres essais complémentaires que nous n'avons pas tentés dans notre Institut ont été opérés par Fleisch et son équipe. Ils se rapportent notamment à l'exactitude des enregistrements autres que le spiogramme. On a trouvé que tous ces enregistrements sont affectés d'une légère erreur par défaut (1 à 2 %) qui résulte de la perte de certaines impulsions reçues par le système inscripteur pendant le temps de chute des plumes. Dans le système de totalisation par 2 compteurs électromagnétiques pour chaque grandeur, que nous avons ajoutés au métabographe, cette erreur est réduite à une valeur négligeable, car la remise à zéro a lieu après lecture des compteurs à l'arrêt ; sa durée n'a donc aucune influence sur le résultat.

Des essais approfondis de Fleisch ont également porté sur l'exactitude de la détermination de la quantité de CO<sub>2</sub> absorbée, à partir de la quantité de potasse injectée dans la chambre d'absorption.

De tous ces essais, on peut conclure que le métabographe répond de façon excellente aux desiderata imposés à un appareil à circuit de ventilation fermé. Peut-être l'enregistrement de l'absorption du CO<sub>2</sub> par la potasse présente-t-il un certain retard, qui dépend d'ailleurs de l'expérience de l'opérateur. D'autre part, les consommations instantanées d'oxygène peuvent être grevées d'erreurs lorsque le niveau respiratoire du sujet se modifie de façon incontrôlable, l'injection d'oxygène étant réglée en vue de maintenir constant le volume total du circuit.

Il n'en reste pas moins vrai que le métabographe de Fleisch se recommande par la précision des mesures spiographiques et la constance pratique des teneurs en O<sub>2</sub> et en CO<sub>2</sub> de l'air inspiré par le patient, même au cours d'efforts très importants ; il permet, mieux que n'importe quel autre appareil, l'étude de métabolismes très intenses. Les renseignements fournis au cours des épreuves apparaissent sur les graphiques dans une présentation à laquelle on se familiarise très vite et qui donne réellement la possibilité de suivre et d'interpréter le comportement des patients au cours d'épreuves fonctionnelles pulmonaires à l'effort. Dans les conditions

où elle est appliquée dans l'appareil de Fleisch, la méthode en circuit fermé améliore l'étude de la fonction pulmonaire à l'effort, étude pour laquelle la méthode en circuit ouvert n'apporte généralement que des résultats partiels parce que instantanés.

### 3. — Résultats du cathétérisme cardiaque chez les houilleurs.

On donne le nom de cœur pulmonaire chronique à l'hypertrophie puis à la décompensation du ventricule droit qui compliquent les maladies pulmonaires chroniques. Il constitue la cause de mort la plus fréquente chez les houilleurs pneumoconiotiques. Lavenne (15) en a précisé l'évolution et a dégagé les critères cliniques, électrocardiographiques et radiologiques qui permettent d'en faire un diagnostic précoce, avant le stade de décompensation ventriculaire droite.

L'hypertrophie du ventricule droit est secondaire à une hypertension dans l'artère pulmonaire. Aussi la mesure de la pression artérielle pulmonaire par cathétérisme des cavités droites constitue-t-elle le moyen de diagnostic le plus précoce du cœur pulmonaire chronique (16) (17).

Peu d'études systématiques ont été jusqu'ici consacrées au cathétérisme cardiaque dans les pneumoconioses (18) (19). Au cours des deux dernières années, R. Kremer et L. Brasseur ont repris ce problème au laboratoire d'exploration fonctionnelle cardio-pulmonaire du Prof. F. Lavenne (20) (21) (22).

Jusqu'ici 33 houilleurs ont été cathétérisés. La pression pulmonaire a été mesurée au repos et si possible à l'effort et comparée au débit cardiaque. Le rapport entre la pression pulmonaire et le débit cardiaque représente en effet la résistance au passage du sang à travers les vaisseaux pulmonaires. C'est l'augmentation de cette résistance qui constitue la cause principale de l'hypertension pulmonaire.

La résistance pulmonaire s'exprime par la formule suivante.

$$R = \frac{\left[ \begin{array}{l} \text{pression moyenne dans} \\ \text{l'artère pulmonaire (mm Hg)} \end{array} \right] \times 1332}{\text{débit cardiaque (cm}^3/\text{s)}}$$

Le facteur 1332 transforme les mm de mercure en dynes/cm<sup>2</sup> et la résistance pulmonaire est ainsi exprimée en dynes.s.cm<sup>-5</sup>.

Dans tous les cas, un examen clinique, radiologique et électrocardiographique complet avait été pratiqué et chez 27 des 33 sujets, on disposait d'épreuves fonctionnelles pulmonaires valables.

A partir de ces données, on a tenté de définir les critères hémodynamiques du cœur pulmonaire chronique et de comparer la pression artérielle pulmo-

naire à l'électrocardiogramme d'une part et aux épreuves fonctionnelles pulmonaires d'autre part. Cette dernière comparaison permet certaines déductions concernant la pathogénie du cœur pulmonaire chronique dans la pneumoconiose des houilleurs.

**A. Critères hémodynamiques du cœur pulmonaire chronique.**

On considère généralement que la pression moyenne dans l'artère pulmonaire n'excède pas au repos 20 mm Hg et varie peu à l'effort, malgré l'augmentation du débit cardiaque. Ceci signifie, en fonction de la formule donnée plus haut, qu'à l'effort la résistance pulmonaire doit diminuer, ce qui se réalise par l'ouverture de vaisseaux sanguins dans lesquels la circulation est interrompue au repos.

Toutefois, même chez le sujet normal, la pression artérielle pulmonaire n'est pas indépendante du débit cardiaque : elle augmente légèrement lorsque celui-ci s'élève (23). La limite de 20 mm Hg au repos n'est valable que pour des sujets sans anxiété, ayant un débit cardiaque minimum. Comme Donald et collaborateurs (23), Kremer et Brasseur ont exigé, pour faire le diagnostic d'hypertension pulmonaire, une pression pulmonaire moyenne dépassant 25 mm Hg au repos, ou s'élevant à l'effort au delà de 30 mm Hg pour un débit cardiaque inférieur à 8 litres par minute et par m<sup>2</sup> de surface corporelle.

Kremer et Brasseur (20) ont d'ailleurs montré que le calcul de la résistance pulmonaire est utile pour différencier les augmentations de la pression artérielle pulmonaire survenant normalement à l'effort chez le sujet sain de celles caractéristiques du cœur pulmonaire chronique : dans le premier cas, on voit la résistance artérielle pulmonaire diminuer à l'effort, tandis que dans le deuxième cas, l'effort entraîne une augmentation de cette résistance.

En appliquant ces critères aux 35 houilleurs pneumoconiotiques cathétérisés, on a trouvé dans 13 cas des signes hémodynamiques francs de cœur pulmonaire chronique. Ces résultats seront détaillés dans la comparaison entre la pression artérielle pulmonaire et les épreuves fonctionnelles pulmonaires.

**B. Comparaison entre les données hémodynamiques et l'électrocardiogramme.**

Lavenne (15), classant les tracés électrocardiographiques en fonction du diagnostic d'hypertrophie ventriculaire droite, a distingué :

- des tracés normaux;
- des tracés simplement suggestifs d'hypertrophie ventriculaire droite ;
- des tracés caractéristiques d'hypertrophie ventriculaire droite.

Les 20 pneumoconiotiques dont la pression artérielle pulmonaire était dans les limites de la normale au repos et à l'effort, avaient un tracé électrocardiographique normal.

Parmi les 13 patients ayant une pression artérielle pulmonaire supérieure à 25 mm Hg au repos ou à 30 mm Hg à l'effort, 4 avaient un tracé électrocardiographique normal, 6 un tracé suggestif d'hypertrophie ventriculaire droite et 3 seulement un tracé caractéristique d'hypertrophie ventriculaire droite (fig. 6).

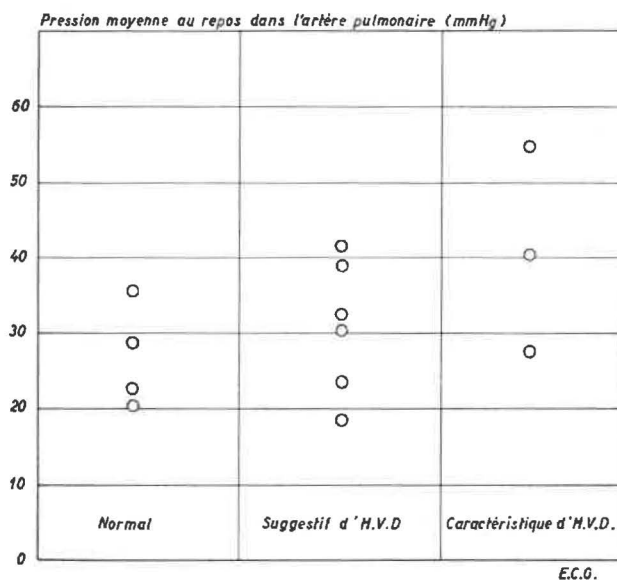


Fig. 6. — Comparaison entre la pression moyenne au repos dans l'artère pulmonaire et l'électrocardiogramme chez 13 houilleurs ayant une hypertension pulmonaire.

Les trois patients chez qui le diagnostic de cœur pulmonaire pouvait être posé avec certitude à partir de l'électrocardiogramme, avaient au repos des pressions artérielles pulmonaires moyennes de 51,38 et 25 mm Hg. Dans ce dernier cas, la pression pulmonaire moyenne s'élevait à 60 mm Hg, pour un effort léger de 35 watts.

Par contre, un pneumoconiotique ayant une pression artérielle pulmonaire moyenne de 35 mm Hg au repos, s'élevant à 54 mm Hg à l'effort, avait un tracé électrocardiographique normal.

Cette étude a donc confirmé la valeur des critères définis en 1931, à partir des données classiques, en vue du diagnostic électrocardiographique précoce du cœur pulmonaire chronique chez les houilleurs. Quand ils sont présents, il existe toujours des signes hémodynamiques de cœur pulmonaire chronique. Par contre, même les signes électrocardiographiques les plus précoces peuvent être absents, alors qu'il existe une hypertension artérielle pulmonaire indiscutable et même importante.

Le cathétérisme cardiaque présente donc un intérêt certain en vue du diagnostic précoce du cœur pulmonaire chronique chez les houilleurs à

fonction pulmonaire très altérée ou à images pseudotumorales étendues, dont le tracé électrocardiographique est encore normal. Ses résultats peuvent amener à modifier le taux d'invalidité tel qu'il apparaît des simples examens cliniques, radiologiques et fonctionnels pulmonaires (19).

### C. Comparaison entre les données hémodynamiques et les troubles ventilatoires.

Les premiers résultats de Courmand (17) avaient montré une forte réduction de la ventilation maximum chez les silicotiques avec hypertension pulmonaire. Toussaint (18) a de même noté un parallélisme entre l'élévation de la pression systolique ventriculaire droite et la diminution des possibilités ventilatoires chez 30 houilleurs pneumoconiotiques.

Dans 27 des 33 cas examinés par les chercheurs de l'Institut d'Hygiène des Mines (9 micronodulaires, 9 condensations non définies et 9 pseudotumorales), les données hémodynamiques ont pu être comparées à des tests ventilatoires valables.

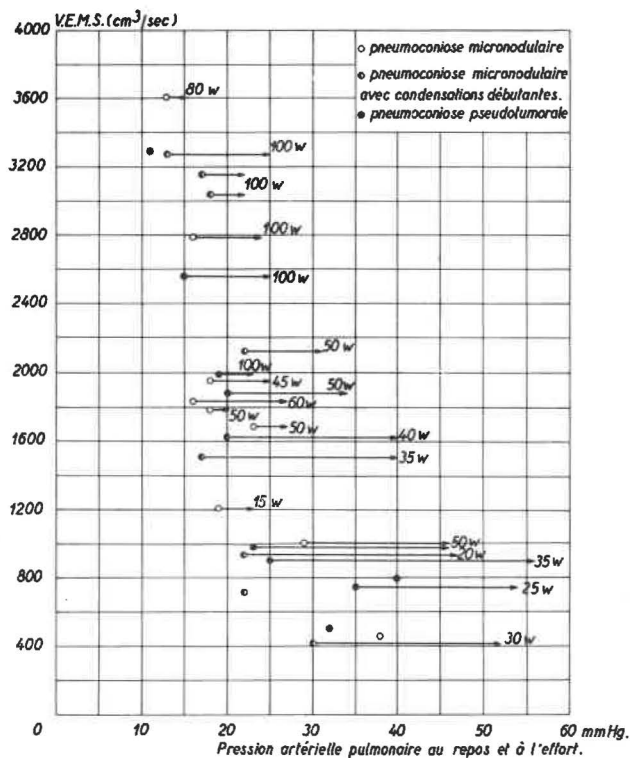


Fig. 7. — Comparaison entre le V.E.M.S. et la pression artérielle pulmonaire au repos et à l'effort chez 27 houilleurs.

La figure 7 confirme l'existence d'une assez bonne relation, surtout nette à l'effort, entre les troubles ventilatoires (diminution du volume expiratoire maximum/seconde V.E.M.S.) et la pression artérielle pulmonaire.

Chez tous les sujets ayant un V.E.M.S. inférieur à 1.000 cm<sup>3</sup>/s, la pression artérielle pulmonaire moyenne est supérieure à 20 mm Hg au repos et

elle dépasse 45 mm Hg pour des efforts n'excédant pas 50 watts.

Les sujets ayant un V.E.M.S. supérieur à 2.500 cm<sup>3</sup>/s effectuent par contre un effort d'une puissance de 100 watts avec une pression artérielle pulmonaire moyenne inférieure à 25 mm Hg.

Parmi les 9 patients ayant un V.E.M.S. compris entre 1.500 et 2.500 cm<sup>3</sup>/s, quatre montrent des signes hémodynamiques indiscutables de cœur pulmonaire chronique lors de l'épreuve d'effort. Deux d'entre eux sont des pseudotumorales, les deux autres ont des condensations débutantes. Par contre, on ne trouve pas de signes hémodynamiques de cœur pulmonaire chronique chez les 4 ouvriers de ce groupe dont l'image radiologique est simplement micronodulaire.

### D. Conclusions en ce qui concerne la pathogénie du retentissement cardiaque des pneumoconioses.

Bolt et Zorn (24) (25) ont insisté sur l'importance de la complication emphysémateuse dans la pathogénie du cœur pulmonaire chronique des houilleurs.

Toutefois, la pneumoconiose pseudotumorale entraîne des modifications importantes des artérioles pulmonaires avec réduction parfois considérable du lit vasculaire pulmonaire. Des altérations anatomiques des artérioles sont également retrouvées, mais à un degré moindre, dans la pneumoconiose micronodulaire (15) (26) (27). Aussi Lavenne avait-il suggéré, en 1951, que la réduction du lit vasculaire pulmonaire et l'emphysème jouaient tous deux un rôle dans la pathogénie du retentissement cardiaque de la pneumoconiose des houilleurs, l'emphysème constituant le facteur essentiel dans les cas de cœur pulmonaire chronique survenant sur une pneumoconiose micronodulaire, la réduction du lit vasculaire étant au premier plan chez les pseudotumorales.

Dans la pneumoconiose des houilleurs, la diminution du V.E.M.S. est essentiellement en rapport avec l'emphysème (28). Aussi la corrélation assez bonne trouvée entre l'augmentation de la pression artérielle pulmonaire et la diminution du V.E.M.S. plaide-t-elle à première vue en faveur de l'importance de la complication emphysémateuse dans la pathogénie de l'hypertension pulmonaire.

L'étude des sujets ayant un V.E.M.S. compris entre 1.500 et 2.500 cm<sup>3</sup>/s vient toutefois nuancer cette constatation. Quatre pneumoconiotiques ayant des images condensées et un V.E.M.S. supérieur à 1.500 cm<sup>3</sup>/s avaient des signes de cœur pulmonaire chronique, alors qu'on ne voit qu'exceptionnellement une hypertension artérielle pulmonaire chez des emphysémateux purs dont le V.E.M.S. reste supérieur à 1.500 cm<sup>3</sup>/s.



Ceci confirme donc la conception pathogénique de Lavenne et rejoint la constatation de Sadoul (29) qui a vu survenir le cœur pulmonaire chronique dans la pneumoconiose des houilleurs et des mineurs de fer avec des déficits ventilatoires moindres que dans l'emphysème.

**4. — Tests pharmacodynamiques à l'acétylcholine et à l'aleudrine chez les houilleurs.**

**A. But et méthodes de la recherche.**

Certains houilleurs se plaignent de dyspnée et de toux avec ou sans expectorations en milieu poussiéreux.

Il n'est pas rare que ces patients aient une fonction pulmonaire satisfaisante en atmosphère normale. De même, leur examen clinique et radiologique peut ne présenter que peu d'anomalies.

Il est donc intéressant de rechercher des méthodes permettant d'objectiver en laboratoire l'hypersensibilité broncho-pulmonaire aux poussières, dont il se plaignent.

Divers auteurs (30) (31) (32) ont proposé dans ce but l'emploi des aérosols d'acétylcholine.

Ceux-ci provoquent chez les bronchitiques chroniques des réactions tussigènes et des troubles fonctionnels caractérisés par une diminution de la capacité vitale et du volume expiratoire maximum/seconde (33) (34).

Les troubles respiratoires et les accès de toux survenant en milieu poussiéreux pouvant a priori être mis sur le compte d'altérations bronchiques — éventuellement latentes — il était logique de chercher à dépister ces altérations par les méthodes utilisées pour les bronchites chroniques confirmées.

A. Minette et L. Van Wymeersch (35) ont examiné à ce point de vue 182 houilleurs. Il a paru intéressant d'étudier d'une façon générale les rapports entre la sensibilité à l'acétylcholine et les différentes manifestations cliniques, radiologiques et fonctionnelles présentes chez les mineurs examinés.

La technique d'aérosolisation utilisée pour ces recherches offrait de grandes garanties de reproductibilité et permettait notamment la mesure du volume d'aérosols inhalé, ce qui n'est pas le cas avec les techniques d'aérosolisation courantes. La description de cette technique et de l'appareillage requis a été faite antérieurement (36).

Il suffit de rappeler que les mineurs étaient soumis à une inhalation d'une solution d'acétylcholine à 0,5 % pendant 30 secondes. Pendant l'inhalation, on notait la présence éventuelle de secousses de toux. Immédiatement après l'aérosolisation, les patients étaient auscultés en vue de rechercher si l'acétylcholine provoquait l'apparition de râles sibilants. Ensuite, on déterminait leur capacité vitale et leur volume expiratoire maximum par seconde, qui

étaient comparés aux valeurs trouvées avant l'aérosol.

Les modifications constatées ont été comparées aux plaintes de toux et de dyspnée accusées en milieu poussiéreux. En outre, elles ont été étudiées en fonction des altérations radiologiques de pneumoconioses ramenées à 4 groupes (O-SO ; SOR-M1 ; M2-M3 ; images pseudotumorales), et en fonction des troubles bronchitiques éventuellement présents.

**B. Résultats.**

**a. Relation entre la sensibilité à l'acétylcholine et les plaintes en milieu poussiéreux.**

Les effets des aérosols d'acétylcholine ne paraissent pas superposables aux troubles accusés dans les atmosphères poussiéreuses de la mine. Des réactions tussigènes à l'acétylcholine ont été observées chez 36,5 % des ouvriers ne se plaignant pas de toux sur les lieux de travail. De même, une diminution significative du V.E.M.S. a été constatée chez 35,5 % des patients n'accusant pas de dyspnée en atmosphère poussiéreuse (fig. 8 et 9).

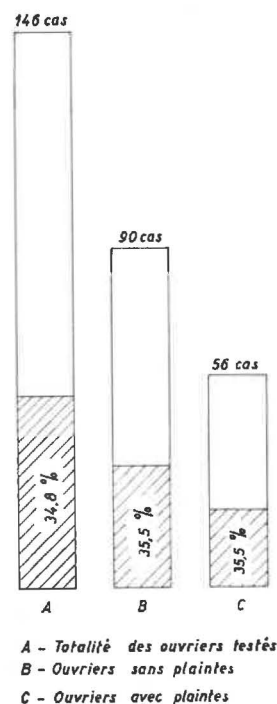


Fig. 8. — Fréquence des réactions ventilatoires acétylcholiques.

Le pourcentage des cas sensibles parmi les ouvriers se disant affectés par les poussières est comparable (35,5 % des cas en ce qui concerne la dyspnée et 55 % des cas de toux).

Les relations entre la sensibilité acétylcholinique et les plaintes en milieu poussiéreux n'étaient pas plus étroites si l'on considérait les 31 ouvriers ayant présenté les 2 réactions — ventilatoire et tussigène

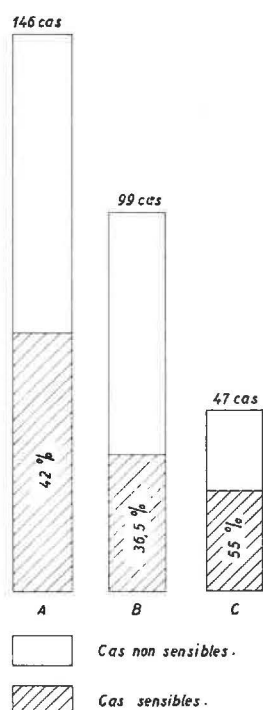


Fig. 9. — Fréquence des réactions tussigènes acétylcholiniques.

— à l'acétylcholine. La double réaction a été observée chez 24 % des houilleurs se plaignant de toux ou de dyspnée sur les lieux de travail et chez 22 % des autres ouvriers.

Ces faits peuvent être expliqués de deux manières :

- ou bien, on ne peut accorder aucun crédit aux données de l'interrogatoire en ce qui concerne les plaintes en milieu poussiéreux ;
- ou bien, il n'existe pas de parallélisme entre la sensibilité bronchopulmonaire aux poussières et celle à l'acétylcholine. Ceci pourrait être vérifié par exemple en soumettant expérimentalement des houilleurs à l'inhalation d'atmosphères poussiéreuses et en comparant leurs réactions à celles provoquées par l'acétylcholine.

Une telle étude a été faite et ses résultats seront discutés dans une prochaine publication de l'Institut d'Hygiène des Mines.

b. Relation entre la sensibilité à l'acétylcholine et les données cliniques, radiologiques et fonctionnelles.

α. Les réactions acétylcholiniques ventilatoires et tussigènes paraissent avant tout liées à l'état de la fonction respiratoire. Leur fréquence est d'autant plus élevée que la fonction respiratoire est plus mauvaise. Parmi les patients ayant un rapport  $\frac{\text{V.E.M.S.}}{\text{C.V.}}$

inférieur à 50 % (groupe III, tableau I), 81 % ont eu une réaction ventilatoire et 63 % une réaction tussigène positives. Ces chiffres s'opposent à ceux de 25 % et 30 % pour les patients ayant une fonc-

TABLEAU I.

Critères	Totalité des cas	Réactions vent. %	Réactions tus. %	Réactions ausc. %
	146	35	42	18
<b>Image radiologique</b>				
O - SO	27	44	37	15
SOR - M <sub>1</sub>	34	58	50	23,5
M <sub>2</sub> - M <sub>3</sub>	62	50	42	19,5
Pseudotumeurs	23	43	39	13
<b>Fonction ventilatoire (*)</b>				
Groupe I	71	25	30	11
Groupe II	64	41	52	23
Groupe III	11	81	63	36,5
<b>Atteinte bronchique</b>				
1) cas négatifs	76	26	34	17
2) cas positifs : 1 symptôme				
— antécédents	26	58	48	3
— râles	16	44	49	31
— bronchospasmes	12	56	56	0
3) cas positifs : 2 symptômes	15	70	84	30
4) cas positifs : 3 symptômes	5	100	66	66

(\*) Légende :

Groupe I : VEMS supérieur à 70 % de la CV.

Groupe II : VEMS compris entre 50 % et 70 % de la CV.

Groupe III : VEMS inférieur à 50 % de la CV.



tion satisfaisante (différences significatives au palier de confiance de 95 %). On pouvait néanmoins se demander si les différences constatées entre les trois groupes, en ce qui concerne la sensibilité ventilatoire, n'étaient pas artificiellement dues au fait que celle-ci avait été exprimée en pourcentage du V.E.M.S. initial. Il est évident que dans ces conditions, l'appréciation de la sensibilité est partiellement liée à la valeur initiale du V.E.M.S. ; une même diminution du V.E.M.S. en valeur absolue pouvait être ou non considérée comme une réaction positive selon que le V.E.M.S. de départ était bas ou élevé.

Il était donc intéressant de rechercher si les différences de sensibilité constatées entre les groupes fonctionnels se retrouvaient aussi en exprimant les réductions du V.E.M.S. en valeur absolue.

Le tableau II résume les résultats de ces calculs. Il montre que la fréquence des réactions négatives (soit aucune modification ou éventuellement augmentation légère du V.E.M.S. après acétylcholine) est du même ordre dans les groupes fonctionnels : 18 %, 22 % et 17 %.

En outre, la moyenne arithmétique des diminutions du V.E.M.S. est pratiquement identique dans les trois groupes (258 cm<sup>3</sup>, 265 cm<sup>3</sup> et 262 cm<sup>3</sup>).

En conséquence, en appréciant en valeur absolue la sensibilité ventilatoire à l'acétylcholine, on ne trouve pas les différences de sensibilité selon la fonction respiratoire, qui apparaissent si l'on exprime cette sensibilité en pourcentage de la valeur de départ. Dans ces conditions, il y aurait discordance entre le comportement des réactions ventila-

toires et celui des réactions tussigènes qui sont, elles, certainement liées à la fonction respiratoire.

Il est difficile de décider s'il est plus légitime d'apprécier la sensibilité ventilatoire en valeur absolue ou en pourcentage des valeurs initiales. La réponse à ce problème nécessiterait l'étude mathématique d'un modèle physique comparable aux poumons, obéissant à une loi du type  $\Delta r = f(\Delta p, \Delta d)$ ,  $r$  étant la résistance à l'expiration,  $p$  la pression intralvéolaire et  $d$  le débit. Comme il est pratiquement impossible de préciser aucune des trois variables, les résultats d'une telle étude seraient très aléatoires. Etant donné la difficulté de résoudre ce problème, il paraît logique de s'en tenir, au moins provisoirement, aux normes classiquement admises et d'exprimer la sensibilité acétylcholinique en pourcentage des résultats initiaux.

Les différences des réactions ventilatoires et tussigènes à l'acétylcholine selon la fonction respiratoire suscitent plusieurs remarques :

— Elles ne peuvent être attribuées à des variations dans la quantité d'acétylcholine inhalée par les différents groupes. En effet, la technique utilisée garantissait une concentration égale de l'aérosol inhalé par tous les sujets. D'autre part, en moyenne, les volumes d'aérosols inhalés par les patients du groupe III (fonction déficitaire) ne différaient pas sensiblement de ceux respirés par les patients des deux autres groupes (4,44 litres pendant 30 secondes dans le groupe III, contre 4,87 litres et 4,46 litres pendant le même temps chez les patients des groupes I et II).

— Il est intéressant de rechercher si la fréquence élevée des réactions acétylcholiniques dans le groupe III (fonction déficitaire) n'était pas liée à l'âge des patients de ce groupe.

On sait en effet que, chez les pneumoconiotiques, les déficits importants de la fonction respiratoire sont statiquement plus fréquents chez les sujets âgés que chez les jeunes (28) (30). Or, Tiffeneau (34) insiste sur la fréquence particulièrement importante des réactions acétylcholiniques chez les sujets âgés.

Effectivement, dans cette recherche, l'âge moyen des sujets à fonction déficitaire (groupe III) était légèrement supérieur (moyenne 45 ans ; extrêmes 32 et 60 ans) à celui des patients des groupes I et II (moyenne 40 ans ; extrêmes 17 et 58 ans). D'autre part, la fréquence des réactions acétylcholiniques a été légèrement plus élevée chez les sujets de plus de 40 ans qu'avant la quarantaine (tableau III).

TABLEAU II.

	Groupe I 74 cas	Groupe II 61 cas	Groupe III 11 cas
Pourcentages de sujets insensibles	18 %	22 %	17 %
Diminutions acétylcholiniques en valeur absolue (moyennes arithmétiques)	258 cm <sup>3</sup>	265 cm <sup>3</sup>	262 cm <sup>3</sup>
<i>Légende</i>			
Les groupes I, II et III sont définis de la même façon que précédemment, c'est-à-dire en fonction de leur VEMS et de leur CV de départ.			
Groupe I : VEMS supérieur à 70 % de la CV			
Groupe II : VEMS compris entre 70 % et 50 % de la CV			
Groupe III : VEMS inférieur à 50 % de la CV			

TABLEAU III.

Groupes d'âge	Nombre de sujets	Réactions ventilatoires %	Réactions tussigènes %
moins de 40 ans	71	33 %	37 %
plus de 40 ans	75	40 %	46 %



Toutefois, il ne paraît pas possible d'attribuer uniquement à l'âge la fréquence des réactions positives constatées dans le groupe III. En effet, à l'intérieur de ce groupe, tout comme à l'intérieur des groupes I et II, les sujets sensibles à l'acétylcholine ont un âge moyen très voisin de celui des sujets non sensibles. Ainsi, dans le groupe III, où l'âge moyen est de 45 ans, avec des extrêmes de 32 et 60 ans, celui des sujets avec réactions ventilatoires positives était également de 45 ans (chiffres extrêmes 34 et 54 ans) et celui des ouvriers avec réactions tussigènes était de 46 ans (chiffres extrêmes 32 et 54 ans). Ceci plaide donc contre l'attribution à l'âge des différences constatées entre le groupe III et les groupes I et II.

β. La corrélation entre la sensibilité à l'acétylcholine et l'existence de signes de bronchite est moins nette que celle trouvée avec la fonction respiratoire (tableau I). Il existe cependant entre les deux phénomènes une relation d'autant plus nette que les signes de bronchite sont plus nombreux.

Il est cependant utile de noter que les résultats obtenus ne permettent pas de conclure à la possibilité de prédire la sensibilité à l'acétylcholine à partir des signes de bronchite constatés à l'interrogatoire ou à l'examen.

Si l'on fait abstraction des groupes de mineurs présentant 2 ou 3 symptômes de bronchite en association (groupes trop petits — respectivement 13 et 3 cas — pour permettre des conclusions valables), on constate que, chez les patients n'ayant qu'un seul symptôme, les sujets non sensibles sont plus nombreux que les sujets sensibles (voir tableau I).

γ. Les résultats des tests pharmacodynamiques à l'acétylcholine apparaissent indépendants des images radiologiques (tableau I) (fréquence comparable des réactions quelle que soit l'importance des remaniements pneumoconiotiques).

δ. On peut être étonné du pourcentage élevé des réactions positives à l'acétylcholine trouvées dans le groupe de mineurs étudié. Celui-ci ne peut cependant donner une idée valable de la sensibilité à l'acétylcholine d'une population choisie au hasard, parce qu'il s'agissait pour la plupart d'ouvriers accusant des troubles fonctionnels et, par là même, sélectionnés.

Les réactions ventilatoires et tussigènes acétylcholiniques trouvées dans le groupe SO (44 % et 37 %) ne paraissent toutefois pas uniquement en rapport avec une altération de la fonction respiratoire. En effet, parmi les sujets de ce groupe sensibles à l'acétylcholine, 7 avaient une fonction pulmonaire normale avant les tests.

Compte tenu de l'inefficacité des aérosols utilisés vis-à-vis des sujets normaux témoins, l'existence de ces 7 cas pose le problème d'une irritabilité bronchi-

que latente chez certains houilleurs en l'absence de toute image radiologique suspecte et de tout trouble fonctionnel décelable par la spirométrie. Pour préciser la fréquence de ce phénomène, il serait nécessaire de reprendre l'étude de ces tests dans un groupe de houilleurs radiologiquement et fonctionnellement représentatif de l'ensemble d'une population minière et de comparer les résultats avec ceux obtenus chez des sujets du même âge non exposés aux poussières.

## 5. — Les lésions élémentaires de la pneumoconiose des houilleurs belges. Confrontation entre les documents anatomo-pathologiques et l'anamnèse professionnelle.

L'étude de ce problème a été confiée au Dr. F. Meersseman (27). Après un rappel de l'état actuel des connaissances concernant la constitution d'amas de poussières intra-pulmonaires, ce dernier a décrit les lésions élémentaires observées dans la pneumoconiose des houilleurs belges, il établit une corrélation entre les données anatomo-pathologiques et l'anamnèse professionnelle. Cette étude a été effectuée sur les poumons de 40 houilleurs ayant travaillé durant des périodes variables dans le Bassin de la Campine (Limbourg belge). Une anamnèse professionnelle précise permettant d'établir la nature de l'empoussiérage subi (charbon, rocher, empoussiérage mixte) a pu être reconstituée dans 27 cas.

### A. Description des lésions élémentaires.

On peut répartir les lésions élémentaires en 4 groupes et les ranger selon la classification suivante :

- a. Amas coniotiques simples.
  - α. Périvasculaires et péribronchiques
  - β. Septaux.
- b. Amas coniotiques avec emphysème focal.
- c. Amas fibroconiotiques.
- d. Lésions fibrohyalines.
  - α. Amas fibrohyalins.
  - β. Nodules fibrohyalins non circonscrits (ou lésions fibrohyalines intermédiaires).
  - γ. Nodules fibrohyalins circonscrits (nodules silicotiques).
- a. Amas coniotiques simples.

Ces lésions sont constituées d'un grand nombre de macrophages chargés de poussières charbonneuses reposant sur une fine trame de fibres de réticuline ; celles-ci sont disposées en réseau plus ou moins grillagé, sans former de faisceaux parallèles



Fig. 10. — Amas coniotique: le réseau de fibres de réticuline contient des agglomérats de poussières de charbon. (Laidlaw: fort grossissement).

(fig. 10). Le réseau à mailles irrégulières est parcouru par de nombreux capillaires sanguins. La prolifération de cellules conjonctives y est manifeste. Deux formes principales peuvent être décrites.

*α. Forme périvasculaire et péribronchique.*

Les amas de cellules à poussières se trouvent généralement autour des artérioles accompagnant les bronchioles terminales et respiratoires. Leur diamètre ne dépasse généralement pas 1 à 2 mm. Ils ne forment pas une gaine cylindrique continue autour de ces artérioles, mais plutôt des masses sphéroïdes ou en fuseaux, disposées en chapelet. En même temps qu'apparaît la réticuline, on voit disparaître ou se fragmenter le tissu élastique du poumon et bientôt il ne reste plus que les lames élastiques des artérioles. Ces artérioles, qui ne sont pas nécessairement situées au centre de l'amas, ne sont généralement que peu modifiées.

*β. Amas septaux.*

Ils sont situés dans les septa interlobulaires au voisinage des veines pulmonaires. Leur épaisseur ne dépasse généralement pas le millimètre; leur limite est plus ou moins irrégulière; leur aspect microscopique est presque le même que celui des amas périvasculaires.

Ces deux types de lésions représentent des dépôts de poussières peu fibrogènes, ou des dépôts encore relativement récents, n'ayant pas encore entraîné de modifications importantes dans la structure du parenchyme pulmonaire. Ils correspondent à ce que les auteurs allemands appellent impropre-

ment le « granulome silicotique » et au premier stade du « coal nodule » de Gough.

*b. Amas coniotiques avec emphysème focal.*

L'accumulation des cellules à poussières se fait surtout autour des bronchioles respiratoires et de leurs alvéoles. Les phagocytes se retrouvent dans le tissu interstitiel, soit sous l'épithélium des bronchioles respiratoires, soit dans les septa entre les alvéoles de ces bronchioles; ils constituent des dépôts qui s'accompagnent de formation de réticuline et petit à petit de fibrose. L'extension de ces foyers se fait par apport de nouvelles cellules remplies de poussières. Les alvéoles qui s'ouvrent normalement dans la lumière bronchiolaire tendent à se collaber par suite de la compression exercée par les petits nodules anthracosiques environnants et disparaissent progressivement. Les bronchioles respiratoires voient leur musculature dégénérer et subissent en conséquence une dilatation progressive. On verra donc à ce stade, au centre du lobule pulmonaire, une masse noire dissociée par les bronchioles respiratoires dilatées, alors que la périphérie du lobule a encore un aspect relativement normal (fig. 11). C'est en réalité à une ectasie des bronchioles respiratoires qu'on a donné le nom d'emphysème focal; il ne s'agit donc pas, au moins au stade initial, d'une dilatation des alvéoles.

*c. Amas fibroconiotiques.*

Dans les amas coniotiques, les fibres de réticuline sont progressivement remplacées par des fibres collagènes. Cette évolution vers la sclérose s'accompagne d'une diminution du nombre de capillaires

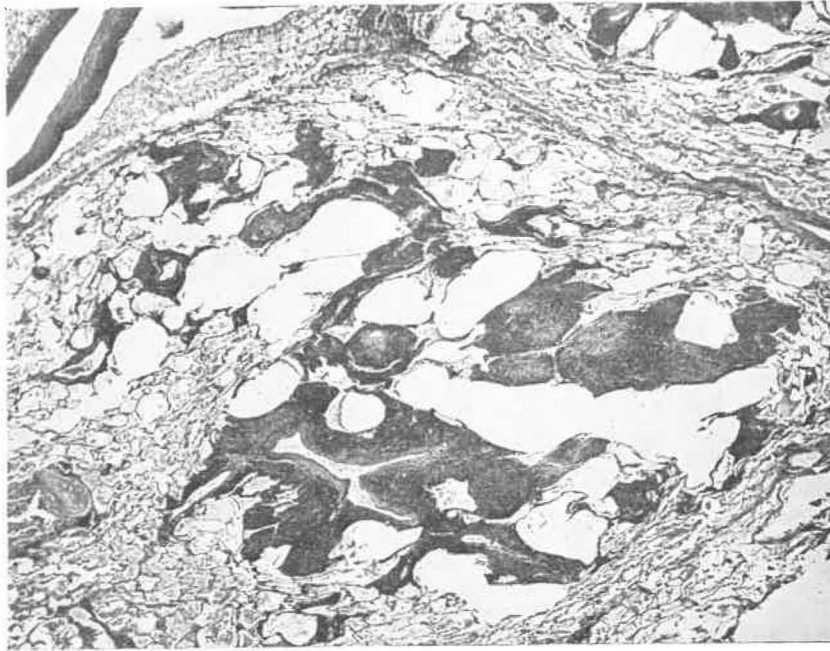


Fig. 11. — Image d'emphysème focal : dilatation des bronchioles respiratoires au contact d'amas coniotiques ; les alvéoles situées à la périphérie du lobule ne sont pas dilatées. (H.E.S. : faible grossissement).

sanguins qui tendent à disparaître dans la partie centrale. Le contour des amas est assez irrégulier ; des prolongements s'étendent vers le tissu pulmonaire environnant, où certaines alvéoles se collabent, alors que d'autres subissent une dilatation emphysémateuse donnant un aspect en « tête de méduse » (fig. 12). Ces amas apparaissent macroscopiquement comme de petits nodules indurés, entourés de prolongements en étoile.

#### d. Lésions fibrohyalines.

Elles sont essentiellement constituées de fibres collagènes assez denses groupées en faisceaux épais, dont l'orientation, d'abord irrégulière en direction rectiligne ou ondulée, prend progressivement une allure tourbillonnante en bulbe d'oignon. Une grande partie de ces faisceaux fibreux subit la transformation hyaline, qui se traduit par un aspect homogène cirieux à réactions de coloration caractéristiques et

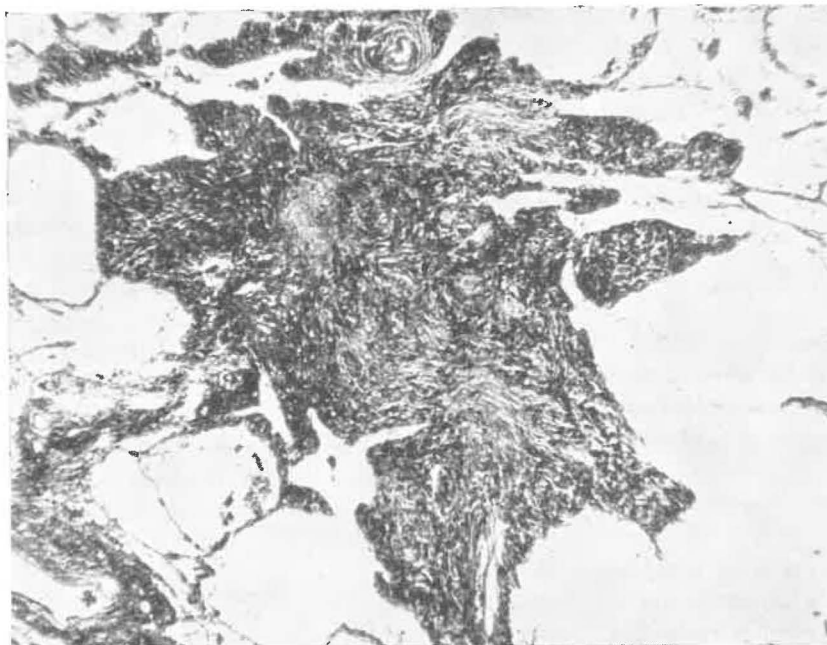


Fig. 12. — Petit amas fibroconiotique : les fibres collagènes sont bien développées ; à la périphérie certaines alvéoles sont emphysémateuses (à droite et en bas) tandis que d'autres se collabent (à gauche et en bas). (H.E.S. : grossissement moyen).



une tendance à perdre les affinités tinctoriales des fibres collagènes. Ces lésions ont un centre pratiquement acellulaire. Les cellules y ont dégénéré les unes après les autres. Les particules de poussières ont une topographie très variable, des territoires étendus de tissu fibrohyalin se montrant souvent complètement aconiotiques. Lorsque les particules sont présentes, elles s'y trouvent généralement sous la forme libre. Elles peuvent être isolées ou groupées en petits amas moulés par les faisceaux de fibres conjonctives.

Dans l'ensemble, ces formations apparaissent comme des amas fibroconiotiques interstitiels ou périvasculaires envahis par du tissu scléro-hyalin. Il n'est en effet pas rare de voir un nodule comme embroché par une artériole qui peut y avoir une position centrale ou excentrique. Ce type de nodule porte le nom de « Blockadeknötchen » dans la littérature allemande. En dehors de la présence éventuelle d'une artériole, les nodules n'ont plus de vascularisation. Cette artériole a le plus souvent une lumière rétrécie par de la fibrose de l'intima, sa paroi s'hyalinise fréquemment et finit par se confondre avec le tissu hyalin environnant ; les débris des lames élastiques permettent cependant de l'identifier.

Les lésions hyalines élémentaires offrent trois aspects principaux :

#### *α. Amas fibrohyalins.*

Ils sont constitués de faisceaux de fibres scléreuses orientées dans tous les sens, à trajet rectiligne ou incurvé. Il peut encore y persister une vasculari-

sation capillaire plus ou moins importante ainsi que quelques amas de macrophages. Ceux-ci ont tendance à disparaître en laissant les poussières sous forme libre entre les faisceaux collagènes. Les fibroblastes deviennent rares. Certains endroits sont déjà acellulaires et les fibres collagènes subissent la dégénérescence hyaline (fig. 13). A la périphérie existent de nombreuses expansions fibreuses s'infiltrant dans les septa interalvéolaires voisins.

#### *β. Nodules fibrohyalins non circonscrits ou lésions fibrohyalines intermédiaires.*

Ils représentent des formes intermédiaires entre les amas fibrohyalins et les nodules circonscrits. Leurs fibres ont une disposition incurvée, voire même tourbillonnante. Le centre a subi en grande partie la transformation hyaline, mais les contours restent irréguliers montrant des prolongements fibreux en étoile. La limite entre le centre fibrohyalin et la périphérie fibreuse n'est pas nette (fig. 14). Il n'existe pas « d'enkystement » comme dans le nodule fibrohyalin circonscrit.

#### *γ. Nodules fibrohyalins circonscrits.*

Il s'agit de formations sphériques ou ovalaires bien circonscrites de 1 à 2 mm de diamètre. Ils apparaissent comme de petites sphérules extrêmement dures pouvant s'énucléer à la pointe du scalpel. A la tranche, ils ont un aspect gris ardoisé. Ils sont constitués d'une zone centrale de tissu fibrohyalin pratiquement acellulaire. Les fibres, presque toutes hyalinisées, ont une tendance marquée à former des



Fig. 13. — Amas fibrohyalin : Certaines plages sont devenues presque acellulaires ; les fibres conjonctives y subissent la dégénérescence hyaline ; les faisceaux fibreux sont orientés en tous sens. (H.E.S. : faible grossissement).

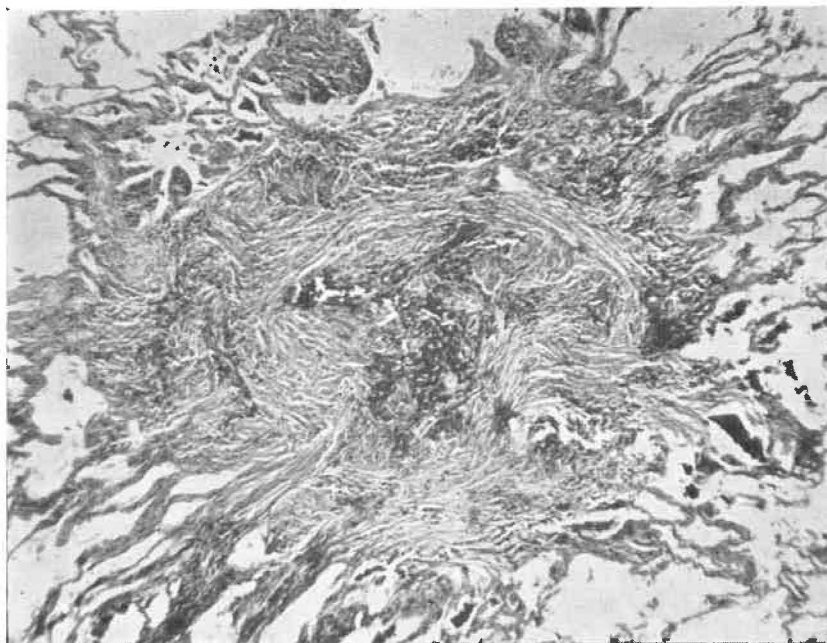


Fig. 14. — Nodules fibrohyalins non circonscrits : les faisceaux de fibres conjonctives ont une disposition incurvée ; la plupart d'entre elles sont hyalinisées : les contours sont irréguliers avec expansions en étoile. (H.E.S. : grossissement moyen).

tourbillons. Les particules de poussières y sont généralement très rares. Le noyau central est entouré d'une ou de plusieurs couches concentriques de tissu collagène scléreux lamellisé, délimitant ainsi de façon nette le nodule fibrohyalin, comme s'il était encapsulé. Plus en dehors, une mince bande de tissu fibreux plus lâche contenant des phagocytes sépare le nodule du tissu pulmonaire normal (fig. 15).

#### B. Répartition des lésions.

Les lésions élémentaires fibro-hyalines sont situées dans le voisinage des condensations (pseudo-tumeurs - fig. 16), tandis que les amas coniotiques avec emphysème focal ont une répartition à peu près uniforme dans les champs pulmonaires. Les régions basales et ventrales sont cependant généralement moins atteintes (fig. 17).

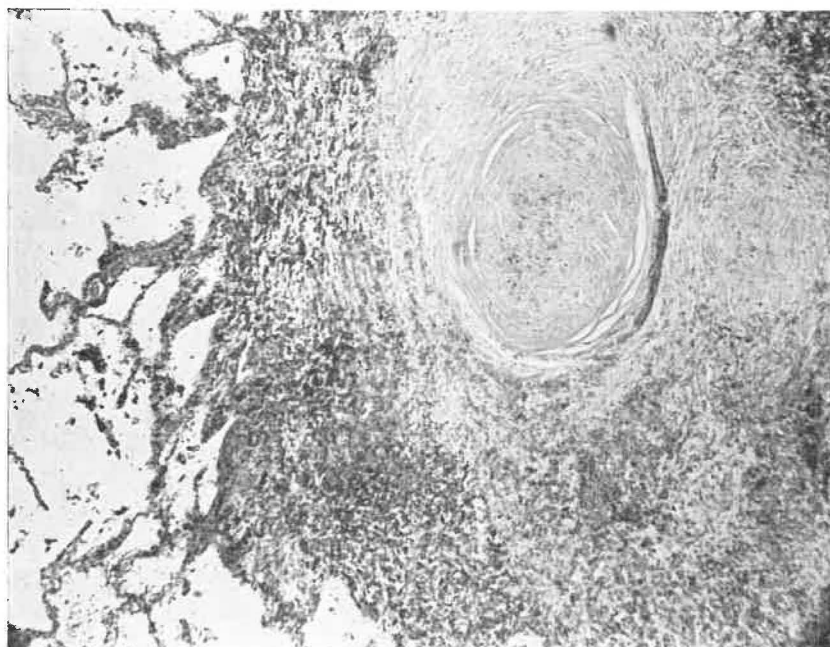


Fig. 15. — Nodule fibrohyalin circonscrit : le nodule central fibrohyalin est comme encapsulé par des couches concentriques de tissu scléreux lamellisé qui le séparent nettement du tissu coniotique environnant. (H.E.S. : grossissement moyen).



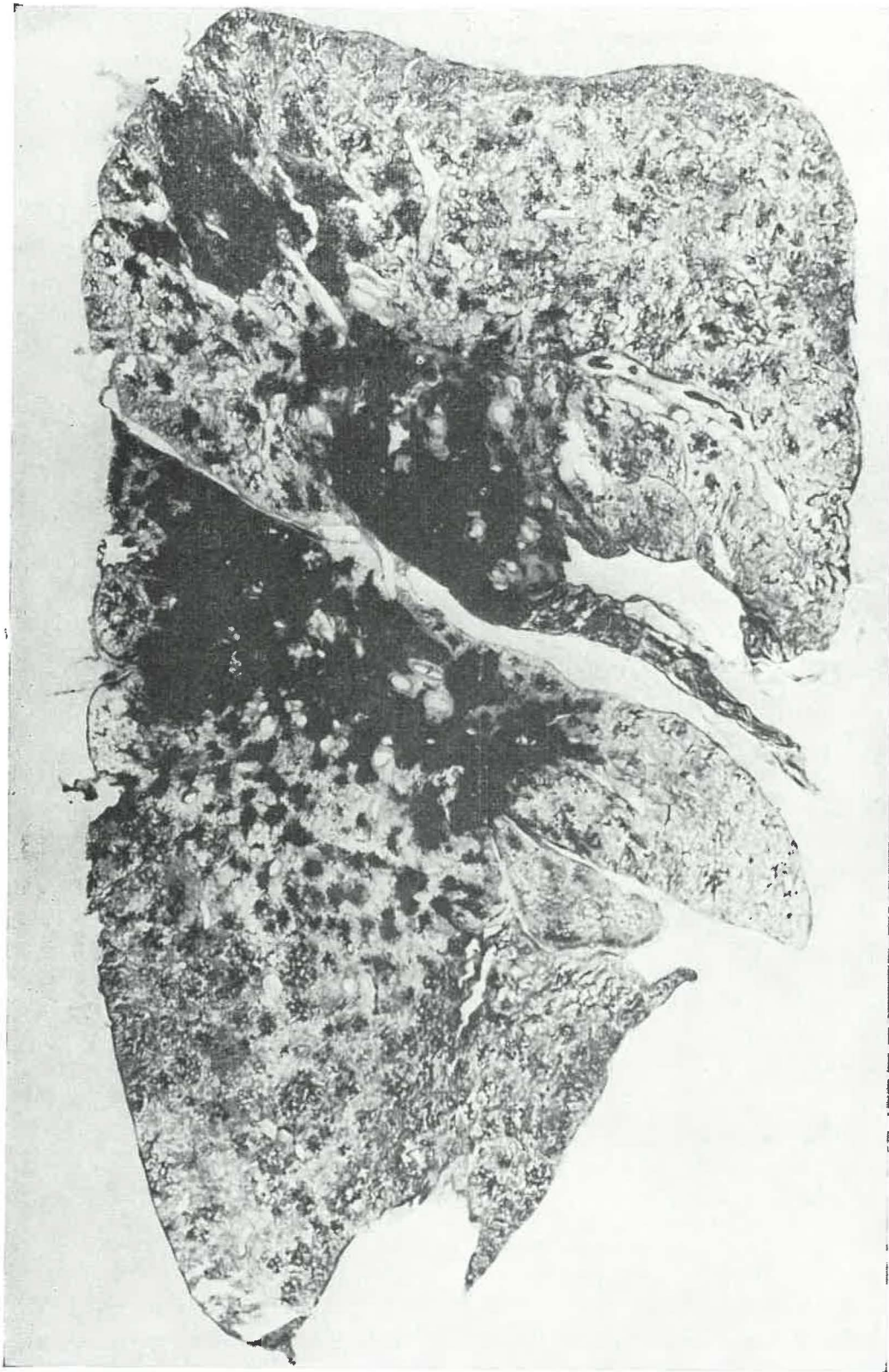


Fig. 16. — Coupe totale selon la technique de Gough : les lésions fibrohyalines intermédiaires apparaissent ici comme de petits amas noirs compacts à limites étoilées situés au voisinage des condensations.



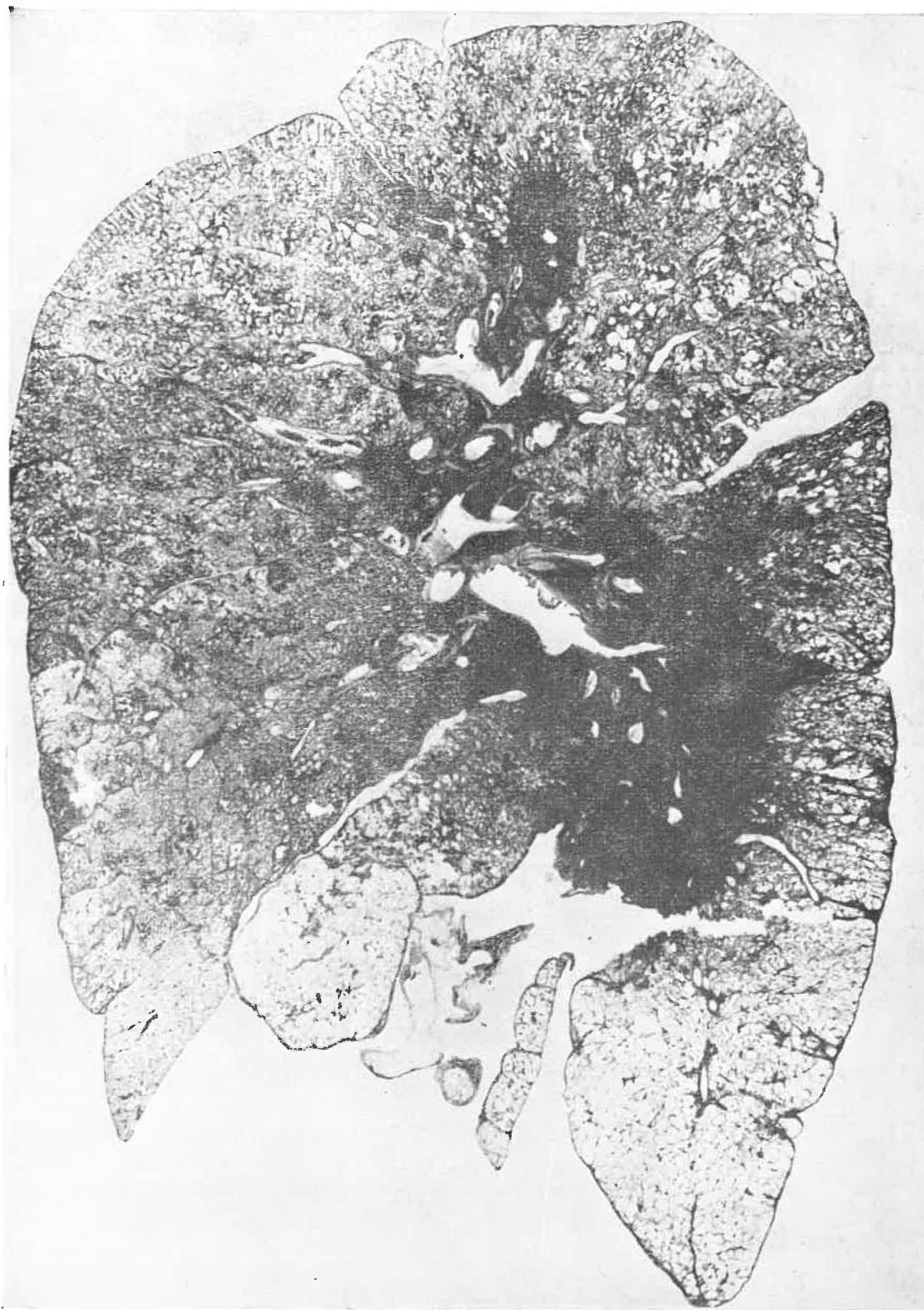


Fig. 17. — Coupe totale selon la technique de Gough: les lésions avec emphysème focal ont une répartition à peu près uniforme; les bases pulmonaires moins atteintes sont le siège d'un emphysème diffus.

**C. Comparaison des données anatomo-pathologiques et de l'anamnèse professionnelle.**

F. Mcersseman (27) a schématisé comme suit le type d'empoussiérage en fonction des postes occupés dans la mine :

- exposition à des poussières de charbon : surveillants et porions de taille, ouvriers abatteurs et manœuvres en taille ;
- exposition à des poussières de rocher : bouveleurs, manœuvres de bouveaux, surveillants de travaux préparatoires, recarreurs et bouteleurs ;
- exposition à des poussières mixtes : remblayeurs et foudroyeurs, manœuvres d'installation en taille, surveillants de taille en dehors du poste d'abatage.

La confrontation des données anatomo-pathologiques et de l'anamnèse professionnelle (tableau IV, V et VI) fait ressortir les points suivants :

a. Les amas coniotiques simples se rencontrent chez presque tous les sujets : ils sont cependant un

peu plus importants chez les abatteurs de charbon.

- b. Les amas coniotiques avec emphysème focal prédominant, décrits par Gough, sont toujours présents chez les abatteurs, où ils sont parfois très développés. Ils sont rares et peu marqués chez les sujets ayant travaillé principalement au rocher.
- c. Les amas fibroconiotiques se voient tant chez les ouvriers au charbon que chez les ouvriers au rocher.
- d. Les amas fibrohyalins ne sont pas rares (4 cas sur 9) chez les ouvriers n'ayant travaillé qu'au charbon. Ils sont très fréquents en cas d'empoussiérage au rocher (13 cas sur 15).
- e. Les nodules fibrohyalins non circonscrits et circonscrits sont l'apanage exclusif des ouvriers ayant subi un empoussiérage au rocher ou un empoussiérage mixte. On remarquera que, même chez ces sujets, les nodules silicotiques classiques sont peu fréquents (4 cas sur 18).

TABLEAU IV.

*Sujets n'ayant travaillé qu'au charbon.*

N°	Nombre d'années			Lésions trouvées						
	Charbon	Poussières mixtes	Rocher	Pseudo-tumeurs	Amas coniotiques	Emphysème focal	Amas fibroconiotiques	Amas fibrohyalins	Nodules non-circonscrits	Nodules circonscrits
2	26	—	—	0	+	++	++	0	0	0
7	24	—	—	+	++	+++	++	+	0	0
10	18	—	—	0	+	++	++	0	0	0
20	10	—	—	+	+	+	+	+	0	0
22	26	—	—	+	++	++	+	0	0	0
24	15	—	—	+	+	++	+	+	0	0
26	30	—	—	+	++	++	+	0	0	0
38	19	—	—	+	+	+	+	+	0	0
44	25	—	—	+	+	+++	+	0	0	0

TABLEAU V.

*Sujets ayant travaillé moins de dix ans au rocher ou aux poussières mixtes.*

N°	Nombre d'années			Lésions trouvées						
	Charbon	Poussières mixtes	Rocher	Pseudo-tumeurs	Amas coniotiques	Emphysème focal	Amas fibroconiotiques	Amas fibrohyalins	Nodules non-circonscrits	Nodules circonscrits
8	13	5	2	+	++	++	++	+	0	0
11	13	1	1	0	++	+	+	0	0	0
36	17	2	1	+	+	+++	++	++	0	0

TABLEAU VI.

Sujets ayant travaillé plus de dix ans au rocher ou aux poussières mixtes.

N°	Nombre d'années			Lésions trouvées						
	Charbon	Poussières mixtes	Rocher	Pseudo-tumeurs	Amas coniotiques	Emphysème focal	Amas fibro coniotiques	Amas fibro hyalins	Nodules non-circonscrits	Nodules circonscrits
1	—	6	23	+	0	0	0	+	++	+
5	—	—	23	+	+	0	+	++	++	0
6	1	—	18	+	+	0	+	++	+	0
12	—	18	—	+	+	0	+	++	+	+
13	—	22	1	+	+	0	+	+	+	+
14	—	—	26	+	+	0	+	++	+	0
18	—	3	18	+	+	+	+	+	+	0
21	10	1	18	+	+	0	+	0	0	0
23	19	—	10	+	+	++	+	+	+	0
25	19	6	5	+	++	++	+	+	0	0
27	—	—	34	+	+	0	0	++	+	0
37	2	3	14	+	+	0	+	+	+	+
40	24	—	13	+	0	+	++	0	0	0
41	5	2	17	+	0	+	+	++	+	0
42	5	—	18	+	+	++	+	+	+	0

#### D. Conclusions.

Chez les houilleurs belges ayant travaillé uniquement à l'abattage de charbon, la pneumoconiose revêt un aspect comparable à celui décrit chez les mineurs du Pays de Galles par Gough (37). Gough et Wentworth (38) et Heppleston (39) (40). Lavenne (15) et Firket (41) ont fait la même observation. La lésion élémentaire est le « coal nodule » avec emphysème focal. On trouve quelquefois, plus souvent qu'au Pays de Galles, des amas fibroconiotiques. Mais la transformation hyaline est rare et limitée au voisinage des pseudotumeurs.

Chez les ouvriers ayant été exposés aux poussières de rocher ou mixtes, l'emphysème focal est beaucoup moins marqué, tandis que les lésions fibrohyalines sont plus fréquentes et revêtent notamment la forme de nodules hyalins non circonscrits. Toutefois, même chez ces sujets, les nodules silicotiques circonscrits sont rares.

L'image anatomo-pathologique de la pneumoconiose des mines belges se différencie donc des descriptions des auteurs allemands qui, comme di Biasi (42), insistent surtout sur les lésions de type silicotique et de celle de Frühling et Chaumont (43) qui ont décrit les lésions pulmonaires des houilleurs du Bassin de Lorraine.

Ces divergences s'expliquent mieux si l'on tient compte de l'anamnèse professionnelle des cas examinés.

#### 6. — Entraînement des sauveteurs à des températures sèches supérieures à 45° C avec une humidité relative voisine de 50 %.

##### A. But et description des exercices aux températures extrêmes.

L'entraînement des sauveteurs, préalablement acclimatés aux hautes températures, est réalisé périodiquement à la Centrale de Sauvetage du Borinage à la température sèche de 45° C et à la température humide de 30° C,  $\varphi$  variant de 38 à 42 %. Lavenne et Belayew (44) ont étudié les réactions physiopathologiques produites par un travail de 2 heures à ces températures. Cet entraînement (exercice A) a été décrit dans des publications antérieures (44) (45) (46). Leyh (46) a montré qu'il donnait aux sauveteurs une accoutumance au travail à ces températures, dont la plus grande partie persiste après un délai de 6 semaines.

Au cours d'accidents miniers cependant, et notamment lors d'incendies ou d'explosions, les sauveteurs sont appelés à fournir des efforts physiques variables mais parfois importants, à des températures nettement plus élevées. Il semble bien que l'organisme puisse supporter une exposition de courte durée à des températures sèches très élevées, par exemple 20 minutes à 115° C, lorsque l'air est sec (47). Mais en général, lorsque l'humidité relative augmente, même pour des températures sèches beaucoup plus basses, les réactions cardiovasculaires et l'hyperthermie limitent la durée d'exposition et les dépenses énergétiques possibles.



Le but des nouvelles expériences, dont les résultats ont été récemment publiés par P. Leyh (48), est de préciser les réactions physiopathologiques qui surviennent dans les conditions d'ambiance plus pénibles ( $t_s$  46° C à 47,5° C,  $t_h$  35° C à 37° C et  $\varphi$  variant de 47,2 à 53,2 %), d'étudier l'incidence du travail sur la tolérance à de telles températures et de définir la limitation que ces températures imposent à la durée d'un effort d'une certaine intensité.

L'exercice B, d'une durée totale de 70 minutes, est effectué à une température sèche voisine de 46° C et une température humide de 35,5° C, le degré hygrométrique étant voisin de 50 %. Il débute par une marche à plat à une vitesse de 4 km/h pendant 20 minutes. Il se poursuit par un travail qui consiste à déplacer des blocs de béton (claveaux) d'un poids moyen de 30 kg. Ce travail s'effectue en 12 minutes avec un repos d'une minute après la 6e minute. Chaque sauveteur déplace 50 claveaux. Le poids total déplacé est donc de 1.500 kg. Après un repos de 10 minutes, que le sauveteur prend sans quitter l'atmosphère surchauffée, l'exercice se termine par une marche à plat à une vitesse de 4 km/h environ.

L'exercice C, d'une durée totale de 60 minutes, est effectué à une température sèche voisine de 48° C et une température humide voisine de 37° C, le degré hygrométrique étant voisin de 50 %. Il consiste en une marche à plat à la vitesse de 4 km/h, entre-

coupée à mi-exercice d'un repos de 10 minutes en atmosphère surchauffée.

Les exercices B et C ont été imposés à des sujets déjà acclimatés à l'exercice A.

**B. Réactions physiologiques aux séances d'entraînement.**

Le tableau VII compare les données physiologiques relevées respectivement au cours des exercices A, B et C.

Les réactions physio-pathologiques sont nettement plus intenses au cours des exercices B et C qu'au cours de l'exercice A. A la fin de la séance d'entraînement, la fréquence cardiaque était en moyenne de 149 pulsations par minute pour l'exercice A et respectivement de 174 et 176 pulsations par minute pour les exercices B et C, tandis que la température rectale était en moyenne de 38,4° C pour l'exercice A et de 39,5° C pour les exercices B et C.

Contrairement à l'exercice A, les conditions d'ambiances réalisées au cours des exercices B et C dépassent le seuil, établi par les travaux de nombreux auteurs, au-dessus duquel un travail continu est impossible (49) (50) (51) (52) (53) (54).

Comme le laissaient prévoir les constatations des auteurs précités, une exposition, même réduite à une heure, à des températures aussi élevées, entraîne cependant des réactions physiopathologiques dont

TABLEAU VII.

Comparaison des répercussions physiologiques de 3 types d'entraînement (moyenne de 18 sujets).

Climat	Exercice A (120 minutes) $t_s$ 43,2° C $t_h$ 30,5° C			Exercice B (70 minutes) $t_s$ 46,2° C $t_h$ 35,5° C			Exercice C (60 minutes) $t_s$ 47,8° C $t_h$ 37,2° C		
	avant exercice	mi exercice	fin exercice	avant exercice	mi exercice	fin exercice	avant exercice	mi exercice	fin exercice
Fréquence cardiaque (pulsat./min)	76	168	149	77	187	174	81	162	176
Pression artérielle (mm Hg)									
maxima	124	—	134	120	—	142	114	—	140
minima	67	—	67	68	—	66	68	—	68
Température rectale (°C)	37,2	38,3	38,4	37,4	38,9	39,5	37,3	38,6	39,5
Température buccale (°C)	37	38,3	38,3	36,9	38,7	38,9	36,8	38,2	38,8
Température air inspiré (°C)	23,9	42,9	41,1	28,3	41,1	41	28	38,6	40,1
Température cutanée (°C) moyenne	34,3	36,3	36	34,4	38,1	38,2	34,4	38	38,6

l'importance limite la durée de l'exercice. Les conditions d'ambiance rendent pénible un travail (déplacement de claveaux) relativement aisé en atmosphère normale pour des sujets accoutumés aux travaux lourds, et déclenchent même pour un effort moindre (marche à plat), une hyperthermie et des réactions cardiovasculaires d'autant moins supportables qu'elles ne peuvent qu'augmenter avec la poursuite de l'exercice.

Aucune stabilisation ne semble en effet possible dans ces climats-limites contrairement à ce qui se passe à des températures moins élevées. Comme cela s'observe aux températures plus basses, il existe des variations individuelles dans le comportement des sauveteurs. Ces variations sont cependant d'autant moins amples qu'on se rapproche des températures-limites.

L'intensité de l'effort fourni joue un rôle prépondérant dans la tolérance aux températures élevées. L'augmentation du métabolisme à l'effort, entraînant un accroissement de la production interne de calories, auxquelles s'ajoutent les calories reçues du milieu extérieur, augmente la quantité totale de chaleur à évacuer. On doit donc s'attendre à ce qu'un travail d'une certaine intensité accentue plus ou moins rapidement le déséquilibre thermique et les réactions cardio-vasculaires provoquées par l'ambiance. Tel est en effet bien le cas. À mi-effort, au cours de l'exercice B, un travail de 12 minutes consistant à déplacer des claveaux entraîne une hausse rapide des températures interne et cutanée et produit une tachycardie (187 pulsations/minute en moyenne) plus importante que celle observée à la fin de l'exercice C, malgré une température effective supérieure de 1,6° C.

De plus, alors que l'exercice C a été réalisé d'emblée par tous les sauveteurs de façon complète, l'exercice B a dû être interrompu dans 34 % des cas pour intolérance allant jusqu'à la perte de connaissance. Ces phénomènes se sont toujours produits dans la seconde moitié de l'exercice. Il semble donc bien qu'un travail lourd, par les réactions qu'il en-

traîne, et même lorsqu'il est suivi d'un effort beaucoup plus léger, tel qu'une marche à plat, limite de façon notable la tolérance aux températures élevées durant la seconde moitié de l'exercice.

Comme Wyndham et collaborateurs (54) l'ont souligné, à la limite des températures supportables, l'importance des dépenses énergétiques représente le plus important des facteurs conditionnant les réactions physiologiques et la tolérance.

En général, des ambiances aussi défavorables que celles de l'exercice C sont subjectivement bien tolérées par des sujets acclimatés, aussi longtemps que les dépenses énergétiques restent modérées. Objectivement cependant, malgré une sudation abondante, l'équilibre thermique est toujours rapidement rompu et les réactions cardio-vasculaires sont intenses.

### C. Incidents survenus au cours des séances d'entraînement.

Des incidents ont été exceptionnels au cours de l'exercice A. De même, l'exercice C a été effectué d'emblée par tous les sauveteurs sans malaises appréciables. Par contre, comme nous l'avons signalé plus haut, l'exercice B (réalisé à température plus basse, mais comportant à mi-exercice un travail fatigant) a été beaucoup plus pénible à supporter et a entraîné certains phénomènes d'intolérance. Ceux-ci ont obligé 6 sauveteurs (soit 34 %) à interrompre l'exercice, après une durée d'exposition aux températures élevées variant de 30 à 55 minutes. Dans tous les cas, le repos en position couchée à température normale a rapidement fait disparaître les symptômes.

Comme l'indique le tableau VIII, les symptômes les plus fréquents ont consisté en nausées (5 cas), suivies de vomissements dans 2 cas, vertiges (4 cas), ralentissement du pouls (4 cas), chute tensionnelle (4 cas). Ces symptômes s'accompagnaient d'une sensation de malaise général et d'asthénie, pouvant aller jusqu'à la perte de connaissance (2 cas).

TABLEAU VIII.

*Symptômes observés à l'arrêt de l'exercice B par phénomènes d'intolérance.*

N° des sauveteurs	1	6	14	15	16	17
Nausées	+	+	+	+	+	0
Vomissements	+				+	
Douleurs épigastriques crampiformes				+		
Vertiges			+	+	+	+
Perte de connaissance			+		+	
Ralentissement du pouls		+	+		+	+
Chute de tension artérielle	+		+		+	+
Température interne (°C)	39	39,2	39,3	39,5	38,3	39,6
Température cutanée (°C)	38,5	38,6		38,8	38,1	39



Le ralentissement du pouls est survenu dans 4 cas et a coïncidé avec l'apparition de nausées dans 3 cas. Une chute rapide et marquée de la fréquence cardiaque est assez significative. D'une façon générale, en effet, la fréquence cardiaque reste élevée aussi longtemps que l'organisme subit l'influence des températures réalisées dans ces expériences. C'est ainsi que même durant le repos pris à mi-effort dans la salle d'exercice, la fréquence cardiaque ne diminue que lentement et descend rarement en dessous de 130 pulsations par minute. Dans les 4 cas observés, la fréquence cardiaque s'est ralentie très rapidement au moment des malaises, passant respectivement de 198 à 122, de 172 à 120, de 172 à 92 et de 160 à 104 pulsations par minute.

La baisse tensionnelle survenue dans 4 cas a coïncidé avec un ralentissement du pouls dans 3 cas. Elle a varié de 1 à 3 cm Hg pour la maxima et de 0 à 1 cm Hg pour la minima. Cette baisse de la pression sanguine est un indice d'intolérance et s'accompagne de symptômes subjectifs. Chez tous les sauveteurs supportant bien l'épreuve, la pression artérielle augmente régulièrement durant l'exercice aux hautes températures. Il en a été de même lors de séances ultérieures effectuées cette fois de façon complète par les sauveteurs qui avaient dû les interrompre à la suite de malaises.

Lors des arrêts des exercices pour intolérance, les températures interne et cutanée, quoique élevées, ne dépassent pas sensiblement les niveaux atteints par ces sauveteurs lors d'exercices similaires, ou par d'autres sauveteurs supportant bien l'épreuve. Les troubles observés ne paraissent donc pas pouvoir être mis en rapport avec l'hyperthermie, la sudation s'étant par ailleurs maintenue de façon normale. D'après la classification de Horne et Weiner (55) concernant les troubles causés par la chaleur, ces accidents rentrent dans le cadre de l'épuisement et du collapsus dus aux exercices pratiqués aux hautes températures. Ils sont attribuables à l'effort physique dans un milieu chaud en l'absence d'une carence en sel ou en eau et d'abolition de la sudation. Dans le cas présent, l'influence d'un effort physique important semble prédominante. Pareils accidents ne sont en effet jamais survenus au cours de l'exercice C, qui ne comportait qu'une marche à plat.

L'association de certains symptômes observés (nausées, vomissements, ralentissement du pouls, chute tensionnelle) suggère une hypertonie vagale transitoire. Cette interprétation pathogénique nous a amenés à tenter de prévenir ces accidents par l'administration de vagolytiques. Au cours d'une série ultérieure d'exercices du type B, chaque sauveteur a reçu, 30 à 45 minutes avant l'épreuve, 5 mg de Bromométhylate de l'ester diéthylaminoéthylrique de l'acide phenyl-cycohexylhydroxyacétique (Antrenyl

CIBA). Sur la série de 18 entraînements, nous n'avons constaté aucun phénomène d'intolérance, tous les sauveteurs ayant parfaitement exécuté l'exercice complet. Ces résultats encourageants demanderaient cependant à être confirmés. Nous envisageons de refaire ces contrôles avec des placébos.

Soulignons le fait que des exercices de durée aussi courte ne font pas courir des risques d'accidents par déshydratation (déshydratation exhaustive) semblables à ceux rencontrés dans les déserts.

#### D. Conclusions.

Des fréquences cardiaques individuelles de l'ordre de 200 pulsations par minute, des températures internes atteignant ou dépassant 40° C et les phénomènes d'intolérance observés montrent les précautions à prendre lors d'exercices ou lors d'opérations de sauvetage à des températures très élevées.

Du point de vue psychologique, ces expériences ont l'intérêt de familiariser les sauveteurs avec le risque couru et avec les moyens de le réduire au minimum. Ce risque est surtout lié à l'intensité du travail fourni. Nous n'avons en effet jamais constaté d'accidents par hyperthermie proprement dite. Compte tenu de ce fait, les entraînements permettent aux sauveteurs d'apprécier leurs possibilités physiques et d'adapter leur effort en fonction de la durée d'exposition aux hautes températures. Les résultats recueillis à la fin de l'exercice C, effectué à la température effective de 38,2° C, montrent qu'il serait difficile et dangereux d'allonger considérablement la durée de l'entraînement au-delà d'une heure ou d'augmenter l'effort physique à fournir.

Les données recueillies au cours d'entraînements trouvent un champ d'application pratique lors d'interventions pour accidents miniers par incendie ou explosion. Elles rendent possible une certaine sélection parmi les sauveteurs. C'est ainsi qu'on devrait réserver les missions aux températures les plus hautes aux sujets les plus résistants, dont la fréquence cardiaque et la température interne sont les moins élevées et qui n'ont jamais présenté de phénomènes d'intolérance. Vu que les troubles du rythme cardiaque ne sont apparus dans cette série d'expériences que chez des sujets de plus de 32 ans, il est d'autre part logique de réserver aux sujets les plus jeunes les travaux lourds au cours de ces missions.

De nouvelles recherches ont été entreprises plus récemment en vue de préciser l'influence de ces efforts sur les données hématologiques, ainsi que sur l'excrétion urinaire des mucopolysaccharides.



## II. — TRAVAUX DE LA SECTION TECHNIQUE

### 1. — Lutte contre les poussières.

#### A. Analyse des poussières. Conimétrie.

##### a. Corrélation hand-pump-précipitateur thermique.

La communication de l'Institut d'Hygiène des Mines « Validité des mesures faites à la hand-pump dans les chantiers d'abattage » (56), annoncée l'année dernière dans cette même revue (12), a fait état d'une manière assez détaillée des mesures réalisées dans les tailles du Charbonnage de Houhalen. Nous y avons montré que la détermination des concentrations numériques à partir des mesures faites à la hand-pump est peu précise. En effet, au palier de confiance de 90 % et dans le cas le plus général, la valeur moyenne du pourcentage de lumière transmise de 10 clips de hand-pump, a la signification suivante, comme indiqué d'ailleurs au diagramme de la figure 18 :

75 % HP :  $2.700 \pm 1.450$  part/cm<sup>3</sup> 5 - 0,5  $\mu$

90 % HP :  $1.100 \pm 600$  part/cm<sup>3</sup> 5 - 0,5  $\mu$ .

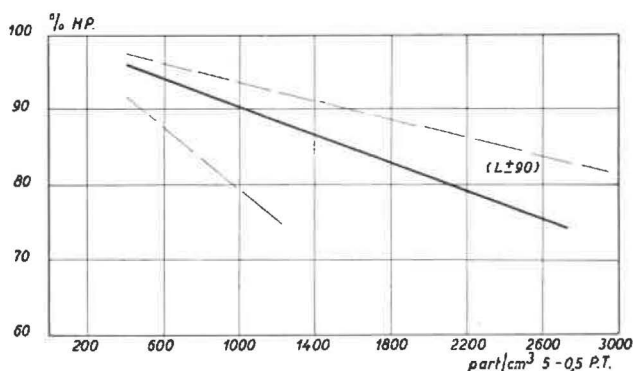


Fig. 18. — Corrélation hand-pump - précipitateur thermique. Chantiers et postes quelconques quelle que soit la méthode d'exploitation.

On peut réduire cette imprécision en tenant compte dans une certaine mesure de la granulométrie des empoussiérages. C'est pourquoi nous avons réparti les résultats trouvés d'après le mode de travail adopté dans le chantier :

- abattage au marteau-piqueur, sans havage, transport par courroie ;
- abattage au marteau-piqueur, après havage, transport par courroie ;
- abattage par rabot, transport par convoyeur blindé (panzer) ;
- abattage au marteau-piqueur, sans havage, transport par panzer ;
- abattage au marteau-piqueur, après havage, transport par panzer.

Pour faire intervenir implicitement la nature de la poussière en fonction de la tâche principale accomplie, nous avons fait en plus les subdivisions postes d'abattage seul, postes d'abattage et abattage-nettoyage, postes de foudroyage-remblayage sans havage et postes de foudroyage-remblayage avec havage.

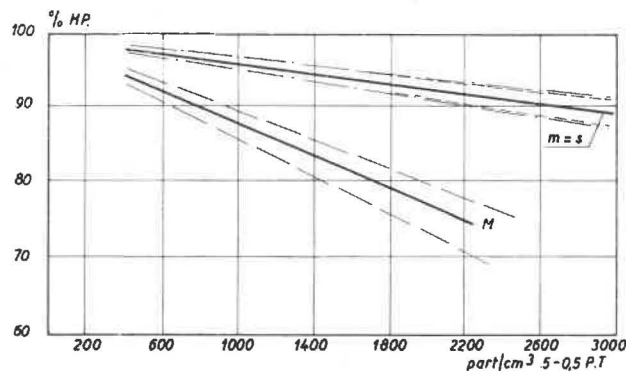


Fig. 19. — Abattage au marteau pic après havage (Chantier K) - Transport par courroie - Foudroyage.

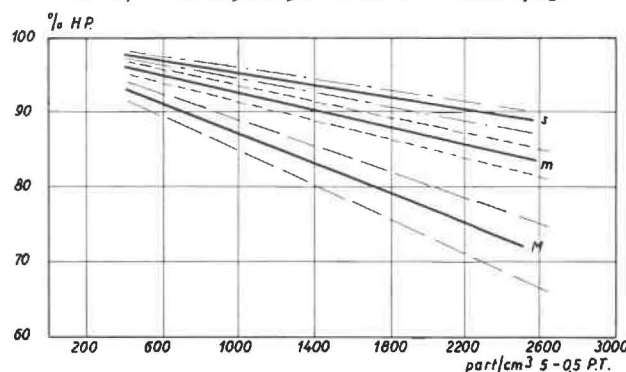


Fig. 20. — Abattage au marteau-pic sans havage (Chantier I) - Transport par convoyeur blindé - Foudroyage.

Les valeurs rassemblées au tableau IX sont donc, au palier de confiance de 90 %, les concentrations les plus probables (en part/cm<sup>3</sup> de 5 à 0,5  $\mu$ ) correspondant au pourcentage moyen de lumière transmise défini par la mesure de 10 clips de hand-pump.

Ce tableau résume, en première approximation, la signification la plus probable qu'on puisse donner aux mesures faites à la hand-pump dans le retour d'air, à la tête des tailles du Bassin de Campine, conformément aux prescriptions belges. Il y a lieu cependant d'ajouter que ces déterminations ne conservent un sens que si la lutte contre les poussières est menée énergiquement le long des voies d'entrée pour que dans l'air arrivant au chantier, le nombre de particules de 1 à 0,5  $\mu$  ne soit déjà pas trop grand vis-à-vis du nombre de particules de 5 à 1  $\mu$ .

Les teneurs ainsi trouvées peuvent à la rigueur être considérées comme étant d'une précision suffisante lors d'un premier examen rapide de l'atmosphère. Mais pour définir le risque pneumoconiotique d'une taille, il s'est avéré nécessaire d'étalon-

**TABEAU IX.**  
Valeurs les plus probables du nombre de particules par cm<sup>3</sup> d'air de 5 à 0,5 μ en fonction du pourcentage moyen de lumière transmise défini par la mesure de 10 clips de hand-pump (au palier de confiance de 90 %).

Méthode d'exploitation	Postes	95 % H.P.	90 % H.P.	85 % H.P.	80 % H.P.	75 % H.P.	Teneur en cendres %
quelconque	quelconque						
	a	550 ± 300	1.100 ± 600	1.630 ± 860	2.180 ± 1.180	2.700 ± 1.450	29,6
	a	400 ± 120	900 ± 250	1.450 ± 380	1.880 ± 500	2.380 ± 620	20,7
	b	420 ± 200	950 ± 350	1.500 ± 500	2.000 ± 650	2.550 ± 850	26,2
	b	440 ± 280	950 ± 500	1.480 ± 740	2.000 ± 1.050	2.700 ± 1.320	28,8
a, c, d b, e	abattage-remblayage et havage	680 ± 520	1.440 ± 960	2.200 ± 1.450	3.000 ± 2.000	3.700 ± 2.450	34,4
	a	440 ± 140	960 ± 300	1.480 ± 480	1.980 ± 650	2.500 ± 850	28,4
	a	380 ± 140	820 ± 260	1.260 ± 380	1.700 ± 500	2.140 ± 620	20,5
	b	470 ± 270	1.040 ± 420	1.600 ± 650	2.150 ± 850	2.700 ± 1.100	25,1
	c	940 ± 460	1.900 ± 850	2.850 ± 1.500	3.800 ± 1.700	4.800 ± 2.200	40,6
		600 ± 220	1.200 ± 440	1.820 ± 620	2.450 ± 800	3.100 ± 950	36,7

ner la hand-pump dans chaque chantier, aux 3 postes et même de recommencer les étalonnages lorsque les conditions de travail changent, soit par modification de la méthode d'exploitation, ou remplacement des engins d'évacuation, soit simplement par application d'autres procédés de lutte contre les poussières. Les figures 19, 20, 21, 22 montrent, à titre d'exemple, la valeur la plus probable (P = 0,10) du nombre de particules de 5 à 0,5 μ correspondant à un pourcentage de lumière transmise déterminé par 10 clips de hand-pump, dans quelques chantiers caractéristiques, aux 3 postes : matin (M), midi (m) et soir (s).

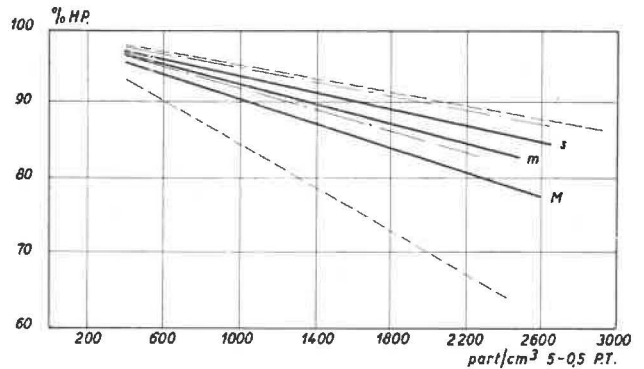


Fig. 21. — Abattage mécanisé par rabot (Chantier Q) - Transport par convoyeur blindé - Foudroyage.

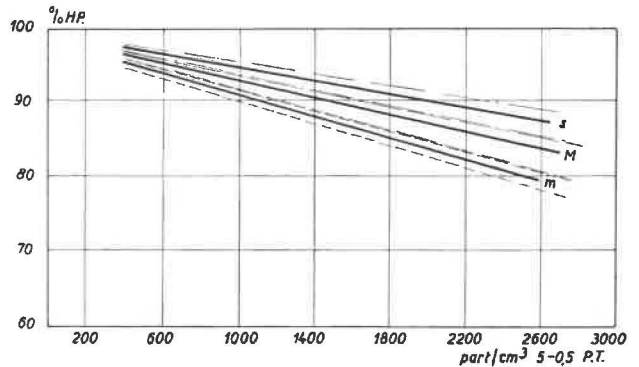


Fig. 22. — Abattage au marteau-pic après havage (Chantier M'') - Transport par convoyeur blindé - Foudroyage.

On constate que, s'il n'est pas toujours possible de tracer une droite nettement différente pour chaque poste, c'est-à-dire telle que les zones définissant de part et d'autre les limites de précision au palier de confiance de 90 % ne se recouvrent pas, il y a néanmoins dans chaque cas une différence entre les droites de régression pour les postes d'abattage et de foudroyage. Ces droites se rapprochent d'autant plus de l'horizontale qu'elles se rapportent à des empoussiérages riches en cendres et en silice.

**b. Corrélation British Konimeter-précipitateur thermique.**

L'étude du British Konimeter, basée sur l'interprétation statistique de nos résultats expérimentaux, est le complément final des observations déjà faites

les années précédentes dans cette publication (12). Les expériences et essais antérieurs ont été rassemblés et complétés en vue de l'examen des points particuliers suivants :

- Reproductibilité intrinsèque des comptages de poussières de charbon et de roche ; choix d'une technique de comptage.
- Comparaison de plusieurs appareils fonctionnant simultanément ; reproductibilité brute et écarts de comportement non prévisibles.
- Etude de l'optique du microscope incorporé à l'appareil et détermination du pouvoir de résolution pratique.
- Rendement des conimètres par rapport au précipitateur thermique.

La publication du résultat de ces investigations est prévue pour le début de l'année 1959. Nous sommes cependant à même de faire part ici des principales conclusions auxquelles nous sommes arrivés.

Un appareil donné fournit fréquemment des spots décentrés par rapport à l'axe du microscope incorporé, ce qui conduit à une notable dispersion des résultats. Si l'on adopte une méthode de comptage indépendante de l'excentricité de la plaque, on trouve que les mesures sont indépendantes de la nature des poussières déposées et conduisent à une incertitude de  $\pm 25\%$  (seuil de confiance 0,95) entre 600 et 850 particules/cm<sup>3</sup>, concentrations calculées en supposant les dénombrements représentatifs du nuage étudié.

Plusieurs appareils apparemment en ordre de marche apportent une dispersion considérable. C'est ainsi que, dans nos conditions expérimentales, la moyenne de 3 appareils donne une incertitude de  $\pm 24\%$  alors que le même nombre de manipulations avec un seul appareil n'aurait conduit qu'à un écart de  $\pm 4,5\%$ . Cependant, rien ne permet de décider a priori du bon état d'un appareil.

Si l'on examine un même spot, soit au moyen de notre technique de comptage adoptée pour le précipitateur thermique, soit à l'aide du microscope incorporé, le rapport des valeurs obtenues a varié de 2 à 4 dans nos conditions expérimentales. Le pouvoir de résolution de l'optique normale, qui ne peut descendre en dessous de 1  $\mu$  pour des raisons de construction, peut atteindre 2  $\mu$  en pratique. Cette valeur dépend de la granulométrie et de la concentration du nuage, car elle est due à la formation de pseudo-grosses poussières.

La comparaison des résultats obtenus par comptage normal du conimètre avec des prélèvements au précipitateur thermique dans des empoussiérages habituels, montre que le rendement du conimètre baisse rapidement de 70 à 20 % entre 1.000 et 9.000 particules de 5 - 0,5  $\mu$ /cm<sup>3</sup>.

Enfin, si l'on compare les dépôts des deux appareils examinés suivant la même méthode, on consta-

te que les dépôts du conimètre comportent moins de particules supérieures à 3  $\mu$ , un excès de poussières entre 3 et 0,5  $\mu$  et une perte en dessous de 0,5  $\mu$ . Il y a donc fabrication de poussières moyennes aux dépens des grosses, tandis qu'une partie des très fines particules échappe.

Finalement, lorsqu'on opère comme l'exigent les prescriptions de notre règlement, on doit admettre que la moyenne de 8 spots, prélevés dans un empoussiérage constant, est définie à  $\pm 16,7\%$  pour une concentration de l'ordre de 700 particules/cm<sup>3</sup>, abstraction faite du rendement de dépôt. Ceci revient à dire que, en utilisant l'appareil considéré suivant les règles en usage, au palier de confiance de 95 %, un chantier peut être classé bon ou mauvais selon le hasard.

#### c. Prélèvements de poussières sur une longue période dans un charbonnage témoin.

Les buts de cette recherche et les moyens mis en œuvre ont été décrits plusieurs fois dans des publications antérieures (12) (56). Nous avons indiqué également pourquoi nous avons adopté comme appareils de routine les instruments de prélèvements recommandés par notre Code des Mines et pourquoi par après nous en avons abandonné l'emploi.

Pour pouvoir transcrire sur les cartes mécanographiques d'anamnèse professionnelle les résultats des mesures d'empoussiérage faites toutes les quinzaines par les mesureurs du charbonnage, nous avons poursuivi notre travail d'étalonnage des hand-pumps pendant les 4 premiers mois de l'année (4 nouveaux chantiers contrôlés aux 3 postes). Par la suite dans tous les chantiers, y compris ceux des travaux préparatoires, 1.850 prélèvements de poussières ont été effectués au précipitateur thermique (950 en tailles et 900 en bouvaux). Tous ces prélèvements ont été examinés entre les limites 5-0,5  $\mu$ , certains d'entre eux ont été comptés en granulométrie détaillée. Parmi ces prises d'échantillons, 900 ont été soumises à l'examen minéralogique suivant la technique de coloration par immersion sur fond sombre et en contraste de phase. Tous ces résultats sont encore à classer en vue de l'étude des empoussiérages par phases de travail, aussi bien en tailles que dans les bouvaux, c'est-à-dire en faisant la répartition des résultats d'après la tâche principale accomplie: abat-tage, nettoyage, foudroyage, forage, minage, clavautage, etc...

Entretiens, nous avons terminé la transcription en clair sur les cartes mécanographiques individuelles des valeurs définissant l'empoussiérage qualitatif et quantitatif subi (quinzaine par quinzaine) par les ouvriers du fond durant l'année 1957. Ces valeurs ont été corrigées en fonction des étalonnages mentionnés ci-dessus. Nous avons ainsi comme base de travail pour nos recherches futures, l'empoussiérage moyen de l'air respiré en 1957 par 2.665



ouvriers du fond de diverses catégories : abatteurs, apprentis, pelleteurs, haveurs, moniteurs, surveillants, chargeurs, remblayeurs, foudroyeurs...

#### d. Dosage de la silice libre dans les poussières.

La détermination par voie chimique de la silice libre, habituellement sous forme de quartz dans les poussières de mines, a fait l'objet de nombreux travaux. Nous avons ainsi pu examiner et discuter 22 variantes relatives à 8 méthodes différentes (57). Le principe d'attaque par l'acide pyrophosphorique, proposé en premier lieu par Hirsch et Dawihl, est le plus simple et paraît riche de possibilités. Cependant, malgré l'intérêt présenté par plusieurs d'entre elles, aucune des techniques examinées ne nous a paru suffisamment adaptée au problème qui nous intéresse. Nous avons donc mis au point un mode opératoire réunissant les qualités suivantes : adaptation certaine à l'étude des grains fins, possibilités d'incinération préalable des échantillons charbonneux, prises d'essai inférieures à 50 mg, simplicité et rapidité du mode opératoire, efficacité de l'attaque vis-à-vis de nombreux composés, perte en quartz raisonnable, précision satisfaisante.

L'ensemble de ces recherches fera l'objet d'une Communication détaillée.

L'appareillage est simple et peu coûteux. Il comprend d'une part une plaque chauffante électrique de modèle courant, surmontée d'un bloc d'aluminium perforé dans les ouvertures duquel on peut introduire les creusets contenant les poudres à analyser. D'autre part, nous employons un petit four cylindrique contenant un bloc d'aluminium analogue au précédent, mais muni d'un couvercle. On peut effectuer deux essais simultanément.

Le dosage proprement dit peut se résumer comme suit : les prises d'essai, traitées 30 minutes à 700° C, sont versées à la surface de 10 cm<sup>3</sup> d'acide pyrophosphorique contenu dans un creuset. Le tout est porté sur notre plaque chauffante de façon à atteindre 275° C en 5 minutes, après quoi on transfère le creuset dans le four où il reste 10 minutes à la température constante de 275° C. On refroidit ensuite, dilue, filtre et lave selon un programme standardisé. Après incinération, le poids du résidu est rapporté à celui de la quantité de départ. On peut vérifier la pureté du résidu au moyen d'une évaporation sulfurico-fluorhydrique.

Le mode opératoire adopté convient à des prises d'essais de 10-50 mg de matières minérales et permet d'analyser 8 échantillons par jour et par opérateur. Son efficacité a été testée vis-à-vis d'une trentaine de minéraux choisis pour leur structure cristallographique ou leur intérêt pétrographique, ces substances témoins étant réduites en grains inférieurs à 5 microns.

Quelques auteurs dont Durkan, Talvitie et Shaw ont également étudié leur propre méthode. Compa-

rée à ces résultats, notre technique a l'avantage d'attaquer parfaitement les feldspaths, la séricite et le talc. De plus, la dissolution de certains minéraux lourds, tels que sphène, topaze et tourmaline, est améliorée ainsi que celle des silicates anhydres du type andalousite.

La perte en quartz inhérente à tout mode opératoire basé sur une attaque chimique est dans le cas présent proportionnelle à la quantité de quartz présente. Elle est de l'ordre de 15 % pour de nombreux échantillons récoltés sur filtre de Soxhlet. Ce phénomène de dissolution relativement faible vis-à-vis de certains autres procédés, sera précisé lors de recherches ultérieures. L'erreur relative totale sur les résultats est de 10 à 20 % dans la plupart des cas.

Le mode opératoire mis au point est particulièrement bien adapté à l'analyse de faibles quantités de poussières atmosphériques de nature charbonneuse (100 mg). Toutefois, il permet également d'étudier d'autres poussières, ainsi que leurs roches-mères, à condition de pulvériser convenablement ces dernières avant l'analyse.

#### e. Valeur des examens microscopiques.

Les poussières captées sur porte-objets en verre ou sur membranes rendues transparentes, sont comptées au moyen d'un microscope, complété ou non d'un microprojecteur. La numération des particules se fait en les dénombrant sur plusieurs champs et en les comparant à des repères de dimensions connues. Le problème capital est le choix des microscope, condenseur, objectifs et oculaires. Il n'existe pas de matériel standardisé, chacun, dans chaque pays, ayant commencé plus ou moins tôt avec l'appareillage dont il disposait et ne désirant pas changer, le plus souvent sous le prétexte d'obtenir des valeurs comparables aux anciennes déterminations. C'est ici qu'apparaît le danger de vouloir comparer des réglementations qui ne précisent pas la façon de dénombrer les particules sous le microscope. En effet, à partir du même prélèvement, les résultats des numérations peuvent comprendre toute une gamme de valeurs dont les extrêmes seront peut-être dans le rapport de 1 à 20, voire 1 à 30, suivant le microscope employé, le grossissement réalisé, avec objectif à immersion ou objectif sec ou suivant la technique microscopique adoptée, que ce soit fond clair, fond noir ou contraste de phase.

Fait plus grave encore, l'appréciation des dimensions est une question d'école. Certains considèrent comme une grosse particule un amas de plusieurs petites qui se touchent (agglomérats) ; d'autres essaient au contraire de les dénombrer toutes dans la mesure du possible en dissociant les agrégats au moment du comptage. Considérer pour une particule plus grande que 5  $\mu$  ce qui en fait est composé de 3 ou 4 particules plus petites, amène parfois des écarts de l'ordre de 20 ... 30 % du nombre de par-

ticules inférieures à  $5 \mu$  comptées sur un même prélèvement tel que nous les effectuons dans nos mines au moyen du précipitateur thermique.

*Le résultat d'un comptage microscopique n'a donc de valeur que dans la mesure où l'on a précisé le mode d'examen.*

$\alpha$ . Pour illustrer ces considérations, nous donnons au tableau X quelques valeurs des concentrations trouvées (sans prévention) dans des travers-bancs en creusement. Les poussières ont été prélevées au précipitateur thermique et examinées au micropro-

nométrie et de la densité de dépôt sur la plaque de prélèvement.

Les courbes granulométriques des figures 23 et 24 relatives au premier exemple repris au tableau X, montrent que, si le pouvoir de résolution est de l'ordre de  $0,2 \mu$  pour l'objectif donnant un grossissement  $1.000 \times$ , il est pratiquement au mieux  $0,7 \dots 0,8 \mu$  pour le grossissement  $500 \times$  et  $2,2 \dots 2,3 \mu$  pour le grossissement  $200 \times$ , dans le cas particulier de la densité de dépôt de ce prélèvement. Elles montrent, d'autre part, que le diamètre médian des particules est  $0,7 - 1,2 - 2,4 \mu$  suivant que le grossissement est  $1.000 \times$ ,  $500 \times$  ou  $200 \times$ .

TABLEAU X.

Comparaison des résultats de comptages effectués aux grossissements  $1.000 \times$ ,  $500 \times$  et  $200 \times$ .

Opération	Nombre de particules par $\text{cm}^3$ d'air (agrégats dissociés au comptage)				Rapport des concentrations	
	$1.000 \times$ $< 5 \mu$ (1)	$1.000 \times$ $5 - 0,5 \mu$ (2)	$500 \times$ $< 5 \mu$ (3)	$200 \times$ $< 5 \mu$ (4)	(2) — (3)	(2) — (4)
Tir des mines	28.840	17.720	10.800	3.460	1,64	5,12
	21.500	12.150	9.890	3.160	1,23	3,84
	25.100	8.320	5.975	2.710	1,39	3,07
	24.900	15.000	12.120	5.040	1,24	2,98
	23.830	12.520	8.000	1.630	1,56	7,69
	25.000	17.480	12.900	5.540	1,35	3,15
Forage	27.040	14.210	9.120	1.760	1,58	8,07
	31.500	12.750	11.000	1.545	1,16	8,25
	22.460	10.870	5.790	1.130	1,87	9,62
Chargement des produits	14.400	6.000	4.300	770	1,39	7,79
	23.200	12.150	6.740	1.040	1,80	11,69
	26.620	13.720	9.780	1.885	1,40	7,27

jecteur sur fond clair, au grossissement  $1.000 \times$ ,  $500 \times$ ,  $200 \times$  en utilisant la même lumière, le même oculaire et des objectifs de très bonne qualité, d'ouverture numérique  $1,3 - 0,85 - 0,50$ .

Il importe de remarquer que l'objectif utilisé pour le grossissement  $200 \times$  a une ouverture numérique nettement meilleure que celle des objectifs courants employés pour des grossissements de cet ordre de grandeur. Un objectif ordinaire (O.N.  $0,25 \dots 0,30$ ) aurait conduit à des valeurs plus petites encore.

On constate qu'en utilisant des grossissements qui sont dans le rapport de 1 à 5, les valeurs trouvées peuvent être dans le rapport de 1 à 20 lorsqu'on compte les particules inférieures à  $5 \mu$  sans préciser la limite inférieure.

Par ailleurs, il n'est pas possible de rechercher un coefficient de correction pour passer d'une valeur à l'autre, car ce facteur est fonction de la gra-

$\beta$ . Si l'on se fixe une limite inférieure de dénombrement, par exemple  $0,5 \mu$ , on trouve que le rapport entre le nombre de particules de  $5$  à  $0,5 \mu$  au grossissement  $1.000 \times$  et le nombre de particules  $< 5 \mu$  au grossissement  $500 \times$ , est assez constant, de l'ordre de  $1,4 \dots 1,5$ . Pour un grossissement plus faible, par contre, ce rapport peut varier de 3 à 11, dépendant presque exclusivement de la granulométrie du nuage poussiéreux (qui est précisément l'inconnue recherchée).

$\gamma$ . Nous avons signalé que certains organismes de contrôle considèrent systématiquement les agrégats comme une seule particule et que cette façon de procéder conduit à des écarts de l'ordre de  $20 \dots 30\%$  du nombre de particules dénombrées inférieures à  $5 \mu$ , pour des prélèvements qui n'excèdent pas  $40 \dots 50 \text{ cm}^3$  d'air aspirés (en moyenne  $20 \dots 25 \text{ cm}^3$ ). Mais si on aspire (au précipitateur thermique)  $200$



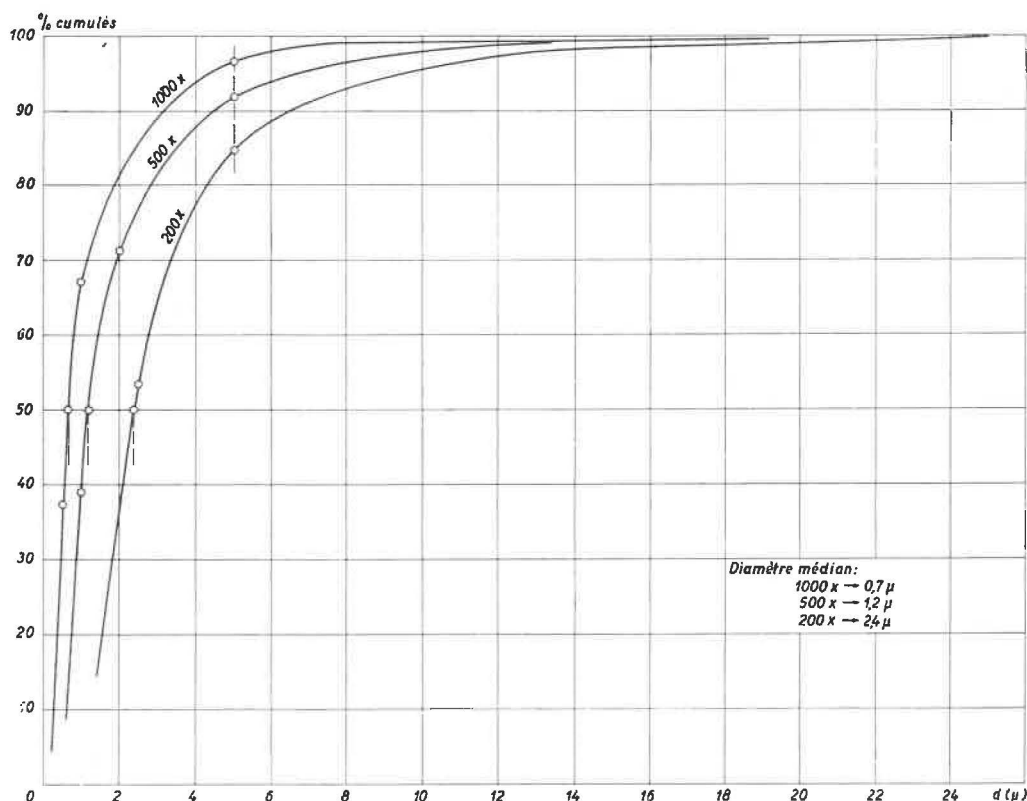


Fig. 23. — Courbes granulométriques cumulatives en % suivant le grossissement utilisé (pourcentages calculés par rapport au total dénombré pour chaque cas).

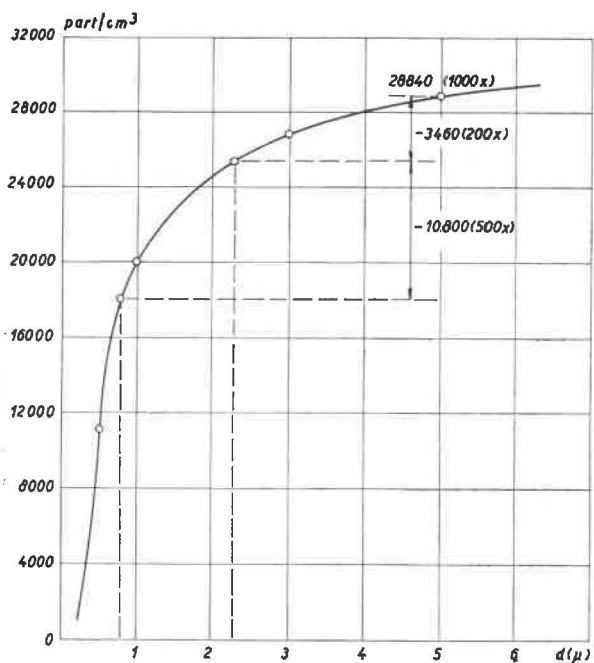


Fig. 24. — Pouvoir de résolution pratique suivant le grossissement utilisé.

... à 400 cm<sup>3</sup> par prélèvement, il y a formation de pseudo-grosses particules sur la plaque et si en plus, on assimile les agglomérats à une particule, le résultat du comptage donne une concentration en particules < 5 μ d'autant plus faible que la quantité d'air prélevé est plus grande. En agissant de la

sorte, on trouve, par rapport à notre façon habituelle de procéder, 2 à 3 fois moins de particules de 5 à 1 μ dans le retour d'air des tailles pendant l'abatage et jusque 5 fois moins de particules de 5 à 0,5 μ dans le retour d'air des boueux en creusement, pendant le forage et le chargement des déblais.

En résumé, l'application des « critères de nocivité des empoussiérages » ne peut se faire qu'avec une extrême prudence. Une concentration « limite » de 500 particules inférieures à 5 μ, par exemple, basée sur des numérations faites au grossissement 200 ×, signifie pour nous au grossissement 1.000 × une teneur de 4 à 5.000 particules de 5 à 0,5 μ (pendant le forage).

D'autre part, cette même valeur arbitraire « 500 » déterminée lors de l'examen de prélèvements de longue durée (et par conséquent à forte densité de dépôt) en tenant compte de la présence des agrégats peut représenter pour nous une concentration de l'ordre de 2.500 particules de 5 à 0,5 μ mesurée au même grossissement, mais à partir de prélèvements à plus faible densité de dépôt.

Nos investigations dans ce domaine se poursuivent et feront l'objet d'une prochaine publication.

f. Etude pétrographique des roches du Houiller.

On sait que, pour étudier la composition et la formation des roches, on procède au sciage d'une tranche représentative qu'on use et colle ensuite



entre deux lames de verre. L'étude de telles lames minces d'une épaisseur de l'ordre de quelques dizaines de microns, se fait ensuite au microscope polarisant. Tant que les pierres à usiner sont cohérentes et suffisamment résistantes à l'action de l'eau, l'obtention des préparations microscopiques ne requiert qu'une certaine adresse et de l'entraînement. Il n'en est plus de même lorsqu'on doit travailler des roches friables, telles que les schistes qui gonflent et éclatent en miettes pendant les manipulations. Comme ces roches sont largement représentées dans le Houiller, nous avons mis au point une technique simple, rapide et peu coûteuse consistant à enrober et à imprégner les échantillons au moyen d'une résine acrylique vendue sous le nom de « Solucryl ».

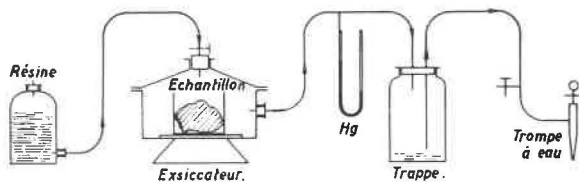


Fig. 25. — Dispositif pour imprégnation des roches.

La figure 25 représente schématiquement le dispositif employé. Le bloc de pierre à consolider est placé dans un récipient et enfermé dans un exsiccateur à vide. Après y avoir réalisé une dépression de l'ordre de 20 mm Hg pendant 1/2 heure à l'aide d'une trompe à eau, on ouvre le robinet de communication avec la réserve de résine, de manière à submerger l'échantillon. On rétablit alors la pression et, après une nouvelle demi-heure, les blocs sont retirés et mis à égoutter. Après 24 heures de séchage à l'air, on termine par un séjour de 24 heures à l'étuve portée à 60° C. A partir d'un mélange Solucryl-xyloïl en volumes égaux, on obtient un film hydrophobe lisse et souple sans le concours d'autres réactifs. Les échantillons ainsi préparés se laissent convenablement débiter à la scie sous jet d'eau. Un nouveau traitement appliqué aux tranches obtenues permet de préparer les lames minces désirées.

## B. Lutte contre les poussières dans les chantiers. Matériel et procédés divers.

### a. Efficacité de la pulvérisation d'eau pendant les opérations de tir en boueaux.

Cinq nouvelles séries d'essais d'élimination de poussières de tir ont été faites dans un travers-bancs en creusement au Charbonnage de Houthalen. Le procédé utilisé consiste à créer à proximité du front d'abattage une zone de brouillard suivie d'une zone de pluie. Le boueau, claveauté au diamètre intérieur de 4,80 m, est ventilé par canars soufflants dé-

bitant 2,3 ... 2,4 m<sup>3</sup>/s. Les minages habituels comportent la mise à feu de 450 à 475 cartouches de dynamite réparties dans 80 fourneaux de mine en moyenne. Les plus fortes teneurs en poussières, sans prévention (de 100 à 120.000 part/cm<sup>3</sup> > 0,2 μ), apparaissent à 150 ... 175 m des fronts, environ 15 minutes après le tir.

Les contrôles auxquels nous avons procédé ont consisté à prélever les poussières avant le tir, au moment du tir, puis à intervalles réguliers pendant 40 minutes au moins, en effectuant des prises répétées d'échantillons, de manière à pouvoir tracer des courbes de variation des empoussiérages en fonction du temps.

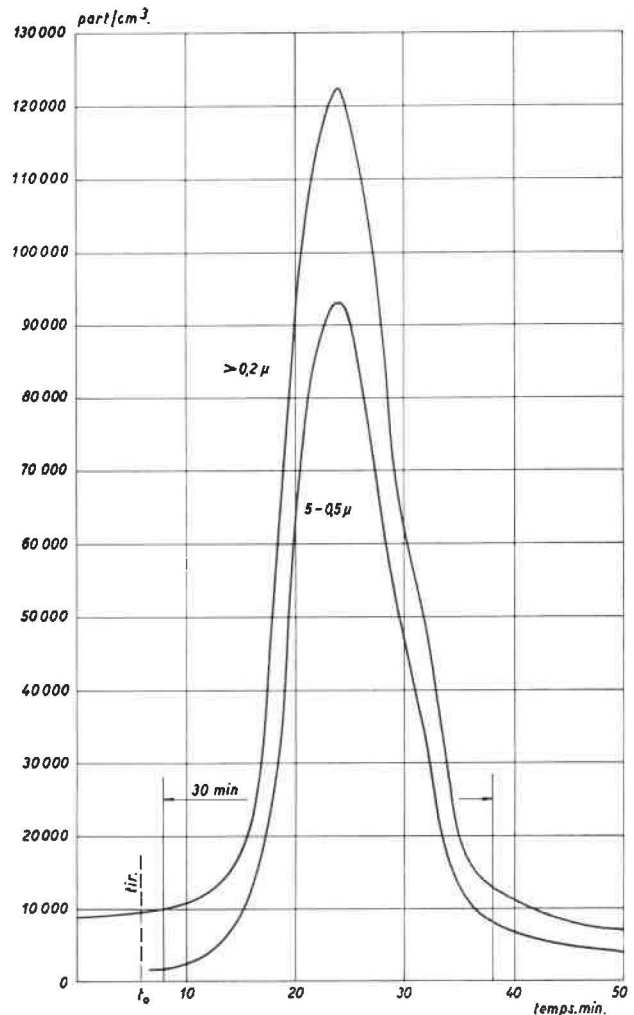


Fig. 26. — Evolution de l'empoussiérage lors d'un tir à sec.

Les diagrammes des figures 26 et 27 reproduisent de telles courbes ; ils permettent de comparer les concentrations moyennes trouvées avec ou sans prévention (valeurs obtenues par intégration graphique de la courbe de variation). La plus forte réduction de l'empoussiérage, 55 % des particules de 5 à 0,5 μ,

a été atteinte en disposant les pulvérisateurs de la manière suivante :

- 1 pulvérisateur mixte Hüser und Weber, placé dans le dernier canar à 1 m de son extrémité (laquelle se situait à 10 m des fronts) ;
- une rampe de 5 pulvérisateurs mixtes Lechler ED radiaux à 32 m des fronts, suivie d'une 2<sup>e</sup> rampe de 4 pulvérisateurs identiques, située 12 m en arrière ;
- enfin une rampe d'arroseurs comprenant 1 pulvérisateur Lechler BF 162 et 4 appareils Lechler KS 12, à 9 m plus en arrière encore.

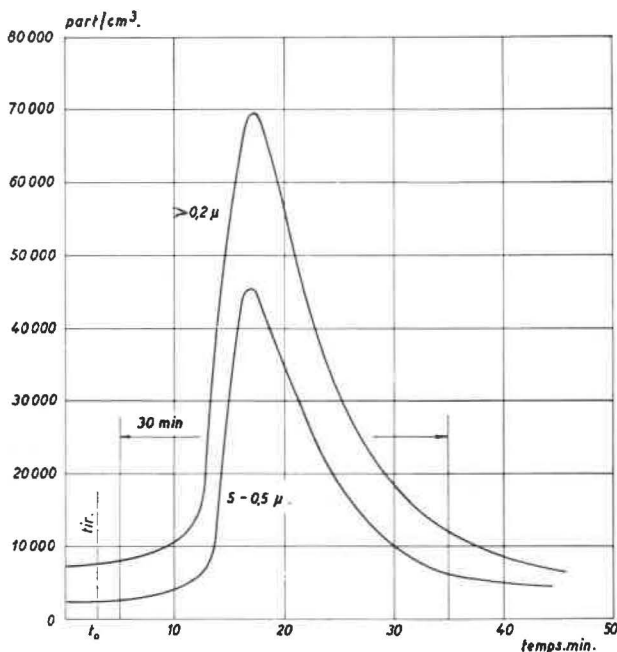


Fig. 27. — Evolution de l'empoussièrement lors d'un tir derrière écran d'eau.

La consommation globale d'eau s'est élevée à 140 litres/minute pour la formation de brouillard et 35 litres/minute pour la réalisation de l'écran d'arrosage, ce qui malheureusement réduit fortement le champ d'application du procédé dans les boueux non claveautés, où le risque de « soufflage du mur » est toujours à craindre en terrains schisteux.

b. Efficacité du pulvérisateur « Stromboliseur Coanda Alsetex ».

Le principal obstacle à la généralisation de la pulvérisation est la consommation d'eau souvent jugée excessive avec des appareils de type ordinaire cependant bien étudiés comme ceux dont nous venons de faire mention au paragraphe précédent.

Il semble qu'avec un pulvérisateur, d'une toute autre conception, le Stromboliseur Coanda Alsetex (fig. 28), on puisse tourner cette difficulté. En effet, 4 essais successifs d'un stromboliseur ont donné en moyenne les résultats suivants.

Dans un courant d'air poussiéreux de débit 1,5 m³/s et de vitesse 0,5 m/s, contenant en moyenne près de 40.000 particules par cm³ > 0,2 µ, le taux d'élimination a été :

- 60 % pour les particules > 5 µ,
- 59 % pour les particules de 5 à 3 µ,
- 49 % pour les particules de 3 à 1 µ,
- 49 % pour les particules de 1 à 0,5 µ,
- 46 % pour les particules de 0,5 à 0,2 µ.

soit une réduction de 50 % de particules de 5 à 0,5 µ pour une consommation d'eau de 1,3 litre/heure et un débit d'air comprimé de 15 m³/h (20° C, 760 mm Hg).

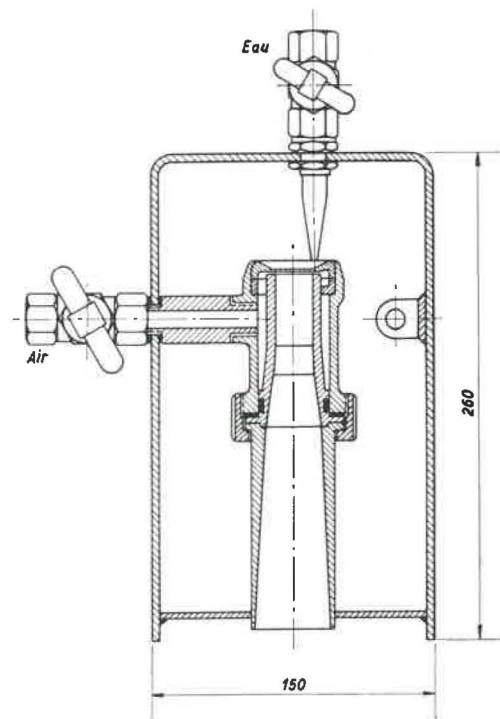


Fig. 28. — Stromboliseur (Licence Sferi-Coanda).

c. Etude de nouveaux produits tensio-actifs.

Faisant écho au rapport de la section « Mines et Minerais » du Premier Congrès Mondial de la Détérgence et des Produits tensio-actifs (Paris, 1954), l'Institut d'Hygiène des Mines avait mis au point (58) une série de tests dont le but était d'évaluer les propriétés des mouillants du point de vue de leur utilisation dans la lutte contre les poussières. Ces épreuves constituaient notre norme A.M. 133 relative à des concentrations de 0,1 % en matières actives. Dans nos conditions standardisées, ces solutions devaient posséder les propriétés suivantes :

- une tension superficielle ≤ 35 dynes/cm
- une vitesse d'immersion de poussières charbonneuses ≥ 3 mg/s
- une vitesse d'immersion de poussières schisto-gréseuses ≥ 12 mg/s
- un pouvoir moussant ≤ 45 cm³.

Depuis l'établissement de ce critère, nous avons eu l'occasion d'étudier dix nouveaux produits dont les propriétés sont rassemblées au tableau XI.

L'examen des résultats montre que deux produits sont à retenir, à savoir : l'Antarox CO-530 et le Nonidet. Ils sont fabriqués respectivement par la « General Aniline and Films Corporation », New York (U.S.A.) et par la Société Shell (Grande-Bretagne). Les représentants de ces firmes en Belgique sont dans l'ordre : la Compagnie pour l'importation de Produits Américains (C.E.P.E.A.) - 41-43, rue Ed. Tollenare, Bruxelles 2, et la Belgian Shell Company, 47 Cantersteen, à Bruxelles. Les deux produits retenus sont non ioniques et formés de condensats d'alkylphénol et d'oxyde d'éthylène ; ils doivent être ajoutés aux 9 produits anciennement sélectionnés (59).

TABLEAU XI.

Propriétés des nouveaux tensio-actifs étudiés.

Nom du produit	Tension superficielle dynes/cm	Vitesse d'immersion mg/s		Pouvoir moussant cm <sup>3</sup>
		V charbon	V roche	
Antarox CO-530	30,8	6,4	12,0	4,0
CO-630	32,2	7,9	11,0	45,5
CO-880	43,6	—	—	37,5
Detergex *	38,9	—	—	40,5
Huile de coupe	53,7	—	—	10,0
Nonidet	31,4	10,9	14,1	37,0
Pril	33,5	1,3	11,3	132
Réonal	36,0	—	6,5	124
Teepol 414	34,0	—	3,2	133
Tego *	34,8	—	—	12,5

\* Teneur des solutions : 0,1 % en produit commercial.  
— Mouillage incomplet.

#### d. Contrôles particuliers de chantiers.

Les très nombreux contrôles de l'empoussièrement effectués dans les chantiers d'abattage (plus de 1.000 prélèvements dépouillés), nous ont permis de constater qu'il existe une humidité « idéale » du charbon, hélas assez élevée, pour laquelle le problème des poussières en taille ne se pose plus.

Nous avons en effet prélevé des échantillons de charbon en place, ainsi que les poussières aériennes au pied et en tête d'un chantier de 200 m de longueur, produisant 400 tonnes au premier poste et 300 tonnes au second poste, dans une couche de 1,35 m à 1,45 m d'ouverture, en contact avec les morts-terrains.

Le charbon prélevé sur toute l'épaisseur de la couche, en un endroit où la havée est terminée, a une teneur en humidité de 3,75 %. Un bloc de houille de 400 g environ, pris à mi-tranche, après enlèvement d'une épaisseur de charbon de 1 m en-

viron, donne 2,86 % d'eau. Le charbon prélevé sur toute l'épaisseur de la couche, au droit d'un suintement d'eau dans le mur, a une humidité de 4,38 %. Enfin, l'examen du charbon échantillonné le long de clivages, havée finie, révèle 7,1 % d'eau.

Les résultats du comptage des plaques de précipitateur thermique ne montrent pas de différence entre les empoussierages globaux mesurés en tête de taille et au pied de taille. Les courbes granulométriques sont d'ailleurs presque superposables comme le montre le tableau XII et l'écart entre les diamètres moyens des particules est insignifiant.

TABLEAU XII.

	Pourcentage de particules inférieures à					Diamètre moyen des particules < 5 μ
	0,5 μ	1 μ	3 μ	5 μ	10 μ	
Tête	78,5	94,5	98,6	99,5	100	0,51 μ
Pied	78,5	96,9	99,3	99,8	100	0,48 μ

On peut donc admettre que les poussières prélevées en tête de taille proviennent presque exclusivement de la voie d'entrée d'air lorsque l'humidité du charbon varie grosso modo de 3 à 7 % du « cœur du massif » aux gros clivages.

## 2. — Ventilation. — Climat.

### A. Résolution de problèmes de ventilation par analogie électrique.

a. Au cours de l'année écoulée, un problème de ventilation a été résolu dans notre Institut par la méthode de l'analogie électrique. Il s'agissait d'étudier la répartition de l'air dans un envoi de schéma compliqué et en particulier d'accroître le débit d'air dans un branchement diagonal servant de remise à des locomotives Diesel. L'étude de ce problème par les moyens « classiques » était rendue pratiquement impossible par suite de la complication du schéma et aussi parce que l'envoi en question était relié, non seulement à chacun des puits, mais encore à l'aspiration du ventilateur principal installé au fond. L'étude par analogie électrique n'a présenté aucune difficulté particulière.

D'autres problèmes de ventilation ont été résolus en dehors de notre Institut sur le tableau d'analogie électrique qui a été mis en service au début de 1958 au Charbonnage de Monceau-Fontaine. Ce nouveau tableau, construit suivant les conceptions et les directives de notre Service Technique, présente certaines particularités qui le rendent plus rapide



que notre premier tableau. Ces particularités ont été exposées en détail dans deux publications (60) (61). Dans celles-ci, nous avons comparé différentes méthodes de résolution des problèmes de ventilation et discuté certains points de théorie de la ventilation minière qui, pensons-nous, n'avaient pas été antérieurement étudiés de manière approfondie.

b. Nous reprendrons ci-après certaines conclusions de cette étude. Considérons le schéma général d'aéragé d'une mine. Remplaçons-y chaque branchement (y compris le ventilateur éventuellement présent) par un élément électrique équivalent, c'est-à-dire un ensemble de résistances et de sources de tension tel que la courbe représentant la tension aux bornes U en fonction du courant débité I soit semblable à la courbe caractéristique  $H = f(Q)$  du branchement correspondant. Il est évident que, dans ces conditions, la répartition des courants et des potentiels dans le réseau électrique sera semblable à celle des débits Q et des pressions H (corrigées au préalable pour les variations d'altitude).

La difficulté essentielle de la représentation analogique est due à ce que la caractéristique

$$H = f(Q)$$

n'est pas linéaire; compte tenu de ce que la chute de pression provoquée par les frottements et autres pertes de l'écoulement change de sens en même temps que le débit, la relation  $H = f(Q)$  devra s'écrire pour un branchement sans ventilateur

$$H = -KQ |Q| \tag{a}$$

et pour un branchement avec ventilateur

$$H = -K |Q| Q - LQ + V \tag{b}$$

Si l'on transpose ces relations électriquement en tenant compte de la loi d'Ohm  $U = RI$  et des échelles

$$\begin{aligned} 1 \text{ m}^3/\text{s} &\equiv a \text{ mA} \\ 1 \text{ mm H}_2\text{O} &\equiv b \text{ mV} \end{aligned}$$

on obtient

$$U = -k I |I| - R'I \tag{c}$$

avec 
$$k = \frac{R}{|I|} = \frac{b}{a^2} K \text{ ohm/mA} \tag{d}$$

$$R' = \frac{b}{a} L \text{ ohm} \tag{e}$$

$$E = b V \text{ volts} \tag{f}$$

Comme on le voit, un élément électrique ne peut représenter un branchement sans ventilateur que si sa résistance est ajustée de façon que le rapport

$\frac{R}{|I|}$  soit proportionnel à la résistance aérodynamique

que  $K = \frac{|H|}{Q^2}$  de ce branchement. Nous avons déjà décrit dans la présente revue (12) le dispositif de

mesure prévu sur le nouveau tableau d'analogie électrique en vue d'ajuster un par un les éléments du réseau électrique de façon que la condition (d) soit satisfaite pour chacun d'eux.

Dans les branchements comportant des ventilateurs, on devra insérer en outre la source de tension E et la résistance fixe R', de valeurs déterminées par (e) et (f); les coefficients K et éventuellement L et V, qui figurent dans les relations (d), (e), (f) sont les données du problème. Une fois les relations (d) satisfaites, la répartition des tensions et des courants dans le réseau électrique sera homologue à celle des pressions (ramenées au même niveau) et des débits dans le réseau de ventilation de même configuration et de coefficients K, L, V donnés.

En pratique, l'analogie entre l'écoulement de l'air dans la mine et celui du courant électrique dans un réseau de même structure n'est pas aussi complète que nous venons de le dire.

La condition de conservation des débits n'est pas parfaitement remplie dans la mine: 1 m<sup>3</sup> d'air pénétrant à l'orifice du puits d'entrée d'air subit des modifications de volume sous l'action des variations de pression barométrique et de température au cours de son périple souterrain; il entraîne avec lui la vapeur d'eau formée par évaporation superficielle des nappes liquides, l'air comprimé s'échappant des engins et des fuites des tuyaux, les gaz dégagés par les terrains. ... Par contre, le réseau électrique obéit rigoureusement à la loi de conservation des courants aux nœuds et entre les nœuds. Pour tourner cette difficulté, on pourrait, en différents points du réseau analogique, soutirer ou injecter des courants calculés de façon à tenir compte au mieux des variations de débit dues tant à la compressibilité qu'aux apports d'air comprimé, de vapeur d'eau et de grisou. Cette solution alourdirait la représentation analogique, mais on peut éviter cette complication en adoptant une échelle variable pour la représentation des débits par les courants électriques.

D'une façon plus précise, supposons qu'en un point donné de la mine le poids spécifique de l'air de ventilation soit  $\delta$  et que cet air comporte, outre 1 kg d'air sec provenant de la surface, x kg de vapeur d'eau, y kg d'air comprimé détendu et t kg de grisou qui ont été entraînés avec l'air de ventilation entre l'orifice du puits d'entrée et le point considéré. Si en ce point, le même poids d'air sec venant du jour avait amené avec lui x<sub>0</sub> kg de vapeur d'eau, y<sub>0</sub> kg d'air comprimé, t<sub>0</sub> kg de grisou et si le poids spécifique du mélange avait été  $\delta_0$  kg/m<sup>3</sup>, le débit de ventilation aurait été Q<sub>0</sub> m<sup>3</sup>/s au lieu de Q et l'on aurait eu

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{\delta_0}{\delta} \frac{1 + x + y + t}{1 + x_0 + y_0 + t_0}$$

A chaque débit réel Q correspond un débit fictif Q<sub>0</sub>, caractérisé par une valeur conventionnelle et in-

variable des paramètres  $\delta_0$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $t_0$ . Les débits  $Q_0$  satisfont évidemment de façon parfaite à la loi de conservation des débits et peuvent être représentés à une échelle invariable  $1 \text{ m}^3/\text{s} \equiv a \text{ mA}$ ; par contre les débits de ventilation réels, tels qu'ils se présentent en un point du réseau de caractéristiques  $\delta$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $t$  quelconques, seront représentés dans un branchement homologue du réseau électrique par un courant

$$I = a Q_0 = a \frac{\delta}{\delta_0} \cdot \frac{1 + x_0 + y_0 + t_0}{1 + x + y + t} Q;$$

l'échelle de la représentation est donc

$$1 \text{ m}^3/\text{s} \text{ réel} \equiv a \cdot \frac{\delta}{\delta_0} \cdot \frac{1 + x_0 + y_0 + t_0}{1 + x + y + t} \text{ mA}$$

c'est-à-dire une échelle variable suivant les valeurs locales de  $\delta$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $t$ . Les débits réels  $Q$  étant remplacés par des débits fictifs  $Q_0$ , il est évident que

les coefficients  $K = \frac{H}{Q^2}$  ou résistances aérodynamiques des différents branchements seront remplacés par des coefficients fictifs  $K_0 = \frac{H}{Q_0^2}$  de façon

telle que les pressions aux bornes des divers branchements restent inchangées et représentées par des potentiels électriques à une échelle invariable.

La compressibilité de l'air introduit encore une autre difficulté dans la représentation analogique des réseaux de ventilation. En effet, lorsqu'on tient compte des variations de poids spécifique de l'air, la deuxième loi de Kirchhoff pour les réseaux de ventilation doit s'écrire

$$\sum(\delta \mathcal{T}_t) = \sum KQ | Q | = \sum p_v + p_n$$

Au premier membre, on trouve la somme algébrique des chutes de pression provoquées par les frottements qu'implique l'écoulement de l'air dans les galeries, somme calculée autour d'une maille quelconque parcourue dans un sens conventionnel qui fixe le signe de chaque terme; au second membre, on trouve d'abord la somme algébrique des pressions engendrées par les ventilateurs rencontrés autour de la maille, le signe étant + ou - suivant que le ventilateur considéré favorise ou freine l'écoulement dans le sens de circulation choisi; on trouve ensuite un terme complémentaire  $p_n$ , qui serait nul si le fluide était incompressible et dont la présence justifie la circulation de l'air autour de la maille considérée, même en l'absence de ventilateur, « par tirage naturel ». On peut prouver que le terme  $p_n$  peut se calculer très approximativement par l'expression  $\int \delta dz$ , l'intégrale curviligne étant effectuée sur le contour de la maille,  $\delta$  désignant le poids spécifique et  $z$  la profondeur; en pratique, cette intégrale est remplacée par la somme  $\sum \delta_m (\Delta z)$ ,  $\delta_m$  désignant le poids spécifique moyen de l'air entre

les profondeurs  $z$  et  $z + \Delta z$ . Ces expressions montrent que la pression  $p_n$  est égale à la différence des poids des deux colonnes d'air de section unitaire comprises entre les niveaux maximum et minimum de la maille considérée. Cette pression ne prend de valeur non négligeable que si l'écart entre ces niveaux est important et si l'écart de poids spécifique entre les deux colonnes est notable. Bien que la pression  $p_n$  ne puisse être localisée ni mesurée directement, son influence sur l'écoulement de l'air dans la maille est exactement la même que celle d'un ventilateur inséré dans celle-ci en un point quelconque, et on pourra en tenir compte dans le modèle électrique en ajoutant une source de tension dans un branchement de la maille homologue du réseau électrique. On choisira de préférence un branchement n'appartenant à aucune autre maille; si cela n'est pas possible, on devra insérer dans plusieurs branchements des sources choisies de façon telle que, dans chacune des mailles intéressées, la somme de ces forces électromotrices additionnelles corresponde à la pression  $p_n$  valable pour cette maille.

En ce qui concerne les principes sur lesquels repose l'étude de la ventilation par analogie électrique, signalons que l'on n'a guère intérêt à représenter par les courants électriques les débits pondéraux (kg/s) plutôt que les débits en volume ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), puisque dans la mine ni les uns ni les autres ne sont conservatifs. De même, l'emploi de l'analogie entre le potentiel électrique et la hauteur de charge

$$h = z + \frac{p}{\delta} + \frac{V^2}{2g},$$

n'apporte pas d'avantage particulier.

Parallèlement à ces mises au point théoriques, nous avons poursuivi la comparaison des méthodes pratiques d'étude de la ventilation. A cet égard, nous avons montré que la méthode graphique, qui s'avère généralement inutilisable pour des réseaux maillés, peut être intéressante pour simplifier le réseau sur lequel on appliquera ensuite les autres méthodes. Par exemple, il est aisé de construire graphiquement la courbe caractéristique d'un ventilateur fictif remplaçant un ventilateur réel, sa galerie d'aspiration et le sas se trouvant en parallèle avec ces deux éléments. On peut ensuite rechercher les coefficients de l'équation

$$H = -K | Q | Q - LQ + V$$

de la parabole se superposant le mieux possible à la courbe obtenue.

Une autre méthode de résolution des problèmes de ventilation en réseaux maillés est la méthode numérique, par approximations successives, dite encore « méthode de Cross ». Cette méthode, habituellement considérée comme trop lente pour les réseaux à grand nombre de mailles, devient au contraire très rapide lorsqu'on recourt à un ordinateur électronique.



que comme cela a été effectué avec succès au Charbonnage de Winterslag (61) (62). Dans l'état actuel de la question, nous croyons pouvoir apprécier comme suit les mérites respectifs des deux méthodes.

$\alpha$ . La méthode analogique, mise au point à l'Institut d'Hygiène des Mines, présente l'avantage d'être particulièrement intuitive, et se prête bien à l'étude du comportement dynamique d'un réseau. On pourra constater immédiatement, tout au moins d'une manière qualitative, l'influence d'une modification quelconque sur d'autres parties du système. La méthode analogique offre également l'avantage d'une grande souplesse ; il est en effet possible, sans complication supplémentaire, de conduire les itérations en tenant compte de certaines conditions particulières qu'on peut imposer a priori, par exemple la limitation d'un débit ou d'une différence de pression à une valeur constante.

La mise sur modèle demandera une demi à une journée, mais les erreurs commises éventuellement apparaîtront rapidement et seront immédiatement corrigées.

(1.000 cartes dans le cas ci-dessus). Le listing des données doit être vérifié très soigneusement, car des erreurs éventuelles risqueraient de n'être détectées qu'au dépouillement ou de provoquer des arrêts de la machine, dont la cause est laborieuse à déterminer.

## B. Etude des conditions climatiques du fond.

### a. Technique des mesures climatiques.

Nous avons déjà exposé dans ces colonnes (12) les raisons pour lesquelles nous estimions nécessaire, avant de reprendre des mesures climatiques systématiquement dans le fond de la mine, de disposer d'appareils enregistrant les variations des divers paramètres du climat, notamment les températures sèche et humide. Nous avons présenté à titre d'exemple un petit caisson contenant deux thermistances (résistances à coefficient de température négatif) pour la détermination de la température sèche et de la température humide. La circulation de l'air autour des sondes est assurée par un éjecteur à air comprimé placé à quelque distance en aval du

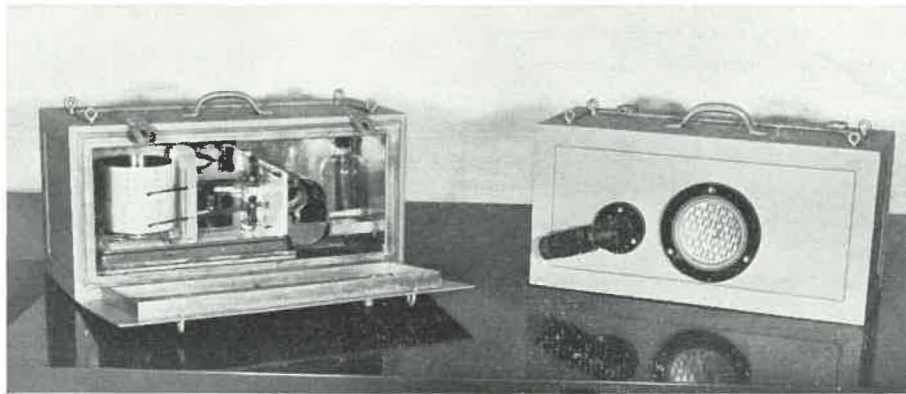


Fig. 29. — Adaptation d'un psychrographe commercial aux conditions du fond.

$\beta$ . La méthode numérique, mise en œuvre par le Charbonnage de Winterslag sur ordinateur électronique, présente l'avantage d'une capacité plus grande, indépendante du nombre d'éléments disponibles sur un modèle analogique. Du reste, le nombre de 300 branchements, prévu comme maximum pour un ordinateur et un programme particulier, pourrait être dépassé si besoin en était. La méthode numérique se prête d'autre part plus facilement que l'analogie aux injections à débit constant (air comprimé) et à la représentation du tirage naturel. Enfin, sa précision ne dépend pas de celle des résistances et des appareils de mesure électriques utilisés.

Le comportement dynamique apparaît moins intuitivement que sur une analogie, mais il est possible d'étudier un grand nombre de cas en peu de temps (1/2 heure par variante pour un réseau de 63 mailles).

La mise en œuvre des données demande la perforation d'un jeu de cartes qui peut être important

point de mesure ; les sondes sont d'autre part insérées dans un circuit électrique de sécurité intrinsèque permettant l'enregistrement des mesures par un millivoltmètre.

Poursuivant ces travaux, nous avons adapté aux conditions du fond un *psychrographe* bi-métallique du commerce. La photo figure 29 montre une vue extérieure du caisson étanche dans lequel nous avons placé l'appareil à l'abri des poussières ; on y voit le filtre par où entre l'air et l'orifice auquel se raccorde un flexible reliant le caisson à un éjecteur à air comprimé. La même photo montre l'intérieur du caisson étanche ; on y aperçoit un écran anti-rayonnement supplémentaire placé autour de la sonde de température sèche et la réserve d'eau additionnelle que nous avons dû prévoir ; l'orifice de sortie de l'air se trouve exactement derrière la sonde humide.

Nous avons comparé les enregistrements obtenus avec l'appareil ainsi modifié avec les mesures d'un



psychromètre Assmann utilisé comme étalon. Les erreurs brutes sont encore très variables, de l'ordre de 0,5 à 2,0° C pour  $t_s$  et de l'ordre de 0 à 1° C pour  $t_h$ . Mais une analyse statistique de ces erreurs a permis d'en comprendre l'origine et d'établir une formule de correction ramenant l'erreur résiduelle à environ 0,5° C, ce résidu étant inéluctable par suite de l'influence du frottement de la plume sur le papier. La formule de correction est du type

$$\Delta t_s = a + b(t_s - t_{s,0}) + c(t_s - t_h)$$

$$\Delta t_h = a' + b'(t_h - t_{h,0}) + c'(t_s - t_h);$$

les termes  $a$  et  $a'$  représentant une erreur constante due au décalage de la plume enregistreuse vis-à-vis du zéro des diagrammes ; les termes en  $b$  et  $b'$  indiquent l'existence d'une erreur proportionnelle à l'écart entre la valeur mesurée et une valeur de référence (indice 0), erreur qu'on pourrait éliminer en modifiant le taux d'amplification de la tringlerie entre le bimétal et la plume.

Enfin, les termes en  $c$  et  $c'$  traduisent numériquement l'influence d'une erreur systématique, qui est nulle pour de l'air saturé et s'accroît à mesure que l'air devient plus sec : cette erreur peut sans aucun doute être attribuée à des échanges de chaleur entre les deux sondes, échanges qui s'annulent évidemment lorsque l'on a  $t_s = t_h$ . Les valeurs numériques du coefficient  $c$  sont dans un cas particulier de l'ordre de 0,1, c'est-à-dire que si la différence  $t_s - t_h$  vaut 10° C, la sonde « sèche » indiquera 1° C trop peu et la sonde humide 1° C en trop. Seules des modifications constructives importantes permettraient de réduire cet effet nuisible, qu'on compense aisément par le calcul.

La vitesse de l'air est également une variable intéressante à suivre de façon continue dans le temps, mais son enregistrement offre de grandes difficultés. Une première méthode consiste à installer à poste fixe dans une galerie un anémomètre totalisateur dont le nombre de révolutions pendant un intervalle de temps donné est proportionnel à la quantité d'air ayant passé pendant ce temps à cet endroit. Des relevés périodiques de ce nombre de tours donnent une indication de la vitesse moyenne de l'air entre deux relevés consécutifs. Cependant, une telle méthode ne fera apparaître que des modifications notables et d'une durée suffisante de la vitesse ou du débit d'air. D'autre part, l'appareil doit être relativement sensible, car on ne peut le placer que là où la section est suffisante, et jamais au centre de la galerie, de sorte que la vitesse au point de mesure est nécessairement assez faible, souvent de l'ordre de 1 m/s.

C'est pourquoi nous avons cherché à réaliser un appareil enregistrant de façon continue la vitesse de l'air, avec une étendue de mesure minimum de l'ordre de 0 — 1 m/s. Nous exposerons brièvement le

principe sur lequel nous nous sommes basés et les difficultés qui ont dû être surmontées pour rendre un tel appareil utilisable au fond de la mine en toute sécurité.

Considérons un filament chauffé par effet Joule au moyen d'une batterie (fig. 30) et supposons pour

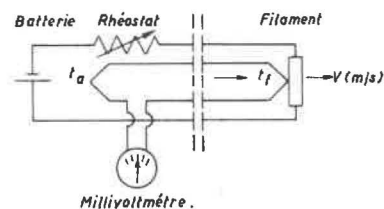


Fig. 30. — Schéma de principe d'un anémomètre à fil chaud.

simplifier que la puissance de chauffe soit strictement constante. La température que ce filament prend lorsqu'il a atteint son équilibre thermique est telle que l'équivalent calorifique de la puissance électrique soit égal à la quantité horaire de chaleur perdue par rayonnement et par convection. Si la température atteinte n'est pas trop élevée, on peut écrire très approximativement

$$\frac{W}{860} = (\alpha + \rho) S (t_f - t_a)$$

$W$  étant la puissance dissipée en kW,  $\alpha$  le coefficient de convection ( $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$ ) ;  $\rho$  le coefficient de rayonnement apparent à utiliser lorsqu'on linéarise la loi de transmission de la chaleur par rayonnement ;  $S$  désigne la surface du filament ( $\text{m}^2$ ) ; enfin  $t_f$  et  $t_a$  représentent les températures respectives du filament et de l'air. Dans cette formule, seul  $\alpha$  est une fonction de la vitesse de l'air et l'on pose généralement

$$\alpha = \alpha_0 v^x$$

$x$  étant de l'ordre de 0,5.

La loi ci-dessus peut dès lors s'écrire

$$t_f - t_a = \frac{K}{\rho + \alpha_0 v^x} = f(v)$$

qui se traduit graphiquement par une courbe à allure hyperbolique. Cette formule prouve que la mesure de la différence de température  $t_f - t_a$  permet de déterminer la vitesse  $v$  de l'air au voisinage du filament ; cette différence est usuellement mesurée au moyen de 2 thermocouples disposés respectivement dans l'ambiance et contre le filament et raccordés en opposition à un millivoltmètre. Celui-ci peut être gradué en vitesses d'air moyennant un tarage préalable ; encore faut-il que la puissance  $W$  dissipée par le filament soit bien constante, ce qu'on vérifie d'ordinaire par un contrôle de l'élongation maximum du millivoltmètre (c'est-à-dire obtenue en atmosphère immobile).

L'appareil que nous venons de décrire est appelé « anémomètre à fil chaud ». Dans sa construction habituelle, il n'est pas utilisable dans la mine, car il est fragile et ne satisfait pas aux exigences de la sécurité. En effet, la faible sensibilité des couples thermoélectriques impose l'adoption d'un écart de température  $t_f - t_a$  élevé (de l'ordre de  $100^\circ\text{C}$ ), d'un appareil de mesure délicat et d'une puissance de chauffe  $W$  assez élevée (quelques watts), même si l'on utilise un filament de très faible masse pour en réduire l'inertie calorifique.

Il nous a cependant paru utile de conserver le principe de l'anémomètre à fil chaud comme base pour la construction d'un appareil enregistreur de la vitesse de l'air. D'abord, l'anémomètre à fil chaud possède une sensibilité plus élevée vers les faibles vitesses que vers les vitesses élevées, ce qui est précisément souhaitable ; d'autre part, la substitution d'une mesure de température à une mesure de vitesse nous ramène à un problème déjà résolu par l'utilisation des résistances NTCR. Celles-ci étant beaucoup plus sensibles que les couples thermoélectriques, on peut se permettre de chauffer le « filament » à une température beaucoup moindre (20 à  $30^\circ\text{C}$  au dessus de l'ambiance) et la puissance requise est ramenée à environ 0,1 watt. Cependant la vitesse de l'air n'est pas reliée d'une façon directe à la température du filament, mais bien à la différence  $t_f - t_a$ . Il a donc fallu adapter le pont utilisé pour la mesure des températures à la nécessité d'une mesure différentielle. D'autre part, on a dû résoudre le problème de la stabilisation de la puissance de chauffe (et par conséquent celui de la tension d'alimentation), enfin on a dû construire une sonde robuste et directive, c'est-à-dire permettant la mesure de la composante moyenne de la vitesse de l'air dans une direction donnée, alors qu'un simple filament tendu verticalement n'est pas sensible à la direction du courant d'air, car son refroidissement dépend simplement du degré d'agitation de l'atmosphère.

Tous ces problèmes sont pratiquement résolus à l'heure actuelle, mais il manque encore à notre prototype la sanction d'une expérience pratique au fond de la mine.

**b. Les limites du travail humain aux températures élevées.**

Diverses publications récentes (63) (64) (65) nous ont amenés à revoir la question des conditions climatiques dans lesquelles il est possible à un homme d'exercer une activité normale, sans danger pour sa santé. Comme nous allons le montrer succinctement, l'étude critique des éléments d'information nouveaux dont nous disposons a permis de donner un fondement rationnel à la formule que nous avons proposée antérieurement (52) pour caractériser les ambiances limites et en outre préciser les

corrections à y apporter pour tenir compte de la vitesse de l'air et de l'intensité du travail effectué.

Rappelons d'abord que les ambiances limites dans lesquelles peuvent séjourner de manière prolongée des sujets nus et au repos satisfont à la condition

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

$t_s$  étant la température ordinaire ou sèche et  $t_h$  la température lue au thermomètre humide. La première partie de cette formule se déduit de l'examen de l'abaque de température effective bien connu de l'A.S.H.V.E. (fig. 31). Rappelons que la tempéra-

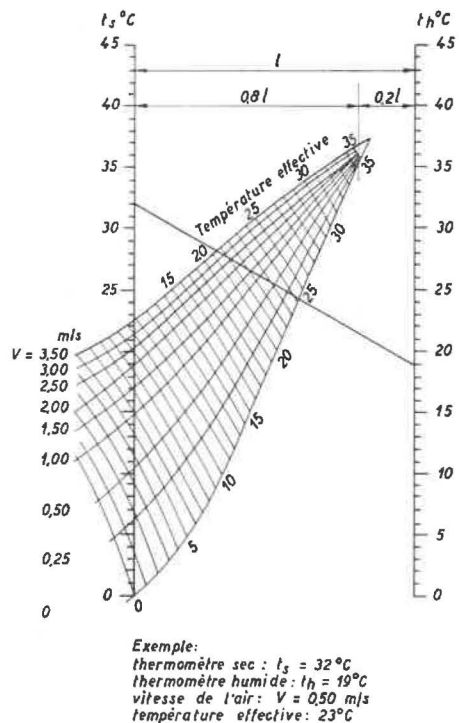


Fig. 31. — Abaque de base de l'A.S.H.A.E. (sujets au repos, nus jusqu'à la ceinture).

ture effective  $t_e$  est par définition celle d'une atmosphère saturée en vapeur d'eau et non agitée qui donne la même impression de confort (ou d'inconfort) que l'atmosphère considérée. Dans toutes les expériences sur lesquelles sont basés les abaques américains, l'air et les parois sont à la même température, mais lorsque cette condition n'est pas remplie, l'abaque reste pratiquement valable (66) si l'on remplace  $t_s$  par  $t_g$ , température lue au globe-thermomètre (c'est-à-dire un thermomètre dont le bulbe est placé à l'intérieur d'une sphère creuse noircie extérieurement et de dimensions telles que les échanges calorifiques par convection et rayonnement avec l'ambiance soient entre eux dans le même rapport que pour le corps humain).

Lorsqu'il s'agit de sujets effectuant un travail lourd, on ne dispose que des résultats d'expériences

moins systématiques au cours desquelles on a par exemple observé simultanément les conditions climatiques et les réactions physiologiques de soldats entraînés en vue du combat dans le désert, ou de travailleurs occupés dans des mines d'or particulièrement chaudes (Afrique du Sud, Inde). Lorsqu'on note les températures sèche et humide des ambiances qui ont donné lieu aux mêmes réactions physiologiques, on s'aperçoit que l'influence de la température humide est plus importante que ne l'indiquent les essais A.S.H.V.E. ; c'est pourquoi, nous basant sur des expériences pour lesquelles le mouvement de l'air ne résultait que du déplacement du sujet, nous avons adopté la règle empirique suivante : un travail lourd et continu reste possible sans troubles dus à la chaleur si on a

$$0,9 t_h + 0,1 t_s \leq 34^\circ \text{C} ;$$

il devient difficile si on a

$$0,9 t_h + 0,1 t_s = 35^\circ \text{C}$$

et impossible si on a

$$0,9 t_h + 0,1 t_s = 36^\circ \text{C}.$$

De telles expériences ne permettent pas de préciser l'influence exacte de la vitesse de l'air ni de l'intensité du travail effectué. Par contre, ces facteurs sont pris en considération de façon aussi exacte que possible lors de la détermination d'un « indice de contrainte thermique » proposé récemment par Belding et Hatch pour apprécier les possibilités de travail dans un climat chaud (65). Cet indice est défini par le rapport

$$i = \frac{M + Q_c + Q_r}{Q_{\text{év}}} ;$$

au numérateur, on trouve la somme (algébrique) du métabolisme  $M$  (ou chaleur engendrée dans le corps par les combustions tissulaires), de la chaleur  $Q_c$  transmise au corps par convection et de la chaleur  $Q_r$  transmise par rayonnement à partir des parois environnantes. Au dénominateur,  $Q_{\text{év}}$  représente la chaleur maximum qui peut être soustraite au corps par évaporation de la transpiration lorsque celle-ci recouvre entièrement le corps. Pour calculer l'indice  $i$ , il faudrait en principe déterminer les valeurs de  $Q_c$ ,  $Q_r$ , et  $Q_{\text{év}}$  en fonction des paramètres caractéristiques du climat : températures  $t_s$  et  $t_h$ , vitesse  $V$ , pression  $p$ , température moyenne des parois. Après avoir établi les formules nécessaires à cette fin, les auteurs américains les ont traduites en un abaque reproduit à la figure 32. Le diagramme A donne directement la somme  $Q_c + Q_r$  en fonction de la température du globe thermomètre  $t_g$  ; sur le diagramme B, on effectue ensuite l'addition  $M + (Q_c + Q_r)$ , la valeur de  $M$  étant choisie en fonction de la nature et de l'intensité du travail considéré ; on obtient ainsi le numérateur de l'indice  $i$  (ordonnée du diagramme  $C = Z$ ). Par ailleurs, le diagramme X permet de calculer la pression partielle

de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, en fonction des températures  $t_s$  et  $t_h$  ou en fonction de  $t_s$  et de l'humidité relative  $\varphi$  ; sur le diagramme Y on en déduit ensuite la chaleur  $Q_{\text{év}}$  qui peut être au maximum soustraite au corps par évaporation de la sueur (abscisse du diagramme  $C = Z$ ). Les diverses valeurs de l'indice  $i$  correspondent à diverses radiantes sur le diagramme Z. Cependant, lorsque le calcul ou le diagramme Y conduit à des valeurs de  $Q_{\text{év}}$  supérieures à 600 kcal/h, c'est-à-dire à l'évaporation de plus de 1 litre de sueur par heure, on remplace l'expression de  $i$  par celle

$$i = \frac{M + Q_e + Q_r}{600}$$

car la vitesse d'évaporation de la sueur ne peut dépasser sa vitesse de sécrétion et on estime que le corps ne peut en moyenne sécréter plus de 1 litre/heure de sueur pendant la durée d'un poste de travail. Ce changement de définition de l'indice  $i$  implique qu'à droite de la ligne  $Q_{\text{év}} = 600$  kcal, les radiantes  $i = \text{constante}$  sont prolongées par des horizontales.

Nous ne discuterons pas ici de la valeur de l'indice  $i$  comme paramètre mesurant la contrainte physiologique résultant du travail dans une ambiance chaude. Remarquons cependant que la condition  $i = 1$ , qui correspond d'après les auteurs aux climats limites que peuvent supporter des hommes jeunes, robustes et entraînés, équivaut à la relation

$$Q_c + Q_r + M - Q_{\text{év}} = 0 \quad [1]$$

suivant laquelle le bilan thermique du corps se solde par zéro ; elle traduit donc d'une manière physique la nécessité physiologique de l'homéothermie. Si dans la relation [1], on substitue à  $Q_c + Q_r$  et  $Q_{\text{év}}$  leurs expressions analytiques établies par Belding et Hatch, on la convertit en une relation entre  $t_g$ ,  $t_s$ ,  $t_h$  et  $V$ . En pratique, dans les mines, la température lue au globe thermomètre est peu différente de la température de l'air, car les parois ne peuvent se maintenir longtemps à une température dépassant notablement celle de l'air. On peut donc éliminer la variable  $t_g$  en posant par exemple  $t_g = t_s + 1$  ; dans ce cas, la relation [1] devient

$$a t_s + (1 - a) t_h = 35 - b - c \left( \frac{M}{250} \right) \quad [2]$$

les coefficients  $a$ ,  $b$  et  $c$  étant des fonctions compliquées de la vitesse  $V$ . La relation [2] peut aussi être établie par voie graphique sur le diagramme X de la figure 32. En effet, on peut partir d'une ordonnée quelconque du diagramme A et y faire correspondre un point du diagramme X, dont l'abscisse vaut  $t_s = t_g - 1$  et l'ordonnée se détermine graphiquement en passant par les diagrammes A, B,  $C = Z$ , Y et X suivant le tracé en traits pointillés et en choisissant dans les divers diagrammes les droites



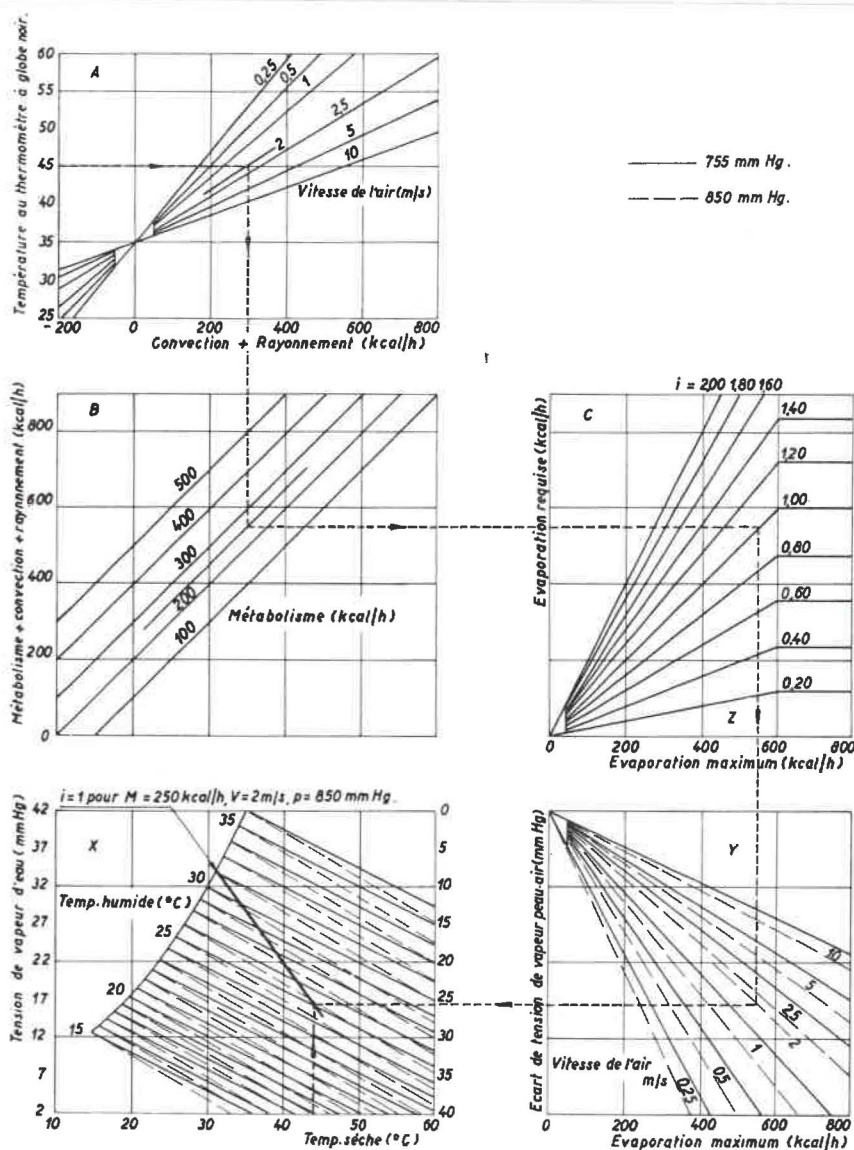


Fig. 32. — Nomogramme pour le calcul de l'indice de contrainte thermique, d'après Belding et Hatch.

qui correspondent aux valeurs admises pour la vitesse  $V$  et le métabolisme  $M$ . En répétant la construction, on obtient dans le diagramme X le lieu des points pour lesquels  $i = 1$  et  $t_g = t_s + 1$  pour la vitesse et le métabolisme considérés. On vérifie aisément que ce lieu est une courbe quasi droite dans le diagramme X traduisant graphiquement la relation [2].

Lorsqu'on examine de manière critique les formules qui ont servi à Belding et Hatch pour établir leur abaque, on est amené à y apporter certaines corrections. En particulier, la relation donnant la pression partielle  $p_{H_2O}$  de la vapeur d'eau en fonction de  $t_s$  et de  $t_h$  contient la pression totale  $p$  : suivant la formule de Sprüng, on a en effet

$$p_{H_2O} = p'_{H_2O} - Ap (t_s - t_h)$$

$p'_{H_2O}$  étant la pression de saturation à la température  $t_h$  et  $A$  la constante psychrométrique. Dans le diagramme X, les droites  $t_h = \text{constante}$  ont donc

une pente variable suivant la pression. Nous avons indiqué en traits interrompus ce que devient le diagramme X pour  $p = 850$  mm Hg. De même, l'inclinaison des radiantes du diagramme Y varie avec la pression ; les traits interrompus indiquant à nouveau la modification à apporter à ce diagramme pour  $p = 850$  mm Hg. D'autre part, des raisons théoriques imposent, comme Missenard l'a signalé (64), que la vitesse intervienne avec le même exposant dans les lois de la convection et de l'évaporation, ce qui oblige à effectuer une nouvelle correction du diagramme Y. Enfin, certaines constantes sont encore mal déterminées, par exemple le coefficient de transmission de chaleur par rayonnement de la peau humaine.

Il résulte de ces remarques que les coefficients  $a, b, c$  de la formule [2] sont également fonction de la pression et que leur valeur numérique n'est pas encore déterminée avec une très grande précision. En tenant compte de certaines corrections judicieuses

proposées par Missenard, nous avons trouvé les valeurs suivantes, valables pour  $p = 850$  mm Hg :

V (m/s)	0,5	1	2,5	5
a	0,2	0,15	0,1	0,07
b	0,38	0,34	0,30	0,28
c	5,0	3,75	2,5	1,82

En introduisant ces valeurs numériques dans la formule [2], on voit que celle-ci est à peu de chose près équivalente à la formule simplifiée suivante, valable à  $\pm 0,2^\circ$  C près entre 0,5 et 5 m/s

$$t_s \frac{0,15}{\sqrt{v}} + t_h \left(1 - \frac{0,15}{\sqrt{v}}\right) = 35 - \frac{4,1}{\sqrt{v}} \cdot \frac{M}{250} \quad [3]$$

En particulier, pour  $v = 2$  m/s et  $M = 250$  kcal/h, on trouve pratiquement  $0,1 t_s + 0,9 t_h = 32^\circ$  C, qui, à  $1^\circ$  C près, reproduit la condition limite qui avait été proposée par Bidlot et Ledent sur une base purement empirique. En même temps, la relation [3] indique de façon très claire dans quel sens il faut modifier la condition limite adoptée primitivement si l'on désire prendre en considération d'autres valeurs de la vitesse et du métabolisme. Pour de faibles vitesses, l'influence de la température sèche s'accroît au premier membre et la valeur du second membre est abaissée. L'influence de la vitesse, considérable en dessous de 1 m/s, s'amoindrit vers les vitesses élevées et est quasi négligeable au-dessus de 5 m/s. D'autre part, la température limite admissible s'écarte de  $35^\circ$  C d'autant plus que le métabolisme est important et la vitesse de l'air faible.

Il n'est pas sans intérêt de signaler que les ouvriers ont la valeur du métabolisme  $M$  sous leur propre contrôle et qu'ils compenseront une détérioration éventuelle des conditions climatiques par une diminution de  $M$  et donc du travail fourni.

Une dernière remarque est relative aux climats très secs qui se présentent rarement dans nos mines. Dans de tels climats, il arrive, pour certaines valeurs de la vitesse de l'air, que l'évaporation de la sueur soit plus rapide que sa sécrétion ; par suite, la peau s'assèche progressivement et la surface d'évaporation se réduit. Dès lors, la droite qui traduit dans le diagramme X les relations [2] et [3] n'est en fait que la tangente initiale (pour  $\varphi = 1$ ) à la courbe limite réelle ; toutefois, la courbe ne se détache de cette tangente que pour des valeurs de  $t_s$  très élevées (de l'ordre de  $50^\circ$  C).

### C. Etude des pertes de charge des puits.

En 1957, M.J. Martinson a publié (67) les résultats d'un nombre important de mesures de pertes de charge de puits, effectuées sur modèles à échelle réduite. Les modèles représentaient deux puits de la société « Harmony Gold Mining Company » en cours d'équipement, et les essais avaient notamment

pour but d'estimer la contribution des diverses parties de l'équipement des puits à leur résistance. Ces essais offrent un intérêt particulier du fait qu'un petit nombre de types de traverses ont été utilisés dans un grand nombre d'essais correspondant à des dispositions différentes de ces traverses. C'est pourquoi on peut en déduire, avec une assez bonne précision, les coefficients de perte de charge caractéristiques de ces différents alignements de traverses. Rappelons sommairement la méthode de calcul qui a déjà été décrite (12). Chaque essai fournit un coefficient de perte de charge brut  $\lambda$ . On en déduit un coefficient de perte de charge  $\lambda'$ , caractérisant la rugosité moyenne de toutes les parois qui entourent les divers compartiments, les alignements de traverses étant évidemment considérés comme des parois. On passe de  $\lambda$  à  $\lambda'$  par la formule

$$\lambda' = \lambda \left[ \sum \sqrt{\left(\frac{S_i}{S}\right)^3 \frac{P}{P_i}} \right]^2$$

les symboles  $S_i$  et  $P_i$  désignant respectivement la section et le périmètre du  $i^{\text{e}}$  compartiment, tandis que  $S$  et  $P$  désignent la section et le périmètre total du puits. On pose ensuite que  $\lambda'$  est une moyenne pondérée des coefficients  $\lambda'_i$  caractéristiques des diverses parois ; la pondération se fait au prorata des étendues relatives de ces diverses parois :

$$\lambda' = \sum \frac{P_i}{(\sum P_i)} \lambda'_i \quad [1]$$

Dans la première série de 7 essais sud-africains, relatifs au puits n° 2 de la Société « Harmony Gold Mining Company » (fig. 33), il y a 7 types de parois. En écrivant la relation [1] pour chaque essai,

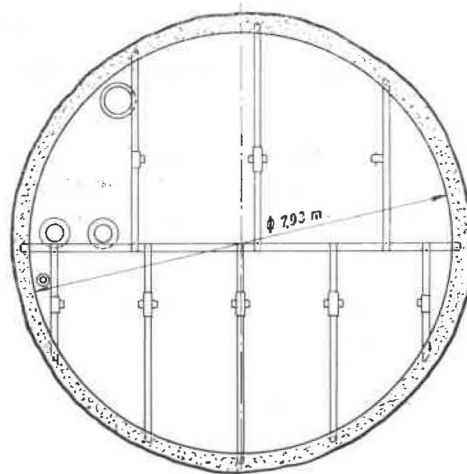


Fig. 33. — Schéma de l'équipement du puits n° 2 de « Harmony Gold Mining Cy. Ltd. ».

on constituerait un système de 7 équations à 7 inconnues. Cependant, dans ces essais, l'espacement des traverses est très grand ; on peut dès lors admettre que le coefficient  $\lambda'_i$  pour un alignement de traverses déterminées avec un espacement donné est la moitié du coefficient relatif à un alignement des

mêmes traverses deux fois plus rapprochées. D'autre part, parmi les diverses traverses utilisées, il existe deux profils très voisins pour lesquels on peut admettre le même coefficient  $\lambda'_1$ . Finalement, les 7 équations [1] ne contiennent plus que 3 inconnues, dont les valeurs les plus probables peuvent être calculées par la méthode des moindres carrés. On trouve ainsi :

$$\lambda'_1 = 0,0242 \text{ pour une paroi de béton lisse,}$$

$$\lambda'_1 = 0,0730 \text{ pour un alignement de traverses I de } 6'' \times 15'' \text{ espacées de } 15'$$

$$\lambda'_1 = 0,676 \text{ pour un alignement de traverses I de } 5'' \times 10'' \text{ ou de } 5'' \times 12'' \text{ espacées de } 15'$$

A titre de comparaison, pour des poutrelles I de  $7'' \times 9''$ , espacées de 10', d'autres essais, de Barcza et collaborateurs, avaient donné  $\lambda'_1 = 0,104$ . On a donc intérêt à adopter un écartement des traverses plus grand, même si l'on doit pour cela renforcer leurs sections.

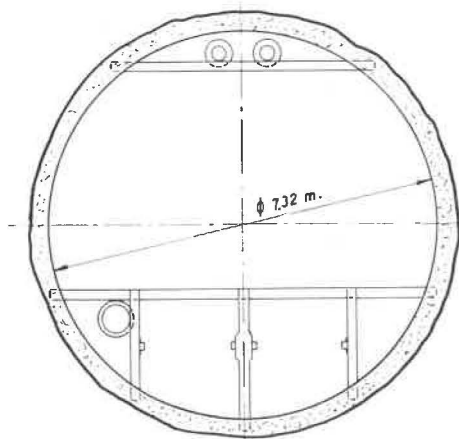


Fig. 34. — Schéma de l'équipement du puits n° 3 de « Harmony Gold Mining Cy. Ltd. ».

Pour les 10 essais relatifs au puits n° 3 de la même société (fig. 34), les traverses étaient constituées de poutres en béton précontraint profilées de façon plus ou moins aérodynamique. Il n'est à nouveau pas possible de distinguer les coefficients  $\lambda'_1$  relatifs à des profils de traverses peu différents. On

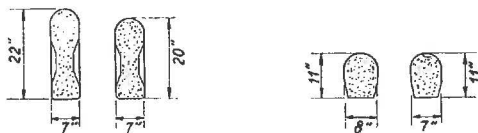


Fig. 35.

n'a finalement pris en considération que 3 inconnues  $\lambda'_1$  dont les valeurs les plus probables sont indiquées à la figure 35.

On constate donc que ces traverses, tout en étant

de section plus forte que les poutrelles I, ont un coefficient  $\lambda'_1$  moindre, grâce à leur profilage cependant sommaire.

Ces nouvelles valeurs des coefficients  $\lambda'_1$  complètent heureusement la documentation dont nous disposons déjà. Nous avons d'autre part effectué une mesure directe des pertes de charge du puits n° 6 de la S.A. des Charbonnages de Gosson-Kessales, dont l'équipement avait été modifié. La figure 36

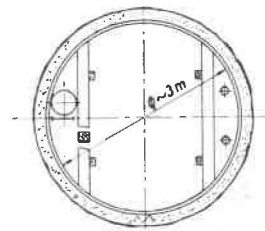


Fig. 36. — Schéma de l'équipement du puits n° 6 des Charbonnages de Gosson-Kessales.

représente la section droite du puits après transformation. Le coefficient  $\lambda$  brut déduit des mesures vaut 0,210, la valeur correspondante de  $\lambda'$  est 0,108. Cette valeur est anormalement élevée, compte tenu des valeurs connues pour les coefficients  $\lambda'_1$  de la paroi extérieure et des alignements de traverses. En réalité, cette anomalie est due à l'existence d'un certain nombre de rétrécissements importants de la section disponible pour la veine d'air, rétrécissements qui sont une source de pertes de charges localisées importantes; comme nous avons déjà pu le vérifier pour le puits n° 7 de la même société.

### 3. — Enquête.

Nous sommes à même de donner les résultats provisoires de l'enquête que l'Institut fait chaque année sur l'étendue des moyens de prévention mis en œuvre dans les charbonnages belges pour lutter contre les poussières.

On trouvera au tableau XIII, le développement des tailles auxquelles sont appliqués régulièrement des traitements humides : arrosage des fronts, injection d'eau en veine, havage humide et emploi de marteaux-piqueurs à pulvérisation d'eau. Nous avons fait la distinction en indiquant, d'une part, la longueur des fronts traités par une seule de ces méthodes combinée à la pulvérisation d'eau en taille. Nous avons également ajouté la longueur des fronts traités par pulvérisation d'eau au-dessus des engins d'évacuation en taille et celle des fronts naturellement humides et considérés comme peu poussiéreux.

Au tableau XIV, nous avons fait figurer le nombre de travaux préparatoires en creusement en donnant la répartition des moyens de prévention normalement mis à la disposition du personnel au cours des opérations de foration.



TABLEAU XIII.

*Développement des tailles auxquelles sont appliqués régulièrement des traitements humides.  
Situation au début de 1959, comparée à la situation au 1<sup>er</sup> janvier 1958.*

Bassins administratifs	Campine		Liège		Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
	1958	1959	1958	1959	1958	1959	1958	1959	1958	1959	1958	1959
Années de référence												
Longueur des fronts déhouillés (m)	19.705	20.741	24.185	22.208	33.137	29.417	12.114	10.151	12.933	11.515	102.074	94.032
I. Traitements appliqués au point de formation des poussières.												
1. Arrosage des fronts ;	5.047	3.946	—	—	2.460	1.730	—	—	90	245	7.597	5.921
2. Injection d'eau en veine ;	9.659	11.133	615	1.597	7.345	6.040	2.358	2.401	1.651	1.875	21.628	23.046
3. Havage humide ;	3.422	3.493	820	220	290	100	—	—	—	200	4.532	4.013
4. Emploi de piqueurs à pulvérisation ;	4.826	5.133	4.693	4.619	6.276	6.063	785	874	170	245	16.750	16.934
Longueur totale traitée	22.954	23.705	6.128	6.436	16.371	13.933	3.143	3.275	1.911	2.565	50.507	49.914
II. Longueur des fronts traités par plusieurs de ces procédés à la fois.	7.351	7.522	465	400	1.125	500	—	—	—	—	8.941	8.422
III. Longueur des fronts traités par un de ces procédés combiné à la pulvérisation d'eau dans la taille.	5.697	8.350	635	2.940	3.770	4.270	—	211	—	845	10.102	16.616
IV. Longueur des fronts traités par pulvérisation d'eau au-dessus des engins d'évacuation en taille.	7.292	8.666	4.822	6.967	9.181	8.713	2.677	2.098	3.351	3.952	27.323	30.396
V. Longueur des fronts naturellement humides considérés comme peu poussiéreux.	1.851	3.366	7.771	4.715	4.884	3.910	1.183	1.794	4.237	1.401	19.926	15.186

TABLEAU XIV.

Moyens de prévention normalement mis à la disposition du personnel dans les travaux préparatoires au cours des opérations de foration.  
 Situation au début de 1959 comparée à la situation au 1<sup>er</sup> janvier 1958.  
 (Bouveaux, bacnures, burquins, approfondissements de puits, ...).

Bassins administratifs	Campine		Liège		Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
	1958	1959	1958	1959	1958	1959	1958	1959	1958	1959	1958	1959
Années de référence												
Nombre de fronts en creusement	143	153	90	87	131	116	41	32	51	40	456	428
Fronts équipés de :												
1. Capteurs pour foration à sec	18	14	18	14	23	13	13	7	—	—	72	48
2. Perforateurs à adduction latérale d'eau	26	20	10	25	1	—	—	1	2	—	39	46
3. Perforateurs à injection centrale d'eau	87	109	60	43	91	85	21	14	45	57	302	288
Fronts avec prévention	131	143	88	82	115	98	34	22	45	37	413 90 %	382 89,5 %

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) VAN MECHELEN V. — De Antraco-silicose in België. - *Verhandelingen van de Koninklijke Vlaamse Academie voor Geneeskunde van België*, 1951, 13, 5-6, 479-580.
- (2) LUNDIN G. — Nitrogen elimination during oxygen breathing. - *Acta Physiol. Scandinavica*, 1953, 3, suppl. III, 130-143.
- (3) LUNDIN G. et BOUHUYS A. — Continue gasanalyses met de stikstofmeter en de toepassing hiervan bij het longfunctieonderzoek. - *Ned. T. Geneesk.*, 1956, 100, 1-2, 75-85.
- (4) DONALD K.W. et CHRISTIE R.V. — A new method of clinical spirometry. - *Clin. Sc.*, 1949, 8, 21-30.
- (5) SVANBERG L. — Influence of posture on the lung volumes, ventilation and circulation on normals. A spirometric-bronchospirometric investigation. - *Scand. J. of Clin. Lab. Invest.*, 1957, 9, supplément 25, 195 p.
- (6) BECKLAKE M.R. — A new index of the intrapulmonary mixture of inspired air. - *Thorax*, 1952, 7, 111.
- (7) ROBERTSON J.S., SIRI W.E. et JONES H.B. — Lung ventilation patterns determined by analysis of nitrogen elimination rates; use of the mass spectrometer as a continuous gas analyser. - *J. Clin. invest.*, 1950, 19, 577.
- (8) FOWLER W.S., CORNISH E.R.J.R. et KETY S.S. — Lung function studies. VIII. Analysis of alveolar ventilation and pulmonary N<sub>2</sub> clearance curves. - *J. Clin. Invest.*, 1952, 31, 140.
- (9) LUNDIN G. — Alveolar ventilation (in normal subjects) analysed breath by breath as nitrogen elimination during oxygen breathing. - *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 1955, 7, suppl. 20, 39-51.
- (10) FLEISCH A. — Le métabographe. Appareil pour l'enregistrement direct chez l'homme de la consommation d'oxygène, de la production de gaz carbonique, de l'amplitude respiratoire, du débit et de l'équivalent ventilatoire et du quotient respiratoire. - *Helv. Physiol. Acta*, 1953, 11, 361-394.
- (11) FLEISCH A. — Nouvelles méthodes d'études des échanges gazeux et de la fonction pulmonaire - Bâle, Schwabes, 1954.
- (12) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1957. - *Annales des Mines de Belgique*, 1958, 5<sup>e</sup> livraison, 373/386.
- (13) VAN WIJMEERSCH L., PATIGNY J. et MOREAU J. — Intérêt et valeur du métabographe de Fleisch pour l'étude des modifications respiratoires à l'effort. - *Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines*, 1958, n° 157, 33 p.
- (14) FLEISCH A., GALLETI P.M., HAAB P. et GILLARD A. — Etude critique de la mesure des échanges respiratoires par le métabographe de Fleisch (communication personnelle d'un travail à paraître).
- (15) LAVENNE F. — Le retentissement cardio-vasculaire de la silicose et de l'antracosilicose. Contribution à l'étude du « Cor pulmonale ». - *Rev. Belge Pathologie et Médecine Expérimentale*, 1951, 21, suppl. VI, 264 p.
- (16) FERRER M.I., HARVEY R.M., CATHCART R.T., WEBSTER C.A., RICHARDS D.W. et COURNAND A. — Some effects of digoxin upon the heart and circulation in man. Digoxin in chronic cor pulmonale. - *Circulation*, 1950, 1, 161-186.
- (17) COURNAND A. — Some aspects of the pulmonary circulation in normal man and in chronic cardiopulmonary diseases. - *Circulation*, 1950, 2, 641-657.
- (18) TOUSSAINT C. — La pression ventriculaire droite chez les anthraco-silicotiques. - *Acta Clin. Belgica*, 1952, 7, 458-464.
- (19) BOLLINELLI R., LE TALLEC Y. et BOLLINELLI M. — Les résultats de l'exploration hémodynamique dans les silicoses pseudotumorales. - *J. français de Méd. et Chir. thoraciques*, 1957, 11, 594-603.
- (20) KREMER R. et BRASSEUR L. — L'hémodynamique dans les pneumoconioses. Premiers résultats. - *Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines*, 1958, n° 150, 20 p.
- (21) LAVENNE F. — Le cœur pulmonaire dans les pneumoconioses. Anatomopathologie des vaisseaux pulmonaires. Relation entre les troubles de la ventilation et l'hypertension artérielle pulmonaire. - *III<sup>e</sup> Congrès Mondial de Cardiologie. Résumés des Round Table Conferences*, Bruxelles 1958, 76-80.
- (22) LAVENNE F., MEERSSEMANN F., KREMER R. et BRASSEUR L. — Le cœur pulmonaire chronique dans les pneumoconioses. Importance relative des altérations vasculaires et du déficit ventilatoire dans sa pathogénie. - *Cardiologia*, 1959 (à paraître).
- (23) DONALD K.W., BISHOP J.M., CUMMING G. et WADE O.L. — The effects of exercise on the cardiac output and circulatory dynamics of normal subjects. - *Clinical Science*, 1955, 14, 37-73.
- (24) BOLT W. et ZORN O. — Intrakardiale Druckmessungen bei Silikose. *Verh. dtsh. Ges. inn. Med.*, 1950, 56, 179-180.
- (25) BOLT W. et ZORN O. — Intrakardiale Druckmessungen bei Silikose. - *Beitr. Klin. Tuberk.*, 1951, 105, 100-107.
- (26) LAVENNE F. et MEERSSEMANN F. — Anatomie pathologique de la circulation pulmonaire. - *Acta cardiol.*, 1954, 9, 343-369.
- (27) MEERSSEMANN F. — Les lésions élémentaires de la pneumoconiose des houilleurs belges. Confrontation entre les documents anatomo-pathologiques et l'anamnèse professionnelle. - *Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines*, 1958, n° 152, 35 p.
- (28) GILSON J.C. et HUGH-JONES P. — Lung function in coalworkers' pneumoconiosis. - *Medical Research Council, Spec. Rep. Series n° 290*. Londres, H.M.S.O., 1955, 266 p.
- (29) SADOUL P., PILLOT P. et AUBERTIN N. — Remarques sur le cœur pulmonaire chronique dans les pneumoconioses. - *Arch. Mal. profes.*, 1956, 17, 361-364.
- (30) SADOUL P. — Exploration de la fonction pulmonaire dans les pneumoconioses. - *In Comptes rendus du 27<sup>e</sup> Congrès International de Langue Française de Médecine du Travail, Médecine Légale, Médecine Sociale*, Strasbourg, 1954, 62-240.
- (31) MACILHANY M.L. et SADOUL P. — Intérêt des épreuves à l'acétylcholine pour l'étude fonctionnelle des insuffisants respiratoires. - *Communication faite lors du 4<sup>e</sup> Congrès International de l'American College of Chest Physicians*, Cologne, août 1956.
- (32) RUYSSSEN L., DECHOUX J. et LAURENS. — Les formes dites pseudotumorales dans les pneumoconioses des mineurs de charbonnages. Retentissement fonctionnel. Pronostic. Thérapeutique. - *Rapport présenté aux 3<sup>es</sup> Journées Françaises de Pathologie Minière*, Paris, 25-26 octobre 1956.
- (33) TIFFENEAU R. et BEAUVALLET M. — Production exclusive d'effets pulmonaires locaux par inhalation d'aérosols d'acétylcholine. Son utilisation comme test d'insuffisance respiratoire. - *La Semaine des Hôpitaux de Paris*, 1945, 21, 154-155.
- (34) TIFFENEAU R. et DRUTEL P. — Les aérosols d'acétylcholine dans l'exploration fonctionnelle des poumons. Etude de leurs actions motrice et sensitive. Applications pratiques. - *Le Poumon et le Cœur*, 1955, 11, 385-468.
- (35) MINETTE A. et VAN WYMEERSCH L. — Action des poussières et d'agents pharmacodynamiques sur la fonction respiratoire. 6<sup>e</sup> partie: Résultats des aérosols d'acétylcholine dans un groupe de 182 houilleurs. - *Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines*, 1958, n° 155, 30 p.
- (36) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1956. - *Annales des Mines de Belgique*, 1957, 5, 372-406.
- (37) COUGH J. — Pneumoconiosis in coalworkers in Wales. - *Occupational Med.*, 1947, 4, 86-97.



- (38) GOUGH J. et WENTWORTH J.E. — The pathology of the pneumoconiosis of coalworkers in Wales. A new technique for study of lung pathology. - Proceedings of the 9th International Congress of Industr. Med., Bristol, Wright, 1949, 661-665.
- (39) HEPPLESTON A.G. — The essential lesion of pneumoconiosis in Welsh coalworkers. - J. Path and Bact., 1947, 59, 453-460.
- (40) HEPPLESTON A.G. — Pathological anatomy of simple pneumoconiosis in coalworkers. - J. Path and Bact., 1953, 66, 235-246.
- (41) FIRKET J. — Les réactions des tissus pulmonaires chez nos mineurs de charbonnage. - Revue Médicale de Liège, 1952, 7, 641-653.
- (42) di BIASI W. — Pathologische Anatomie der Silikose. - Beitr. z. Silikose Forsch., 1949, Heft 3, 95 p.
- (43) FRUHLING L. et CHAUMONT A.J. — La silicose pulmonaire. Données anatomopathologiques et statistiques. - Rapports, XXVII<sup>e</sup> Congrès International de Médecine du Travail, Médecine Légale et Médecine Sociale, Strasbourg, Ed. du Congrès, 1954, 383-444.
- (44) LAVENNE F. et BELAYEW D. — Problèmes médicaux soulevés par le travail aux températures élevées. 3<sup>e</sup> partie. Entraînement des sauveteurs aux hautes températures. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1954, n<sup>o</sup> 123, 35 p.
- (45) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1954. - Annales des Mines de Belgique, 1955, 3<sup>e</sup> livraison, 373-410.
- (46) LEYH P. — Problèmes médicaux soulevés par le travail aux températures élevées. 4<sup>e</sup> partie: Le maintien de l'accoutumance aux hautes températures. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1957, n<sup>o</sup> 149, 38 p.
- (47) BLOCKLEY W.V. et TAYLOR C.L. — Heat Pip. Air Condit., 1949, May, p. 111 - in LADELL W.S.S. Brit. J. Industr. Med., 1955, 12, 111-125.
- (48) LEYH P. — Problèmes médicaux soulevés par le travail aux températures élevées. 5<sup>e</sup> partie: Entraînement de sauveteurs à des températures sèches supérieures à 45° C avec une humidité relative voisine de 50 %. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1958, n<sup>o</sup> 156, 45 p.
- (49) CAPLAN A. — A critical analysis of collapse in underground workers on the Kolar goldfield. - Bulletin of the Institution of Mining and Metallurgy, 1943, n<sup>o</sup> 463, 12-70.
- (50) EICHNA L.W., ASHE W.B., BEAN W.B. et SHELLEY W.B. — The upper limits of environmental heat and humidity tolerated by acclimatized men working in hot environments. - J. of Industr. Hyg. and Toxicology, 1945, 27, 59-84.
- (51) ROBINSON S., TURELL E.S. et GERKING S.D. — Physiologic equivalent conditions of air temperature and humidity. - Am. J. Phys., 1945, 143, 21-32.
- (52) BIDLOT R. et LEDENT P. — Que savons-nous des limites de température humainement supportables? - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1947, n<sup>o</sup> 28, 14 p.
- (53) BIDLOT R. et LEDENT P. — Climatisation souterraine. - Revue Universelle des Mines, 1950, 93, 173-186.
- (54) WYNDHAM C.H., VAN DER MERWE BOUWER W., PATERSON H.F. et DEVINE M.G. - Practical aspects of recent physiological studies in Witwatersrand gold mines. - J. Chem. Metall. and Min. Soc. of South Africa, 1953, 53, 287-306; 1954, 55, 58-60.
- (55) HORNE G.O. et WEINER J.S. — Résumé et classification des troubles causés par la chaleur. - Communication faite au Groupe de Travail « Travail aux Hautes Températures » de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, le 28 avril 1956.
- (56) DEGUELDRE G. — Prélèvements de poussières sur une longue période dans un charbonnage témoin. 1<sup>re</sup> partie: Validité des mesures faites à la « hand-pump P.R.U. » dans les chantiers d'abattage. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1958, n<sup>o</sup> 151, 64 p.
- (57) CARTIGNY S. — Dosage de la silice dans les poussières de roches. 2<sup>e</sup> partie: Etude critique des méthodes de dosage de la silice libre par voie chimique. - Communication de l'Institut des Mines, 1958, n<sup>o</sup> 154, 35 p.
- (58) HOUBERECHTS A., CARTIGNY S. et DEGUELDRE G. — Etude comparative de solutions tensio-actives destinées à la lutte contre les poussières dans les mines. Critères concernant leur efficacité. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1955, n<sup>o</sup> 133, 36 p.
- (59) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1955. - Annales des Mines de Belgique, 1956, 3 et 4, 375-402 et 599-629.
- (60) PATIGNY J. — Etude de la ventilation des mines par l'analogie électrique. - Revue Universelle des Mines, 1958, XIV, 381-416.
- (61) de CROMBRUGGHE O. et PATIGNY J. — Ventilation minière. Méthodes récentes pour l'étude de réseaux maillés. - Bulletin Technique de l'Union des Ingénieurs sortis des Ecoles Spéciales de l'Université de Louvain, 1958, 3, 145-162.
- (62) de CROMBRUGGHE O. et REMACLE J. — Ventilation minière. Calcul des réseaux maillés. - Annales des Mines de Belgique, 1958, 10<sup>e</sup> livraison, 875-897.
- (63) BELDING H.S. et HATCH T.F. — Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strains. - Heating, Piping and Air Conditioning, 1955, 27, 129-136.
- (64) DUPUY R. — Caractéristiques physiques d'une ambiance. Note sur l'indice de contrainte thermique de Belding et Hatch. - Chauffage, Ventilation, Conditionnement, 1956, 33, 13-24.
- (65) MISSEARD A. — Coefficient de charge thermique dans les ambiances chaudes. - Industries thermiques, 1957, décembre, 735-752.
- (66) BEDFORD T. — Environmental warmth and its measurement. - Medical Research Council. War Memorandum n<sup>o</sup> 17. London, H.M.S.O., 1946, 40 p.
- (67) MARTINSON M.J. — Determining the friction factors of n<sup>o</sup> 2 and 3 shafts, Harmony Gold Mining Cy, by means of scale models. - Journal of the Mine Ventilation Society of South Africa, 1957, 10, 51-63.