

L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1959

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. Mesure du volume sanguin intra-thoracique.
 - B. Détermination de la pression partielle d'oxygène dans le sang artériel.
 - C. Détermination de la pression partielle d'anhydride carbonique dans le sang artériel.
3. *Etude des gaz du sang dans la pneumoconiose des houilleurs.*
 - A. Sujets examinés.
 - B. Résultats.
 - C. Conclusions.
4. *Recherches anatomiques sur la topographie des confluences pneumoconiotiques.*
 - A. Technique utilisée.
 - B. Résultats.

- C. Comparaison avec les travaux radiologiques.
- D. Conclusions.

5. *Essais d'appareils respiratoires en vue d'opérations de sauvetage aux hautes températures.*

- A. Comparaison d'appareils respiratoires en circuit fermé à oxygène comprimé et à air liquide.
- B. Comparaison d'appareils respiratoires en circuit fermé et en circuit ouvert.

II. — Travaux de la Section Technique.

1. *Lutte contre les poussières.*
 - A. Analyse des poussières. Conimétrie.
 - B. Lutte contre les poussières. Matériel et procédés divers.
2. *Ventilation. Climat.*
 - A. Résolution de problèmes de ventilation par analogie électrique.
 - B. Etude du climat minier.
 - C. Etude des pertes de charge des puits.
 - D. Tarage des instruments de mesure.
3. *Enquête.*

INTRODUCTION

Le présent article sur l'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1959 constitue la suite traditionnelle des rapports publiés dans les Annales des Mines de Belgique depuis 1948.

Jusqu'à présent, la plupart des recherches réalisées par l'Institut faisaient l'objet de Communications éditées sous forme de bulletins photocopiés. Il en était de même pour les analyses bibliographi-

ques qui étaient diffusées sous forme de Bulletins de Documentation Médicale et de Documentation Technique. Devant l'importance prise par nos travaux et la demande croissante de nos publications, le Conseil d'Administration de l'Institut a décidé, qu'à partir de l'année 1960, nous éditerions un périodique qui paraîtrait trimestriellement et porterait le titre de « Revue de l'Institut d'Hygiène des Mines ». Cette publication comportera des articles

originaux, qui remplaceront nos anciennes Communications, une rubrique « chronique » et des analyses bibliographiques qui prendront tout naturellement la place de nos Bulletins de Documentation Médi-

cale et Technique. A partir de l'année 1960, on pourra dès lors aussi souscrire des abonnements aux publications de notre organisme.

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 1959, des groupes importants de mineurs et d'apprentis-mineurs ont été examinés en dehors de l'Institut grâce au car radiologique. C'est ainsi que les ouvriers de deux charbonnages du Bassin de Liège ont subi un examen radiophotographique. Il s'agit de 1304 sujets d'une société et de 359 ouvriers d'un autre charbonnage, dont la plupart ont déjà subi divers examens radiologiques antérieurs.

L'étude comparative des séries de clichés en question est en cours.

D'autre part, les apprentis-mineurs du Bassin de Liège, à Grivegnée, au nombre de 106, ont subi des examens radiophotographiques et cliniques et les 30 sauveteurs de la Centrale de Sauvetage du Bassin de Liège ont été radiographiés sur grand format. Le but de ces derniers examens est surtout prophylactique afin d'éviter des mécomptes futurs aux jeunes gens qui se destinent à la mine ou à ceux qui sont appelés à effectuer des travaux parfois pénibles et dangereux en cas d'accidents miniers.

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

Le nombre d'examens approfondis demandés à l'Institut d'Hygiène des Mines par les médecins des mines avait atteint en 1958 le chiffre record de 514. Ce nombre a légèrement diminué et s'établit à 500 pour 1959. La raison de cette légère baisse réside, en partie, dans la crise charbonnière entraînant une diminution des effectifs et des difficultés plus grandes pour obtenir le déplacement des sujets intéressés et, en partie, dans l'extension des examens qui s'allongent par la mise en œuvre de certains procédés de laboratoire supplémentaires.

Les trois quarts environ des ouvriers examinés ont été adressés à l'Institut par des médecins attachés à l'industrie charbonnière, le quart restant par des médecins des caisses de pensions, des mutuelles ou des dispensaires antituberculeux. Tous les ouvriers ont subi un examen radioclinique complet et la très grande majorité a été soumise à des explorations électrocardiographiques (487).

Des examens radiologiques complémentaires ont été réalisés sous forme de tomographies ou d'agrandissements chez la moitié environ (216) des sujets

intéressés. La liste suivante donne un aperçu des anomalies principales décelées chez ces 500 ouvriers.

Aspect radiologique des poumons des sujets examinés :

sans pneumoconiose : 19 %
suspects de pneumoconiose débutante : 11 %
pneumoconiose simple : 55 %
pneumoconiose compliquée (condensations ou pseudotumeurs) : 12 %
tuberculose ouverte : 3 %.

Age moyen des sujets examinés :

moins de 20 ans : 0,5 %
de 21 à 30 ans : 7,5 %
de 31 à 40 ans : 45 %
plus de 40 ans : 47 %.

Nombre d'années de travail au fond :

moins de 5 ans : 7 %
de 5 à 10 ans : 20 %
de 11 à 15 ans : 28 %
de 16 à 20 ans : 24 %
de 21 ans et plus : 16 %
ouvriers de surface : 5 %.

Plaintes principales formulées par les ouvriers :

sans plaintes (révisions radiologiques) : 15,3 %
dyspnée : 25,8 %
toux : 13,7 %
fatigue : 9,5 %
douleurs thoraciques et précordiales : 20,5 %
douleurs lombaires : 6,9 %
troubles digestifs : 5,3 %
divers : 3 %.

Anomalies électrocardiographiques.

Un quart des électrocardiogrammes présentait une des anomalies suivantes :

tachycardie sinusale : 22 %
troubles du rythme (arythmie, extrasystoles) : 16 %
troubles coronariens : 32 %
infarctus du myocarde : 2 %
hypertrophie ventriculaire gauche : 16 %
tracé suggestif d'hypertrophie droite : 4 %
bloc incomplet droit : 8 %.

Les conseils donnés aux médecins d'industrie et aux médecins traitants à la suite des examens pratiqués furent les suivants :

avis tranquillisans : 37,9 %
mutations de poste : 23,5 %

- mise à la pension : 10,9 %
- observations complémentaires ou traitement dans un centre spécialisé : 24 %
- traitement en sanatorium : 1,5 %
- observation complémentaire - orthopédiste, urologue, etc. : 2,2 %.

Les Dr Belayew et Van Mechelen ont en outre participé au protocollage de films de grand et de petit formats dans le cadre d'un essai de la C.E.C.A. ayant pour but d'arriver à plus d'uniformité dans l'interprétation des radiographies de pneumoconiotiques.

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

A. Mesure du volume sanguin intra-thoracique.

a. Intérêt de cette mesure.

Le volume sanguin pulmonaire est une donnée essentielle dans la connaissance de la physiopathologie de la circulation pulmonaire. Jusqu'ici, grâce au cathétérisme des cavités droites, on pouvait connaître le débit cardiaque et le régime de pression régnant dans le circuit pulmonaire. Mais pour avoir une idée précise sur le comportement des vaisseaux pulmonaires dans les différentes conditions physiologiques et au cours des pneumopathies chroniques, le volume sanguin des poumons devait être estimé.

Pour préciser la physiopathologie du cœur pulmonaire des pneumoconiotiques, il est particulièrement essentiel de connaître les relations entre la masse sanguine pulmonaire et la résistance artérielle pulmonaire.

Plusieurs questions doivent être résolues :

- α. L'hypertension artérielle pulmonaire est-elle directement liée à la diminution de capacité du réseau vasculaire pulmonaire ?
- β. Cette diminution du réseau vasculaire est-elle :
 - organique, c'est-à-dire liée à l'amputation de certains territoires vasculaires dans les zones de pseudotumeurs ou d'emphysème ou à l'altération de la paroi vasculaire, qui

a perdu son élasticité ou a vu rétrécir sa lumière par épaissement pariétal ?

- fonctionnelle, c'est-à-dire liée à un spasme artériel, et quels sont les agents pharmacodynamiques ou autres capables de lever ce spasme en tout ou en partie ?

C'est pour tenter de répondre à ces questions que R. Kremer a entrepris de mettre au point chez les pneumoconiotiques la mesure du volume sanguin pulmonaire, par radiocardiographie, et de la confronter avec les autres données indispensables à l'évaluation précise des pneumoconioses :

- spirométrie et mesure du volume résiduel,
- cathétérisme cardiaque au repos et à l'effort, avec mesure de la résistance artérielle pulmonaire,
- étude des échanges gazeux (O₂, CO₂) au repos et à l'effort.

b. Principe de la mesure.

Il a été largement exposé dans la thèse de J. Lammerant (1); la formule de mesure du volume sanguin pulmonaire, c'est-à-dire du volume déplacé des poumons par le flot sanguin, est celle de Stewart-Hamilton :

$$V = Q \times t$$

où V est le volume sanguin pulmonaire, Q le débit moyen pulmonaire par seconde et t le temps moyen de circulation dans les poumons exprimé en secondes. Ce temps de circulation dans les poumons doit correspondre à la durée du déplacement de la totalité du sang contenu dans les poumons, c'est-à-dire au temps moyen de transit du flot sanguin d'une extrémité à l'autre du réseau pulmonaire : cette mesure a constitué jusqu'à présent la difficulté majeure dans l'utilisation de la méthode de Stewart-Hamilton. La radiocardiographie permet cette mesure.

Si l'on injecte un isotope radioactif émettant un rayonnement pénétrant en amont du cœur, le premier passage de la substance traceuse dans les cavités droites, puis dans les cavités gauches, peut être enregistré sur l'aire précordiale sous la forme

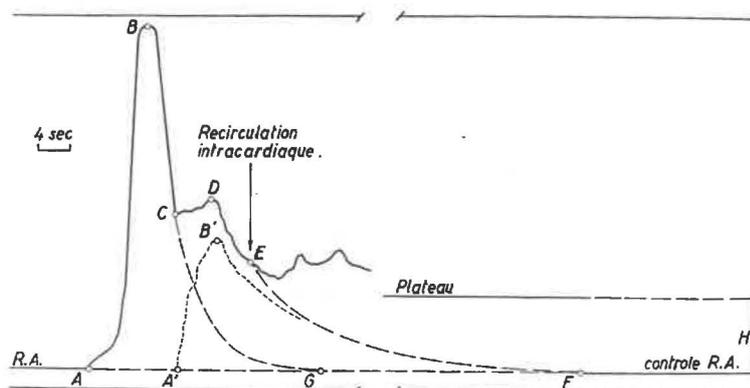


Fig. 1. — Onde biphasique enregistrée en radiodiographie et se décomposant en la courbe émanant des cavités droites et celle des cavités gauches (d'après Lammerant, 1957).

de deux courbes successives, partiellement superposées. Un système de détection orienté sur la masse cardiaque totalise les deux courbes sous l'aspect d'une onde à deux sommets (fig. 1).

En pratique, une quantité connue d'albumine humaine marquée à l'iode 131, constituant un traceur plasmatique, est injectée en amont du cœur. La première courbe de passage de l'isotope dans les cavités cardiaques est enregistrée au moyen d'un scintillomètre, centré sur la masse cardiaque et relié à un fréquence-mètre (Tracer Lab SC 54) et à un milliampèremètre à inscription directe. La stabilisation de la radioactivité intra-cardiaque est enregistrée une dizaine de minutes plus tard sous l'aspect d'un plateau horizontal.

A partir de l'onde diphasique obtenue, les courbes droite (ABCG) et gauche (A'B'F) peuvent être reconstituées par extrapolation, car Hamilton a démontré que la pente descendante d'une courbe de concentration d'un indicateur circulatoire répond à une fonction exponentielle (fig. 2).

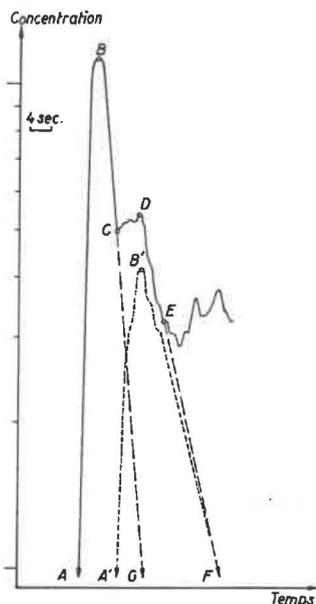


Fig. 2. — Projection et analyse en coordonnées semi-logarithmiques du tracé de la figure 1 (d'après Lammerant, 1957).

Les données suivantes peuvent être tirées de cet examen :

α. Le volume plasmatique total par la formule :

$$V_p = \frac{A}{C_f}$$

où V_p est le volume plasmatique, A la quantité d'albumine marquée injectée, C_f la concentration finale de la substance traceuse dans le plasma.

β. Le débit cardiaque plasmatique par la méthode de dilution :

$$Q_p = \frac{H}{S} \times V_{p,\text{tot}}$$

où Q_p est le débit plasmatique, H la hauteur en mm du plateau final de radioactivité, S la surface totale en mm^2 établie par planimétrie, $V_{p,\text{tot}}$ le volume plasmatique total.

γ. Le temps moyen de circulation dans les poumons, qui est la moyenne arithmétique du temps requis individuellement par chacune des unités radioactives pour parcourir le trajet entre deux points de repère lors de leur première circulation.

On calcule séparément le temps moyen des courbes gauche et droite reconstituées par la formule :

$$t_m = \frac{t_1 C_1 + t_2 C_2 + \dots + t_n C_n}{C_1 + C_2 + \dots + C_n} = \frac{\sum t C}{\sum C}$$

où t_m est le temps moyen du transit, t_1, t_2, t_n le temps des concentrations C_1, C_2, C_n .

L'intervalle t_m droit - t_m gauche constitue le temps moyen de circulation pulmonaire.

δ. Le volume plasmatique pulmonaire par la formule de Hamilton :

$$V_{p,p} = Q_p \times t_m$$

où $V_{p,p}$ est le volume plasmatique pulmonaire, Q_p le débit plasmatique par seconde et t_m le temps moyen de circulation pulmonaire.

Connaissant l'hématocrite, c'est-à-dire le pourcentage du volume sanguin occupé par les globules, on peut obtenir, à partir des volumes et débits plasmatiques, le volume sanguin total, le débit cardiaque et le volume sanguin pulmonaire.

c. Technique adoptée à l'Institut d'Hygiène des Mines.

Après bien des recherches et des tâtonnements, R. Kremer a adopté la technique suivante :

Le patient, à jeun, est préparé par une injection d'Oasil. Une sonde de Cournand est placée dans la veine cave supérieure, le colimateur étant centré sur la masse cardiaque. L'albumine marquée est injectée dans un embout de caoutchouc branché sur le cathéter et aussitôt chassée dans ce dernier par 10 cm^3 de solution physiologique poussés à la seringue.

Après cette première mesure du débit cardiaque et du volume sanguin pulmonaire, la sonde est poussée dans l'artère pulmonaire et une aiguille de Cournand est mise en place dans l'artère humérale. La pression artérielle pulmonaire est enregistrée et une mesure du débit cardiaque est effectuée suivant le principe de Fick, c'est-à-dire en mesurant simultanément la consommation d'oxygène V_{O_2} et le contenu en oxygène du sang dans l'artère humérale et dans l'artère pulmonaire. Si la consommation d'oxygène est exprimée en cm^3/min et les concen-

trations d'oxygène dans le sang en cm³/litre, on obtient le débit cardiaque en litres/min suivant la formule :

$$Q = \frac{V_{O_2}}{[O_2]_{AH} - [O_2]_{AP}}$$

où [O₂]_{AH} et [O₂]_{AP} représentent la concentration en oxygène de l'artère humérale et de l'artère pulmonaire.

Aussitôt après, le patient est soumis à une épreuve d'effort sur la bicyclette ergométrique. Pendant cet effort, la pression artérielle pulmonaire est suivie de 30 secondes en 30 secondes. Lorsqu'une stabilisation est obtenue (généralement entre la 3^e et la 5^e minute de l'effort), une nouvelle mesure du débit cardiaque par la méthode de Fick est effectuée. Sous contrôle radioscopique et tandis que le patient poursuit son effort, la sonde est retirée dans la veine cave supérieure et une nouvelle dose d'albumine marquée y est injectée.

Par cette technique sont mesurés au repos et à l'effort :

- le débit cardiaque par la méthode de Fick et par la méthode de dilution d'une substance radioactive,
- la pression artérielle pulmonaire,
- les résistances pulmonaires et périphériques,
- le volume sanguin pulmonaire.

B. Détermination de la pression partielle d'oxygène dans le sang artériel.

a. Intérêt de cette détermination par rapport à la détermination de la saturation oxyhémoglobinée.

α. L'oxygène dissous dans le plasma et la pression partielle d'oxygène p_a(O₂).

Au niveau de l'alvéole pulmonaire, l'oxygène diffuse à travers la membrane alvéolo-capillaire et se dissout dans le plasma sanguin. La quantité d'oxygène ainsi dissoute dépend, à température constante, de la pression partielle de l'oxygène dans l'air alvéolaire et du coefficient de solubilité. Alors que la pression partielle de l'oxygène dans l'air inspiré est de 149,2 à 185 mm Hg (2) (3), la pression partielle de l'oxygène dans l'air alvéolaire n'est plus que 100 à 105 mm Hg (2) (4).

A une pression barométrique de 760 mm Hg, les pressions partielles des différents gaz dans l'air alvéolaire d'un individu normal et dans les conditions basales sont les suivantes (5) :

p(O₂) = 101,2 mm Hg; p(CO₂) = 40 mm Hg;
p(N₂) = 571,8 mm Hg; p(H₂O) = 47 mm Hg.

La quantité d'oxygène dissoute dans 100 cm³ de sang à 37° C étant par mm Hg de 0,0031 cm³ (6), la quantité d'oxygène dissoute dans les conditions ci-dessus sera environ 0,3 cm³ par 100 cm³ de sang.

Pour un sujet respirant de l'oxygène pur, la pression alvéolaire de O₂ peut croître jusqu'à environ

600 mm Hg et la quantité d'oxygène dissoute être de l'ordre de 1,8 cm³ par 100 cm³ de sang (4).

La p_a(O₂) artérielle normale est de 92 mm Hg (2), mais d'autres auteurs ont publié des valeurs légèrement supérieures, de 94,2 à 97,1 mm Hg (4) (7) (8) (9).

La différence entre les pressions partielles en oxygène de l'alvéole et du sang artériel est, au repos, de l'ordre de 8 mm Hg. La différence réelle immédiatement à la sortie de l'alvéole est beaucoup moindre, de l'ordre de 1 mm Hg, mais celle observée est due à « l'admission veineuse » (sang venant d'alvéoles pauvrement ventilées, des vaisseaux bronchiques ou de quelques veines coronaires).

β. L'oxygène en combinaison avec l'hémoglobine et la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine.

Au niveau des alvéoles, la majeure partie de l'oxygène absorbé diffuse à travers la paroi des globules rouges pour se combiner avec l'hémoglobine. Normalement, 100 cm³ de sang contiennent 15 g d'hémoglobine et 1 g d'hémoglobine peut fixer 1,34 cm³ d'O₂. Le pouvoir oxyphorique, ou capacité en oxygène, sera donc : 15 × 1,34 = 20 cm³ par 100 cm³ de sang (8).

A cause de l'« admission veineuse », la concentration normale en oxygène est légèrement inférieure, de l'ordre de 19 cm³ par 100 cm³ de sang, la saturation oxyhémoglobinée étant voisine de 95 %. La formation d'oxyhémoglobine dépend de divers facteurs : p(O₂), concentration en hémoglobine, pH, p(CO₂), température, etc.

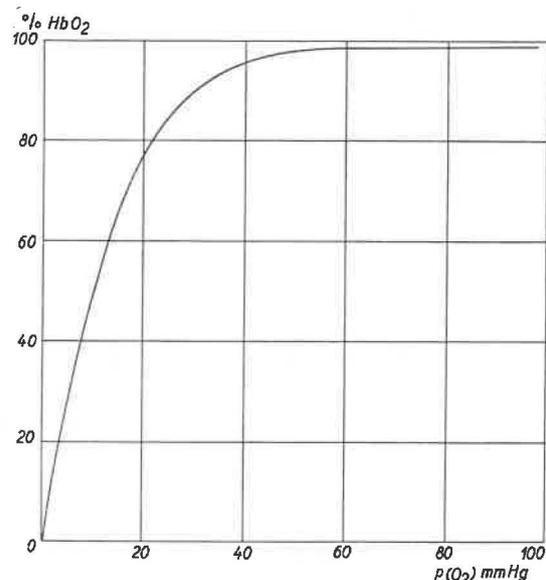


Fig. 3. — Rapport entre la p(O₂) et le pourcentage d'oxyhémoglobine pour des solutions diluées d'hémoglobine humaine.

La relation entre la p(O₂) et le pourcentage d'oxyhémoglobine, pour des solutions diluées d'hémoglo-

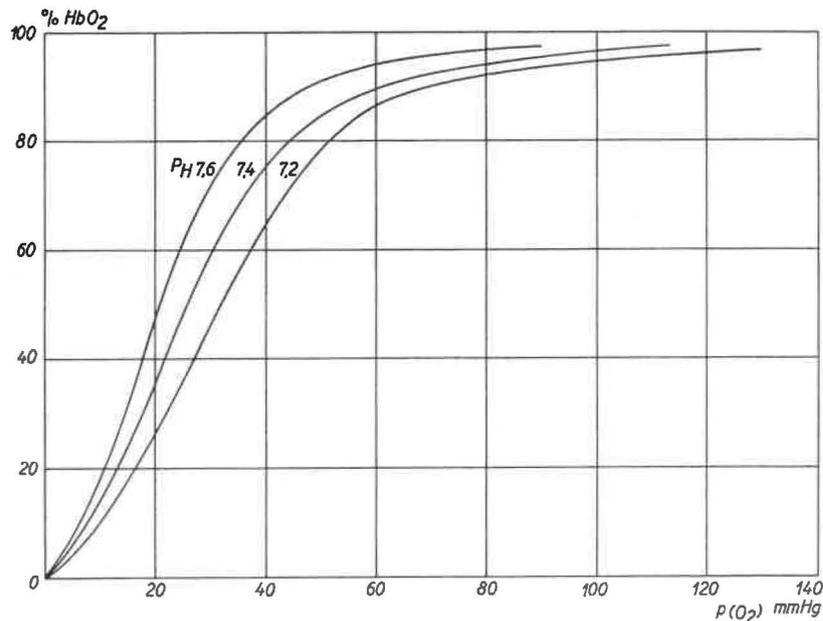


Fig. 4. — Courbes de dissociation de l'oxyhémoglobine en fonction du pH.

bine humaine, est une hyperbole équilatère (fig. 3), en accord avec la loi d'action des masses (3) (5) :



Cependant, pour du sang total, la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine est différente et a un aspect sigmoïde (fig. 4).

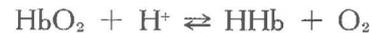
La molécule d'hémoglobine contient quatre groupements « hème » (protoporphyrine-fer) et dès lors peut se combiner avec 0, 1, 2, 3, ou 4 molécules d'oxygène, formant les composés suivants :



L'aspect sigmoïde de la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine du sang total est due à la résultante globale de ces divers équilibres (3) (5).

L'augmentation de la $p_a(\text{CO}_2)$ ou de la concentration en ions H^+ inhibe la formation d'oxyhémoglobine et déplace vers la droite et vers le bas (fig. 4) la courbe de dissociation (effet Bohr). Un accroissement de température a le même effet.

L'avantage de l'aspect en S de cette courbe est évident. La saturation en oxygène est favorisée pour des $p(\text{O}_2) > 60$ mm Hg et la désaturation facilitée pour des $p(\text{O}_2) < 50$ mm Hg, ce qui facilite la cession de l'oxygène aux tissus. Le plateau de la courbe, au-dessus de 80 mm Hg $p(\text{O}_2)$, assure une saturation constante et élevée du sang artériel, malgré de larges variations de $p(\text{O}_2)$ alvéolaire. Au contraire, la portion verticale, de 20 à 60 mm Hg, permet la libération à la périphérie d'une grande quantité d'oxygène. Cette libération de l'oxygène est encore facilitée par l'accroissement de la $p(\text{CO}_2)$ et de la concentration en ions H^+ existant à la périphérie. La réaction



est donc déplacée vers la droite, dans la direction de l'hémoglobine, qui est un acide plus faible que l'oxyhémoglobine. L'exercice musculaire favorise encore davantage cette libération d'oxygène, par diminution accrue de la $p(\text{O}_2)$ tissulaire et augmentation plus importante de la $p(\text{CO}_2)$ et de la concentration en ions H^+ (accumulation d'acide lactique).

γ. Relation entre la $p_a(\text{O}_2)$ et la saturation oxyhémoglobinée.

La relation entre la $p_a(\text{O}_2)$ et la saturation oxyhémoglobinée à pH de 7,4 et t de 37° C est la suivante (2) (10) (11) :

HbO ₂ (%)	$p_a(\text{O}_2)$ (mm Hg)
70	36,1
80	45,7
85	51,7
90	61,4
94	75
96	87,7
98	113.

Bartels et collaborateurs (9) ont adopté une relation pratiquement superposable (fig. 4). Donc, pour des valeurs de saturation allant de 94 à 98 %, la $p_a(\text{O}_2)$ peut varier de 75 à 113 mm Hg, et une erreur de 1 % dans la saturation peut, dans l'échelle de 96 à 98 %, entraîner une erreur de lecture de 13 mm de $p_a(\text{O}_2)$ (4).

Or, tant la technique manométrique de Van Slijke que la technique réflectométrique de Brinkmann, employées pour déterminer la saturation oxyhémoglobinée, ont une marge d'erreur plus

grande. Pour la méthode réflectométrique, cette marge d'erreur est de $\pm 2\%$ de saturation (12) (13). Au sujet de l'exactitude de la méthode de Van Slijke, Bartels et collaborateurs (9) admettent une différence entre deux échantillons de $\pm 0,2 \text{ cm}^3 \%$ et une marge de $\pm 2\%$ dans la détermination de la saturation oxyhémoglobinée.

Il est donc indispensable de doser directement la $p_a(\text{O}_2)$ dans l'échelle des saturations allant de 90 à 98 %, une lecture exacte d'après la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine étant illusoire.

b. Méthodes proposées pour la détermination de la $p_a(\text{O}_2)$.

a. Détermination gasométrique sur plasma par la technique de Van Slijke.

A cause de l'erreur inhérente à la technique elle-même, ce procédé est inapplicable au dosage des petites quantités d'oxygène, normalement dissoutes dans le plasma ($0,003 \text{ cm}^3$ par cm^3 de plasma). Ce procédé devient théoriquement valable pour des $p_a(\text{O}_2)$ très élevées, de l'ordre de 600 à 670 mm Hg, observées chez des patients inhalant de l'oxygène pur : la quantité d' O_2 dissoute est à ce moment de $\pm 2 \text{ cm}^3 \%$ (4).

β. Méthode d'équilibre du sang et d'une bulle gazeuse (14) (4) (9).

Une petite bulle gazeuse est amenée en équilibre à $37,5^\circ \text{C}$ dans une seringue fermée, avec le sang dont on désire connaître la $p_a(\text{O}_2)$. Après égalisation des pressions partielles de CO_2 et d' O_2 entre le sang et la bulle, on détermine le contenu de celle-ci en CO_2 puis en O_2 . La relation du volume sang/bulle doit être la plus grande possible pour éviter toute modification des pressions partielles de gaz dans le sang à analyser. La bulle gazeuse doit d'autre part avoir une composition la plus proche possible de celle du sang à analyser, soit par exemple celle de l'air alvéolaire pour du sang artériel. Les réactifs utilisés pour absorber le CO_2 et l' O_2 doivent avoir des tensions gazeuses similaires à celles de la bulle. Enfin, la $p_a(\text{O}_2)$ ne peut se modifier entre le moment du prélèvement et le moment de l'analyse.

La durée de la détermination est de 20 minutes. Elle nécessite un technicien habile. Son avantage est de permettre à la fois la détermination de $p_a(\text{CO}_2)$ et de $p_a(\text{O}_2)$. Toutefois, des $p_a(\text{O}_2)$ au-delà de 130 mm Hg ne peuvent plus être déterminées avec exactitude (9).

γ. Méthode polarographique.

Si l'on utilise le sang comme électrolyte d'une pile comportant des électrodes standards (par exemple au mercure et au calomel), on constitue une pile dont la force électromotrice est également variable suivant la quantité d'oxygène qui y est dis-

soute. Le principe de la méthode polarographique consiste à mesurer par la méthode d'opposition cette force électromotrice afin d'en déduire la $p(\text{O}_2)$ du sang ou du gaz en équilibre d'oxydo-réduction avec le sang considéré.

Bartels et collaborateurs (15) (9) ont mis au point un hémoxytensiomètre basé sur ce principe. Par l'intermédiaire d'une batterie, on applique, à l'aide d'un potentiomètre, à une chaîne de mesure comprenant une électrode de Hg à goutte, du sang et une électrode au calomel, un potentiel mesuré et tel qu'aucun courant ne passe par le galvanomètre relié au système. Pour des sangs différents ou des solutions dont la $p_a(\text{O}_2)$ est différente, ce point zéro du galvanomètre correspond à des potentiels différents. Or, il existe une relation entre les potentiels appliqués et les logarithmes des pressions partielles d' O_2 des solutions présentes dans l'appareil de mesure. Il est dès lors possible, à partir du sang d'un patient équilibré en tonomètre avec des pressions partielles d' O_2 connues, d'établir une courbe d'étalonnage qui permettra la lecture de la $p_a(\text{O}_2)$ d'un autre échantillon du même sang.

Les avantages de cette technique sont multiples : le sang ne doit pas être centrifugé pour recueillir le plasma, la mesure est indépendante du pH, de la $p(\text{CO}_2)$ (entre 1 et 100 mm Hg) et de la teneur en Hb (entre 0 et 120 %). Elle permet de déterminer des $p(\text{O}_2)$ entre 10 et 600 mm Hg, avec une précision de $\pm 2\%$. La mesure elle-même est très courte, 2 à 3 minutes, cependant elle comporte le désavantage de nécessiter, pour chaque sang différent, l'établissement d'une nouvelle courbe d'étalonnage (2) (9).

c. Technique de mesure adoptée au laboratoire de l'Institut d'Hygiène des Mines.

Depuis la publication initiale de Riley et collaborateurs (14), de nombreuses modifications ont été apportées à la technique d'équilibre du sang et d'une bulle gazeuse. Riley et collaborateurs (16), tenant compte de ces modifications, ont publié une technique améliorée, relativement simple et dont la reproductibilité est satisfaisante. C'est celle-ci qui a été mise au point par L. Brasseur au laboratoire de l'Institut d'Hygiène des Mines. Le matériel employé comprend essentiellement : des seringues de Roughton-Scholander, seringues à tuberculine de 1 cm^3 se terminant par un tube capillaire de 100 mm de longueur divisé en 50 graduations et d'un diamètre intérieur uniforme de 0,5 mm, une cuve thermostatée à $37,5^\circ \text{C}$ dans laquelle un rotor conique portant les seringues tourne à ± 10 tours par minute, un appareil de mesure de la longueur de la bulle comportant un plateau où la seringue peut être agrafée sous eau pour la lecture, un microscope dont l'oculaire est pourvu d'un trait vertical et un système de pignon à crémaillère et de vernier permet-

tant une lecture exacte. Enfin, une bonbonne d'un mélange gazeux bien défini fournit une bulle d'une composition constante ($p(\text{CO}_2) = 43 \text{ mm Hg}$, $p(\text{O}_2) = 83 \text{ mm Hg}$), les autres gaz en présence étant N_2 et vapeur d'eau.

L'absorbant de CO_2 est une solution normale de NaOH et l'absorbant d'oxygène est une solution de 0,5 g d'hydrosulfite de soude dans 2,5 cm^3 de KOH normal.

On doit appliquer aux résultats des facteurs de correction empiriques basés sur des mesures faites sur des sangs équilibrés en tonomètre avec des mélanges gazeux connus. Les $p(\text{O}_2)$ trouvées sont trop élevées en dessous de 80 mm Hg et sous-estimées au-delà, les $p(\text{CO}_2)$ trouvées sont trop basses au-dessus de 55 mm Hg. Les erreurs possibles de cette technique de détermination de la $p_a(\text{CO}_2)$ et de la $p_a(\text{O}_2)$ ont été soumises à une étude critique (17).

Récemment, Semple et collaborateurs (18), employant la technique décrite par Riley, ont dosé la $p(\text{CO}_2)$ et la $p(\text{O}_2)$ de divers échantillons sanguins équilibrés en tonomètre à 37,5° C avec des mélanges gazeux connus. Ces auteurs ont trouvé des déviations standards de $\pm 2,3 \text{ mm Hg}$ pour le CO_2 et de $\pm 3,2 \text{ mm Hg}$ pour l' O_2 . Leurs facteurs de correction diffèrent cependant de ceux de Riley : pour la $p(\text{O}_2)$, la ligne de régression croise la ligne d'identité à 60 mm Hg, au lieu de 80 mm Hg et pour la $p(\text{CO}_2)$, les valeurs trouvées entre 30 et 60 mm Hg doivent être diminuées de 2 mm Hg.

Ces discordances montrent la nécessité pour chaque laboratoire d'établir ses propres facteurs de correction.

C. Détermination de la pression partielle d'anhydride carbonique dans le sang artériel.

a. Intérêt de la détermination de la pression partielle de CO_2 .

L'équation d'Henderson-Hasselbach exprime la relation existant entre le pH, la fraction de CO_2 combinée sous forme de bicarbonates et l'acide carbonique ou CO_2 libre

$$\text{pH} = \text{pK}' + \log \frac{[\text{BHCO}_3]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

pK' étant une constante tenant compte simultanément de la dissociation de H_2CO_3 et du coefficient d'activité de BHCO_3 , pour laquelle on prend la valeur 6,107. La valeur du rapport

$$\frac{[\text{BHCO}_3]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

est donc déterminante dans le maintien d'un pH constant. Comme la concentration en CO_2 libre ou en H_2CO_3 est directement liée à la valeur de la $p_a(\text{CO}_2)$, la ventilation pulmonaire assure la cons-

tance de ce rapport en maintenant la $p_a(\text{CO}_2)$ à son niveau normal, de 40 à 42 mm Hg (19) (20) (21) (22). C'est ce qui explique que les poumons sont l'organe le plus important de l'organisme pour excréter des acides : les reins éliminent normalement de 40 à 80 m.éq. par jour d'acides fixés, tandis que les poumons excrètent 13.000 m.éq. par jour d'acide carbonique. Dès que $p_a(\text{CO}_2)$ est accrue, le centre respiratoire réagit et la ventilation est accrue.

L'augmentation de $p_a(\text{CO}_2)$ est le critère de l'hypoventilation par dépression du centre respiratoire, interférences dans la conduction nerveuse ou la transmission neuro-musculaire, maladies des muscles respiratoires, limitation des mouvements du thorax et du poumon, et surtout par atteinte du poumon lui-même. Pratiquement, une augmentation de $p_a(\text{CO}_2)$ signifie donc que l'entière ou la majorité du poumon est hypoventilée, tandis qu'une diminution de $p_a(\text{CO}_2)$ est toujours associée à une hyperventilation globale (20).

b. Détermination de $p_a(\text{CO}_2)$ par la méthode de la mise en équilibre du sang et d'une bulle gazeuse.

La détermination directe de la $p_a(\text{O}_2)$ par la technique microtonométrique de Riley (16) déjà décrite permet le calcul simultané de $p_a(\text{CO}_2)$.

c. Détermination indirecte de $p_a(\text{CO}_2)$ à partir de l'équation d'Henderson-Hasselbach.

Cette équation

$$\text{pH} = \text{pK}' + \log \frac{[\text{BHCO}_3]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

permet le calcul de $p_a(\text{CO}_2)$ à partir de la concentration totale du plasma en CO_2 et du pH. Comme la teneur du plasma en BHCO_3 ou en CO_2 combiné sous forme de bicarbonates est égale à la concentration totale en CO_2 moins celle en CO_2 libre, on a

$$\text{pH} = \text{pK}' + \log \frac{[\text{CO}_2]_{\text{tot}} - [\text{CO}_2]_{\text{lib}}}{[\text{CO}_2]_{\text{lib}}}$$

La teneur en H_2CO_3 ou en CO_2 libre dissous dans le plasma est proportionnelle au coefficient de solubilité de CO_2 dans le plasma [0,521 cm^3 par cm^3 de plasma à 37° C selon Severinghaus et collaborateurs (23) (24)] et à la pression partielle du gaz en atmosphères. Si l'on exprime H_2CO_3 en cm^3 de CO_2 par 100 cm^3 de plasma et $p_a(\text{CO}_2)$ en mm Hg, on aura

$$\begin{aligned} [\text{CO}_2]_{\text{lib}} &= \text{H}_2\text{CO}_3 = \frac{100 \cdot 0,521 p_a(\text{CO}_2)}{760} \\ &= 0,0686 p_a(\text{CO}_2) \end{aligned}$$

En remplaçant dans l'équation d'Henderson-Hasselbach $[\text{CO}_2]_{\text{lib}}$ par cette valeur, on trouve

$$p_a(\text{CO}_2) = \frac{[\text{CO}_2]_{\text{tot}}}{0,0686 (10^{\text{pH} - \text{pK}'} + 1)} \text{ mm Hg}$$

Adoptant pour pK' la valeur de 6,107, Rossier et collaborateurs (2) ont publié des tables donnant immédiatement la valeur du dénominateur pour chaque valeur de pH comprise entre 6,90 et 7,59.

Cette équation et ces tables ont été adoptées par de nombreux auteurs (25).

Milch et collaborateurs (26) et Moller (13) ont publié des tables analogues pour le calcul de $p_a(\text{CO}_2)$ pour des valeurs n_{CO_2} exprimées en nombre de millimoles/litre.

Si l'on se rappelle que 1 millimole de CO_2 à 0° C et 760 mm Hg occupe un volume de 22,414 cm^3 et si l'on adopte un coefficient de solubilité de CO_2 légèrement différent, de 0,51 cm^3/cm^3 de plasma comme Milch et Moller l'ont fait, on obtient

$$n_{\text{CO}_2 \text{ lib}} = \frac{1000 \cdot 0,51}{22,414 \frac{760}{p_a(\text{CO}_2)}} = 0,0301 p_a(\text{CO}_2)$$

Dès lors, on trouve par l'emploi de l'équation d'Henderson-Hasselbach :

$$p_a(\text{CO}_2) = \frac{n_{\text{CO}_2 \text{ tot}}}{0,0301 (10^{\text{pH} - \text{pK}'} + 1)}$$

Cependant, Severinghaus et collaborateurs (24), étudiant les variations de la constante pK' pour l'acide carbonique du sérum en fonction du pH et de la température, ont établi pour 37° C et un pH de 7,4 une valeur de 6,093 pour pK' .

La $p_a(\text{CO}_2)$ calculée se trouve abaissée de 1,2 mm Hg si l'on adopte la valeur de 6,09 pour pK' au lieu de 6,11 (9). Les nomogrammes de Van Slijke et Sendroy (27), longtemps employés pour déterminer la $p_a(\text{CO}_2)$ d'après le CO_2 total et le pH, sont de plus en plus remplacés par les tables qui permettent une détermination plus exacte.

Le CO_2 total du plasma est dosé selon la technique classique de Van Slijke et Neill (28) après centrifugation du sang sous paraffine et prélèvement anaérobie de 1 cm^3 de plasma dans une pipette d'Oswald : à la fois les bicarbonates et le CO_2 libre sont libérés par l'acide lactique et le CO_2 libéré est dosé manométriquement après absorption par NaOH 1N.

Le pH a été dosé sur sang total, prélevé anaérobiquement dans une seringue contenant préalablement deux gouttelettes d'une solution d'héparine, en utilisant un potentiomètre à piles du type Radiometer IV et une électrode thermostatée à 38° C (29).

d. Comparaison entre les deux techniques de détermination de la $p_a(\text{CO}_2)$.

La technique directe d'équilibration paraît théoriquement plus satisfaisante, mais elle nécessite un long apprentissage, une grande habileté et, entre les mains de techniciens expérimentés, sa marge d'erreur est de ± 2 à $\pm 2,5$ mm Hg (2) (4) (9) (18). La détermination indirecte par calcul voit sa précision dépendre du dosage du CO_2 total et surtout du pH. Une erreur de 0,01 unité pH entraîne une erreur de 0,75 mm Hg dans la $p_a(\text{CO}_2)$ et une modification de 0,5 vol dans la mesure du CO_2 total modifie la $p_a(\text{CO}_2)$ de 0,25 mm Hg. Les causes d'erreurs possibles, portant surtout sur la détermination du pH, ont été soumises à une étude critique fouillée (23).

Le degré de précision de la technique indirecte est estimé par Rossier et collaborateurs (2) à ± 1 mm Hg; aussi cette technique est-elle préférée par la plupart des auteurs (4) (9).

3. — Etude des gaz du sang dans la pneumoconiose des houilleurs.

A. Sujets examinés.

L. Brasseur, J. Tremouroux et R. Kremer (30) ont étudié la saturation oxyhémoglobinée et la pression partielle de CO_2 au repos et à l'effort, chez 44 pneumoconiotiques dont 13 étaient de grands emphysémateux avec un V.E.M.S. de moins de 1200 cm^3 (6 d'entre eux étaient d'ailleurs en décompensation cardiaque droite); les 31 autres avaient un V.E.M.S. de plus de 1200 cm^3 . Le volume expiratoire maximum par seconde, déterminé après inhalation d'isopropyl-noradrénaline, a été considéré comme le meilleur critère du degré d'emphysème.

B. Résultats.

La figure 5 donne les valeurs de la $p_a(\text{CO}_2)$ au repos et à l'effort en fonction du V.E.M.S. On voit que l'hypercapnie ($p_a(\text{CO}_2) > 42$ mm Hg) est liée uniquement à l'emphysème et ne se trouve guère, au repos et à l'effort et quelle que soit la gravité de l'image radiologique, lorsque le V.E.M.S. dépasse 1200 cm^3 . En dessous de ce chiffre, par contre, la rétention de CO_2 est fréquente : parmi les 13 pneumoconiotiques dont le V.E.M.S. est inférieur à 1200 cm^3 , 7 sujets ont au repos une hypercapnie nette (dont 5 sont en insuffisance ventriculaire droite) et 4 sujets ont à l'effort une $p_a(\text{CO}_2)$ élevée, de 44 à 51 mm Hg.

Le comportement de la saturation oxyhémoglobinée au repos et à l'effort, en fonction du V.E.M.S., est représenté à la figure 6. La flèche indique le sens dans lequel s'est faite la modification de la saturation sous l'effet de l'effort. La désaturation artérielle ne se rencontre guère au repos, pour un V.E.M.S. de plus de 1200 cm^3 , que dans les pneu-

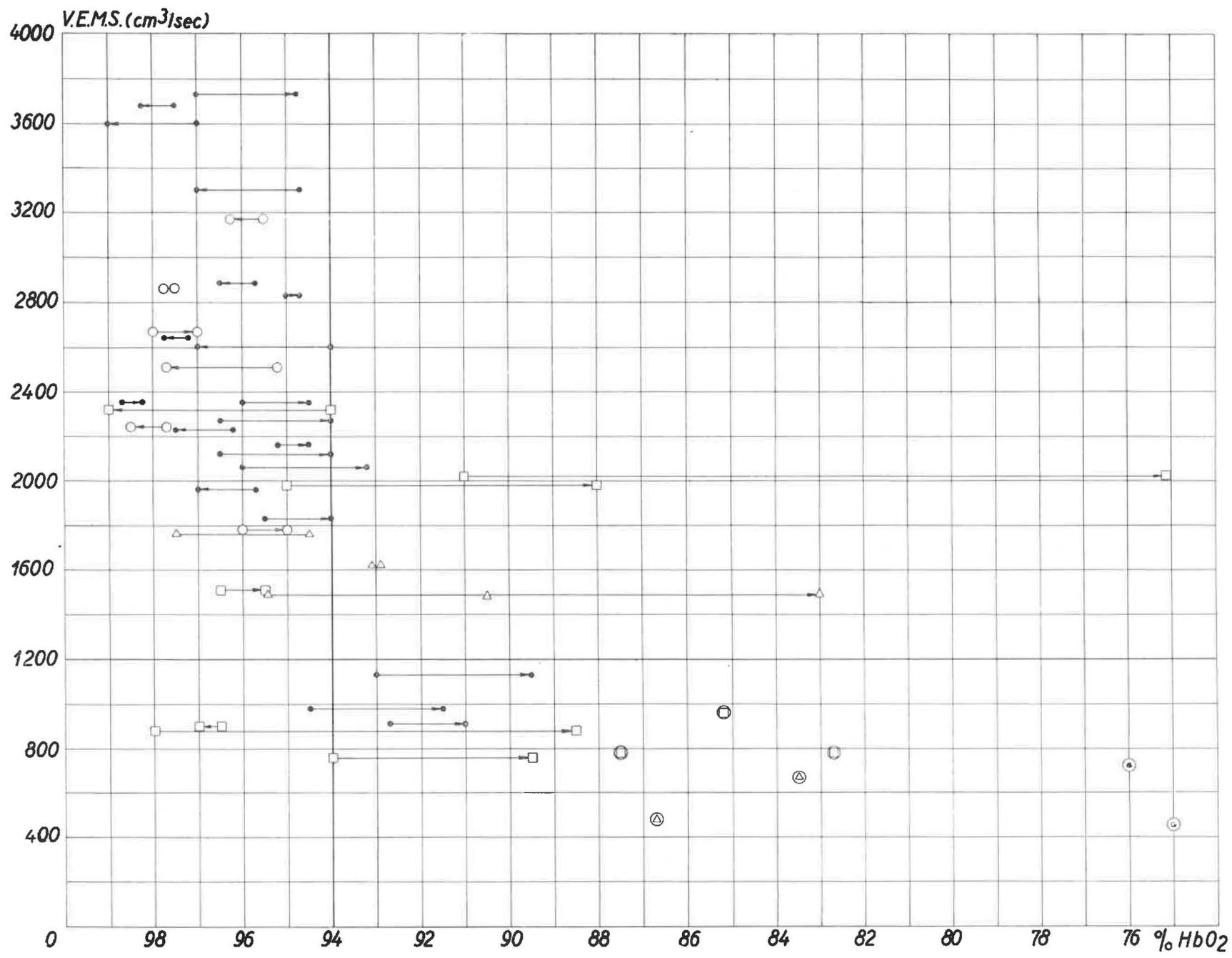


Fig. 6. — Relation entre la saturation oxyhémoglobinée au repos et à l'effort et le V.E.M.S.

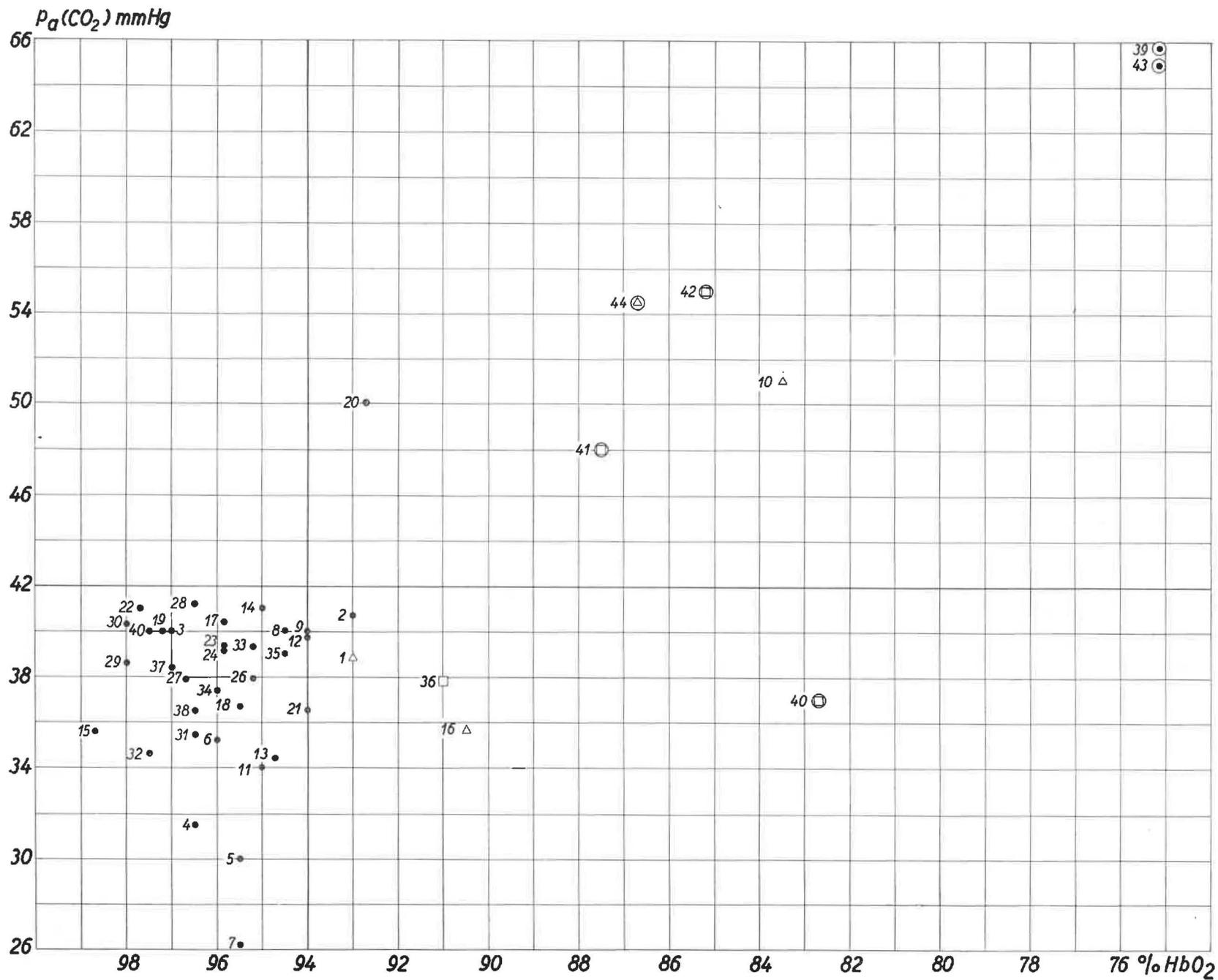


Fig. 7. — Comparaison entre la saturation oxyhémoglobinée au repos et la $p_a(\text{CO}_2)$.

moconioses avancées (condensations ou pseudo-tumeurs), où elle n'est pas constante (3 cas sur 8). Dans l'emphysème grave par contre (V.E.M.S. en dessous de 1200 cm^3), la désaturation au repos est fréquente (3 cas sur 7) et elle est la règle dans tous les cas de cœur pulmonaire chronique par pneumoconiose.

L'épreuve d'effort est particulièrement intéressante. Parmi les 31 sujets à V.E.M.S. supérieur à 1200 cm^3 , 30 épreuves d'effort furent réalisées. Une désaturation inférieure à 94 % est apparue dans 5 cas seulement; les 3 désaturations les plus importantes (72,5 %, 83 % et 88 %) sont survenues chez des houilleurs porteurs d'une pneumoconiose avancée (condensations et pseudo-tumeurs). Parmi les sujets emphysemateux, à V.E.M.S. inférieur à 1200 cm^3 , l'effort ne fut possible que dans 6 cas et révéla généralement une baisse de la saturation oxyhémoglobinée. Brasseur et collaborateurs n'ont pas observé de saturation inférieure à 94 % au repos et se normalisant à l'effort.

La figure 7 reprend pour tous ces houilleurs les résultats de la saturation oxyhémoglobinée au repos en fonction de la pression partielle de CO_2 . Sept patients ont un syndrome d'hypoventilation alvéolaire (saturation basse et rétention de CO_2) et sont groupés dans le quadrant supérieur droit: ce sont tous de grands emphysemateux dont 5 sont en décompensation ventriculaire droite. Cinq sujets, groupés dans le quadrant inférieur droit, ont une désaturation artérielle sans hypercapnie, c'est-à-dire des troubles de distribution ou de diffusion: 3 d'entre eux ont une pneumoconiose avancée (n° 1, 16 et 36), sans emphysème important, 1 a une image micronodulaire M3 (n° 2) avec emphysème (V.E.M.S. de 1130 cm^3) et le dernier enfin est un pseudotumoral (n° 40), très emphysemateux (V.E.M.S. de 780 cm^3) en décompensation droite, dyspnée asthmatiforme et forte hyperventilation.

C. Conclusions.

Motley (31) (32), Friehoff (33) et Sartorelli (34) considèrent l'emphysème avancé comme cause principale de la désaturation artérielle observée, au repos ou à l'effort, chez les pneumoconiotiques. Ce mécanisme pathogénique est responsable de la désaturation artérielle avec hypercapnie observée, au repos et à l'effort, chez les houilleurs dont le V.E.M.S. est inférieur à 1200 cm^3 (9 au repos, dont 6 en décompensation droite et 3 uniquement à l'effort). En particulier, des désaturations marquées associées à une acidose respiratoire plus ou moins compensée et à une hypercapnie se rencontrent chez 5 des 6 patients en décompensation (n°s 39, 41, 42, 43, 44); ce sont de grands emphysemateux et leur compor-

tement est superposable à celui des cœurs pulmonaires chroniques par emphysème pur (35).

Cependant, chez certains houilleurs dont le V.E.M.S. dépasse 1200 cm^3 (n°s 5, 11, 36), les désaturations artérielles, nettement aggravées par l'effort, doivent être attribuées à un mécanisme différent; elles ne s'accompagnent pas d'hypercapnie et surviennent surtout dans les pneumoconioses pseudo-tumorales. Ainsi, le patient n° 36 avec une pneumoconiose avancée (stade C), dont le V.E.M.S. est de 2020 cm^3 et le volume résiduel normal, a une saturation de 91 %, passant à l'effort à 72,5 % sans hypercapnie. Il faut admettre dans ce cas l'existence, soit de troubles importants de la distribution, soit de troubles de la diffusion. Les troubles de distribution, provoquant des désaturations très importantes à l'effort, ne se voient guère en dehors de l'emphysème. Or, dans ce cas, l'espace mort physiologique augmente à l'effort, entraînant une hypoventilation alvéolaire nette avec hypercapnie (36). Dans les cas de pneumoconiose condensée, où l'on observe à l'effort les désaturations artérielles les plus nettes sans hypercapnie (n°s 5, 11, 36), des modifications vasculaires thrombotiques importantes ont été décrites (37) (38). La désaturation artérielle, sans déficit ventilatoire, pourrait donc être attribuée chez ces sujets à des troubles de la diffusion, que ceux-ci soient dus à une modification de la perméabilité de la membrane alvéolaire (syndrome de bloc alvéolo-capillaire) ou à une diminution du temps de contact par passage accéléré du sang dans les capillaires restés perméables (39) (40).

Une recherche a été entreprise récemment sur des mineurs volontaires encore au travail, âgés de 35 à 45 ans, n'ayant guère de plaintes respiratoires. Il s'agit donc d'un groupe homogène de pneumoconiotiques, sans déficit ventilatoire important. Ainsi se trouvent éliminées des anomalies non spécifiques, surajoutées à la pneumoconiose (altérations de la fonction pulmonaire liées à l'âge, cardiopathies, bronchites chroniques importantes et surtout emphysème).

Ces individus relativement jeunes, bien collabourants et encore soumis à un entraînement physique régulier, effectuent dans de bonnes conditions des épreuves d'effort importantes et prolongées. La comparaison des données spirométriques, des courbes de mixing par la méthode à l'azote et des résultats de la ventilation, avec les gaz du sang, prélevés au repos et à l'effort [HbO_2 , $p_a(\text{O}_2)$, $p_a(\text{CO}_2)$] permettra d'étudier la fréquence et la pathogénie (anomalies de la distribution ou de la diffusion) des troubles de l'oxygénation sanguine dans la pneumoconiose. Nous espérons préciser ainsi la part qui revient aux altérations des vaisseaux pulmonaires dans la pathogénie du cœur pulmonaire chronique dans les pneumoconioses.

4. — Recherches anatomiques sur la topographie des confluences pneumoconiotiques.

La pathogénie de la formation des masses pseudotumorales est encore obscure. L'intervention d'un facteur tuberculeux a été proposée, mais n'a pas encore pu être objectivée. Une similitude topographique entre la phtisie et les pneumoconioses confluentes pourrait être un argument en faveur de cette théorie. D'où l'intérêt d'une étude précise de la topographie des confluences pneumoconiotiques.

A. Technique utilisée.

La localisation précise des masses pseudotumorales est souvent rendue difficile à la suite de rétractions et déformations survenant au cours de leur développement. Minette, Belayew et Meersseman (41) ont décrit une technique d'injection des bronches segmentaires par des solutions radio-opaques diversement colorées, permettant de préciser la situation des confluences pneumoconiotiques par rapport à la topographie segmentaire du poumon.

Cette méthode a été utilisée par Meersseman, Belayew et Minette dans un travail portant sur 21 poumons droits et 24 poumons gauches provenant de 29 houilleurs du bassin de la Campine (42).

Après injection de l'arbre bronchique, les poumons ont été coupés parallèlement au plan hilair en quatre tranches d'épaisseur à peu près égale, de façon à permettre l'étude de trois coupes sagittales. Ces coupes ont été désignées sous les noms de externe, médiane et interne par analogie avec les secteurs verticaux de Henning. Chaque coupe sagittale correspond à un des secteurs de Henning (fig. 8).

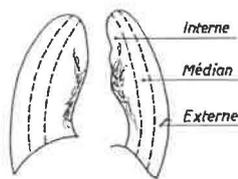


Fig. 8. — Division des champs pulmonaires en secteurs verticaux selon Henning.

Les contours des masses pseudotumorales sont reportés sur des schémas théoriques de coupes sagittales où sont dessinées les limites des divers segments pulmonaires.

B. Résultats.

La localisation des pseudotumeurs a été étudiée de façon analytique, en notant la fréquence d'atteinte des différents lobes et segments pulmonaires, ainsi que des divers types d'atteinte segmentaire, et de façon synthétique en superposant sur un même dessin les surfaces couvertes par les pseudotumeurs.

a. Fréquence de l'atteinte des différents lobes.

Dans le poumon droit, les trois lobes sont le siège constant de condensations, qui apparaissent le plus fréquemment sur les coupes médianes pour le lobe supérieur et moyen, et sur les coupes médianes et internes pour le lobe inférieur.

Dans le poumon gauche, l'atteinte du lobe inférieur est systématique; le lobe supérieur est épargné une seule fois. Les pseudotumeurs apparaissent le plus fréquemment dans les coupes externes et médianes.

b. Fréquence de l'atteinte des divers segments.

Le tableau I indique la fréquence d'atteinte des divers segments et leur répartition entre les différentes coupes.

α . Poumon droit : les segments les plus fréquemment atteints sont les trois segments du lobe supérieur (postérieur 100 %, apical 95 % et antérieur 95 % des cas), le lobe moyen (100 % des cas) et le segment apical du lobe inférieur (100 %). Parmi les segments basaux, l'antéro-basal est le plus souvent entrepris (80 % des cas).

β . Poumon gauche : sont le plus fréquemment le siège de condensations les segments postérieur (95 %), apical (91 %) et antérieur (91 %) du lobe supérieur, l'apical du lobe inférieur (100 %), ainsi que l'antéro-basal (95 %).

c. Types d'atteinte des divers segments.

α . Poumon droit.

— Lobe supérieur.

L'atteinte simultanée des trois segments du lobe supérieur droit a été observée 19 fois sur 21. Les pseudotumeurs siègent plus fréquemment dans les zones externes et médianes que dans la région interne, sauf en ce qui concerne le segment apical. Le segment antérieur n'est le plus souvent entrepris que dans sa partie postérieure et juxta-scissurale.

— Lobe moyen.

L'atteinte du lobe moyen est la plus fréquente dans la coupe médiane. Les pseudotumeurs siègent surtout à l'angle de bifurcation de la grande et de la petite scissures.

— Lobe inférieur.

Le segment apical du lobe inférieur participe de façon constante au processus pseudotumoral. Les types de localisation les plus habituels de pseudotumeurs sont : l'atteinte globale du segment, l'atteinte des deux secteurs inférieurs respectant l'extrême apex, l'atteinte isolée du secteur parascissural antéro-inférieur; l'extrême apex du lobe inférieur est le plus souvent libre en dehors des lésions qui entreprennent la totalité du segment. Les segments basaux atteints le sont presque toujours dans leur portion supérieure. Malgré l'aspect très variable des pseudotumeurs du lobe inférieur, on peut cependant

TABLEAU I
Pourcentage d'atteinte des divers segments et répartition entre les différentes coupes.

	Poumon droit				Poumon gauche			
	Ensemble des coupes	Coupe externe	Coupe médiane	Coupe interne	Ensemble des coupes	Coupe externe	Coupe médiane	Coupe interne
<i>Lobe supérieur</i>								
1. Postérieur	100	80	100	66	95	83	95	70
2. Apical	95	71	85	80	91	79	87	62
3. Antérieur	95	85	90	66	91	79	91	58
4. Lobe moyen Lingulaire	100	71	90	80	41	37	33	12
<i>Lobe inférieur</i>								
5. Apical	100	66	85	80	100	95	95	95
6. Postéro-basal	38	9	14	28	75	41	58	50
7. Latéro-basal	61	47	38	—	70	70	66	—
8. Antéro-basal	80	76	66	—	95	83	91	62
9. Infracardiaque	47	—	5	42				
8 + 9	90							

décrire trois types principaux : pseudotumeur en contact avec la grande scissure et à grand axe parallèle à la scissure, pseudotumeur à grand axe horizontal, s'étendant de la scissure à la plèvre, tout en respectant l'extrême apex du lobe inférieur, pseudotumeur occupant toute la portion supérieure du lobe inférieur.

β. Poumon gauche.

— Lobe supérieur.

Par analogie, on peut considérer qu'on retrouve, dans le lobe supérieur gauche comme dans le droit, les trois segments postérieur, apical et antérieur, auxquels il faut ajouter le segment lingulaire. Dans les cas extrêmes, la presque totalité du lobe peut être transformée en une masse pseudotumorale. Le plus souvent, les pseudotumeurs couvrent simultanément des territoires appartenant aux segments postérieur, apical et antérieur. Les régions médianes et externes de ces segments sont plus fréquemment atteintes que la région hilare. Les régions internes des segments ne sont en général atteintes que dans les cas de pseudotumeurs s'étendant depuis la périphérie jusqu'au hile, ce qui plaide en faveur d'un accroissement des pseudotumeurs du lobe supérieur depuis la périphérie du poumon vers les régions hilaires.

— Lobe inférieur.

Les localisations des pseudotumeurs du lobe inférieur gauche sont assez comparables à celles du lobe inférieur droit. Les segments apical et antéro-basal sont le plus fréquemment le siège des condensations. Comme à droite, on peut décrire trois types de topographie des pseudotumeurs : pseudotumeur en contact avec la scissure et à grand axe parallèle à la scissure, pseudotumeur à grand axe horizontal

s'étendant de la partie moyenne de la scissure à la plèvre, tout en respectant l'extrême apex du lobe inférieur, pseudotumeur occupant toute la partie supérieure du lobe inférieur.

d. *Vue synoptique sur la localisation des condensations.*

La représentation synoptique de la localisation des pseudotumeurs a été réalisée pour chaque coupe par superposition sur un même dessin des contours des diverses pseudotumeurs. Ce procédé a permis d'obtenir une mosaïque des régions pulmonaires, recouvertes un nombre plus ou moins élevé de fois par le processus pseudotumoral.

De cette étude se dégagent les constatations suivantes :

α. Les pseudotumeurs siègent surtout dans les parties moyennes et supérieures du poumon, elles sont situées à cheval sur les scissures.

β. Elles sont moins étendues dans la région hilare où la majorité de la masse est située dans un plan postérieur.

γ. Plus développées dans les coupes médianes et externes, elles s'étendent vers l'avant et atteignent la plèvre antérieure au niveau du lobe supérieur.

δ. Bien que dans l'ensemble elles soient situées dans les régions postérieures du poumon, elles peuvent cependant dans certains cas avoir une localisation franchement antérieure au niveau du lobe supérieur (fig. 9 et 10).

ε. Cette analyse globale montre des images droites et gauches assez comparables, bien que la symétrie ne soit pas toujours respectée dans les cas individuels.

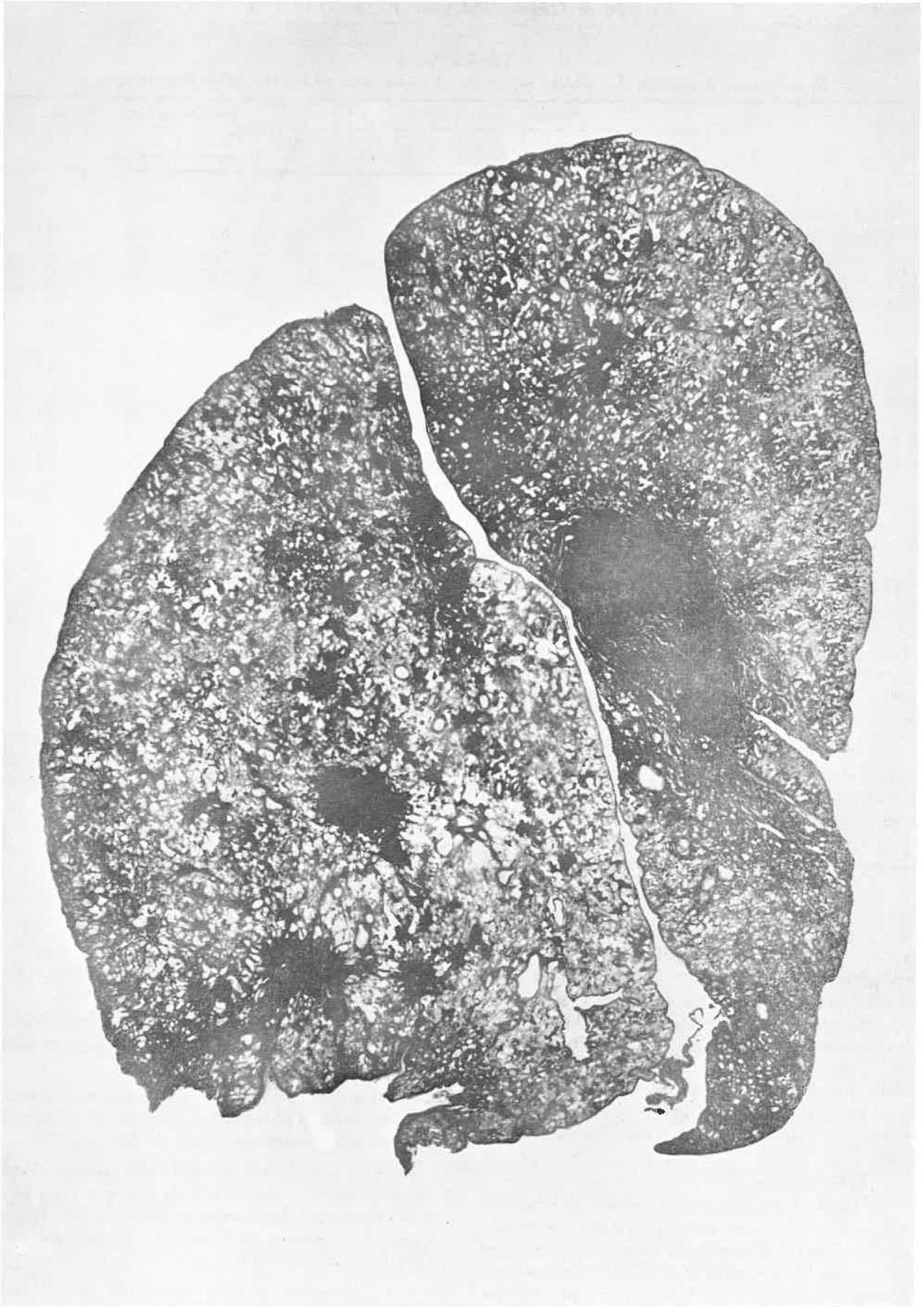


Fig. 9. — Poumon droit, coupe externe. La pseudotumeur du lobe supérieur est située dans le segment antérieur et repose sur la petite scissure.

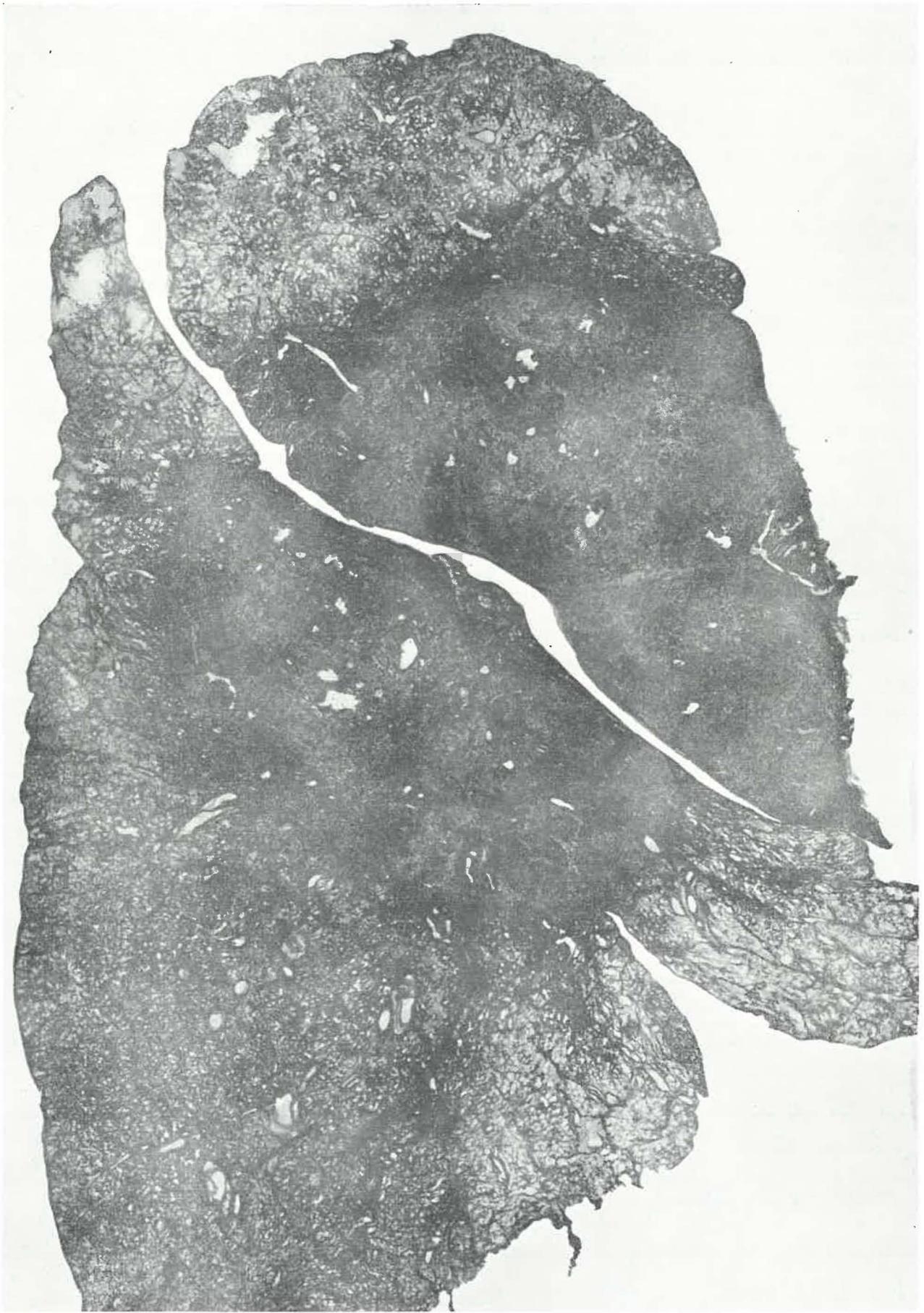


Fig. 10. — Poumon droit, coupe médiane. Localisation antérieure de la pseudotumeur du lobe supérieur.

C. Comparaison avec les travaux radiologiques.

Il est important de comparer ces résultats avec ceux de Belayew, Prignot et Lavenne (43), puisque les deux études, l'une anatomique, l'autre radiologique, se rapportent aux houilleurs d'un même bassin et qu'elles envisagent à la fois la topographie segmentaire et la localisation des pseudotumeurs par rapport aux grands axes (vertical, transversal et antéro-postérieur).

Dans l'ensemble, les constatations anatomiques concordent avec les données qui ont été trouvées à partir de l'examen des coupes tomographiques. La localisation des pseudotumeurs dans les champs pulmonaires supérieurs et moyens a ainsi pu être confirmée, ainsi que l'atteinte préférentielle des secteurs externes et médians par rapport au secteur interne du schéma de Henning et la plus grande fréquence des localisations postérieures.

Les points discordants sont les suivants :

a. L'atteinte du segment antérieur du lobe supérieur et du segment apical du lobe inférieur ainsi que du lobe moyen apparaît plus fréquente sur les documents anatomiques que sur les documents radiologiques.

b. Il n'a pas été observé d'asymétrie entre le poumon droit et le poumon gauche. La plus grande fréquence de l'atteinte du lobe supérieur droit par rapport à celle du lobe supérieur gauche, sur laquelle Belayew et collaborateurs ont insisté, ne se retrouve pas sur les documents anatomiques.

Ces divergences s'expliquent au moins partiellement par le fait que les études tomographiques ont dû se limiter aux opacités ne dépassant pas le stade B de la classification de Cardiff-Douai, tandis que les cas arrivés à l'autopsie sont beaucoup plus évolués.

En se basant à la fois sur les données de ces travaux radiologiques et sur l'étude des pièces anatomiques provenant de cas plus évolués, on peut conclure que les condensations débutent le plus souvent dans les segments postérieur et apical du lobe supérieur droit. Avec le temps, l'asymétrie entre la droite et la gauche tend à s'effacer, en même temps que les condensations gagnent le lobe moyen et le segment apical des lobes inférieurs, en chevauchant les scissures. Même les segments antérieurs des lobes supérieurs et les segments basaux sont entrepris dans les cas avancés.

D. Conclusions.

Cette étude anatomique a permis les conclusions suivantes :

a. La topographie des pseudotumeurs ne correspond pas à la distribution segmentaire du poumon. La plupart des pseudotumeurs chevauchent plusieurs segments pulmonaires.

b. Tous les segments pulmonaires peuvent être entrepris par le processus pseudotumoral. Les segments les plus fréquemment atteints sont pour le poumon droit : les trois segments du lobe supérieur (postérieur 100 %, apical 95 % et antérieur 95 % des cas), le lobe moyen (100 %) et l'apical du lobe inférieur (100 %). Pour le poumon gauche : les segments postérieur (95 %), apical (91 %) et antérieur (91 %) du lobe supérieur, ainsi que l'apical du lobe inférieur (100 %) et l'antéro-basal (95 %).

c. Les pseudotumeurs sont le plus souvent situées dans les régions supérieures et moyennes, les bases étant habituellement libres.

d. Les secteurs externes et médians, d'après le schéma de Henning, sont plus fréquemment atteints que le secteur interne ou hilare.

TABLEAU II

Différences significatives de température avec les divers appareils.

	Exercice A		
	Températures		
	air inspiré	rectale	buccale
Avant plan incliné	I < III	—	—
	II < III	—	—
Mi-exercice	I < III	—	I < III
	II < III	—	II < III
Fin exercice	I < III	—	—
	II < III	II < III	II < III
	II < I	—	—
	Exercice B		
	I < II < III	—	—

e. En règle générale, les pseudotumeurs siègent dans les régions postérieures du poumon. Dans de rares cas, elles peuvent cependant être tout à fait antérieures.

f. La topographie des pseudotumeurs droites et gauches est symétrique dans la majorité des cas étudiés.

g. Les divergences entre les résultats de cette étude anatomo-pathologique et ceux de di Basi (44) et surtout ceux de Frühling et Chaumont (45) s'expliquent peut-être par la différence de types d'empoussiérement.

h. La comparaison de cette recherche avec celle de Belayew et collaborateurs, basée sur des documents tomographiques, montre également quelques divergences dues à l'évolution plus avancée des cas autopsiés : symétrie plus nette des lésions et atteinte plus fréquente du lobe moyen, du segment apical des lobes inférieurs et même du segment antérieur des lobes supérieurs.

i. Vu la grande diversité de localisation et d'extension des masses pseudotumorales, il est peu probable que l'étude de leur topographie puisse élucider le problème de leur pathogénie.

5. — Essais d'appareils respiratoires en vue d'opérations de sauvetage aux hautes températures.

A. Comparaison d'appareils respiratoires en circuit fermé à oxygène comprimé et à air liquide.

P. Leyh (46) a comparé les respirateurs à air comprimé Draeger 160 A (appareil I) et Fenzy (appareil III) à un respirateur à air liquide, l'Aerencheon (appareil II) fabriqué en Grande-Bretagne.

Cette recherche a été effectuée chez 9 sauveteurs préalablement acclimatés, d'une part au cours d'un exercice A, de 2 heures, à $t_s = 43,5^\circ\text{C}$, $t_h = 31,8^\circ\text{C}$, comportant un effort physique important, et d'autre part au cours d'une marche à plat de 1 heure (exercice B) à $t_s = 47,3^\circ\text{C}$, $t_h = 36,4^\circ\text{C}$. Au cours de ces exercices, on a suivi l'évolution de la température de l'air inspiré, de la température interne (buccale et rectale), de la température cutanée, de la fréquence cardiaque, de la pression artérielle, de la fréquence respiratoire et de la perte de liquide par sudation.

Parmi ces diverses données, observées de façon comparative avec les trois types d'appareils, seules les températures de l'air inspiré, les températures rectales et les températures buccales ont montré des différences significatives dont l'évolution n'est cependant pas parallèle (tableau II).

Dans toutes les conditions, la température de l'air inspiré avec l'appareil Fenzy est supérieure de façon statistiquement significative à celles relevées dans les autres appareils. Cette différence atteignait à certains moments 7 à 8°C en moyenne. Le Draeger

paraît à ce point de vue légèrement meilleur que l'Aerencheon pour les efforts peu importants effectués dans l'ambiance B, mais légèrement moins bon au cours des efforts importants dans des ambiances moins défavorables.

La température de l'air inspiré semble beaucoup moins influencée par le type de gaz employé (oxygène comprimé et air liquide) que par les autres caractéristiques du circuit et principalement par la nature de l'absorbeur de CO_2 . Les différences entre le Draeger et le Fenzy notamment paraissent dues en ordre principal au fait que le premier utilise de la soude caustique et le second de la chaux sodée. Hartwell et Senneck (47), comparant ces deux absorbeurs de CO_2 , ont montré que l'épurateur à alcali abandonne un air plus chaud mais plus sec et tout compte fait d'énergie thermique plus faible. Le refroidissement de l'air après passage dans la chaux sodée est en effet freiné par les calories dégagées par la condensation de l'eau qui n'a pu être absorbée comme dans le cas de la soude caustique. De plus, le refroidissement de l'air inspiré est également conditionné par le type même du circuit. A ce point de vue, les trois appareils pourraient certainement subir des améliorations visant à abaisser la température de l'air inspiré.

Les sauveteurs, habitués depuis longtemps au Draeger, ont généralement apprécié, dans la deuxième partie de l'exercice A, la moindre température de l'air inspiré obtenue avec l'Aerencheon à air liquide. Ils se sont plaints par contre du caractère brûlant de l'air inspiré avec le Fenzy dans les mêmes conditions. Au cours de l'exercice B, cet inconvénient du Fenzy était légèrement compensé par son moindre poids.

Dans sa conception actuelle, l'appareil à air liquide Aerencheon n'apparaît pas au total supérieur au Draeger en ce qui concerne la tolérance aux exercices aux hautes températures. Bien qu'il soit nettement moins bon que les deux autres à ce point de vue, l'appareil Fenzy peut, en raison de son moindre poids, constituer un appareil utile pour de courtes missions de reconnaissance dans les ambiances où les conditions de climat sont très sévères (voisines de celles de l'exercice B). Dans ces conditions, en effet, l'apport calorifique de l'air inspiré ne constitue qu'un faible pourcentage de la quantité totale de chaleur reçue de l'ambiance.

Les différences de température de l'air inspiré n'ont eu qu'une influence négligeable sur la température interne, sauf en ce qui concerne la température rectale à la fin de l'exercice A. La différence de température rectale de $0,5^\circ\text{C}$ au désavantage du Fenzy par rapport à l'Aerencheon est statistiquement significative. En ce qui concerne la température buccale, il faut souligner qu'elle constitue un mauvais critère de la température interne lorsque la température de l'air inspiré est supérieure à 40°C .

TABLEAU III

Résultats comparatifs obtenus avec l'appareil Draeger à O₂ comprimé à circuit fermé (I)
et l'appareil Air Magic à air comprimé et à circuit ouvert (II) - 8 observations.

t_s moyenne 43° C; t_h moyenne 31° C.

Appareils	Valeurs moyennes		Valeurs extrêmes	
	I	II	I	II
<i>Température de l'air inspiré (°C)</i>				
avant exercice	26,9	30,2	25,5 - 28	28,5 - 33
après échelles (12 minutes)	34	34,5	32,9 - 36,4	32,3 - 36,3
avant plan incliné	40,1	36,7	38,8 - 41,5	35,7 - 37,7
mi-exercice	44,5	36,9	42,5 - 46,4	36 - 38,1
après plan incliné	44,5	37,2	40,6 - 47,7	35,5 - 38,2
fin exercice	42,8	37,5	39,7 - 45,5	36,1 - 38,7
<i>Température rectale (°C)</i>				
avant exercice	37,2	37,1	36,7 - 37,5	36,7 - 37,5
mi-exercice	38,8	38,7	38,7 - 39	38,2 - 39,2
fin exercice	39,3	38,8	38,7 - 40,2	38,1 - 39,7
après 15 minutes repos	38,4	38,1	38,1 - 38,8	37,5 - 38,6
<i>Température buccale (°C)</i>				
avant exercice	36,8	36,6	36,4 - 37,2	36 - 37,2
mi-exercice	38,2	37,9	37,7 - 38,4	37,5 - 38,5
fin exercice	38,1	37,8	37,6 - 38,8	37,3 - 38,2
après 15 minutes repos	37,7	37,5	37,3 - 38	37,1 - 38,1
<i>Température cutanée (°C)</i>				
avant exercice	34,2	34	33,2 - 35,2	32,6 - 34,9
mi-exercice	36,9	36,7	36,4 - 37,3	36,3 - 37,1
fin exercice	36,7	36,3	35,7 - 37,4	35,8 - 37,1
<i>Fréquence cardiaque (pulsations/min)</i>				
avant exercice	75	74	60 - 92	60 - 88
mi-exercice	159	153	128 - 176	140 - 168
après 9 minutes repos	110	110	96 - 128	92 - 128
fin exercice	145	138	124 - 174	104 - 158
après 6 minutes repos	99	92	72 - 120	64 - 104
après 9 minutes repos	88	84	76 - 104	60 - 102
<i>Pression artérielle (mm Hg)</i>				
avant exercice				
maxima	119	127	100 - 134	110 - 148
minima	63	68	60 - 68	62 - 78
fin exercice				
maxima	134	132	104 - 158	118 - 148
minima	67	67	54 - 74	60 - 80
après 10 minutes repos				
maxima	118	122	106 - 134	110 - 134
minima	67	70	52 - 72	62 - 76
<i>Pertes liquidiennes par sudation (litres)</i>				
en 135 minutes	2,110	1,890	1,45 - 2,45	1,50 - 2,35

Les autres valeurs physiologiques n'ont montré aucune différence statistiquement significative en faveur d'un appareil déterminé ni aucune corrélation avec la température de l'air inspiré. Au contraire, avec le Fenzy, les fréquences cardiaques étaient en général inférieures (quoique de façon non statistiquement significative à celles trouvées avec le Draeger. Le moindre poids du Fenzy compense à ce point de vue les inconvénients liés à la température élevée de l'air inspiré influençant défavorablement le bilan calorifique.

B. Comparaison d'appareils respiratoires en circuit fermé et en circuit ouvert.

On pouvait se demander s'il n'était pas possible d'améliorer l'impression subjective de confort des sauveteurs et leurs réactions générales aux hautes températures en leur donnant à respirer de l'air comprimé en circuit ouvert. On élimine ainsi l'apport calorifique résultant de l'absorption du CO_2 par la chaux sodée ou la potasse caustique.

Pour étudier l'avantage résultant de ce facteur, P. Leyh (48) a comparé le comportement de huit sauveteurs préalablement acclimatés aux hautes températures, au cours d'un exercice de deux heures à $t_s = 45^\circ \text{C}$, $t_h = 51^\circ \text{C}$, effectué d'une part avec un respirateur à oxygène comprimé en circuit fermé, le Draeger 160 A (appareil I) et d'autre part avec un respirateur à air comprimé en circuit ouvert, l'appareil Air Magic (appareil II).

Les données comparatives recueillies avec ces deux types d'appareils figurent au tableau III.

Ce tableau montre que l'augmentation de température de l'air inspiré entre le début et la fin de

l'exercice est beaucoup plus faible avec l'appareil en circuit ouvert ($7,3^\circ \text{C}$) qu'avec le Draeger ($15,9^\circ \text{C}$). Cette différence est statistiquement hautement significative.

Par contre, les différences de température rectale ($0,5^\circ \text{C}$), de température buccale ($0,5^\circ \text{C}$) et de fréquence cardiaque (7 pulsations/minute), à la fin de l'effort, ainsi que la différence de pertes liquidiennes (220 cm^3) ne sont pas statistiquement significatives au palier de confiance de 95 %. Comme elles sont toutes à l'avantage de l'appareil Air Magic, on est toutefois amené à conclure que la forte différence de température de l'air inspiré entre les deux appareils influence de façon légère les réactions physiologiques générales des sauveteurs. La différence entre les fréquences cardiaques pourrait cependant être due au moins partiellement au moindre poids de l'appareil Air Magic.

Si la différence des réactions physiologiques observées avec le Draeger d'une part et l'Air Magic d'autre part est peu importante, elle ne doit cependant pas être négligée *a priori* pour des travaux de sauvetage effectués dans des conditions extrêmes où de faibles variations de température interne et de fréquence cardiaque peuvent déterminer la tolérance ou la non-tolérance à un effort déterminé. Les appareils type Air Magic pouvant être branchés directement sur des canalisations d'air comprimé, on sera amené à envisager leur emploi lors de travaux lourds aux hautes températures, par exemple lors de la construction d'un barrage devant un incendie, effectués à faible distance de canalisations d'air comprimé.

II. — TRAVAUX DE LA SECTION TECHNIQUE

1. — Lutte contre les poussières.

A. Analyse des poussières. Conimétrie.

a. Corrélation British Konimeter-précipitateur thermique.

Au début de l'année 1959, nous avons publié une étude intitulée « Validité des mesures faites au British Konimeter dans les travaux préparatoires » (49). Nous y avons fait l'interprétation statistique de nos résultats expérimentaux, mettant ainsi le point final à toutes les observations déjà signalées précédemment et confirmant les conclusions provisoires données l'année dernière dans cette revue (50) (51).

Pour un conimètre donné, les spots de poussières appartenant à une même plaque de prélèvement sont souvent décentrés par rapport à l'axe optique du microscope incorporé. Nous avons montré que ce décentrage n'est pas constant et nous avons démontré de plus que même les comptages d'un spot

répétés 10 fois diffèrent suivant la position du réticule dans l'oculaire (10 fois sur 12 au palier de confiance de 95 %). C'est pourquoi, en admettant que les poussières déposées sur une plaque de conimètre soient représentatives du nuage étudié et en supposant même que le rendement de dépôt soit de 100 %, il est téméraire de prendre en considération le comptage d'un prélèvement, réticule quelconque. Il faut recourir à un deuxième comptage après avoir placé le réticule dans une position orthogonale à celle du premier dénombrement.

Si l'on procède à un échantillonnage de 8 spots et si ces spots sont comptés une fois seulement, réticule quelconque et sans enlèvement de plaque entre le prélèvement et le comptage, on peut assurer qu'une concentration moyenne dans l'air de l'ordre de $700 \text{ particules/cm}^3 < 5 \mu$ (ainsi dénombrées) ne peut être définie à moins de 16,7 %. Ceci signifie qu'au palier de confiance de 95 %, on peut tout aussi bien trouver 580 que 810 particules/cm³, ce

qui ferait classer un chantier bon ou mauvais selon le hasard, compte tenu de la limite imposée par notre règlement minier. Ces constatations, déjà défavorables en soi, ne sont cependant valables que si toutes les poussières aériennes se déposent sur la plaque du conimètre, si le dépôt se fait fidèlement sans bris ni recouvrement, si toutes les particules déposées sont visibles au microscope incorporé à l'appareil et si l'empoussiérage est resté constant pendant les intervalles exigés entre prélèvements successifs, ce qui n'est malheureusement pas le cas.

Les essais de corrélation entre British Konimeter et précipitateur thermique se sont révélés impossibles à faire; il n'y a pas du tout proportionnalité entre les résultats du précipitateur thermique et la valeur moyenne des dénombrements de plusieurs spots prélevés en même temps au conimètre. En effet, pour une même granulométrie, les rapports k entre les nombres de particules comptées suivant la méthode adoptée pour le dénombrement des plaques du précipitateur thermique (de 5 à 0,5 μ) et les nombres de particules comptées suivant la méthode préconisée pour le dénombrement des plaques du conimètre ($< 5 \mu$) varient avec la densité de dépôt, c'est-à-dire avec la concentration. La figure 11 mon-

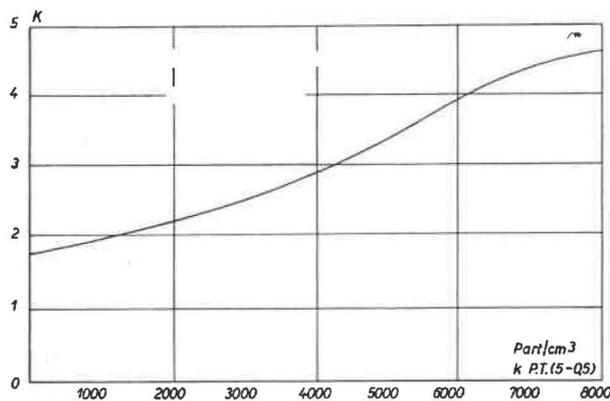


Fig. 11. — Variation du rapport K en fonction de la concentration (pour une finesse de poudre donnée).

tre à titre d'exemple la variation de k en fonction de la concentration pour une finesse de poudre correspondant à 54 ± 2 % de particules inférieures à 1 μ .

D'autre part, le rendement du conimètre est fonction et de la concentration et de la finesse de la poussière examinée. Voisin de 66 % pour une concentration vraie de l'ordre de 1.000 particules/cm³ de 5 à 0,5 μ , le rendement global du conimètre tombe à 15 % environ pour une concentration vraie de... 10.000 particules/cm³ (5-0,5 μ) dans le cas où 50 % ± 2 % des particules ont un diamètre inférieur à 1 μ (cas courant). Les diagrammes de la figure 12 traduisent graphiquement cette variation; ils montrent également que, à concentration vraie égale, les rendements sont plus faibles lorsque la

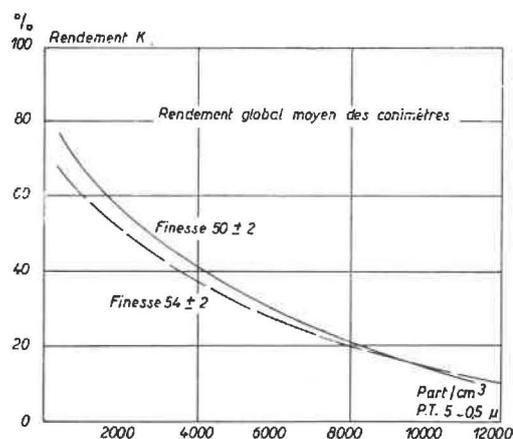


Fig. 12. — Variation du rendement en fonction de la concentration.

poussière en suspension (à prélever et à examiner) est plus fine.

Finalement, il n'est pas possible de trouver un coefficient de correction pour transposer les indications du conimètre en valeurs absolues, même en s'entourant de multiples précautions lors du dénombrement car le rendement de cet instrument dépend de la granulométrie et de la concentration qui sont précisément les inconnues recherchées.

b. Valeurs des examens microscopiques. Précision des résultats des mesures faites au précipitateur thermique.

Nous avons signalé l'année dernière dans ces mêmes colonnes (51) le danger qu'il y a de vouloir comparer des réglementations qui ne fixent pas le mode de prélèvement et qui ne précisent pas la façon de dénombrer les particules sous le microscope. Nous avons en effet montré que par rapport à notre façon habituelle de procéder (même au précipitateur thermique), suivant la quantité d'air poussiéreux aspiré et la façon de compter les agrégats, on pouvait trouver 2 à 3 fois moins de particules de 5 à 1 μ dans les retours d'air des tailles pendant l'abattage et jusque 5 fois moins de particules de 5 à 0,5 μ dans le retour d'air des boueux en creusement.

En effectuant de nombreux prélèvements au précipitateur thermique, donc à faible densité de dépôt, en dissociant les agrégats au moment du comptage sous un objectif à immersion d'ouverture numérique 1,3, nous avons même la conviction que des concentrations de l'ordre de 5.000 particules/cm³ (5-0,5 μ) ne doivent pas être considérées du tout comme alarmantes lorsque la teneur en silice libre ne dépasse pas 5-6 % (cas le plus fréquent dans nos chantiers d'abattage). Cette conviction est basée sur la comparaison que nous avons faite des normes étrangères en tenant compte de la façon dont elles ont été établies; nous constatons d'ailleurs qu'il n'est pas rare de trouver d'après nos procédés d'in-

vestigation des concentrations de l'ordre de 800-1000 particules/cm³ de 5-0,5 μ à l'orifice de nos puits d'entrée d'air.

Nous avons dès lors recherché quelle était la précision de nos mesures de l'empoussièrement de l'air. L'erreur globale affectant la mesure de la concentration en poussières peut être obtenue en comparant les résultats de prélèvements effectués simultanément au moyen de plusieurs instruments par différents opérateurs et éventuellement dépouillés par plusieurs personnes.

L'imprécision d'une détermination est la résultante d'erreurs multiples : erreur de comptage dans un champ, erreur due à l'inhomogénéité de dépôt, erreur instrumentale, erreur sur la détermination du volume d'air aspiré, etc.

Pour rechercher ces différentes valeurs, nous avons comparé, pour une même personne, les nombres de particules comptées par champ d'un même prélèvement. Nous avons ensuite fait compter par deux autres opérateurs les plaques déjà examinées par la première personne. Ces dénombrements ont été faits dans les classes granulométriques 5-1 μ et 5-0,5 μ avec deux micro-projecteurs théoriquement identiques. Des prélèvements simultanés, effectués au même endroit, pendant le même laps de temps, en s'efforçant d'aspirer la même quantité d'air à la même vitesse, ont été examinés ensuite pour apprécier la reproductibilité des instruments de prélèvement compte tenu de l'habileté ou de la précision des préleveurs.

α . Comparaison des nombres de particules comptées par champ sur un même trait de prélèvement au précipitateur thermique (largeur de la « traverse » : 40 μ).

Cette comparaison précise l'erreur due au choix de la plage de comptage en tenant compte du manque de reproductibilité d'une opératrice. Pour ce faire, nous avons pris au hasard les comptages (répétés deux fois) de toute une série de champs, mais en les classant cependant de manière à avoir 50 doubles comptages de 5 à 0,5 μ donnant moins de 100 particules, de 100 à 150, de 150 à 200, de 200 à 300, de 300 à 400, de 400 à 500, de 500 à 600, de 600 à 700 particules dénombrées. Les valeurs trouvées par classe conduisent respectivement à des écarts moyens en % de \pm 3,9; 2,7; 3,2; 2,7; 2,2; 1,45; 1,33 et 1,14.

L'écart moyen qu'on peut trouver est donc au plus : \pm 4 %.

β . Comparaison des résultats du comptage des mêmes prélèvements par des opératrices différentes utilisant deux microscopes différents équipés de façon identique.

Une soixantaine de prélèvements comptés par l'opératrice (I) entre les limites 5-1 μ et 5-0,5 μ ont

été recomptés par les laborantines (II) et (III) utilisant tour à tour un autre microscope et un autre projecteur.

En divisant les résultats (I) par (II) et (III), nous avons trouvé que, au palier de confiance de 95 %, ces rapports valaient :

dans la gamme 5-1 μ :

$$0,958 \pm 0,032 \text{ et } 0,954 \pm 0,055,$$

dans la gamme 5-0,5 μ :

$$0,966 \pm 0,024 \text{ et } 0,920 \pm 0,029.$$

En se référant à la moyenne, l'écart par rapport aux valeurs extrêmes possibles est donc au plus \pm 6 % pour les dénombrements de particules de 5 à 1 μ ou de 5 à 0,5 μ . Cette valeur inclut l'erreur due au choix de la plage (maximum 4 %), l'erreur provenant du manque de reproductibilité des opératrices (faible vu leur entraînement) et éventuellement une erreur instrumentale due aux microscopes.

γ . Comparaison des résultats du comptage par une même opératrice (I) de prélèvements simultanés effectués par des opérateurs différents (mesureurs des charbonnages de Houthalen, entraînés depuis plus d'un an).

Les valeurs trouvées nous conduisent à admettre, au palier de confiance de 95 % et par rapport à la valeur moyenne des séries des mesures simultanées, un écart maximum possible de \pm 11,8 %, soit \pm 12 %, erreur incluant notamment l'erreur instrumentale qui est ici surtout due à la faute commise lors de l'appréciation du débit d'air aspiré (lecture d'une éprouvette graduée).

δ . Conclusions.

Lorsqu'on combine toutes ces valeurs en faisant l'hypothèse que les erreurs maxima se produisent en même temps, on en arrive à la conclusion que, en suivant le mode opératoire que nous avons adopté et pour la densité habituelle de dépôt que nous avons acceptée, l'erreur globale ne dépasse pas \pm 15 % lorsqu'un prélèvement au précipitateur thermique effectué par l'un quelconque de nos opérateurs entraînés est compté par l'une de nos laborantines prise au hasard parmi celles qui sont affectées à ce travail.

Cette imprécision n'a rien d'excessif et est du même ordre de grandeur que la valeur trouvée par les chercheurs sud-africains dans les conditions particulières des mines d'or du Transvaal (52).

Il est évident que cette imprécision peut être notablement réduite lors de l'étude comparative de certains empoussierages en effectuant des prélèvements répétés dépouillés par la même personne.

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

Cette année, grâce à la collaboration du service des mesures du charbonnage de Houthalen et mal-

gré les nombreux arrêts de travail, près de 3.000 prélèvements de poussières ont été effectués au précipitateur thermique dans les travaux dudit charbonnage. Cette vaste campagne de prélèvements constitue la poursuite de l'enquête que nous menons depuis fin 1956 dans le but de définir l'empoussiérement moyen subi — année par année — par les ouvriers du fond du charbonnage de Houthalen. Le calcul de ces concentrations moyennes et la transcription en clair sur les cartes de chaque ouvrier sont faits par les services de l'Institut d'Hygiène des Mines pour les années 1957 (2.675 ouvriers) et 1958 (2.075 ouvriers). La comparaison des résultats est pratiquement terminée pour les différentes catégories d'ouvriers (diagramme de fréquence, répartition, ...). Durant l'année 1958, on a noté un accroissement assez notable des teneurs en poussières dû à une réduction des quantités d'eau utilisées pour la prévention dans les voies de transport, réduction appliquée pour faciliter le fonctionnement du triage-lavoir durant l'exécution de certains travaux. En 1959, la situation s'améliore au point de vue poussières; on note, pour les dix meilleures tailles, pendant les trois derniers mois, une moyenne de 2.885 particules/cm³ 5-0,5 μ , ce qui est relativement peu compte tenu des remarques faites au paragraphe précédent.

L'étude des empoussiérages spécifiques des diverses phases de travail en bouveau montre que, avec une prévention raisonnable, il n'y a quantitativement pas beaucoup de différence d'une opération à l'autre (sauf pour le minage). On a surtout constaté que les empoussiérages de base varient énormément et que, tout en étant évidemment fonction du débit d'air, ils dépendent surtout de la position de la prise d'air pour canars par rapport au puits d'entrée. A cet égard, il a été trouvé que la concentration moyenne finale pour un bouveau, toutes opérations comprises, était 3,75 fois moindre que la moyenne générale de 12 autres préparatoires aussi importants, parce que la prise d'air était faite aux abords immédiats du puits d'entrée (pas de pollution due au transport).

En étudiant de manière plus approfondie la « concentration spécifique » au cours des divers travaux de creusement de bouveau, on a constaté que la concentration seule, même exprimée entre deux limites telles que 5 et 0,5 μ , n'était pas suffisante (abstraction faite de la nature des particules). C'est pourquoi on a repris des comptages et défini un rapport entre les nombres de particules comprises dans les classes 5-0,5 μ et 5-1 μ . La valeur de ce rapport précise la granulométrie pour des comptages routiniers tout au moins et montre, contre toute attente, que la poussière la plus fine semble être produite par le boisage provisoire et le claveutage. Cette façon de tenir compte de la « finesse » des particules pourra vraisemblablement expliquer cer-

taines « anomalies médicales » constatées notamment lors de l'examen d'abatteurs et de foudroyeurs.

Pour montrer à quel point une lutte contre les poussières, bien organisée, peut être efficace, la valeur citée ci-avant : environ 3.000 particules/cm³ 5-0,5 μ (moyenne de dix tailles) est à comparer à la concentration trouvée lors d'un essai sans prévention dans un chantier du même charbonnage : 33.000 particules/cm³ 5-0,5 μ après havage à sec et pour une production de 420 tonnes par jour. Un taux d'élimination des poussières de l'ordre de 85-90 % est donc possible « en marche industrielle », c'est-à-dire dans l'ensemble de toute une exploitation.

d. Dosage de la silice libre dans les poussières.

Nous avons déjà fait état dans cette revue (51) de recherches relatives au dosage rapide et précis de la silice libre dans de faibles quantités de poussières. L'ensemble de ces travaux a depuis fait l'objet d'une communication (53). Nous résumons ci-après les principaux apports de cette étude.

Le principe de la méthode choisie a été proposé par Hirsch et Dawihl : il consiste à dissoudre par l'acide pyrophosphorique toutes les substances qui ne sont pas de la silice cristalline et à rapporter le poids du résidu à celui de la prise d'essai.

Pour obtenir des résultats satisfaisants, nous avons cependant dû mettre au point les différentes étapes du dosage :

α . Les poussières que nous avons à traiter contenant souvent du charbon non attaquant par le réactif adopté, il est nécessaire de procéder à une incinération préalable. Nous avons ainsi trouvé que la solubilité des silicates comme celle de la silice est d'autant plus faible que la température d'incinération est plus élevée, du moins entre 300 et 900° C. On a adopté 700° C comme température optima.

β . Si on effectue l'attaque à 250° C, comme l'ont proposé divers auteurs, la dissolution n'est pas satisfaisante dans nos conditions de travail. De nombreux essais effectués suivant diverses modalités opératoires nous ont montré qu'il n'est pas avantageux de prolonger l'attaque à température constante et qu'une action énergique et de courte durée donne les meilleurs résultats. On améliore encore ceux-ci en dispersant la poudre à étudier à la surface de l'acide au lieu de verser le liquide sur la prise d'essai, comme on a l'habitude de le faire. Les manipulations restent aisées et les résultats reproductibles si on limite la température à 275° C. On maintiendra la perte en silice à une valeur acceptable, en choisissant convenablement les conditions de chauffage.

γ . La partie insoluble est recueillie sur filtre serré; le lavage se fait avec une solution chaude contenant quelques pour cents d'acide chlorhydrique. En

opérant de la sorte, on obtient un filtrat bien clair en ne repassant qu'une fois le filtrat sur le filtre et le résidu est propre.

δ. Pour permettre l'attaque complète d'un minéral courant, la prise d'essai ne doit pas dépasser 60 mg. La précision de la balance employée et l'ordre de grandeurs des teneurs à mesurer fixent également une limite inférieure. Dans le cas habituel de pesées précises à ± 0,1 mg et des teneurs de 10 % en silice, il convient de ne pas prélever moins de 10 mg.

ε. L'attaque proprement dite se fait en deux étapes dans un creuset de platine introduit successivement dans deux blocs d'aluminium convenablement chauffés. La plaque chauffante pour l'attaque rapide et le four de digestion à température constante sont

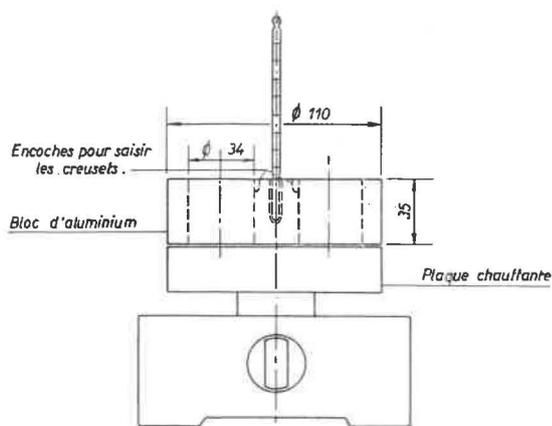


Fig. 13. — Plaque chauffante pour la première étape de l'attaque pyrophosphorique.

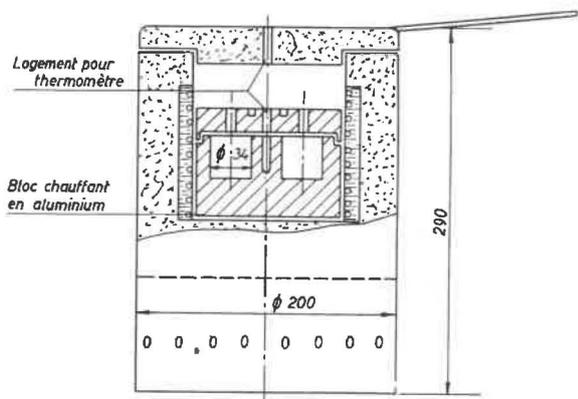


Fig. 14. — Four pour la deuxième étape de l'attaque pyrophosphorique.

représentés aux figures 13 et 14. L'emploi de l'énergie électrique rend aisé le réglage des conditions d'attaque et conduit à des résultats très reproductibles. Le matériel employé est simple et peu coûteux; il permet d'étudier deux échantillons à la fois. La durée des opérations est surveillée au chronomètre.

Le mode opératoire est le suivant : les prises d'essai de 10 à 50 mg de matières minérales, traitées 30 minutes à 700° C, sont versées à la surface de 10 cm³ d'acide pyrophosphorique contenu dans un

creuset de platine d'une capacité de 20 cm³. Le tout est porté à 275° C en 5 minutes sur la plaque, puis transféré 10 minutes dans le four réglé à la même température. On refroidit brusquement les creusets dans un bain d'eau, on dilue à 100 cm³ et filtre deux fois sur papier filtre n° 640 d (Macherey Nagel und Co., Düren). On rince en 8 fois avec 200 cm³ d'une solution chaude à l'acide chlorhydrique à 4 % en volume. Le filtre est d'abord incinéré sur petite flamme pour éliminer doucement la majeure partie des matières organiques; on achève l'incinération par un séjour de 30 minutes à 825° C dans un four électrique. Le résidu peut être considéré comme du quartz pratiquement pur. Toutefois, si on veut vérifier l'attaque ou obtenir un résultat plus exact, on traite le résidu comme nous le faisons par ailleurs lors d'une détermination de silice totale : on ajoute 10 gouttes H₂SO₄ à 10 % et on évapore sur plaque chauffante puis on sèche au four à 825° C; on pèse puis on ajoute 10 gouttes d'eau, 10 gouttes H₂SO₄ et 5 cm³ d'acide fluorhydrique à 40 %; après évaporation et dessiccation dans les conditions précédentes, on mesure le poids final. La différence entre les deux dernières pesées donne le poids exact de silice libre qu'on peut alors rapporter à la prise d'essai.

Un opérateur entraîné peut obtenir facilement de 6 à 8 résultats par jour.

L'efficacité de la méthode a été vérifiée sur plus de 30 composés dont on a préparé des fractions fines par sédimentation fractionnée. Notre technique a l'avantage de solubiliser sans précaution particulière les minéraux suivants : pyrite, séricite, feldspath, talc, grenats. En général, on pourra analyser toute roche habituelle, qu'elle soit sédimentaire, éruptive ou même métamorphique; en effet, les minéraux offrant une résistance élevée (béryl, tourmaline, zircon, topaze) gênent rarement en raison de leur faible abondance ou de leur inertie éventuelle vis-à-vis de l'acide fluorhydrique.

De nombreuses expériences ont été effectuées avec des poudres de silice de nature et de finesse différentes, mais dont le matériau original possédait au moins, à l'état cryptocristallin, la configuration cristallographique du quartz. La perte en SiO₂ est alors proportionnelle à la masse de silice considérée et fonction du degré de finesse de l'échantillon. On a vérifié expérimentalement que, tout au moins pour des poudres siliceuses de dispersions voisines, la perte relative en poids P est très bien représentée par la relation $P = 10 \cdot \bar{d}_s^{-1}$ où \bar{d}_s est le diamètre d'une particule de surface spécifique moyenne. Ce diamètre \bar{d}_s , défini par le rapport

$$\bar{d}_s = \left[\frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i} \right]^{-1}$$

est aisé à déterminer chaque fois que la composition granulométrique de la poudre essayée est bien

représentée par une loi logarithmico-normale; or, cette propriété se vérifie très souvent pour des poussières récoltées sur filtres de Soxhlet ou obtenues par broyage. Les paramètres caractéristiques s'obtiennent par voie graphique de la manière suivante: la granulométrie étant représentée par une droite sur diagramme « log-probabilité », on lit directement, à l'ordonnée 50 %, la valeur du diamètre géométrique moyen \bar{D}_g ; la déviation géométrique standard σ_g s'obtient par l'un des rapports approchés suivants:

$$\sigma_g = \frac{d(84)}{d(50)} = \frac{d(50)}{d(16)} = \sqrt{\frac{d(84)}{d(16)}}$$

où les $d(i)$ représentent les abscisses d correspondant aux ordonnées i de la droite représentative.

La relation $\log \bar{d}_s = \log \bar{D}_g - 1,1513 \log^2 \sigma_g$ due à Hatch et Choate (54) permet d'obtenir \bar{d}_s par calcul ou diagramme ad hoc. Pour obtenir une représentation satisfaisante, nous étudions un nombre de particules de l'ordre de 200 à l'aide d'une méthode décrite antérieurement (55): examen des grains mis en suspension dans une cellule de 0,1 mm d'épaisseur, grossissement 1000 diamètres, objectif $98 \times$ d'ouverture numérique 1,3. Le paramètre \bar{d}_s des poudres est fréquemment compris entre 0,5 et 1 μ , ce qui fait osciller la perte en silice entre 20 et 10 %. Il suffit donc de multiplier le résultat par un facteur $f = \frac{100}{100 - P}$, égal dans l'exemple ci-dessus à 1,250 ... 1,111.

Cependant, dans le cas de mesures routinières concernant des produits de granulométries assez voisines, il n'est pas nécessaire de procéder à l'analyse conimétrique de tous les échantillons; en effet, du point de vue de la toxicité d'une poussière, la précision sur la teneur en silice libre obtenue à

l'aide d'un facteur de correction approché est largement suffisante. Si on tient compte des différentes sources d'erreur intervenant dans notre procédé, on peut calculer à titre d'exemple qu'une concentration de 15 % en silice libre dans une cendre dont on analyse 30 mg sera connue avec une imprécision maximum de $\pm 1,5$ à $\pm 3,0$ % de silice suivant les degrés de finesse envisagés ci-dessus.

Nous avons éprouvé notre mode opératoire vis-à-vis d'échantillons de composition connue analysés par d'autres expérimentateurs, à l'aide d'autres techniques de dosage. Cette comparaison a été rendue possible grâce à la publication par Nagelschmidt (56) des résultats d'une campagne d'essais comparatifs inter-laboratoires et dont nous avons pu obtenir des produits étalons. Nous avons comparé nos propres mesures tant aux compositions de référence qu'aux valeurs obtenues, soit par attaque acido-alcaline de Shaw-Skinner, soit par d'autres modes d'attaque par l'acide phosphorique. A titre d'exemple, nous publions au tableau IV la comparaison des attaques phosphoriques.

Pour faciliter l'examen du tableau, les meilleurs résultats étrangers y ont été inscrits entre parenthèses; on voit que 20 fois sur 27, soit dans 74 % des cas, nos dosages se rapprochent mieux des concentrations de référence; dans les cas contraires, 6 fois sur 7, les écarts sont minimes. La comparaison avec les déterminations selon Shaw-Skinner sont encore plus favorables (87,4 % de cas en notre faveur). Enfin, l'étude de 7 autres mélanges inconnus a montré un accord très satisfaisant avec les mesures obtenues par diffraction de rayons X dans un autre laboratoire.

Remarquons pour terminer que, si notre mode opératoire a été mis au point pour analyser de petites quantités de poudres fines, il lui est possible d'étudier également les roches-mères à condition d'amener préalablement celles-ci à un degré de finesse suffisant.

TABLEAU IV

Comparaison avec des attaques phosphoriques étrangères.

Mélange étudié		Teneurs en silice libre trouvées (%)							Ecart avec moyennes étrangères
N°	quartz théorique %	H	A	méthodes étrangères *			moy.	méthode I.H.M.	
				J	D	G			
1072	100	78	78	91	78	93	83,6	98,8	+ 15,2
1876	0	5	5	—	(1)	5	4	1,4	— 2,6
2478	0	(1)	5	(1)	7	(1)	3	1,1	— 1,9
2479	14	(14)	8	15	13	(14)	12,8	14,2	+ 1,4
2480	48,4	34	—	46	40	44	37,6	47,2	+ 9,6
2043	66,7	(65)	—	61	56	62	61,4	63,1	+ 1,7

* Valeurs publiées par Nagelschmidt (56).

Dans le courant de l'année 1959, le mode opératoire décrit ci-dessus a été appliqué à l'analyse d'échantillons prélevés au charbonnage de Houthalen (poussières aériennes, charbons prélevés en taille, toits et murs). On a également examiné des roches provenant d'autres charbonnages (recoupes, résidus de forage, etc.) et des substances diverses dont l'analyse a été demandée par certains instituts de recherches ou établissements privés; citons, à titre d'exemple : une poussière aérienne des mines d'or d'Afrique du Sud, des poudres de liège, des poussières de kaolin, schiste, charbon et ardoise apportées par une mission d'ingénieurs portugais, du silex pulvérisé au cours de l'épincage des blocs en carrière, cinq échantillons de roches éruptives du Congo belge, ainsi que huit échantillons de sables divers envoyés par le « Laboratorium für Staubtechnik » (Gutersloh Westphalia).

e. Analyse granulométrique pondérale complète des poudres.

On sait que les tamis usuels limitent le fractionnement des produits à 38 microns (tamis Tyler à 400 mailles par pouce linéaire). Afin d'étendre nos connaissances sur la granulométrie d'une poudre, nous soumettons le « passé 400 » à une série de décantations fractionnées à l'aide de notre dispositif de sédimentation en milieu liquide décrit précédemment (57). Nous fixons en principe les coupures à 5, 10 et 20 microns en commençant par la fraction la plus fine et répétons les extractions jusqu'à obtention d'une liqueur claire (6 à 10 en général). La pesée des résidus secs permet de calculer le pourcentage représenté par chaque classe. On peut ensuite reporter les pourcentages cumulés sur tout canevas approprié (à abscisses « Tyler » de raison $1/\sqrt{2}$ ou logarithmique). Nous avons l'habitude de transcrire également les résultats sur diagramme dit « log-probabilité » qui permet de représenter la granulométrie complète par une simple droite lorsqu'on peut admettre que le poids des particules est distribué en fonction du logarithme de leur diamètre selon la loi de probabilité de Gauss. En ce cas, l'interpolation des valeurs approchées obtenues expérimentalement est rendue plus aisée.

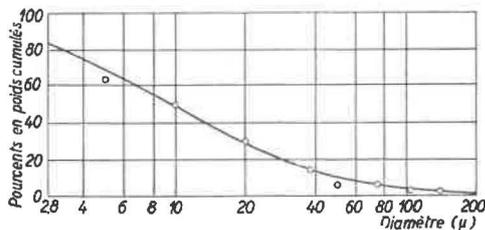


Fig. 15. — Granulométrie d'une poudre. Représentation sur diagramme semi-logarithmique.

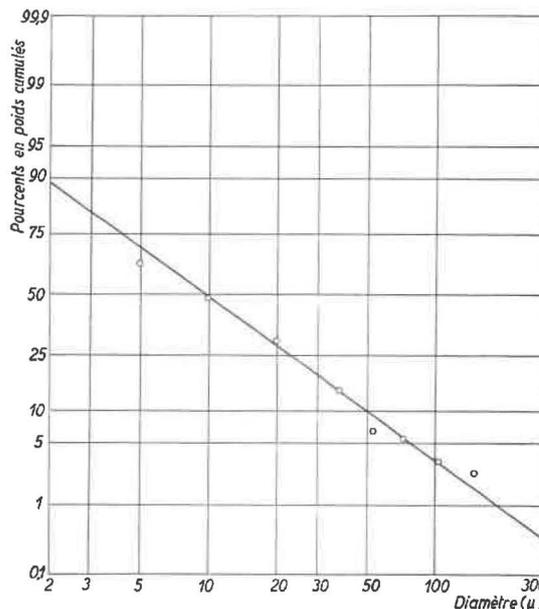


Fig. 16. — Granulométrie d'une poudre. Représentation sur diagramme « log-probabilité ».

Cependant, lorsque les produits à étudier contiennent une notable proportion de fines particules, les tamis se bouchent partiellement malgré les efforts faits pour dessécher la poudre et les résultats obtenus de la sorte seraient faux. Dans pareils cas, nous renversons l'ordre des opérations en éliminant d'abord par sédimentation les fractions relativement importantes dont les grains sont inférieurs à 5, 10 et 20 μ, puis nous soumettons le résidu sec au tamisage ordinaire qui s'effectue alors sans difficulté.

Nous avons étudié de la sorte divers produits : poudre de forage d'un schiste, silex broyé industriellement, sables broyés au laboratoire, etc.

A titre d'exemple, nous reproduisons aux figures 15 et 16 deux représentations différentes de la granulométrie d'une poudre recueillie dans un atelier de travail de « granit dur ».

f. Variation de la teneur en silice libre en fonction de la granulométrie.

La possibilité de doser aisément la silice libre cristalline dans une poudre étant établie, on peut se demander dans quelle mesure la teneur moyenne trouvée représente la composition de la « fraction respirable » de la poussière ou d'une façon plus générale comment varie la concentration en silice libre dans les différentes fractions granulométriques de cette poudre.

Nous avons abordé le problème par l'examen des résultats de l'étude de six sables d'origines diverses et dont on avait analysé un échantillon moyen ainsi que les fractions inférieures à 38 μ (« passé tamis 400 ») et à 5 μ (décantation). Connaissant la proportion en poids de ces diverses poudres, nous avons calculé les teneurs en silices libre et combinée dans les trois fractions successives : > 38 μ, 38-5 μ et

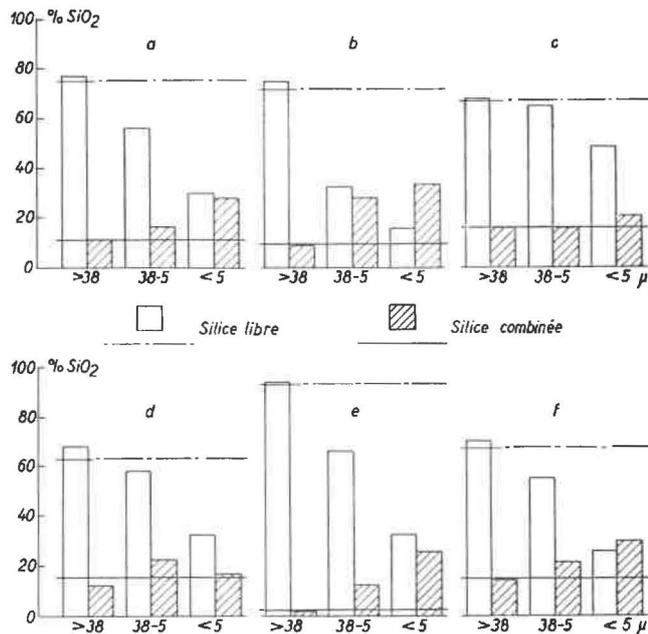


Fig. 17. — Variation de la teneur en silices libre et combinée en fonction de la granulométrie de 6 échantillons de sable.

< 5 μ. Les résultats sont représentés graphiquement à la figure 17 où la composition de chaque échantillon pris dans son entièreté est traduite par un trait horizontal d'ordonnée convenable. Il est intéressant de constater que la concentration en silice libre diminue systématiquement dans les fractions fines, tandis que la silice combinée a tendance à s'y concentrer. Nous avons déjà remarqué ce phénomène sur un grès à propos de l'étude de la méthode de dosage de Cardiff (58).

Compte tenu de la granulométrie propre à chaque échantillon, la quantité de silice libre susceptible d'être mise en suspension par 100 grammes de substance peut être calculée, soit à partir de la teneur moyenne des échantillons, soit à partir de la composition de la fraction fine de chacun d'eux. Le tableau V rend compte des résultats.

TABLEAU V

Silice libre susceptible d'être mise en suspension par six échantillons de sable (%).

N° échantillon	303	304	305	306	307	308
Etude globale	0,45	0,79	0,80	1,91	0,19	0,27
Etude de la fraction < 5 μ	0,18	0,16	0,58	0,99	0,06	0,10

On voit que les valeurs trouvées peuvent être assez différentes; elles sont dans le sens de la sécurité si on se base sur l'échantillon moyen.

Il est possible que les exemples ci-dessus soient plutôt extrêmes en raison du grand étalement des granulométries en cause; le phénomène est cependant intéressant et nous ne manquerons pas d'étu-

dier, sous cet angle, les échantillons de diverses compositions que nous pourrions rassembler.

B. Lutte contre les poussières. Matériel et procédés divers.

a. Essais d'élimination des poussières par pulvérisation d'eau dans les voies d'entrée d'air.

Parmi les sources de poussières prenant une importance de plus en plus grande vis-à-vis des causes de pollution des chantiers, il faut citer la circulation des rames pleines dans les galeries d'entrée d'air. Ce phénomène a été bien mis en évidence dans un nouveau *cadre*, de plus de 500 m de longueur, par où se fait l'évacuation par berlines de toute la production d'un étage. En tenant compte de la durée du trajet, de la vitesse du courant d'air, de la présence de rames vides revenant du puits, ... nous avons pu constater dans ce cas particulier qu'une rame pleine d'une cinquantaine de berlines de ± 1.000 litres, roulant vers le puits à contre-courant à la vitesse relative de ± 5 m/s par rapport à l'air de ventilation, provoque une mise en suspension de ± 1.350 particules/cm³ (5-0,5 μ) dégagées par le choc des wagonnets, ± 3.500 particules/cm³ (5-0,5 μ) soulevées par le passage des wagonnets sur sol mat, ± 7.000 particules/cm³ (5-0,5 μ) soulevées par le passage des wagonnets sur sol sec.

Sans la moindre prévention, ces poussières sont transportées par le courant d'air « dit pur » et arrivent dans les chantiers activés : pieds des tailles, fronts de boueux, ...; suivant l'intensité du transport, elles sont responsables de concentrations qui seraient jugées inacceptables si on les mesurait dans les retours d'air.

Il est certain que, si l'on pouvait partout asperger copieusement d'eau les berlines chargées au chantier et arroser systématiquement, ou mieux consolider le sol des voies de transport, le problème de la pollu-

tion des voies d'entrée d'air ne se poserait pas. Pour de multiples raisons, ces remèdes ne sont pas généralisés; c'est pourquoi nous avons essayé de réduire les empoussiérages provoqués par la circulation des berlines en utilisant des pulvérisateurs mixtes à faible consommation d'eau, qui s'étaient révélés très efficaces en laboratoire (51).

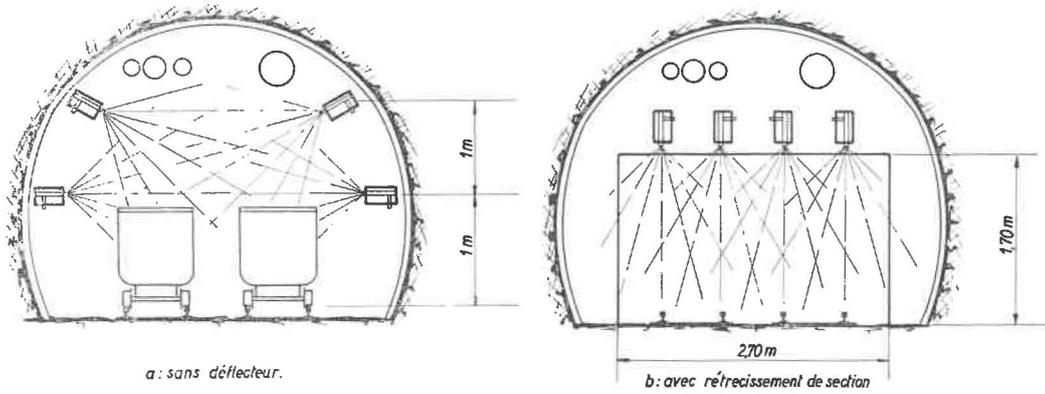


Fig. 18. — Disposition des pulvérisateurs dans une galerie cadrée.

Quatre appareils — stromboliseurs Coanda — ont été placés dans une galerie cadrée comme indiqué au schéma de la figure 18, formant sur une dizaine de mètres un fin brouillard plus ou moins dense et homogène suivant la turbulence du courant d'air qu'on a modifié en créant ou non un rétrécissement de section au droit des pulvérisateurs. Les concentrations en poussières ont été déterminées avant et après la station de pulvérisation, en effectuant des prélèvements régulièrement espacés au précipitateur thermique. Les fortes concentrations ont été obtenues en supprimant momentanément toute autre prévention et en provoquant un roulage anormalement intensif en amont (par rapport au sens du courant d'air) et en choisissant pour les essais un jour de reprise du travail après 2 ou 3 jours d'arrêt pendant lesquels des travaux de réfection avaient été exécutés dans ce tronçon de bouveau (accumulation de poussières aux brèches de recarrage). Les résultats des mesures sont traduits graphiquement à la figure 19 où sont représentées les variations de la teneur en poussières de l'air de ventilation avant (courbes I, III) et après (courbes

II, IV) la station de pulvérisation, pour deux séries d'essais distinctes, c'est-à-dire avec rétrécissement de section et très forte concentration (courbes I et II), sans rétrécissement de section et empoussiérage encore assez élevé (courbes III et IV). Dans un cas comme dans l'autre, la consommation d'eau a été de ± 6 litres par heure pour les quatre appareils, le débit d'air comprimé de l'ordre de $1 \text{ m}^3/\text{minute}$ et le débit d'air de ventilation est resté compris entre 14,5 et 15,5 m^3/s . La vitesse moyenne de l'air (V_m) au droit des pulvérisateurs a par contre varié de 2,7 m/s (avec rétrécissement) à 1,5 m/s (sans rétrécissement de section).

Dans les conditions décrites ci-dessus, nous avons trouvé un taux de réduction (non significatif) de 10 % pour une concentration amont de 7.500 particules/ cm^3 (5-0,5 μ) et $V_m = 1,5 \text{ m/s}$ et un taux moyen de réduction de près de 22 % pour une concentration amont de l'ordre de 22.000 particules/ cm^3 (5-0,5 μ) et $V_m = 2,7 \text{ m/s}$. On serait tenté de croire que le rendement est d'autant meilleur que la concentration en poussières est élevée. Les résultats d'autres investigations que nous avons faites sur le fonctionnement de ces « stromboliseurs » nous conduisent à penser qu'il existe au contraire une « concentration de saturation » au-delà de laquelle le rendement diminue, tous autres facteurs restant inchangés. C'est ainsi que nous avons trouvé une chute de rendement de 26,5 % à 17,2 % lorsque la concentration en amont passe de ± 17.500 à ± 32.000 particules/ cm^3 (5-0,5 μ), bien que l'efficacité soit apparemment la même dans différentes classes granulométriques (les diamètres médians des particules amont ou aval étant pratiquement identiques : 0,53 μ en l'occurrence).

La différence non significative enregistrée aux essais à concentration de l'ordre de 7.500 particules/ cm^3 doit être attribuée, soit au fait que trop d'air poussiéreux échappait au rideau de pulvérisation, parce que les faisceaux de gouttelettes ne couvraient pas l'entièreté de la section droite de la galerie, soit au manque de brassage air poussiéreux/brouil-

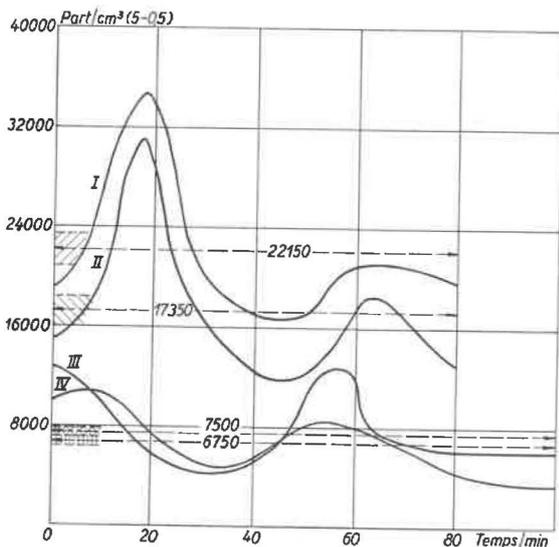


Fig. 19. — Variation des teneurs en poussières avant et après stromboliseurs.

lard par suite de la turbulence plus faible du courant d'air.

b. Essais d'un capteur de poussières adaptable à une sondeuse au grisou.

Plusieurs séries d'expériences ont été faites dans la voie de retour d'air d'une taille d'un charbonnage du Bassin du Centre en vue de réduire les quantités de poussières produites par le forage des longs trous de sonde destinés au captage du grisou. Les foreuses ou sondeuses généralement utilisées à cette fin sont des machines rotatives, placées sur affût, équipées de tiges de forage creuses vissées les unes aux autres et qui permettent l'injection d'eau au fond du trou. Le matériel de sondage expérimenté ici était un perforateur percutant Stenuick se déplaçant dans le trou de sonde même, fonctionnant à sec, de sorte que tous les débris de forage sont chassés des sondages par l'air d'échappement du marteau et viennent polluer l'air de la galerie. Pour pallier cet inconvénient, on a placé à l'orifice du trou de sonde un manchon de captage pour recueillir les débris et dévier l'air poussiéreux vers un dépoussiéreur du type cyclone humide. Cet appareil, le Cyclo-Airmix (Prat-Daniel), est reproduit schématiquement à la figure 20.

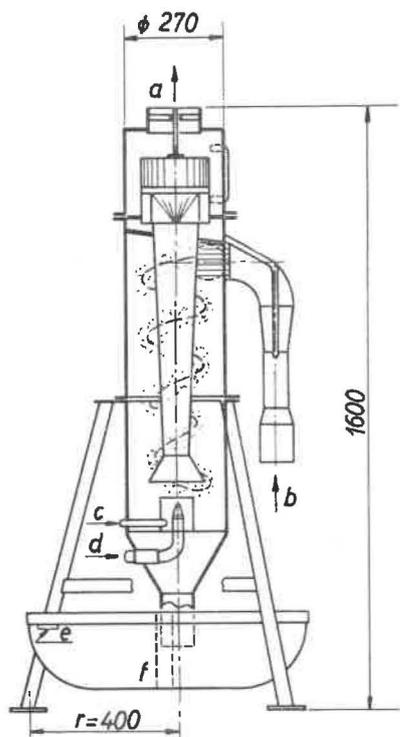


Fig. 20. — Dépoussiéreur Cyclo-Airmix

a : air épuré ; d : air comprimé ;
b : air poussiéreux ; e : trop plein ;
c : eau ; f : bac de décantation.

Les expériences ont consisté à déterminer les concentrations en poussières dans la galerie devant et derrière la foreuse et de part et d'autre de l'ensemble foreuse et dépoussiéreur dans des conditions

de forage aussi comparables que possible. Après les essais inévitables d'adaptation et de mise au point, on a comparé les résultats obtenus lors de la foration en schiste très gréseux et grès.

Pour des vitesses d'avancement variant de 10,3 à 11,75 cm/minute, les débris de forage contiennent de 4,4 à 6,9 % (en poids) d'éléments inférieurs à 37 microns (400 mesh) dont la teneur en silice libre est de l'ordre de 34 % (valeurs extrêmes 25,9-39,9). L'analyse granulométrique détaillée des poussières mises en suspension dans le courant d'air avec ou sans dépoussiéreur a été faite microscopiquement au moyen d'un micro-projecteur de grossissement 1.000 d, équipé d'un objectif à immersion d'ouverture numérique 1,3, en faisant la répartition dans les classes 0,2-0,5 μ ; 0,5-1 μ ; 1-3 μ ; 3-5 μ et > 5 μ . Les rendements de suppression obtenus par classes granulométriques sont traduits en diagramme à la figure 21. Ils montrent que l'adaptation du dépoussiéreur Cyclo-Airmix aux perforateurs Stenuick permet d'obtenir, après placement correct du manchon de captage et dans les conditions décrites (avancement, nature des roches, ...), un taux d'élimination de l'ordre de 95 % pour les particules de 5 à 0,5 μ .

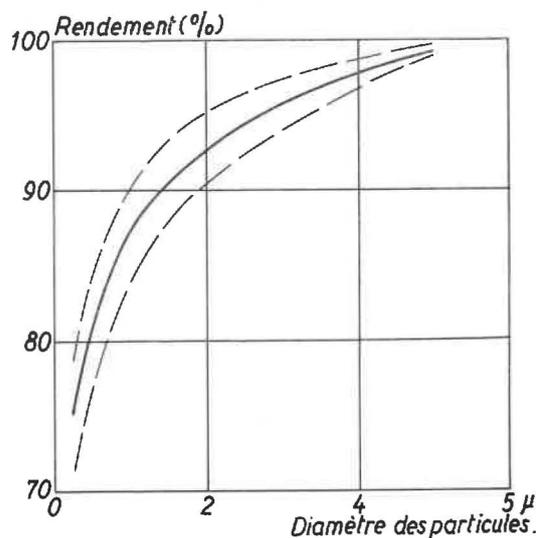


Fig. 21. — Rendement du Cyclo-Airmix en fonction de la granulométrie.

Bien que ce taux d'élimination soit excellent, les particules produites restant en suspension correspondent à des concentrations encore assez élevées, riches en silice (dans le cas de grès), de sorte que l'usage d'un bon masque antipoussières reste toujours conseillé.

c. Essais de masques antipoussières.

Lorsque, au début de l'année 1953, nous avons décrit les possibilités de l'installation de contrôle des masques antipoussières mise au point à l'époque à l'Institut d'Hygiène des Mines (59), nous avons choisi des critères permettant de juger de l'efficacité

des appareils testés et admis certaines valeurs caractérisant la commodité de port de ces respirateurs, sous réserve de modifier par après les maxima définissant la gêne respiratoire admissible. Dans une publication récente (60), nous avons exposé les modifications apportées au mode opératoire initial et communiqué les résultats des essais effectués sur les 85 masques antipoussières qui nous ont été présentés.

L'installation de contrôle n'a pas subi de changement depuis sa mise en service; les principes de fonctionnement et de mesure ont été maintenus (59) (61), c'est-à-dire : mesures tyndallométriques d'une poudre connue, essais d'un masque complet en débit alternatif (26 respirations de 1,6 litre par minute), mesures des résistances en débit d'air continu (50 litres/minute).

Pour des raisons invoquées dans le travail cité ci-avant (60), les « normes » auxquelles doivent satisfaire les appareils respiratoires antipoussières sont les suivantes :

α. Pouvoir de rétention.

Les masques complets sont essayés dans une atmosphère contenant 150 à 175 mg/m³ de poussières siliceuses à 95 % de silice libre, toutes inférieures à 5 μ et dont 60 % au moins (en nombre) sont inférieures à 1 μ. Ils doivent avoir un pouvoir de rétention supérieur ou égal à 95 % après 3 heures de fonctionnement à la fréquence de 26 respirations de 1,6 litre/minute. Les déterminations sont faites par des mesures au tyndallomètre toutes les trois minutes, le pouvoir de rétention étant calculé après chaque demi-heure. Ces exigences excluent pratiquement tous les appareils dont le pouvoir de rétention est inférieur à 80 % dès la première demi-heure et irrémédiablement tous ceux qui n'atteignent pas une moyenne de 90 % après 1 1/2 heure.

β. Résistances.

— A l'expiration, les clapets, valves, soupapes d'expiration doivent offrir, ensemble, une résistance à l'air expiratoire inférieure ou égale à 5 mm d'eau, en débit continu de 50 litres/minute.

— A l'inspiration, les masques complets : pré-filtres, filtres, clapets ne peuvent présenter une résistance supérieure à 10 mm à l'état neuf et 15 mm (en débit continu de 50 litres/min), après 1 1/2 heure de fonctionnement dans les conditions standards. Il est souhaitable que la valeur de cette résistance redescende en dessous de 10 mm lorsqu'on procède au décolmatage suivant les indications du constructeur ou par chocs lorsque ces instructions font défaut.

γ. Etanchéité.

Ensemble, dans le cas où plusieurs existent, les clapets, valves d'expiration ne peuvent laisser péné-

trer dans le corps du masque un débit d'air supérieur à 25 cm³/min lorsqu'on applique une dépression égale à 35 mm d'eau.

δ. Volume intérieur.

Cette caractéristique des masques, qui est une donnée capitale du point de vue physiologique, est de moins en moins à prendre en considération actuellement tant les constructeurs s'efforcent de réduire l'espace mort des couvre-faces. Il n'y a pratiquement plus d'exigence spéciale à formuler à cet égard; aussi avons-nous maintenu notre position antérieure avec les restrictions déjà signalées.

Au total, avons-nous dit, 85 masques différents ont été examinés, dont 53 ont été contrôlés suivant notre mode opératoire ancien (62). Les appareils qui avaient été reconnus bons à ce moment et qui existent encore sur le marché sous la même appellation ainsi que 29 nouveaux modèles ont été essayés en appliquant les nouvelles normes.

Le classement des appareils acceptés s'établit comme suit :

— au point de vue « gêne respiratoire » réduite à l'expiration (mesurée en débit continu de 50 litres par minute) :

M.D.P. 995 - Métal Autogène	2,1 mm H20
Brison 2 P ou 7.L.N.8 - modèle 60 (variantes 3) et S.F.A. (1/H/BD-90) 31-502	2,3 mm H20
Martin G.M.2.P.80	2,4 mm H20
Martin G.M.11.P.80 et L.80	2,7 mm H20
Draeger 70.545 (1958) ou Stinnes Zeche (filtre 10853) et Colonia 575 D (1958)	3,0 mm H20
Super Toucan (1959)	3,5 mm H20
Brison 3 P (variante 3)	3,6 mm H20
Draeger Stinneszeche Konprinz II 742 St et Fernez (1958)	4,0 mm H20
Brison 2 P ou 7.L.N.8 - modèle 60 (variantes 1) et Auer Kollix 2620 (2625) (1958)	4,5 mm H20
Brison 2 P et 7.L.N.8 - modèle 60 (variantes 2)	4,7 mm H20
Brison 3 P (variante 2)	5,0 mm H20

— au point de vue « pouvoir de rétention moyen » après 1 1/2 heure d'essai :

M.D.P. 995 - Métal Autogène	99,3 %
Draeger Stinneszeche Konprinz II 742 St	99,1 %
Draeger Stinnes Zeche - filtre 10853	98,8 %
Fernez (1958)	98,2 %
Draeger 70.545 (1958)	97,8 %
Brison 2 P (et variantes)	97,3 %
Brison 3 P (et variantes)	97,1 %
Auer Kollix 2620 (2625) (1958)	(96,8) %
Martin G.M.2.P.80	96,5 %
Martin G.M.11.P.80	96,0 %

Colonia 575 D (1958)	(95,0) %
S.F.A. (1/H/BD-90) 31-502	94,8 %
Martin G.M.11.L.80	94,4 %
Super Toucan (1959)	93,9 %
Brison 7.L.N.8 - modèle 60 (et variantes)	91,8 %

— au point de vue « gêne respiratoire » réduite à l'inspiration (moyenne des mesures faites en débit continu de 50 litres par minute avant et après essais standards de 1 1/2 heure) :

Martin G.M.11.P.80	6,4 mm H ₂ O
Brison 3 P (et variantes)	6,9 mm H ₂ O
Fernez (1958)	7,1 mm H ₂ O
M.D.P. 995 - Métal Autogène et S.F.A. (1/H/BD-90) 31-502	8,25 mm H ₂ O
Brison 2 P (et variantes) et Draeger Stinnes Zeche (filtre 10853)	9,0 mm H ₂ O
Draeger Stinneszeche Konprinz II 742 St	9,3 mm H ₂ O
Martin G.M.11.L.80	10,9 mm H ₂ O
Colonia 575 D (1958)	(11,25) mm H ₂ O
Brison 7.L.N.8 - modèle 60 (et variantes)	12,0 mm H ₂ O
Super Toucan (1959)	12,25 mm H ₂ O
Draeger 70.545 (1958)	12,5 mm H ₂ O
Auer Kollix 2620 (2625) (1958)	(12,5) mm H ₂ O
Martin G.M.2.P.80	13,0 mm H ₂ O

2. — Ventilation. Climat.

A. Résolution de problèmes de ventilation par analogie électrique.

a. Perturbation de l'aéragé due à un incendie.

Au cours de l'année écoulée, une société charbonnière nous a demandé d'examiner la possibilité de prédire ou de vérifier la perturbation de l'aéragé créée par le développement d'un incendie minier. En raison du caractère particulier des questions posées, il n'est pas possible de faire ici un compte rendu détaillé des réponses qui y ont été apportées; mais, à l'occasion de cette étude, nous avons pu tirer certaines conclusions plus générales que nous reproduisons ci-après.

Il faut d'abord remarquer que, dans tout problème de ventilation, on doit disposer comme données, non seulement de la résistance des différents branchements et des caractéristiques des divers ventilateurs, mais encore de la répartition des poids spécifiques δ tout le long du réseau de ventilation, car la valeur de la « pression d'aéragé naturel p_n (c'est-à-dire $\int \delta dz$, z désignant la profondeur) pour une boucle donnée ne peut être calculée qu'en fonction de ces poids spécifiques. Toutefois, dans les problèmes usuels, la pression p_n est nulle pour la plupart des mailles à l'exception de celles comportant de grandes hauteurs de puits, pour lesquelles p_n sera aisément déterminée à partir de quelques poids spécifiques. Par ailleurs, l'influence du poids

spécifique sur la caractéristique (pression, débit) des branchements peut être totalement négligée. Mais, pour l'étude par l'analogie électrique de la répercussion d'un incendie souterrain sur la ventilation, ces approximations ne sont plus valables et il est indispensable de connaître avec une certaine précision le poids spécifique du fluide (air ou fumées) aux environs de la zone incendiée, sans négliger d'ailleurs la pression d'aéragé naturel qui pourrait normalement exister dans des mailles plus éloignées. La modification de poids spécifique par l'incendie est fonction des variations concomitantes de température, de pression et de composition du courant d'air. Au voisinage de l'incendie, le poids spécifique est surtout affecté par la variation de T , mais on ne peut toujours négliger l'influence de variation de la composition du mélange gazeux qui peut se faire sentir à distance par mélange de fumées refroidies au courant d'air; de même, l'influence de la pression p sur δ , et sur la pression d'aéragé naturel p_n peut être notable si l'incendie entraîne l'arrêt accidentel ou forcé de ventilateurs souterrains. D'ailleurs, en partant de l'équation des gaz parfaits

$$\frac{1}{v} = \delta \frac{\mu p}{848 T} \text{ kg/m}^3,$$

μ désignant le poids moléculaire fictif du mélange gazeux, on voit que, pour des variations faibles, les influences relatives de T , p et μ sont égales, car en prenant la dérivée logarithmique des deux membres, on obtient :

$$\frac{d\delta}{\delta} = \frac{d\mu}{\mu} + \frac{dp}{p} - \frac{dT}{T}.$$

Cette formule montre que, pour des valeurs moyennes $p_m = 800 \text{ mm Hg}$, $T_m = 27^\circ \text{ C} = 300^\circ \text{ K}$, $\mu_m = 29$ et $\delta_m = 1,25 \text{ kg/m}^3$, on provoquera une même réduction de poids spécifique par une hausse de température de 3° C , par une baisse de pression de 8 mm Hg ou $110 \text{ mm H}_2\text{O}$, ou encore par une diminution de poids moléculaire de 1% , celle-ci pouvant être obtenue, par exemple, par l'adjonction à l'air de $2,7 \%$ en poids de vapeur d'eau ou de $2,3 \%$ de grisou.

Comme on le voit, l'étude de la perturbation de l'aéragé par un incendie suppose connue la répartition des températures et accessoirement celle des pressions et compositions de l'air de ventilation. On devra les établir en tenant compte des renseignements disponibles concernant la nature et l'importance du foyer, ainsi que le débit d'air comburant, renseignements que l'on pourra compléter par des calculs plus ou moins aléatoires sur l'évolution des températures en aval de la zone incendiée.

La prise en considération des modifications de poids spécifique en différents points de la mine par suite de l'incendie entraîne deux sortes de répercus-

sions dans l'étude analogique. La première est la modification de résistance des circuits parcourus par les fumées. D'une part, pour un débit en volume Q donné, la perte de charge Δp (exprimée en mm H_2O ou en kg/m^2) et le coefficient $K = \Delta p/Q^2$ sont proportionnels au poids spécifique du fluide; d'autre part, le débit en volume est, pour un débit massique donné, inversement proportionnel au poids spécifique. Par conséquent, en réservant l'indice 0 à l'air à l'état de référence et l'indice f aux fumées, on peut écrire, en utilisant nos notations habituelles ($L =$ longueur, $P =$ périmètre, $S =$ section, $\lambda =$ coefficient de perte de charge) :

$$\Delta p = K_f Q_f^2$$

avec :

$$K_f = \frac{\lambda L P}{8 g S^3} \delta_f = \frac{\lambda L P \delta_0}{8 g S^3} \frac{\delta_f}{\delta_0} = K_0 \frac{\delta_f}{\delta_0}$$

et :

$$Q_f = \frac{G}{\delta_f} = \frac{G}{\delta_0} \frac{\delta_0}{\delta_f} = Q_0 \frac{\delta_0}{\delta_f}$$

On en déduit :

$$\Delta p = K_0 \frac{\delta_f}{\delta_0} Q_0^2 \frac{\delta_0^2}{\delta_f^2} = K_0 \frac{\delta_0}{\delta_f} Q_0^2$$

Comme le courant électrique, incompressible, représente le débit Q_0 de fluide ayant le poids spécifique de référence δ_0 , pour obtenir une représentation correcte des chutes de pression dans le modèle, il faut adopter comme analogue électrique du coefficient K des branchements parcourus par les fumées la valeur K_0 , trouvée pour de l'air à l'état de référence, multipliée par le rapport δ_0/δ_f . Cette correction est la seule à prendre en considération pour les branchements horizontaux ou quasi horizontaux parcourus par des fumées chaudes.

La deuxième correction des données à reporter sur le tableau d'analogie électrique pour tenir compte d'un incendie est la modification du tirage naturel qui se produit lorsque les fumées chaudes envahissent des branchements présentant une dénivellation prononcée et en particulier les puits. Dans ce cas, si h est la hauteur entre laquelle le poids spécifique de l'air s'est modifié de δ_0 à δ_f , la perturbation de l'aéragé naturel dans toutes les boucles adjacentes au branchement considéré est évidemment $(\delta_0 - \delta_f)$; elle peut être notable, même pour de faibles valeurs de h , si les fumées sont très chaudes.

Considérons maintenant le cas d'une maille dans laquelle un branchement présentant une dénivellation h notable et parcouru par un courant d'air ascendant est le siège d'un incendie important, y faisant passer le poids spécifique moyen de δ_0 à δ_f , notablement plus faible. Dans l'équation relative aux variations de pression autour de la maille (2^{me}

équation de Kirchhoff), l'existence de l'incendie se traduira par la substitution de

$$\Delta p = K_0 Q_0^2 \frac{\delta_0}{\delta_f} - h(\delta_0 - \delta_f) \quad (1)$$

au terme $K_0 Q_0^2$ du branchement considéré; le signe précédant le terme h est négatif parce que nous supposons qu'en l'occurrence la modification du tirage naturel due au feu favorise l'écoulement dans le sens initial, et équivaut à une réduction de perte de charge du branchement incendié. Cela étant, nous allons prouver que la perturbation de la ventilation par l'incendie n'est pas une fonction continuellement croissante de la température des gaz dans la galerie en feu, mais qu'il existe une température déterminée rendant la perturbation maximum. La démonstration est particulièrement simple si nous supposons que le débit Q_0 dans le branchement en feu, pris à l'état de référence, n'est pas fonction de δ_f ; dans ce cas, la chute de pression Δp dans le branchement est représentée dans un diagramme $(\Delta p, \delta_f)$ par une hyperbole ayant pour asymptote verticale l'axe des ordonnées $\delta_f = 0$ et pour seconde asymptote la droite $\Delta p = -h(\delta_0 - \delta_f)$; cette courbe passe évidemment par un minimum, qui peut être négatif si $h\delta_0$ est relativement grand ou $K_0 Q_0^2$ relativement petit (fig. 22).

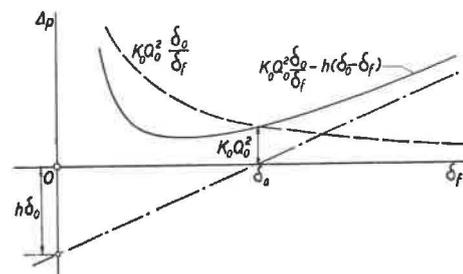


Fig. 22. — Variation de Δp en fonction du poids spécifique des fumées.

La valeur de δ_f correspondant à ce minimum est la racine positive de l'équation :

$$\frac{d(\Delta p)}{d\delta_f} = 0, \text{ c'est-à-dire } h = \frac{K Q_0^2 \delta_0}{\delta_f^2} \quad (2)$$

$$\text{d'où } \delta_{f,m} = \delta_0 \sqrt{\frac{K Q_0^2}{h \delta_0}}$$

et la valeur correspondante de Δp vaut, d'après la relation (1) :

$$(\Delta p)_m = -h\delta_0 + 2 \sqrt{h K_0 \delta_0} Q_0 \quad (3)$$

La perte de charge $K Q_0^2$ le long d'un branchement vertical ou à fort pendage étant en général

notablement plus faible que la variation de pression $h\delta_0$ due à la dénivellation h , on a $\delta_{f,m} \ll \delta_0$; par exemple, si la perte de charge KQ_0^2 vaut 10 % de $h\delta_0$, le poids spécifique critique $\delta_{f,m}$ vaudra $\sqrt{0,1} \delta_0 = 0,316 \delta_0$ et sera obtenu par une élévation de température $T_f = 3,16 T_0$; si t_0 vaut 27° C ou 300° K, T_f vaudra 948° K ou 675° C. Par conséquent, la perturbation maximum du régime des pressions dans un réseau de ventilation minière comportant un branchement vertical (ou à fort pendage) incendié se produira pour une température qui peut être atteinte et même dépassée aisément. La découverte de cette température ne constitue donc nullement une considération académique.

Les calculs précédents comportaient la simplification assez grossière consistant à considérer Q_0 comme une constante; en réalité, le débit Q_0 varie avec la différence de pression Δp aux bornes du branchement considéré d'une manière qui dépend de la structure particulière du réseau et qui n'est généralement pas accessible au calcul; on pourrait toutefois déterminer expérimentalement la relation $Q_0 = f(\Delta p)$ en effectuant sur le tableau d'analogie électrique une série d'essais dans lesquels le branchement incendié serait remplacé par une source de tension constante réglée à des valeurs successives correspondant à diverses chutes de pression Δp . Quoi qu'il en soit, la dérivée $d(\Delta p)/d\delta_f$ peut s'écrire en toute généralité :

$$\frac{d(\Delta p)}{d\delta_f} = h - \frac{K_0 Q_0^2 \delta_0}{\delta_f^2} + \frac{K_0 \delta_0}{\delta_f} \frac{\partial Q_0^2}{\partial(\Delta p)} \frac{d(\Delta p)}{d(\delta_f)}$$

d'où :

$$\frac{d(\Delta p)}{d\delta_f} = \frac{h - \frac{K_0 Q_0^2 \delta_0}{\delta_f^2}}{1 - \frac{\partial Q_0^2}{\partial(\Delta p)} K_0 \frac{\delta_0}{\delta_f}}$$

Cette dérivée $d(\Delta p)/d\delta_f$ s'annule donc encore par la valeur de δ_f donnée par la relation (2) et les conclusions que nous en avons déduites restent valables. L'exploration numérique montre que la température critique des gaz, pour laquelle la perturbation de l'aéragé est maximum, est comprise dans l'intervalle 500 à 1000° C suivant la structure du réseau, l'emplacement du branchement incendié, sa dénivellation, sa résistance et le débit qui le traverse. Il n'est pas non plus sans intérêt de remarquer que la modification de Δp le long du branchement incendié est nettement inférieure à la valeur $-h\delta_0$ que l'on obtiendrait en négligeant l'influence du poids spécifique sur les pertes de charge et en supposant que la colonne d'air de poids spécifique δ_0 et de hauteur h est remplacée par une colonne de fumées de poids spécifique pratiquement nul.

Signalons enfin, comme corollaire des considérations précédentes, que l'existence d'un maximum pour la chute de pression Δp considérée comme fonction de δ_f implique une lente variation de Δp de part et d'autre de la valeur critique de δ_f . Dès lors, les erreurs qui pourraient résulter d'une mauvaise estimation de la température dans le branchement incendié n'ont pas une influence aussi considérable pour l'étude de la ventilation qu'il ne semblerait *a priori*.

b. Modification de l'aéragé de deux sièges interconnectés.

Un autre charbonnage nous a consultés au sujet de la ventilation de deux sièges interconnectés. Dans

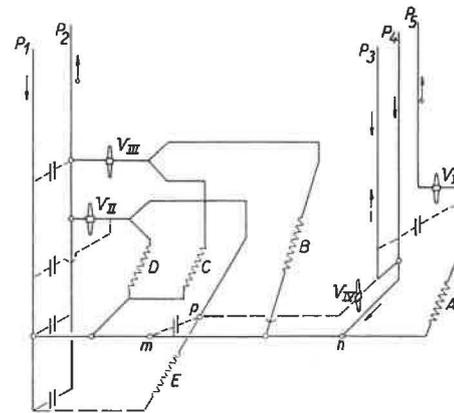


Fig. 23. — Schéma de ventilation de deux sièges interconnectés.

la situation initiale, la ventilation est assurée par trois ventilateurs souterrains et il existe, au niveau d'extraction principal, un bouveau général de jonction à partir duquel est dérivé l'air de ventilation de la plupart des chantiers, comme l'indique le schéma très simplifié de la figure 23. Sur cette figure, les traits pleins désignent les circuits principaux, les pointillés représentent les fuites (dont certaines servent à la ventilation des salles de pompes); enfin, on a dessiné en traits interrompus un nouvel étage dont la ventilation fait précisément l'objet des préoccupations du charbonnage. En effet, l'exploitation du quartier A déjà ventilé surabondamment par V_1 va être réduite puis abandonnée, tandis que le quartier D et surtout le nouvel étage E verront en compensation leur production croître de manière importante. Dans un avenir plus éloigné, le quartier B deviendra également moins important, tandis qu'on réalisera un nouvel accroissement de l'extraction du nouvel étage E. Au début de la mise à fruit de ce dernier, un retour d'air a été ménagé vers V_{II} par une très longue cheminée, qui rejoint le retour d'air d'un chantier non figuré sur le schéma.

Un premier essai montre que, même si ce retour d'air était rendu peu résistant par recarrage, l'accroissement de débit du nouvel étage serait insuf-

fisant car le ventilateur V_{II} , aspirant l'air à travers des quartiers D et E de plus en plus ouverts, fournit une pression de plus en plus petite; il fonctionne d'ailleurs dès à présent en dehors de sa zone de rendement acceptable.

Comme le ventilateur V_I était plus puissant que V_{II} et prévu pour un débit normal plus élevé, on avait pensé que l'échange de ces ventilateurs répondrait à l'évolution des besoins d'air de la mine; nos essais ont cependant prouvé que cette solution ne couvrirait que les besoins immédiats des quartiers D et E, sans aucune réserve pour l'avenir.

D'ailleurs, pour peu qu'on accroisse le débit du ventilateur V_{II} , une autre difficulté se présente : comme le puits P_2 est relativement résistant dans sa partie supérieure, tout accroissement du débit global du siège y provoque une augmentation de perte de charge et la mise en surpression de P_2 par rapport à P_1 , le tirage naturel ne compensant plus la somme des pertes de charge des puits. Cette surpression s'accroît du haut vers le bas et l'inversion des fuites entre puits qui en résulte provoque la détérioration qualitative de l'aérage du nouvel étage, au moment où il est quantitativement satisfaisant.

Pour éviter la mise en surpression du puits P_2 , on a envisagé de remettre en service un ventilateur de surface existant, mais prévu pour un orifice équivalent beaucoup plus faible, puis d'installer un nouveau ventilateur en surface. Cette solution est peu économique, car, pour éviter complètement le recyclage au pied des puits, il faut une dépression très grande en surface et il en résulte un fonctionnement hors caractéristique de V_{II} .

D'autres variantes ayant encore été envisagées, nous sommes arrivés à la conclusion qu'un accroissement notable du débit de ventilation de l'étage profond pourrait être obtenu sans l'inconvénient d'une surpression notable de P_2 à condition de créer un second retour d'air pour cet étage vers le deuxième siège. A cette fin, il faudra convertir le puits P_3 en retour d'air, P_4 devant être maintenu entrée d'air même après la disparition des chantiers A pour permettre l'aérage de salles de pompes; un nouveau de jonction (en traits interrompus sur la figure 23) devra être creusé entre P_3 et le retour d'air du nouvel étage, et un nouveau ventilateur V_{IV} y sera installé. Si les travaux B étaient supprimés à brève échéance, le nouveau de liaison entre les deux sièges pourrait lui-même servir de retour vers V_{IV} entre les points m et n, à condition d'ouvrir les portes entre m et p et d'isoler le tronçon mn du restant du nouveau qui reste entrée d'air; cette solution permettrait de réduire notablement la longueur de nouveau à creuser, mais elle est légèrement moins favorable à cause des fuites aux portes supplémentaires.

L'étude par analogie électrique a encore permis de prévoir les répercussions de l'arrêt d'un quelconque parmi les quatre ventilateurs.

c. Construction de tableaux d'analogie électrique.

L'année 1959 a vu la mise en service de deux nouveaux tableaux d'analogie électrique, l'un au Charbonnage de Houthalen, l'autre dans notre Institut. Ces deux tableaux, construits suivant les directives de notre Service Technique, reposent sur les principes que nous avons déjà exposés à diverses reprises (51) (63) (64). Les panneaux groupant les résistances qui représentent les divers branchements du réseau n'ont subi aucune modification et sont interchangeables entre eux ainsi qu'avec ceux du tableau monté au Charbonnage de Monceau-Fon-

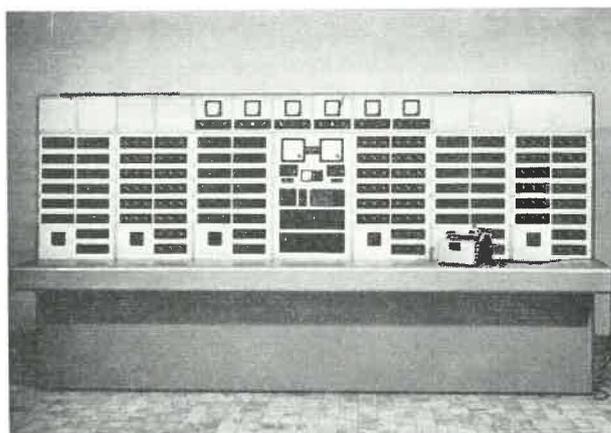


Fig. 24. — Nouveau tableau d'analogie électrique.

taine. Les sources basse tension représentant le tirage naturel ont été construites suivant un principe nouveau, comme suite aux possibilités introduites en électronique par l'utilisation des transistors. Enfin, dans le tableau de l'Institut d'Hygiène des Mines, le nombre de branchements a été porté de 56 à 84 et le nombre de sources de 8 à 14; on a prévu en outre la possibilité de lecture directe des courants et des tensions aux bornes des branchements, ainsi que celle des potentiels par rapport à un point fixe. La photographie de la figure 24 représente le tableau de l'Institut d'Hygiène des Mines, avec au centre l'unité de réglage et les instruments de mesure directe des courants et des tensions. Les cases non occupées à la partie supérieure sont destinées à recevoir des sources de tension de caractéristiques spéciales qui sont à l'étude.

B. Etude du climat minier.

a. Technique des mesures climatiques.

Nous avons déjà exposé dans ces colonnes l'utilité de disposer d'appareils enregistreurs des facteurs du climat minier (50) (51). La grandeur la plus difficile à enregistrer est la vitesse de l'air. Nous avons cette

année poursuivi nos essais d'un prototype d'enregistreur de vitesse dérivé du principe de l'anémomètre à fil chaud; nous sommes cependant arrivés à la conclusion que notre prototype ne pourrait fonctionner correctement que s'il était alimenté par une source très stable de l'ordre de 20 V capable de débiter quelques milliampères. Nous nous efforçons actuellement d'obtenir par voie électronique une telle source alimentée par batterie de lampe-chapeau et qui soit de sécurité intrinsèque.

b. Statistiques des conditions climatiques du fond.

Lors des discussions à l'échelon international (notamment dans le cadre de la C.E.C.A.) au sujet des climats limites admissibles dans les travaux souterrains, divers pays ont fait état de statistiques relatives aux conditions climatiques régnant dans leurs mines. Afin de permettre une comparaison de ces données avec la situation existant dans notre pays, nous avons tenté d'établir une statistique analogue avec les renseignements dont nous disposons. La figure 25 rassemble sous forme d'histogrammes les résultats valables dans trois de nos mines profondes. Les surfaces des rectangles sont proportionnelles aux nombres de mesures comprises entre les limites de température indiquées en abscisse. On a indiqué sous les histogrammes la profondeur moyenne des chantiers, la vitesse moyenne de l'air et la température originelle des roches. Les différences entre les trois mines considérées s'expliquent non seulement par les écarts de température originelle des roches, mais aussi par le caractère plus ou moins humide de ces exploitations : la mine A est très sèche, tandis que B est très humide.

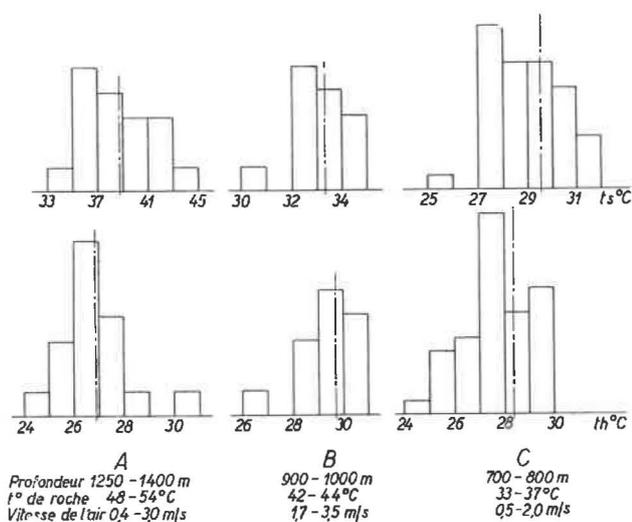


Fig. 25. — Statistiques de températures relevées dans trois mines profondes.

c. Moyens de retarder et d'éviter la réfrigération artificielle des mines chaudes.

Lors d'une journée d'études concernant le travail aux hautes températures, organisée par la Haute Autorité de la Communauté européenne du Char-

bon et de l'Acier à Luxembourg le 9 octobre 1959, notre Institut a présenté deux communications relatives d'une part à la climatisation des mines et d'autre part aux moyens d'éviter ou de retarder celle-ci. Dans cette dernière, nous avons fait état d'une expérience qui montre l'influence considérable du sens de circulation des produits (par rapport au courant d'air) sur les dégagements de chaleur en taille et dans la voie d'entrée d'air. Il nous paraît opportun de relater ici ces essais et les conclusions qu'on peut en tirer.

L'inversion du sens de circulation des produits a pu être effectuée au Charbonnage de Gosson-Kessales dans un chantier où le pendage irrégulier (couche en dos d'âne) justifiait à un moment donné cette inversion. On trouvera au tableau VI les observations climatiques qui ont été effectuées avant et après cette modification du transport, ainsi que les apports de chaleur et d'humidité qui en ont été déduits d'une part dans la voie costresse et d'autre part dans le chantier. Comme on peut le voir, les conditions climatiques au pied de la taille sont nettement plus favorables lorsque les produits ne circulent plus dans la voie d'entrée d'air. Par contre, à la sortie de la taille, le climat est resté inchangé, mais cela s'explique par l'accroissement important de la production, concomitant d'une réduction du débit d'air.

L'examen des deux dernières colonnes du tableau permet de tirer certaines conclusions supplémentaires. Dans la voie de base (entrée d'air) du chantier, l'apport de vapeur d'eau s'est réduit de quelque 53 kg/h qui provenaient du séchage par l'air du charbon humidifié au cours de l'abattage (marteaux-pics à pulvérisation). Le transport dans la voie de tête a donc supprimé un apport calorifique en provenance du charbon se montant au minimum à la chaleur de vaporisation de ces 53 kg/h d'eau, soit 32.000 kcal/h. La disparition des moteurs électriques (67 kW) de l'installation de transport aurait dû réduire encore l'action calorifique sur l'air dans la voie d'entrée de l'équivalent de la puissance consommée, soit 58.000 kcal/h. La réduction totale de l'apport de chaleur, qui aurait dû être de l'ordre de 90.000 kcal/h, n'est en réalité que de l'ordre de 55.000 kcal/h. Un léger abaissement de la température de l'air à l'entrée de la voie, et l'allongement progressif de celle-ci expliquent en partie une majoration de l'action calorifique des parois. Mais on doit supposer en outre que l'abaissement de la température de l'air dans l'ensemble de la voie costresse a provoqué un accroissement des déperditions calorifiques des roches.

De toute façon, on constate dès le début une réduction de l'échauffement de l'air qui, pour la voie d'entrée d'air, s'élève à 55.000 kcal/h et, pour l'ensemble de la voie d'entrée et de la taille, à 61.000 kcal/h. Rien que pour le poste d'abattage, cela

TABLEAU VI
Influence du sens de circulation des produits sur les dégagements de chaleur en taille et dans la voie costresse.

Point de mesure	Débit d'air m ³ /s	t _s °C	t _h °C	Action calorifique kcal/h	Apport d'humidité kg/h
A. Circulation de l'air et des produits en sens opposés (production nette : 285 tonnes/poste)					
1. Origine voie costresse		21,9	18,4		
2. Pied de taille	4,8	31,0	25,0	117.000	111
3. Tête de taille	5,04	33,8	30,2	124.000	171
			Total	241.000	282
B. Circulations parallèles de l'air et des produits (production nette : 380 tonnes/poste)					
1. Origine voie costresse		20,8/21,4 *	16,8/17,6 *	61.000/64.000 *	56/60 *
2. Pied de taille	3,7/3,65 *	27,2/28,4 *	21,0/22,7 *	119.000	144
3. Tête de taille	4,02/3,98 *	34,0	30,2		
			Total	180.000	200

* Lorsque deux valeurs numériques sont indiquées, il s'agit de deux mesures faites à un mois d'intervalle.

représente une diminution de chaleur dégagée de l'ordre de 3.000 kcal par tonne nette extraite; pour la journée, on peut compter sur une diminution de l'ordre de 5.000 kcal par tonne nette extraite, ce qui n'est nullement négligeable si l'on tient compte de ce que, pour un charbonnage dont les travaux sont à la profondeur moyenne de 800 m, la chaleur cédée par les terrains et l'oxydation du charbon est de l'ordre de 25.000 ... 30.000 kcal/tonne nette extraite.

C. Etude des pertes de charge des puits.

En juin 1959, V.A.L. Chasteau et W.L. Le Roux ont publié (65) (66) les résultats de quelques mesures de pertes de charge effectuées sur un modèle à

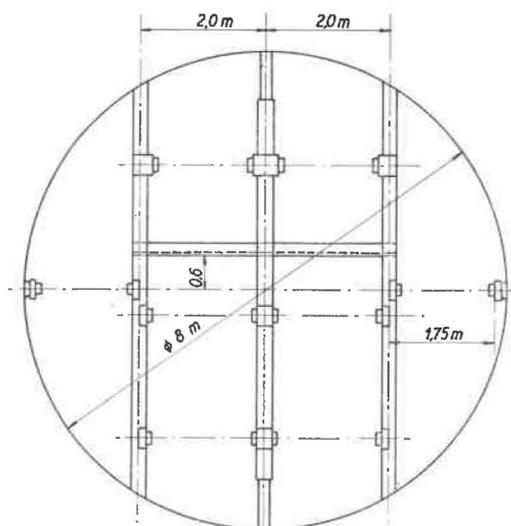


Fig. 26. — Equipement du puits Pioneer.

échelle réduite représentant un puits du siège « Pioneer » de la « Buffelsfontein Gold Mining Cy Ltd », dont l'équipement initial est conforme aux indications de la figure 26. Les essais avaient essentiellement pour but d'estimer l'intérêt d'un profilage aérodynamique d'une longueur plus ou moins importante des traverses. En appliquant aux résultats des sept essais relatés par Le Roux la méthode de calcul que nous avons déjà décrite (50) (67), nous en

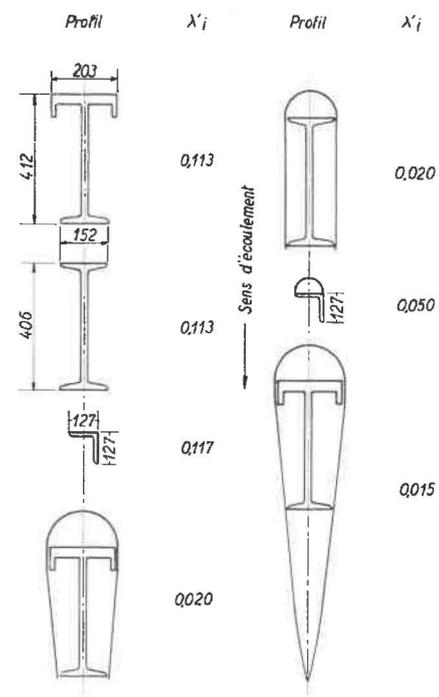


Fig. 27. — Profils des traverses et coefficients de perte de charge.

avons déduit les coefficients λ'_i caractéristiques de la résistance aérodynamique des traverses possédant divers profils. Vu le petit nombre d'essais disponibles, nous avons été contraints d'admettre que des profils voisins possédaient le même coefficient λ'_i . La figure 27 donne les valeurs les plus probables de λ'_i en regard des profils correspondants, pour un espacement longitudinal de 3,80 m (12'6"). Les valeurs inscrites dans ce tableau appellent quelques remarques. Elles sont dans l'ensemble assez basses, ce qui s'explique par le grand espacement des traverses (de 20 à 30 fois leur largeur). D'autre part, on observe que la résistance de la cornière de 5" x 5" est plus élevée que celle d'un I de 12" x 6". Sans doute, le profil L est-il particulièrement défavorable au point de vue aérodynamique, mais on peut supposer aussi que la résistance des alignements de traverses I a été diminuée par la présence de 14 guides qui y sont fixés, tandis que la cornière ne supportait aucun guide. Par ailleurs, elle se trouvait à proximité du centre du puits. Bien que nos formules ne tiennent pas compte de l'emplacement des traverses dans le puits, il est certain que cet emplacement détermine dans une certaine mesure la grandeur des pertes aérodynamiques provoquées par les traverses. Soulignons enfin l'importance de la réduction de résistance qu'il est possible d'obtenir par un profilage éliminant les angles vifs et comblant les vides existant entre les ailes des poutrelles, ainsi que le faible gain supplémentaire résultant de l'adoption de profils plus parfaits, d'exécution pratique difficile.

Nous avons d'autre part procédé à la mesure des pertes de charge de deux puits du siège Héribus de la Société des Charbonnages du Borinage. Cette mesure présentait une difficulté particulière du fait qu'un débit relativement faible y parcourt des puits de 5 m de diamètre : la somme des pertes de charge des deux puits sur une longueur de 150 m n'était de ce fait que de l'ordre de 1 mm H₂O. Un dépouillement provisoire montre cependant une concordance satisfaisante entre les résultats de deux méthodes utilisées et que nous avons décrites antérieurement (67) (68). On trouve comme perte de charge globale :

- par la méthode des deux puits : 1,44 mm H₂O,
- par la méthode du tuyau : 1,34 mm H₂O.

Le dépouillement complet de ces résultats est en cours.

D. Tarage des instruments de mesure.

Comme les années précédentes, nous avons procédé en nos laboratoires à l'étalonnage des baromètres et des anémomètres qui nous ont été envoyés par les charbonnages, ainsi que ceux de nos appareils qui ont été utilisés pour des campagnes de mesures spéciales dans certains charbonnages. Nous

avons ainsi étalonné 9 baromètres et 69 anémomètres.

Nous avons aussi procédé à des essais sommaires sur un psychromètre et deux thermomètres indicateurs électriques qui nous ont été remis à l'essai par des firmes commerciales.

En ce qui concerne plus particulièrement le tarage des baromètres, deux publications étrangères (69) (70) ont attiré l'attention sur l'importance du phénomène d'hystérésis des baromètres anéroïdes; lorsque ceux-ci sont utilisés pour des mesures de pertes de charge, le fait de négliger cette hystérésis peut être responsable d'erreurs grossières que l'on constate parfois en comparant les lectures de deux baromètres dont l'un est maintenu à poste fixe et l'autre utilisé au cours d'un cheminement souterrain. C'est pourquoi nous avons décidé d'en tenir compte dorénavant lors du tarage des baromètres. Les diagrammes de correction que nous fournirons à l'avenir comporteront une courbe de tarage « en augmentant la pression » et une courbe « en diminuant la pression ». Suivant les chercheurs qui ont étudié cette question et d'après l'expérience que nous en avons acquise récemment, ces deux courbes constituent les enveloppes supérieure et inférieure de toutes les boucles d'hystérésis que décrit le baromètre lorsque la pression atmosphérique fluctue au hasard. Lors d'une mesure quelconque, effectuée sans connaître « l'histoire » des variations de pression antérieures subies par l'instrument, la correction reste partiellement indéterminée : tout ce qu'on peut garantir est qu'elle est comprise entre celles déterminées « en accroissant » et « en réduisant » la pression. En pratique, l'indétermination peut souvent être levée; en effet, lors de variations de pression de l'ordre de 10 mm Hg ou plus dans un même sens, il semble que la courbe d'hystérésis décrite par l'appareil se raccorde déjà avec une des courbes-enveloppes. Par conséquent, lors d'une mesure consécutive à une baisse de pression suffisante, on pourra lire la correction sur la courbe de tarage « en descendant », réciproquement pour une mesure postérieure à une hausse de pression notable, on trouvera la correction sur la courbe de tarage « en montant ». De plus, il paraîtrait que le choix entre les deux courbes de correction ne serait pas affecté par de petites fluctuations de pression (± 1 mm Hg). A titre d'exemple, nous donnons les courbes de tarage de deux baromètres, relevées suivant cette nouvelle méthode. On constate que pour l'appareil *a*, vieux d'environ 10 ans, mais en bon état mécanique, les deux courbes sont relativement espacées et le fait de négliger l'hystérésis du baromètre pourrait conduire à des déterminations de pertes de charge entièrement fantaisistes (fig. 28). En outre, si la pression fluctue notablement (quelques mm Hg) au cours des mesures, la correction à appliquer reste incertaine et les mesures ne sont plus exploitables.

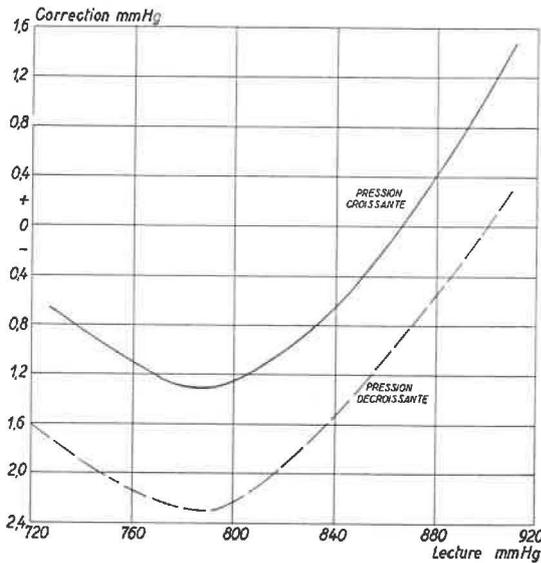


Fig. 28. — Courbe de tarage d'un baromètre : type a.

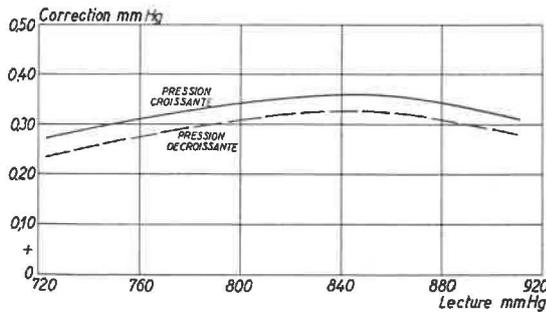


Fig. 29. — Courbe de tarage d'un baromètre : type b.

C'est pourquoi il est hautement souhaitable d'utiliser, lors de mesures de pertes de charge, des baromètres à faible hystérésis, tels que l'appareil b; ce dernier est un baromètre à amplification optique pour lequel l'hystérésis est tellement réduite que nous n'aurions pu représenter de façon distincte ses deux courbes de tarage si nous n'avions modifié considérablement l'échelle des ordonnées (fig. 29).

3. — Enquête.

Comme chaque année, l'Institut a publié les résultats de son enquête sur l'étendue des moyens de prévention mis en œuvre dans les charbonnages belges. Nous sommes à même de donner en plus les résultats provisoires sur la situation telle qu'elle se présente au début de l'année 1960. On trouvera au tableau VII 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.

Pour faciliter la comparaison, nous avons fait la distinction en indiquant, d'une part la longueur des fronts traités par plusieurs de ces procédés à la fois et, d'autre part, la longueur des fronts traités par une seule de ces méthodes combinée à la pulvérisation d'eau dans la taille. Au tableau VIII, 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 VII
Développement des tailles auxquelles sont appliqués
Situation au début de 1960

Bassins administratifs	Campine		Liège	
	1959	1960	1959	1960
Années de référence				
Longueur des fronts déhouillés (m)	20.741	19.658	22.208	20.024
I. Traitements appliqués au point de formation des poussières				
1. Arrosage des fronts	3.946	1.040	—	—
2. Injection d'eau en veine	11.133	10.668	1.597	1.760
3. Havage humide	3.493	2.865	220	—
4. Emploi de piqueurs à pulvérisation d'eau	5.133	4.283	4.619	3.146
Longueur totale traitée	23.705	18.856	6.436	4.906
ii. Longueur des fronts traités par plusieurs de ces procédés à la fois	7.522	5.031	400	130
III. Longueur des fronts traités par un de ces procédés combiné à la pulvérisation d'eau en taille	8.350	6.887	2.940	1.980
IV. Longueur des fronts traités par pulvérisation d'eau en taille	8.666	10.707	6.967	7.098
V. Longueur des fronts naturellement humides considérés comme peu poussiéreux	3.366	898	4.715	4.740

TABLEAU VIII

Moyens de prévention normalement mis à la disposition du personnel

Situation au début de 1960

(Bouveaux, bacnures, burquins,

Bassins administratifs	Campine		Liège	
	1959	1960	1959	1960
Années de référence				
Nombre de fronts en creusement	153	130	87	71
Fronts équipés de :				
1. Capteurs pour forage à sec	14*	19*	14	14
2. Perforateurs à adduction latérale d'eau	20	5	25	2
3. Perforateurs à injection centrale d'eau	109	101	43	54
Fronts avec prévention	143	125	82	70

* Dans les puits intérieurs principalement.

TABLEAU VII

régulièrement des traitements humides

comparée à la situation au 1^{er} janvier 1959

Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
1959	1960	1959	1960	1959	1960	1959	1960
29.417	24.366	10.151	7.630	11.515	8.736	94.032	80.414
1.730	765	—	—	245	50	5.921	1.855
6.040	8.274	2.401	1.538	1.875	2.700	23.046	24.940
100	—	—	—	200	—	4.013	2.865
6.063	4.949	874	735	245	290	16.934	13.403
13.933	13.988	3.275	2.273	2.565	3.040	49.914	45.063
500	1.232	—	—	—	—	8.422	6.393
4.270	5.188	211	—	845	950	16.616	15.005
8.713	9.643	2.098	2.575	3.952	4.177	30.396	34.200
3.910	3.500	1.794	1.275	1.401	675	15.186	11.179

TABLEAU VIII

dans les travaux préparatoires au cours des opérations de foration

comparée à la situation au 1^{er} janvier 1959

(approfondissements de puits, ...)

Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
1959	1960	1959	1960	1959	1960	1959	1960
116	102	32	12	40	25	428	340
13	6	7	2	—	—	48	41
—	9	1	—	—	—	46	16
85	79	14	6	37	25	288	265
98	94	22	8	37	25	382	522
						ou 89,3 %	ou 94,7 %

BIBLIOGRAPHIE

- (1) LAMMERANT J. — Le volume sanguin des poumons chez l'homme. - Bruxelles, ARSCIA, 1957, 192 p.
- (2) ROSSIER P.H., BUEHLMANN A., WIESINGER K. — Physiologie und patho-physiologie der Atmung. - Berlin, Springer Verlag, 1956, 330 p.
- (3) HARROW B. et MAZUR A. — Textbook of biochemistry. - Philadelphia, W.B. Saunders, 1958, 7^e éd., 557 p.
- (4) COMROE J.H. — Methods in medical research. Vol. 2. - Chicago, The Year Book Publish., 1950, 361 p.
- (5) WHITE A., HANDLER Ph., SMITH E.L. et DEWITT S. — Principles of biochemistry. - New-York, McGraw-Hill Book Cy, 1954, 1117 p.
- (6) SENDROY J., DILLON R.T. et VAN SLIJKE D.D. — Studies of gas and electrolyte equilibria in blood: XIX O₂ solubility in blood. - J. Biol. Chem., 1934, 105, 597-632.
- (7) BELL G.H., DAVIDSON J.N. et SCARBOROUGH H. — Textbook of physiology and biochemistry. - Edinburgh-London, Livingstone ed., 1953, 2^e éd., 1002 p.
- (8) KUGELMASS I.N. — Biochemistry of blood in health and disease. - Oxford, Charles C. Thomas, 1959, 543 p.
- (9) BARTELS H., BUECHERL E., HERTZ C.W., RODEWALD G. et SCHWAB M. — Lungen Funktions Prüfungen. - Berlin, Springer-Verlag, 1959, 426 p.
- (10) DILL D.B., GRAYBIEL A., HURTADO A. et TAQUINI A.C. — Der Gasaustausch in den Lungen im Alter. - Sand. aus Zeits Alters. II : (1), 1940, 20-33.
- (11) CONSOLAZIO C.F., JOHNSON R.E. et MAREK E. — Metabolic Methods. - St-Louis, Mosby Cy, 1951, 471 p.
- (12) KOCH R. et SAUNIER C. — Mesure de la saturation oxyhémoglobinée du sang par la méthode de Van Slijke et par l'hémoréflexeur de Brinkman. Etude comparative. - Rev. franç. Et. Clin. Biol., 1958, 3, 793-794.
- (13) MOLLER B. — The hydrogen ion concentration in arterial blood. - Acta Med. Scandinav., 1959, suppl. 165, 240 p.
- (14) RILEY R.L., PROEMMEL D.D. et FRANKE R.E. — A direct method for determination of oxygen and carbon dioxide tensions in blood. - J. Biol. Chem., 1945, 161, 621-633.
- (15) BARTELS H., BURGER W., ESCHWEILER F. et LAUE D. — Das «Haemoxytensionmeter». Ein Apparat zur routinemässigen Bestimmungen des Sauerstoffdruckes in voll-blut. - Pflüg. Arch. ges. Physiol., 1951, 254, 137.
- (16) RILEY R.L., CAMPBELL E.J.M. et SHEPHARD R.H. — A bubble method for estimation of PCO₂ and PO₂ in whole blood. - J. Appl. Physiol., 1957, 11, 245-249.
- (17) SHEPHARD R.H. et MEIER P. — Analysis of the errors of a bubble method for estimation of PCO₂ and PO₂ in whole blood. J. Appl. Physiol. 11, 250-259.
- (18) SEMPLE S.J.G. et YOUNG I.M. — A trial of the direct method for determining the tensions of O₂ and CO₂ in blood. - Thorax, 1959, 14, 251-253.
- (19) ALBRITTON E.C. — Standard values in blood. - Philadelphia, W.B. Saunders, 1952.
- (20) COMROE J.H., FORSTER R.E., DUBOIS A.B., BRISCOE W.A. et CARLSEN E. — The lung. - Chicago, The Year Book Publish., 1955, 219 p.
- (21) SCHWAB M. — Klin. Wschr. 1957, 157, cité in Bartels H. et coll. Lungen Funktions Prüfungen. - Berlin, Springer-Verlag, 1959, p. 318.
- (22) SADOUL P., AUBERTIN N. et GUILLERM J. — Explorations fonctionnelles pulmonaires au cours des pneumoconioses. - Rev. Praticien, 1958, 8, 1523-1530.
- (23) SEVERINGHAUS J.W., STUPFEL M. et BRADLEY A.F. — Accuracy of blood pH and pCO₂ measurements. - J. Appl. Physiol., 1956, 9, 189-196.
- (24) SEVERINGHAUS J.W., STUPFEL M. et BRADLEY A.F. — Variations of serum carbonic acid pK' with pH and temperature. - J. Applied Physiol., 1956, 9, 197-200.
- (25) SADOUL P. et SAUNIER C. — L'équilibre acido-basique en pathologie respiratoire. - Rev. Méd. Nancy, 1959, 84, 557-610.
- (26) MILCH R.A., BANE H.N. et ROBERTS K.E. — Conversion factors for serum base-bound bicarbonate and carbon dioxide tension. - J. Applied Physiol., 1957, 10, 151-153.
- (27) VAN SLIJKE D.D. et SENDROY J. — Studies of gas and electrolyte equilibria in blood. - J. Biol. Chem., 1928, 79, 781-798.
- (28) VAN SLIJKE D.D. et NEILL J.M. — The determination of gases in blood and other solutions by vacuum extraction and manometric measurements. - J. Biol. Chem., 1924, 61, 523-538.
- (29) ASTRUP P. et SCHROEDER S. — Apparatus for anaerobic determination of the pH of blood at 38 degrees centigrade. - The Scand. J. of Clin. and Lab. Invest., 1956, 8, 30-32.
- (30) BRASSEUR L., TREMOUROUX J. et KREMER R. — Saturation oxyhémoglobinée et pression partielle de CO₂, au repos et à l'effort, dans la pneumoconiose des houilleurs. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1959, 14, n° 159, 33 p.
- (31) MOTLEY H.L., GORDON B., LANG L.P. et THEODOS P.A. — Impairment of pulmonary function in anthraco-silicosis. - Arch. Industr. Hyg. and Occ. Med., 1950, 1, 133-157.
- (32) MOTLEY H.L., LANG L.P. ET GORDON B. — Studies on the respiratory gas exchange in one hundred anthracite coal miners with pulmonary complaints. - The Amer. Rev. of Tuberc., 1950, 61, 201-225.
- (33) FRIEHOFF F.J. — Résultats de la fonction pulmonaire obtenus chez des silicotiques au stade 2. - Le Poumon et le Cœur, 1959, 8, 825-830.
- (34) SARTORELLI E. et MAGISTRETTI M. — Fisiopatologia respiratoria e cardiocircolatoria della silicosis. - Milano, Unione Tipografica, 1958, 120 p.
- (35) COHN J.E., CAROLL D.G. et RILEY R.L. — Respiratory acidosis in patients with emphysema. - The Amer. J. of Med., 1954, 17, 447-463.
- (36) DE COSTER A., DENOLIN H. et ENGLERT M. — Etude de la ventilation alvéolaire et de l'espace mort physiologique au repos et à l'effort chez les sujets normaux et pathologiques. - Acta Med. Scand., 1958, 162, 47-60.
- (37) LAVENNE F. — Le retentissement cardio-vasculaire de la silicose et de l'antraco-silicose. Contribution à l'étude du «Cor Pulmonale». Rev. belge Path. et Méd. Exper., 1951, 21, suppl. VI, 264 p.
- (38) WELLS A.L. — Pulmonary Vascular changes in coal-worker's pneumoconiosis. - J. Path. and Bact., 1954, 68, 573-587.
- (39) ROSSIER P.H., BUEHLMANN A. et LUCHSINGER P. — Der pathophysiologie der Atmung bei der Silikose. - Dtsch. Med. Wschr., 1955, 80, 608-614.
- (40) LUCHSINGER P.C., MOSER K.M., BUEHLMANN A. et ROSSIER P.H. — The interrelationship between cor pulmonale, capillary bed restriction and diffusion insufficiency for oxygen in the lung. - Amer. Heart J., 1957, 54, 106-117.
- (41) MINETTE A., BELAYEW D. et MEERSSEMAN F. — Recherches anatomiques sur la topographie des confluences pneumoconiotiques. 1^{re} partie: Méthodes d'étude. Intérêt et technique des injections bronchographiques post mortem. - Communications de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1956, 11, n° 140, 15 p.
- (42) MEERSSEMAN F., BELAYEW D. et MINETTE A. — Recherches anatomiques sur la topographie des confluences pneumoconiotiques. 2^e partie: Localisation des confluences pneumoconiotiques. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1959, 14, n° 162, 44 p.

- (43) BELAYEW D., PRIGNOT J. et LAVENNE F. — La topographie des lésions confluentes dans la pneumoconiose des houilleurs. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1956, 11, n° 136, 41 p.
- (44) di BIASI W. — Pathologische Anatomie der Silikose. - Beiträge zur Silik. Forsch., 1949, Heft 3, 95 p.
- (45) FRUEHLING L. et CHAUMONT A.J. — La silicose pulmonaire. - Rapport présenté au 17^e Congrès international de Médecine du Travail, Médecine Légale, Médecine Sociale. Strasbourg, 1954, 64 p.
- (46) LEYH P. — Problèmes médicaux soulevés par le travail aux températures élevées. 6^e partie : Comparaison d'appareils respiratoires en circuit fermé, à oxygène comprimé et à air liquide, en vue d'opérations de sauvetage aux hautes températures. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1959, 14, n° 163, 24 p.
- (47) HARTWELL F.J. et SENNECK C.R. — Le problème de la construction des appareils respiratoires à circuit fermé destinés aux travaux de sauvetage dans les mines. - Safety in Mines Res. Establ., 1956, Res. Rep. 134, 41 p.
- (48) LEYH P. — Problèmes médicaux soulevés par le travail aux températures élevées. 7^e partie : Comparaison d'appareils respiratoires en circuit fermé et en circuit ouvert en vue d'opérations de sauvetage aux hautes températures. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1959, 14, n° 164, 12 p.
- (49) DEGUELDRE G. et CARTIGNY S. — Prélèvements de poussières sur une longue période dans un charbonnage témoin. 2^e partie : Validité des mesures faites au « British Konimeter » dans les travaux préparatoires. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1959, 14, n° 158, 54 p.
- (50) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1957. - Annales des Mines de Belgique, 1958, 5^e livraison, 387-420.
- (51) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1958. - Annales des Mines de Belgique, 1959, 5^e livraison, 431-477.
- (52) BEADLE D.G. et KERRICH J.E. — A statistical examination of the performance of the thermal precipitator. - J. of the Chem. Metall. and Mining Society of South Africa, 1955, 56, 219-251.
- (53) CARTIGNY S. — Dosage de la silice dans les poussières de roches. 3^e partie : Dosage de la silice libre par voie chimique dans les fines poussières. Mise au point d'un mode opératoire satisfaisant. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1959, 14, n° 161, 92 p.
- (54) DRINKER P. et HATCH T. — Industrial dust. - London, McGraw Hill Cy Ltd., 1955, 2^e ed., 401 p.
- (55) PATIGNY J. et CARTIGNY S. — Etude du midget-scrubber D.18. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1953, n° 113, 54 p.
- (56) NAGELSCHMIDT G. — Les résultats d'essais comparatifs inter-laboratoires pour le dosage du quartz par différentes techniques. - Institut National de Sécurité, 3^e Colloque sur les poussières. Paris, 3-5 novembre 1955, 55-58.
- (57) 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.
- (58) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1954. - Annales des Mines de Belgique, 1955, 3^e livraison, 373-410.
- (59) HOUBERECHTS A. et DEGUELDRE G. — Contrôle de l'efficacité des masques filtrants. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1953, n° 103, 19 p.
- (60) DEGUELDRE G. — Contrôle de l'efficacité des masques anti-poussières. Application de nouvelles normes d'agrément. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1959, 14, n° 165, 27 + 8 p.
- (61) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1953. - Annales des Mines de Belgique, 1954, 53, 297-327.
- (62) 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.
- (63) PATIGNY J. — L'étude de la ventilation des mines par l'analogie électrique. - Revue Universelle des Mines, 1958, XIV, 381-416.
- (64) 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 Catholique de Louvain, 1958, 3 mai, 145-162.
- (65) LE ROUX W. L. — Investigations into the resistance to airflow of the Pioneer shafts, Buffelsfontein Goldmining Cy, Ltd. I part : In situ tests on the downcast and upcast shafts. - J. of the Mine Ventilation Society of South Africa, 1959, 12, 129-137.
- (66) CHASTEAU V.A.L. — Investigations into the resistance to airflow of the Pioneer shafts, Buffelsfontein Gold Mining Cy, Ltd. Part II. Aerodynamic scale model tests on a model of the downcast shaft with and without streamlining of the buntons. - J. of the Mine Ventilation Society of South Africa, 1959, 12, 139-146.
- (67) HOUBERECHTS A. et PATIGNY J. — Etude théorique et expérimentale des pertes de charge dans les puits. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1957, 12, n° 146, 47 p.
- (68) HOUBERECHTS A. et LEDENT P. — Détermination des pertes de charge dans un puits aux Charbonnages du Bois-du-Cazier, à Jumet. - Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1951, n° 78, 27 p.
- (69) CRAIG D.K. — Barometers and barometers calibrations. - J. of the Mine Ventilation Society of South Africa, 1958, 11, 25-42.
- (70) BOGELS J.Th. — Methoden voor het bepalen van drukverliezen en weerstanden in de luchtwegen van een mijn. - Geologie en Mijnbouw, 1958, 20, 188-198.