

L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1956

par A. HOUBERECHTS

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Louvain.

Directeur de l'Institut d'Hygiène des Mines.

SOMMAIRE

Introduction.

I. — Travaux de la Section Médicale.

1. — *Examens médicaux systématiques.*
 - A. - Examens pratiqués en dehors de l'Institut.
 - B. - Examens pratiqués à l'Institut d'Hygiène des Mines.
2. — *Collaboration des médecins de l'Institut d'Hygiène des Mines lors des travaux de sauvetage au Charbonnage du Bois de Cazier.*
 - A. - Surveillance régulière du personnel de sauvetage.
 - B. - Mesures d'hygiène.
 - C. - Etablissement d'un centre de premiers soins.
 - D. - Collaboration à l'identification des victimes.
3. — *Recherches sur le comportement des bronches en présence d'agents pharmacodynamiques.*
 - A. - Utilisation des aérosols médicamenteux en pratique médicale minière.
 - B. - Problèmes de standardisation.
 - C. - Rapport entre râles sibilants et bronchosténose.
4. — *Recherches tomographiques sur la localisation des images confluentes dans la pneumoconiose des houilleurs.*
 - A. - But de la recherche.

- B. - Localisations segmentaires des condensations pneumoconiotiques.
- C. - Comparaison avec la topographie de la tuberculose évolutive des non-pneumoconiotiques.
- D. - Facteurs pouvant rendre compte de la localisation préférentielle des condensations pneumoconiotiques.

II. — Travaux de la Section Technique.

1. — *Lutte contre les poussières.*
 - A. - Analyse des poussières. Conimétrie.
 - B. - Lutte contre les poussières dans les chantiers. Matériel et procédés divers.
2. — *Ventilation et climatisation des mines profondes.*
 - A. - Etude de la ventilation par analogie électrique.
 - B. - Etude des pertes de charge dans les puits.
 - C. - Contrôle de l'étanchéité des canars.
 - D. - Etude du climat minier.
3. — *Travaux divers de laboratoire.*
 - A. - Préparation et contrôle de poussières de granulométrie fine.
 - B. - Analyses diverses.
 - C. - Etalonnage d'instruments de mesure.
4. — *Enquête.*

Bibliographie.

INTRODUCTION

Le présent article sur l'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1956, constitue la suite traditionnelle des rapports publiés dans les Annales des Mines de Belgique depuis 1948.

Bien que la plupart des recherches accomplies aient fait l'objet d'une « Communication » de l'Institut d'Hygiène des Mines, nous croyons bien faire en donnant quelques détails de réalisation des expériences les plus intéressantes.

Nous profitons aussi de cette publication pour diffuser les résultats de certains essais effectués au cours de l'année, dont l'ampleur ne justifie pas la

rédaction d'une communication régulière de l'Institut, mais dont les résultats sont néanmoins d'un indéniable intérêt pratique.

I. — TRAVAUX DE LA SECTION MEDICALE

1. — Examens médicaux systématiques.

A. Examens pratiqués en dehors de l'Institut.

Au cours de l'année 1956, le Service Médical de l'Institut d'Hygiène des Mines a pratiqué un examen clinique approfondi chez 1.142 des 1.210 ouvriers d'un charbonnage du Bassin de la Province de Liège, radiographiés l'année précédente (1). Un électrocardiogramme a été enregistré dans tous les cas suspects d'affection cardio-vasculaire. En même temps, l'anamnèse professionnelle des ouvriers a été vérifiée et complétée, de manière à étudier la relation entre le nombre d'années d'exposition aux poussières d'une part (compte tenu du métier exercé), et l'image radiologique d'autre part.

Conformément à un vœu de la Commission Médicale de l'Institut, les ouvriers ayant travaillé au moins 10 ans au fond, de façon exclusive ou largement prépondérante dans les voies d'entrée d'air, ont été radiographiés sur film grand format.

Après vérifications répétées de l'anamnèse professionnelle, 15 ouvriers seulement répondent à ces critères. Ceci est attribuable à la grande mobilité de la main-d'œuvre et au fait que les postes d'en-

trée d'air sont généralement donnés à des anciens abatteurs ou bouveleurs physiquement diminués. Le tableau I donne, pour chacun de ces ouvriers, les initiales et l'âge (col. 1), le nombre total d'années de fond (col. 2), le nombre d'années passées dans les voies d'entrée d'air (col. 3), le nombre d'années de travail dans des endroits réputés plus poussiéreux (col. 4), l'image radiologique suivant la classification de l'Institut (col. 5) et selon celle de Cardiff-Douai (col. 6).

Le protocole radiologique résulte de 6 lectures indépendantes, les clichés ayant été comparés avec les radiographies standards de l'Institut.

Parmi ces 15 ouvriers, 10 sont radiologiquement indemnes de pneumoconiose (classés chaque fois 0 selon Cardiff-Douai). Deux ont été chaque fois classés X (ou SOR). L'image SOR de la classification de l'Institut d'Hygiène des Mines, correspondant à l'image X de Cardiff-Douai, est caractérisée par une accentuation diffuse de la trame pulmonaire avec suspicion de rares micronodules. De telles images se voient dans les pneumoconioses débutantes, mais peuvent exister en dehors de toute exposition aux poussières chez des sujets atteints de bronchite chronique.

TABLEAU I.

Anamnèse professionnelle et image radiologique de 15 ouvriers ayant travaillé plus de 10 ans au fond et exclusivement ou quasi exclusivement dans les voies d'entrée d'air.

Initiales et âge	Nombre d'années de fond	Nombre d'années entrée d'air	Nombre d'années dans poussières	R.X. I.H.M.	R.X. Cardiff-Douai
B.H. 28	13	13	—	O	O
C.J. 58	31	27	4	O	O
D.A. 55	42	42	—	SO	O
D.E. 39	13	13	—	OSO	O
D.F. 59	17	17	—	SO/SOR	O/X
D.L. 52	36	36	—	SOR	X
D.M. 43	10	10	—	O	O
F.V. 33	10	7	3	O	O
G.H. 47	31	31	—	SO/SOR	O/X
J.F. 44	19	19	—	SO	O
L.L. 43	14	14	—	SO	O
M.A. 50	29	29	—	SO	O
M.J. 45	22	20	2	SOR/M1	X/1
N.H. 42	15	15	—	SOR	X
Z.P. 53	18	18	—	SO	O

Chez deux sujets, le diagnostic radiologique était tantôt O, tantôt X. Le seul cas réellement suspect d'un début de pneumoconiose était celui d'un ouvrier de 45 ans (M.J.) qui avait travaillé deux ans comme manoeuvre au poste de nuit, puis 20 ans au chargement des wagonnets et au transport vers le poste d'entrée d'air. Il a été classé 4 fois X et deux fois I.

Après un séjour au fond de 10 à 42 ans (plus de 20 ans en moyenne), aucun de ces 15 ouvriers ayant travaillé exclusivement ou quasi exclusivement dans les voies d'entrées d'air ne montre donc de signes nets de pneumoconiose, aucun n'ayant atteint indiscutablement le stade micronodulaire I de la classification Cardiff-Douai.

Il est intéressant de comparer ces images radiologiques à l'empoussiéragé trouvé dans les voies

Des ouvriers séjournant habituellement dans les voies d'entrée d'air peuvent donc respirer, dans beaucoup de cas, autant de particules submicroniques que les abatteurs en chantier, même si les concentrations de particules de 1 à 5 μ ou leurs teneurs pondérales sont négligeables.

Le Service Technique de l'Institut a effectué, dans les entrées d'air de différents charbonnages du pays, des prélèvements au précipitateur thermique. Les lames ont été examinées sur fond clair au grossissement 1.000 \times , au moyen d'un microprojecteur dont le pouvoir de résolution est égal à 0,2 μ . Le tableau II permet de comparer le nombre de particules de 1 à 5 μ au nombre de particules submicroniques (0,2 à 1 μ) contenues dans les différents échantillons.

TABLEAU II.

Comparaison entre la teneur en particules de 1 à 5 μ et en particules submicroniques au cours de 53 prélèvements dans les entrées d'air de charbonnages.

Nombre de particules de 1 à 5 μ	Nombre de particules submicroniques de 0,2 à 1 μ
< 50	de 110 à 3.200
de 50 à 100	de 110 à 5.370
de 100 à 200	de 330 à 15.980
de 200 à 300	de 1.750 à 16.830
de 300 à 400	de 3.640 à 25.700
> 400	de 3.750 à 26.000

d'entrée d'air. La quantité de poussières en suspension dans les voies d'entrée d'air est essentiellement fonction de la vitesse, du débit, de l'état hygrométrique de l'air et de la quantité de poussières déposées sur les parois (soles et couronnes). Cependant, si l'on effectue des prélèvements pendant le transport (courroies ou berlines), l'humidité des produits conditionne pratiquement à elle seule les empoussiéragés. Généralement, le transport des produits et le cheminement de l'air se font à contre-courant; les transbordements, les chutes de produits et les chocs des berlines libèrent d'autant plus de poussières que le charbon est plus sec.

Plus les charbons et pierres sont humides naturellement, ou artificiellement par une prévention technique bien appliquée au chantier, plus les concentrations sont faibles dans les voies d'entrée d'air. Contrairement à ce qu'on pourrait croire, le nombre de particules submicroniques atteint parfois des niveaux très élevés, alors qu'on ne trouve aux mêmes endroits que quelques centaines de particules comprises entre 1 et 5 μ .

Dans le charbonnage où ont travaillé les 15 ouvriers du tableau I, les teneurs en particules sont *actuellement* faibles (50 à 100 particules de 1 à 5 μ et 110 à 500 particules submicroniques).

Ceci est sans doute dû à l'épandage de chlorure calcique dans les voies et à l'humidification du charbon, quasi généralisée. Les concentrations en poussières sont d'ailleurs faibles tout le long des bouveraux d'entrée d'air. On note pendant le transport, une teneur pondérale de l'ordre du milligramme par m³ d'air près de l'envoyage, et des concentrations de 200 à 700 particules plus grandes que 0,2 μ par cm³, ce qui correspond à 80 à 200 particules de 5 à 0,5 μ par cm³, même à 1.200 m du puits d'entrée d'air.

Bien qu'on puisse admettre que les empoussiéragés dans les voies d'entrée d'air du charbonnage envisagé n'aient pas toujours été aussi faibles que maintenant, il serait utile, avant de conclure définitivement en ce qui concerne la nocivité éventuelle des particules submicroniques, d'examiner radiologiquement des ouvriers ayant travaillé de nombreuses années dans des charbonnages où les

échantillons ont montré la présence d'un plus grand nombre de particules submicroniques dans l'entrée d'air.

Dans le car radiologique de l'Institut, on a radiographié en outre, au début de l'année scolaire, 115 candidats mineurs de l'École des Mines de Houthalen. Un seul a dû être écarté pour anomalie pulmonaire.

B. Examens pratiqués à l'Institut d'Hygiène des Mines. Leur schéma général.

Le nombre de houilleurs examinés à l'Institut d'Hygiène des Mines s'est élevé à 402, dont 41 envoyés par des Caisses de Pension et 361 par des médecins de charbonnages.

Tous furent radiographiés sur clichés grand format et 267 d'entre eux furent tomographiés. Dans 377 cas, l'examen radiologique fut complété par un examen fonctionnel cardio-pulmonaire.

Pour comprendre le schéma général des examens pratiqués à l'Institut d'Hygiène des Mines, il faut se rappeler le fonctionnement de son service médical (policlinique sans hospitalisation de malades) et les raisons pour lesquelles des houilleurs y sont adressés par les médecins de charbonnages. Celles-ci sont de deux types : la révision radiologique systématique bisannuelle, pratiquée généralement sur format 10×12 cm, peut mettre en évidence une évolution anormalement rapide de la pneumoconiose; d'autre part, l'ouvrier, à l'occasion de cet examen médical systématique ou après une maladie, peut se plaindre de troubles divers : dyspnée, palpitations, douleurs thoraciques, avec l'impression de ne plus être capable d'effectuer son travail comme auparavant.

À l'Institut, après une anamnèse professionnelle soignée, le sujet est interrogé sur ses plaintes, est pesé, mesuré et soumis à un examen clinique général avec auscultation pulmonaire, auscultation cardiaque, prise de la tension sanguine, palpation de l'abdomen, recherche de l'albumine et du sucre dans l'urine, examen microscopique d'urine, détermination de la vitesse de sédimentation des globules rouges (accélérée dans de nombreux états pathologiques) et éventuellement dosage de l'hémoglobine et numération des globules rouges et globules blancs.

Une radioscopie permet de juger les contractions cardiaques et la cinématique costo-diaphragmatique, qui est très altérée dans l'emphysème.

Les documents radiologiques comportent d'abord systématiquement un cliché simple postéro-antérieur, avec ampoule à anode tournante, la distance foyer-film étant de 1,50 m. Pour comparer l'évolution de la pneumoconiose micronodulaire, il est important de standardiser la technique. Pour que les micronodules soient visibles dès les premiers stades, il est nécessaire d'avoir un cli-

ché donnant une image exacte et nette avec une opacité et un contraste optimum.

L'exactitude de l'image dépend de conditions géométriques : distance foyer-film d'au moins 1,50 m et distance patient-film aussi réduite que possible. Il faut aussi que les écrans renforçateurs soient à grain fin et bien appliqués contre le film.

La netteté de l'image, c'est-à-dire l'absence de flou, nécessite un temps d'exposition aussi court que possible, de façon à ne pas être gêné par les mouvements respiratoires et les pulsations du cœur et des vaisseaux pulmonaires. D'autre part, plus le kilovoltage appliqué à l'ampoule de rayons X est élevé, plus le corps du patient émet de rayonnement secondaire, ce qui diminue la netteté de l'image.

L'opacité de l'image va dépendre d'abord de la fraîcheur de l'émulsion du film, ainsi que de l'énergie X qui traverse le corps de l'individu et vient impressionner la plaque. Cette énergie X est fonction de la tension de l'ampoule (en kilovolts, kV), de l'intensité du courant (en mA) et du temps d'exposition (en secondes). Si l'énergie X est trop faible, tous les organes apparaîtront opaques et le film est gris; si elle est trop grande, le film est noir à l'exception des organes contenant du calcium.

Le développement du film (durée de développement, température des bains, fraîcheur du révélateur) influence aussi le degré d'opacité. On peut même jusqu'à un certain point corriger une opacité exagérée par un sur-développement, ou une opacité trop faible par un sous-développement.

Toutefois, le contraste de l'image, c'est-à-dire le dégradé entre noir et blanc, ne peut pas être corrigé par des manipulations en chambre noire. Or, pour séparer l'ombre des micronodules, des opacités normales du poumon (trame pulmonaire), le contraste est primordial. Il dépend uniquement de l'énergie X et de la qualité de l'émulsion du film sensible. D'où l'importance d'employer une énergie X correcte pour chaque individu, en fonction de son épaisseur et de la transparence de l'organe à examiner.

Pour uniformiser l'exposition et la rendre indépendante du diamètre antéro-postérieur du sujet, toutes les radiographies sont enregistrées avec l'ontomat, chambre d'ionisation décrite antérieurement (2).

Dans le cas où une ombre étendue apparaît sur le cliché antéro-postérieur, le sujet est tomographié. Le principe de la tomographie a été décrit antérieurement (2). Afin d'avoir le maximum de documents comparables, cet examen est pratiqué suivant le schéma ci-après : des coupes de profil intéressant toute la hauteur du poumon sont pratiquées du côté suspect, à 4, 6 et 8 cm de la colonne

vertébrale. Ces coupes de profil, d'une épaisseur de 6 mm, permettent de mieux repérer la topographie segmentaire des lésions. Ensuite, des coupes frontales d'une épaisseur de 1,8 mm sont pratiquées dans la région suspecte, de cm en cm, en commençant à 4 cm du plan dorsal.

Dans un certain nombre de cas, les examens cliniques et radiologiques orientent fortement vers le diagnostic de tuberculose évolutive. Ces sujets doivent alors être retirés des travaux souterrains quelle que soit leur fonction pulmonaire. C'est ce qui explique que les explorations fonctionnelles pulmonaires n'aient pas été pratiquées dans certains cas. Le diagnostic de tuberculose devant être basé sur des preuves bactériologiques, les ouvriers suspects sont convoqués par nos soins aux dispensaires anti-tuberculeux, où l'on recueille les crachats et le produit de tubage gastrique en vue de recherches du bacille de Koch, soit directement, soit après culture. Les cultures de B.K. sont pratiquées au laboratoire d'Hygiène de la Province (Dr. Spaas). Grâce à l'obligeance du Prof. Brull et du Dr. Reginster, un de nos médecins a pu se mettre au courant des procédés de culture du bacille de Koch, employés à la Clinique Médicale de l'Hôpital de Bavière.

Dans certains cas, il est nécessaire de rechercher les B.K. dans les sécrétions aspirées directement des régions suspectes après bronchoscopie. La bronchoscopie est également parfois indispensable au diagnostic entre pseudotumeur silicotique et tumeur maligne du poumon.

Des radiographies pulmonaires, après opacification bronchique au lipiodol, peuvent éventuellement venir compléter l'examen radiologique, en vue du diagnostic de dilatations bronchiques (bronchectasies), qui peuvent être à l'origine de condensations situées aux bases pulmonaires. Mais il s'agit là d'indications exceptionnelles.

Après l'examen radiologique, le sujet est normalement dirigé vers le laboratoire d'exploration fonctionnelle cardio-pulmonaire. Les épreuves fonctionnelles pulmonaires au repos décrites antérieurement (2) (3) comprennent la mesure de la capacité vitale, du volume résiduel, du volume expiratoire maximum par seconde et de la ventilation maximum par minute. Elles doivent être répétées à de nombreuses reprises, car leurs résultats dépendent de l'entière compréhension et de la coopération de l'individu. C'est ainsi qu'on enregistre au moins 6 capacités vitales et 6 expirations maximum par seconde et que la mesure du volume résiduel par la méthode à l'hélium est pratiquée au moins à deux reprises.

Les débits ventilatoires sont fortement influencés par le calibre bronchique. Or, celui-ci n'est pas nécessairement identique dans une atmosphère poussiéreuse et dans la saine atmosphère du labo-

ratoire. Si Lavenne, Gielen et Pestiaux (4) n'ont pas trouvé de signes de bronchoconstriction durable après le travail souterrain, cette bronchoconstriction pourrait exister au moment même de l'inhalation de poussières et expliquer les plaintes de certains ouvriers qui accusent une dyspnée élective sur le lieu de travail. Nous avons voulu tester l'irritabilité bronchique en faisant inhaler par ces sujets des aérosols d'acétylcholine, qui produisent des spasmes des bronches. En répétant les mesures spirométriques après inhalation d'agents pharmacodynamiques, on peut espérer avoir, en ce qui concerne les possibilités ventilatoires, non seulement une mesure instantanée, mais également une idée de leurs modifications éventuelles dans l'atmosphère poussiéreuse. Il s'agit là d'un travail encore en partie expérimental, dont nous parlerons plus loin, mais déjà appliqué de façon routinière chez les sujets se plaignant de dyspnée particulière sur le lieu de travail.

Dès la création des laboratoires physiologiques, nous avons mis l'accent sur l'importance des épreuves d'effort pour l'évaluation de la fonction cardio-pulmonaire. Ces épreuves sont moins influencées par le degré de collaboration et de compréhension de l'intéressé. L'effort est pratiqué sur un tapis roulant (3) sur lequel le sujet marche à une vitesse de 5 km/heure, avec une pente allant de 14 à 25 %, suivant son poids et son état de santé. L'effort est normalement poursuivi durant 6 minutes. Au cours des 5 premières minutes, on mesure uniquement la fréquence respiratoire. Au cours de la 6^{me}, l'air expiré est recueilli dans un sac (sac de Douglas); celui-ci est vidé dans un spiromètre, ce qui permet de connaître le volume d'air ventilé. Un échantillon d'air expiré est analysé à l'appareil de Scholander et on calcule les équivalents respiratoires pour l'oxygène et l'anhydride carbonique ainsi que le quotient respiratoire.

Les équivalents respiratoires peuvent se définir comme le rapport

$$\frac{\text{n.litres d'air ventilés}}{\text{n.litres O}_2 \text{ consommés}} \text{ ou } \frac{\text{n.litres d'air ventilés}}{\text{n.litres CO}_2 \text{ excrétés}}$$

Ils ne sont pas normalement supérieurs à 30. Une élévation de l'équivalent respiratoire implique une inefficacité relative de la ventilation, puisqu'il est nécessaire dans ce cas de ventiler plus d'air pour consommer une quantité donnée d'oxygène ou excréter une quantité donnée de CO₂. Le quotient respiratoire, défini par le rapport

$$\frac{\text{n.litres CO}_2 \text{ excrétés}}{\text{n.litres O}_2 \text{ consommés}}$$

ne peut normalement être supérieur à l'unité.

On possède ainsi pour chaque sujet la valeur de la fréquence respiratoire, de l'équivalent respiratoire et du quotient respiratoire au cours de la 6^{me} minute d'un effort choisi.

En outre, dans les cas suspects d'altérations pulmonaires sérieuses, on enregistre au cours de l'effort la courbe de saturation oxyhémoglobinée du sang artériel, par voie non sanglante avec l'oxymètre de Wood (« single and double scale oxymeter »). Une cellule photoélectrique placée sur l'oreille enregistre la différence d'absorption dans l'infrarouge, entre l'hémoglobine réduite et l'oxyhémoglobine (5).

L'effort sur le tapis roulant est toujours précédé d'un tracé électrocardiographique, des anomalies cardiaques pouvant constituer une contre-indication à un effort sévère. Un nouvel électrocardiogramme complet, avec dérivations périphériques et précordiales, est enregistré dans les 5 minutes qui suivent l'effort. Nous estimons qu'un effort est mal supporté au point de vue cardiaque lorsque la fréquence cardiaque reste supérieure à 150/minute, une minute après l'effort et à 100/minute après 5 minutes de repos, ou lorsque l'effort entraîne des extrasystoles nombreuses et surtout des anomalies électrocardiographiques caractéristiques de troubles de la circulation coronarienne.

L'épreuve fonctionnelle à l'effort ne vise donc pas uniquement les troubles respiratoires, mais également les affections cardio-vasculaires. Ceci est justifié par la fréquence des cardiopathies artérielles hypertensives et coronariennes chez les mineurs de plus de 40 ans, mise en évidence par Lavenne et Belayew (6), et par les particularités de la législation belge en matière de pension des houilleurs. Ceux-ci peuvent en effet recevoir une pension prématurée, après un certain nombre d'années de travail dans l'industrie charbonnière, lorsqu'ils deviennent inaptes au travail normal de fond et de surface pour n'importe quelle raison. On ne peut donc se borner en Belgique, comme dans les autres pays, à exclure une invalidité d'origine pneumoconiotique.

Cette énumération d'examens et d'épreuves fait comprendre pourquoi il est impossible d'examiner à l'Institut d'Hygiène des Mines plus de deux houilleurs par jour, un examen durant de 3 à 4 heures. La durée des examens s'est d'ailleurs encore accrue ces derniers mois par l'acquisition du métabographe de Fleisch (7) qui enregistre de façon continue, sans analyse gazeuse chimique, la fréquence respiratoire, la ventilation, la consommation d'oxygène, l'excrétion de CO₂, les équivalents respiratoires et le quotient respiratoire. Il est ainsi possible de mesurer l'évolution de ces valeurs au cours d'efforts de longue durée (20 minutes) sur la bicyclette ergométrique de Fleisch ou

le tapis roulant, en même temps que la saturation oxyhémoglobinée est contrôlée à l'oxymètre de Wood. On peut espérer que des efforts plus prolongés donneront, au sujet de l'adaptation cardio-respiratoire à l'effort, des renseignements plus complets que les efforts de 6 minutes antérieurement adoptés.

2. — Collaboration des Médecins de l'Institut d'Hygiène des Mines lors des travaux de sauvetage au Charbonnage du Bois de Cazier.

Cette collaboration a consisté principalement en une surveillance régulière de l'état cardio-vasculaire des sauveteurs exposés à de hautes températures. Les médecins de l'Institut ont en outre pris une part active à la solution de divers problèmes médicaux qui se sont posés au cours des opérations de sauvetage :

- mise sur pied des mesures d'hygiène appropriées pour la désinfection du fond et des endroits réservés à l'identification des corps,
- établissement d'un centre de premiers soins pour sauveteurs blessés ou malades,
- participation aux travaux d'identification des victimes.

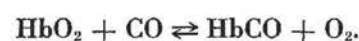
Cette collaboration a été assurée de façon permanente par les docteurs Belayew, Minette, Meersseman, Van Wymeersch et Kremer.

A. Surveillance régulière du personnel de sauvetage.

Le schéma d'examens de routine a été établi selon les directives du Prof. F. Lavenne, qui en a vérifié l'exécution. Ces examens ont consisté en déterminations régulières du pouls, de la tension artérielle et des bruits du cœur. En outre, un tracé électrocardiographique a été pratiqué à plusieurs reprises chez la plupart des sauveteurs.

Chez quelques ouvriers ayant présenté des signes légers d'intoxication à l'oxyde de carbone lors de la première reconnaissance pratiquée à l'étage de 1.035 m, il a été en outre nécessaire de procéder à des dosages de l'hémoglobine oxycarbonée.

Le danger du CO résulte du fait que l'hémoglobine a pour ce gaz une affinité 250 fois plus forte que pour l'oxygène. Il suffit donc d'une partie de CO contre 250 d'oxygène pour transformer la moitié de l'hémoglobine en carboxyhémoglobine, impropre au transport d'oxygène vers les tissus. La réaction peut se formuler schématiquement comme suit :



On estime que la mort survient lorsque le rapport

$$\frac{\text{HbCO}}{\text{Hb totale}} \text{ dépasse } 66 \%$$

Dans une atmosphère contenant 5 % de CO, la mort est foudroyante. Avec 1 % de CO, elle survient en 10 à 15 minutes, avec 0,5 % de CO en une heure. Une exposition de plus de deux heures à 1 ‰ met la vie en danger (8).

La détermination de la teneur du sang en carboxyhémoglobine peut se faire par des méthodes spectro-photométriques, qui mesurent l'intensité des raies d'absorption de la carboxyhémoglobine, ou par dosage chimique du CO préalablement extrait du sang. C'est ce dernier procédé qui a été utilisé par le laboratoire d'analyses médicales de Charleroi chargé par le Parquet de faire ces déterminations.

Dans un premier temps, on introduit un échantillon de 5 cm³ de sang suspect dans le tonomètre de l'appareil manométrique de Van Slyke et on le traite sous vide par un réactif à base de ferri-cyanure afin d'en extraire tous les gaz (O₂ + CO₂ + N₂ + éventuellement CO). Après absorption de l'oxygène par un réducteur (pyrogallol) et du CO₂ par un alcalin (potasse caustique), on détermine la pression (P₁) exercée par les gaz restants (N₂ + éventuellement CO), ramenés à un volume donné (généralement 2 cm³).

On traite ce mélange résiduel par un réactif au cuivre ammoniacal qui fixe le CO. On mesure ensuite la pression (P₂) exercée par l'azote restant, préalablement ramené au volume initial de 2 cm³. On note la température *t* du manchon d'air entourant le tonomètre. Le volume de CO normal (à 0° C et 760 mmHg) contenu dans les 5 cm³ de sang examinés peut donc se calculer par la formule suivante

$$V = 2 \text{ cm}^3 \times \frac{P_1 - P_2}{760} \times \frac{273}{273 + t}$$

En multipliant le résultat obtenu par 20, on a le contenu du sang en CO exprimé en % volumétrique.

Dans un deuxième temps, on mesure la quantité maximum de CO que l'hémoglobine peut fixer (capacité d'absorption du CO). Dans ce but, on sature le sang en CO en y faisant barboter du gaz d'éclairage, ce qui transforme la totalité de l'hémoglobine en carboxyhémoglobine. On mesure ensuite à l'appareil de Van Slyke la quantité de CO présente dans cet échantillon et on l'exprime en % volumétrique.

Le rapport entre la quantité de CO trouvée et la capacité correspond au rapport

$$\frac{\text{HbCO}}{\text{Hb totale}} \text{ (coefficient d'empoisonnement).}$$

Ce coefficient n'a pas dépassé 20 % chez les sauveteurs examinés. Bien qu'on soit éloigné du coefficient mortel (66 %), ce taux d'HbCO donne déjà des céphalées et des vertiges. De plus, le diagnostic à ce stade est important pour éviter les effets cumulatifs, la carboxyhémoglobine ne se transformant que très lentement en oxyhémoglobine si on ne soumet pas les sujets à des inhalations d'oxygène pur.

B. Mesures d'hygiène.

Des mesures de désinfection et de désodorisation s'imposaient dès le début des travaux sur les lieux où se pratiquaient l'identification des corps et la mise en bière. La progression des opérations a conduit à envisager des mesures analogues pour les chantiers du fond. Les conditions de travail y étaient en effet pénibles et dangereuses, les corps ayant séjourné dans l'eau à une température élevée pendant plus de quinze jours.

Le problème de désodorisation est surtout devenu aigu lors de l'avancement des travaux du fond. En surface, les opérations se faisaient en effet dans des endroits parfaitement ventilés et de plus le personnel exposé pouvait utiliser en permanence des masques imbibés de chlorophylle.

Au fond, ces masques étaient inopérants. Aussi a-t-on dû, pour rendre supportable le séjour des sauveteurs, recourir à l'aspersion des corps par une solution de permanganate et de sulfate de cuivre dans le but de tanner les revêtements cutanés et de ralentir les proliférations microbiennes.

La désinfection a été réalisée à l'aide de chlorure de chaux répandu dans les endroits contaminés. A l'intervention du Dr Van Mechelen, il a été procédé à des contrôles bactériologiques de l'efficacité de ces mesures.

En outre, en surface, des ozoniseurs et des lampes à ultra-violet furent installés aux endroits exposés. Les objets ayant été en contact avec les corps étaient régulièrement désinfectés au Detol. Un problème particulier de désinfection s'est posé à propos des embouts buccaux des appareils respiratoires. Ces appareils n'étant pas individuels, il importait de stériliser les embouts après chaque usage. L'emploi prolongé de Detol s'est montré à la longue une source d'irritation buccale chez les sauveteurs et on a dû rechercher un désinfectant moins irritant. Après tâtonnements, le choix s'est arrêté sur le Désogène, antiseptique couramment utilisé pour la désinfection des plaies et de certains appareils chirurgicaux.

C. Etablissement d'un centre de premiers soins.

Un tel centre s'avérait nécessaire étant donné les risques d'infection des plaies et des excoriations des sauveteurs. Il importait donc que, dès leur remontée, ceux-ci puissent recevoir de soins de désinfection appropriés. En outre, il fallait être prêt à donner les premiers secours sur place, soit en cas d'accident grave chez les sauveteurs, soit en cas de remontée de rescapés. A ce point de vue, il a même été envisagé d'organiser un poste de secours à l'envoyage de l'étage 970. Ce projet a été abandonné lorsque l'exploration de l'étage 1.035 eut démontré qu'il n'existait plus d'ouvriers vivants au fond.

Le poste de surface avait été équipé spécialement en vue de donner des premiers soins en cas d'asphyxie. Il contenait notamment des appareils de respiration artificielle et des bonbonnes d'oxygène et de carbogène (mélange de 95 parties d'oxygène et de 5 parties d'anhydride carbonique). L'anhydride carbonique est en effet un puissant stimulant du centre respiratoire, utile au traitement des asphyxiés. Cette installation a servi dans quelques cas d'intoxication débutante à l'oxyde de carbone. En outre, les sauveteurs qui ont séjourné longtemps en endroit dangereux, surtout lors des travaux à 1.035 m, étaient soumis à leur remontée à une inhalation d'oxygène pur de façon à retransformer la carboxyhémoglobine en oxyhémoglobine et à éviter les effets cumulatifs dont il a été question plus haut.

D. Collaboration à l'identification des victimes.

Les médecins de l'Institut ont collaboré de façon permanente, par équipe de deux, à l'identification de 224 ouvriers. Etant donné l'altération de l'aspect extérieur, l'identification des corps ne pouvait se baser que sur des données anthropométriques et sur les renseignements des fiches cliniques établies par les services d'embauchage du Bassin de Charleroi, où étaient notés les particularités anatomiques, l'état de la dentition et éventuellement les séquelles de fractures ou d'interventions chirurgicales subies antérieurement par les victimes.

Les corps étaient examinés dès leur remontée, en collaboration avec des représentants de la Police Judiciaire et du Parquet de Charleroi. L'examen consistait en un inventaire des pièces vestimentaires personnelles, en détermination de la taille et recherche des caractéristiques anatomiques énumérées ci-dessus. Les observations recueillies étaient constamment confrontées avec les données des fiches médicales des services d'embauchage. Seule, l'identification de certitude était acceptée. En cas de doute, le relevé des observations était reporté sur une fiche portant le numéro du corps et du cercueil, de façon à pouvoir être porté à la connaissance des familles.

En relation avec le problème d'identification, le Dr Meersseman a été invité par le Parquet de Charleroi à collaborer à l'autopsie de certains corps dans le but de déterminer les causes de la mort. En conclusion de ces autopsies, il est apparu que les ouvriers examinés avaient succombé à une intoxication massive par oxyde de carbone.

3. — Recherches sur le comportement des bronches en présence d'agents pharmacodynamiques.

A. Utilisation des aérosols médicamenteux en pratique médicale minière.

Dans les affections broncho-pulmonaires, on utilise couramment les aérosols, en vue d'une thérapeutique bronchodilatatrice, anti-infectieuse ou fluidifiante des sécrétions bronchiques.

Les plus employés en pathologie minière sont les aérosols bronchodilatateurs. On les prescrit classiquement au cours des états d'insuffisance respiratoire ou en présence de râles sibilants; en effet, quoique la pathogénie des râles sibilants n'ait guère donné lieu jusqu'à présent à des études précises, on admet en pratique, à la suite notamment des travaux de Rossier (9), qu'ils sont dus à des rétrécissements des bronches fréquemment d'origine spastique.

Les recherches de Rossier ont amené à utiliser également les aérosols bronchodilatateurs au cours des expertises pour dépister les états spastiques des bronches, en étudiant leur effet sur la capacité vitale et surtout sur le volume maximum expiré en une seconde (V.E.M.S.). Lorsque l'aérosol entraîne une amélioration du V.E.M.S. supérieure à 10 % de la valeur initiale, on est en droit de conclure à l'existence de spasmes bronchiques (10). Ce test a surtout été pratiqué jusqu'ici à l'aide d'adrénaline (11) ou d'aleudrine (isopropyl-noradrénaline) qui paraissait être le plus puissant des bronchodilatateurs connus (12). Ainsi que nous le verrons ci-dessous, on peut actuellement remplacer l'aleudrine par sa variété lévogyre, commercialisée sous le nom d'isolévine.

A la suite des travaux de Tiffeneau et de son école (13) (14), on utilise également en expertise des aérosols d'acétylcholine, substance bronchoconstrictrice susceptible de révéler des troubles bronchiques latents, en provoquant, chez certains sujets hypersensibles, une altération des débits ventilatoires et de la toux.

Cette épreuve à l'acétylcholine a surtout été étudiée jusqu'à présent au cours de la maladie asthmatique. Chez certains mineurs, ces aérosols donnent également des réactions ventilatoires et tussigènes positives, qui permettent de conclure à l'existence d'une sensibilité anormale des bronches pour un irritant sans effet chez les sujets sains.

Cette hypersensibilité est-elle plus fréquente chez les houilleurs que dans d'autres professions ? Il s'agit là d'un problème important, celui de l'existence éventuelle chez les mineurs d'une bronchite indépendante de la pneumoconiose.

Une étude systématique de l'action des aérosols bronchoconstricteurs et bronchodilatateurs chez les houilleurs a été entreprise à l'Institut d'Hygiène des Mines par le Dr A. Minette. Elle suppose une standardisation préalable des méthodes d'aérosolisation. Elle nécessite en outre un grand nombre de déterminations pratiquées chez des houilleurs et chez des sujets occupés dans des industries non poussiéreuses. En outre, les sujets sensibles doivent être spécialement étudiés au point de vue fonctionnel et clinique afin de préciser la signification et la valeur pronostique des réponses positives. Du point de vue théorique, la combinaison d'aérosols constricteurs et dilatateurs avec l'auscultation pulmonaire doit permettre de préciser l'influence du calibre des bronches sur les données auscultatoires, et notamment sur les râles sibilants, habituellement considérés comme un signe de bronchospasme et comme une indication d'un traitement bronchodilatateur.

Jusqu'à ce jour, 210 tests ont été pratiqués. Les premiers résultats d'ensemble de cette étude doivent paraître dans une prochaine Communication de l'Institut. Nous décrirons ci-dessous la technique d'aérosolisation qui a été adoptée pour ces recherches, de même que certaines constatations sur l'importance des bronchospasmes au cours des bronchites sibilantes et sur l'opportunité des médications bronchodilatatrices.

B. Problèmes de standardisation.

a. Préparation des solutions.

α. Acétylcholine.

La concentration habituelle en acétylcholine des solutions utilisées en expertise est de 1 % (15). Il a été cependant constaté au laboratoire que cette concentration pouvait donner des résultats positifs chez certains sujets entièrement normaux; aussi a-t-on décidé de recourir à une solution de 0,5 %. Selon Tiffeneau et Drutel (14), Sadoul (15), Ruysen, Dechoux et Laurens (16), il est recommandé d'utiliser pour chaque test une solution fraîche préparée immédiatement avant l'usage. L'acétylcholine en solution aqueuse serait en effet très rapidement hydrolysée en acide acétique et en choline et perdrait son pouvoir bronchoconstricteur en quelques heures. Pour la préparation des solutions, les auteurs cités ci-dessus utilisent des ampoules à usage médical courant qui contiennent soit 100 mg, soit 200 mg d'acétylcholine en poudre. Ils prélèvent le médicament de ces ampoules, après l'avoir au préalable solubilisé par injection

à la seringue, de 1 ou 2 cm³ d'eau distillée. Cette première solution est alors portée à la dilution voulue par une nouvelle adjonction d'eau distillée. Pour chaque test, on utilise 5 cm³ environ de solution.

Ces manipulations successives doivent être évidemment une cause d'inégalité dans la concentration des solutions utilisées pour chaque test. Ainsi que nous le verrons ci-dessous, il a été possible de vérifier au laboratoire que l'erreur pouvait atteindre 20 % dans certains cas extrêmes. D'autre part, on pouvait mettre en doute la nécessité de recourir systématiquement à une préparation extemporanée. En effet, tous les travaux de biochimie traitant de l'acétylcholine font état de sa grande stabilité dans les conditions de température de la chambre et du pH de l'eau distillée. Son hydrolyse ne devient appréciable que pour des pH très élevés ou très bas (solution dans NaOH 0,1 N ou dans HCl 0,1 N).

Il paraissait donc possible d'envisager l'emploi des solutions d'acétylcholine exactement pesées, préparées à l'avance, ce qui devait réduire les causes d'erreur dans les dosages. Toutefois, étant donné les discordances entre les biochimistes et les expérimentateurs cliniques, il était nécessaire de mettre au point une méthode de dosage de l'acétylcholine afin de contrôler la stabilité des solutions dans les conditions du laboratoire de l'Institut.

La méthode de dosage utilisée repose sur une réaction caractéristique de l'acétylcholine en milieu fortement alcalin et en présence d'un excès d'hydroxylamine. Dans ces conditions, toute l'acétylcholine présente est transformée en acide acétylhydroxamique selon la formule générale suivante (17)

$$\text{RCOOR}' + \text{H}_2\text{NOH} \rightarrow \text{RCONHOH} + \text{R}'\text{OH}$$

qui, dans le cas actuel, s'écrirait :



la lettre R' désignant le radical issu de la choline R'OH ou CH₂OH — CH₂ — N(CH₃)₃OH.

L'acide formé donne, en présence de chlorure ferreux, un hydroxamate complexe coloré en brun, dosable photométriquement dans la longueur d'onde de 540 m μ . Pour les dosages, des solutions à 1 % sont trop concentrées et il est nécessaire de les porter préalablement au millièmes ou deux millièmes pour arriver dans la zone de sensibilité des appareils photométriques utilisés. Une courbe d'étalonnage ayant été établie pour des dilutions croissantes d'acétylcholine (fig. 1), il est possible, par ce procédé, d'étudier facilement la vitesse d'hydrolyse d'une solution donnée. La méthode a été appliquée avec succès par divers chercheurs, en-

tre autres pour le dosage indirect des ferments qui, dans le corps humain, détruisent normalement l'acétylcholine.

L'étalonnage de la réaction a été réalisé au laboratoire avec deux photomètres : le photomètre Unicam de l'Institut, sur lequel on lit habituelle-

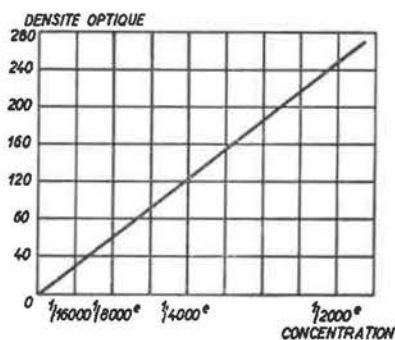


Fig. 1.

ment des transparences (T), et un photomètre Klett, utilisé jusqu'à présent par les auteurs ayant pratiqué ces dosages, qui indique des densités optiques (D). La transformation des densités optiques en transparences se fait selon la formule suivante :

$$D = \log \frac{100}{T} = 2 - \log T \quad (1)$$

Pour comparer les résultats obtenus au photomètre Unicam aux unités Klett, il faut en outre tenir compte de la différence existant entre les échelles des deux appareils. Les lectures faites à l'appareil Unicam ne nécessitent aucune correction. Le photomètre Klett, par contre, est gradué en unités proportionnelles à la densité optique D selon la formule suivante (18)

$$U_k = 500 \times D \quad (2)$$

Les résultats obtenus par les deux appareils sont entièrement superposables aux données de la littérature et ont montré que la densité optique est une fonction linéaire de la concentration (fig. 1).

Le dosage de solutions préparées extemporanément a montré, sur 10 mesures, des résultats variant entre - 20 % et + 10 % de la teneur théorique. Par contre, le dosage systématique fréquemment répété de solutions préparées en stock et conservées au laboratoire a permis de constater leur très grande stabilité. Plusieurs échantillons ont pu être conservés pendant 5 mois, sans montrer de modification de leur teneur en acétylcholine. Ces solutions se montrent d'ailleurs tout aussi actives sur la fonction respiratoire qu'au moment de leur préparation. Il était donc possible d'utiliser pour la routine de petits stocks de solutions d'acétylcholine, ce qui facilitait le travail, tout en améliorant la reproductibilité du test.

β. Aleudrine ou isolévine.

L'aleudrine, bronchodilatateur puissant, provoque assez souvent des troubles cardio-vasculaires qui peuvent être dangereux chez certains sujets : accélération du pouls avec palpitations, hausse momentanée de la tension artérielle, modifications électrocardiographiques. Des travaux récents tendent cependant à montrer que les effets cardio-vasculaires de l'aleudrine sont attribuables essentiellement à sa variété dextrogyre (19). La variété lévogyre serait plus électivement bronchodilatatrice. Cette variété a été purifiée et est actuellement commercialisée sous le nom d'isolévine.

Une recherche a été faite à l'Institut pour comparer les effets de ces deux médicaments sur les bronches et les vaisseaux. Les résultats en seront publiés prochainement. En ce qui concerne leurs effets circulatoires, il semble bien en pratique que l'isolévine, tout en ayant une action cardio-vasculaire légèrement moins prononcée que celle du mélange racémique, ne met pas à l'abri des troubles.

Les solutions d'aleudrine et d'isolévine sont utilisées à concentration égale de substance de base active (0,25 %). Comme les méthodes de dosage de ces corps sont extrêmement compliquées, la concentration exacte des solutions bronchodilatrices n'a pas pu être vérifiée comme en ce qui concerne l'acétylcholine. On a dû se contenter des indications données sur les ampoules d'aleudrine et d'isolévine commerciales.

b. Standardisation des inhalations.

La formation d'un aérosol nécessite le passage d'air comprimé à travers un vaporisateur contenant la solution à disperser. L'appareil utilisé à l'Institut est du type mixte eau-air comprimé.

La granulométrie des micelles produites est difficile à préciser. On ne possède pas en effet jusqu'à présent de procédé qui permette de recueillir les particules sans en altérer les dimensions. Les constructeurs d'appareils se contentent généralement de déterminer cette granulométrie par impact sur une lame de verre recouverte d'un film huileux qui, en modifiant la tension superficielle, réduit l'étalement des gouttelettes sur la lame. Un procédé analogue a été appliqué aux aérosols produits par l'appareil que nous avons utilisé. La courbe granulométrique donnant les pourcentages cumulés en fonction des diamètres particuliers obtenus par cette technique, est représentée à la figure 2. On voit que 95 % des particules étaient inférieures à 5 μ, avec une fréquence maximum de 3 μ.

En pratique médicale, les aérosols sont inhalés le plus souvent par l'intermédiaire d'un petit mas-

que bucco-nasal habituellement percé de petits orifices permettant l'échappement de l'air expiré; lorsque ces orifices manquent, le patient se conten-

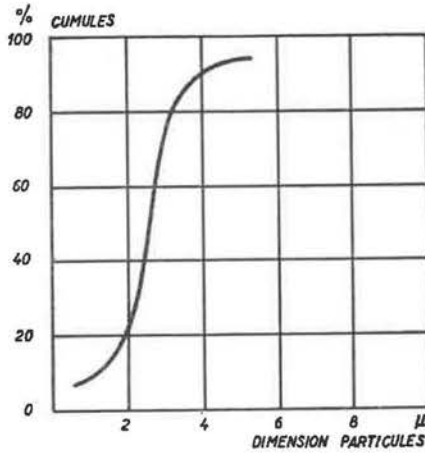


Fig. 2.

te de tenir le masque à quelques centimètres de la figure. En cas de maladie grave, astreignant à la position couchée, les aérosols sont dispersés sous une tente en matière plastique recouvrant la tête et le tronc du patient. Ces procédés ne permettent pas de prédire la teneur en substance active et le volume de l'aérosol effectivement inhalé par les patients. Le volume introduit dans les voies respiratoires au cours d'une inspiration varie en effet

du caractère discontinu de la respiration. L'aérosol dispersé pendant la phase expiratoire est normalement perdu. En admettant une durée approximativement égale pour l'inspiration et pour l'expiration, les compresseurs devraient donc idéalement avoir un débit double du débit ventilatoire. Dans ces conditions, le volume d'aérosols produit par l'appareil suffirait aux besoins de la respiration et le médicament pénétrerait dans les poumons sans dilution préalable.

Comme le débit respiratoire moyen est de 8 litres environ, on devait donc utiliser des compresseurs produisant au minimum 16 litres/minute et mieux encore 20 litres/minute. Cependant, même avec des appareils à débit semblable, on ne peut garantir par les procédés d'inhalation courants (masque bucco-nasal) une composition parfaitement constante de l'aérosol pénétrant dans les voies respiratoires. En effet, à chaque instant, le sujet inhale l'air contenu dans l'espace mort du masque, correspondant à la fin de l'expiration précédente, et dont la teneur en aérosol est inconnue. Pour résoudre cette difficulté, le montage suivant a été réalisé (fig. 3).

Entre le sujet et l'aérosolisateur, on a placé une cuve (A) de 27 litres environ, dans laquelle l'aérosol est dispersé pendant 10 minutes avant toute

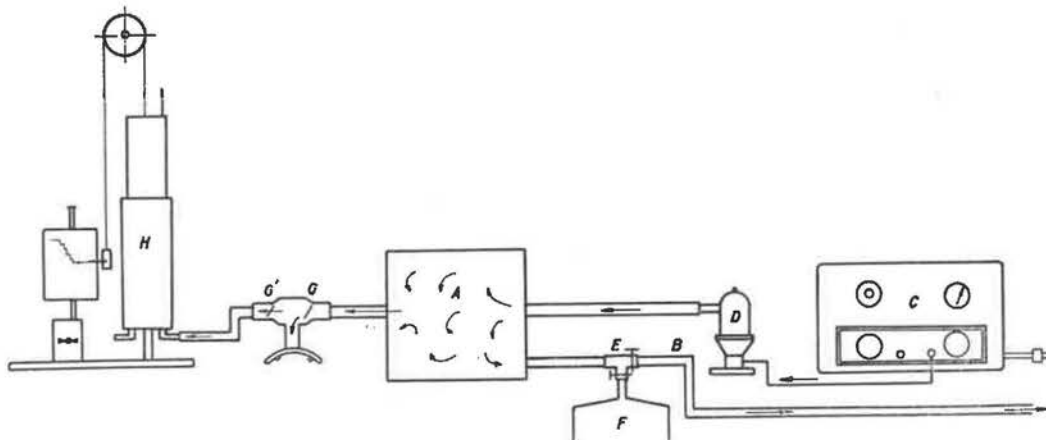


Fig. 3.

selon les sujets et dépend de l'amplitude des mouvements respiratoires. D'autre part, la teneur en substance active de l'air atteignant les poumons ne peut être égale à celle existant à la sortie du vaporisateur que si le volume de l'inspiration ne dépasse pas la quantité d'aérosol vaporisée simultanément par l'appareil. S'il est supérieur à celle-ci, l'excédent ne peut venir que de l'atmosphère ambiante à travers les orifices d'échappement et contribue à diluer l'aérosol.

Pour le calcul de la quantité de substance active effectivement inhalée, il faut de plus tenir compte

inhalation. Un tuyau d'échappement (B) permet l'évacuation de l'air initialement présent dans la cuve. Etant donné le volume de celle-ci (27 litres) et le débit du compresseur (C) (6,5 litres), 10 minutes de fonctionnement suffisent à assurer le remplacement de 95 % environ de cet air par de l'aérosol. L'atmosphère contenue dans l'appareillage est en ce moment très uniforme : des contrôles tyndallométriques ne montrent plus de différence entre l'aérosol produit par le vaporisateur (D) et l'aérosol sortant à l'extrémité du tuyau d'échappement. En manœuvrant un robinet à

deux voies (E) placé sur ce tuyau, on dérive alors dans un sac de Douglas (F) une petite quantité d'aérosol destinée à servir de réserve compensant le débit insuffisant du compresseur pendant l'inspiration.

La respiration de l'aérosol se fait au moyen d'un embout buccal branché entre deux valves, inspiratoire et expiratoire (G et G'). Etant donné la disposition des valves et le faible espace mort, l'air inspiré ne peut venir que de la cuve et sa teneur en substance active est identique à celle déterminée au sortir de l'appareil. D'autre part, l'air expiré est entièrement recueilli dans une cloche spirométrique (H), ce qui permet d'en mesurer le volume exact. L'ouverture de la valve inspiratoire G pendant l'expiration sous la poussée de l'aérosol accumulé est empêchée par la pression expiratoire du sujet et par l'élasticité du sac de Douglas qui prévient toute surpression dans la cuve.

Grâce à ce montage, il est donc possible d'utiliser, en vue d'un débit ventilatoire par nature intermittent, un compresseur à débit continu tout en assurant la constance de l'aérosol inhalé et la mesure du volume effectivement respiré.

c. *Technique des épreuves.*

Les inhalations sont pratiquées à la suite des déterminations de spirométrie courante (capacité vitale et V.E.M.S.). Les patients ayant été auscultés, respirent l'aérosol d'acétylcholine pendant 30 secondes; pendant ce temps, on note l'importance de leur réaction tussigène. Après l'inhalation, ils sont auscultés à nouveau et la spirométrie est contrôlée. Ensuite, les patients inhalent l'aérosol bronchodilatateur, qui est également suivi d'une auscultation et de déterminations de la capacité vitale et du volume expiratoire maximum/seconde.

L'inhalation bronchodilatatrice a plusieurs avantages :

α. elle corrige la gêne respiratoire éventuelle au cours de réactions excessives à l'acétylcholine (phénomène exceptionnel chez les mineurs non asthmatiques),

β. elle permet, lorsqu'elle est suivie d'un enregistrement spirométrique, d'apprécier la coopération du sujet au cours de l'épreuve : normalement la capacité vitale et le volume expiratoire maximum/seconde doivent revenir au moins à la valeur obtenue avant l'inhalation d'acétylcholine.

C. **Rapport entre râles sibilants et bronchosténose.**

a. *But de la recherche.*

Les premières recherches pharmacodynamiques de l'Institut ont porté sur l'effet des aérosols sur les râles sibilants. On voulait préciser si ces râles étaient essentiellement conditionnés par le

calibre bronchique ou par des sécrétions. Dans la première hypothèse, on devait s'attendre à les voir systématiquement augmenter après bronchoconstriction et diminuer après bronchodilatation. La mesure du V.E.M.S. devait refléter les variations du calibre bronchique (20).

b. *Technique et résultats.*

Trente quatre sujets ont été retenus pour cette étude, soit parce qu'ils présentaient des râles sibilants avant toute aérosolisation, soit parce que, en dépit d'une auscultation négative avant le test, ils ont présenté une réaction ventilatoire très nette à l'acétylcholine.

Cette étude a permis de dégager les remarques suivantes qui serviront de base à des recherches ultérieures.

α. A bronchoconstriction égale, certains aggravent leur tableau auscultatoire et d'autres pas. On peut observer des spasmes bronchiques importants, réversibles par l'aleudrine sans le moindre râle sibilant.

β. Les aggravations auscultatoires les plus nettes après bronchoconstriction sont habituellement observées chez les sujets porteurs de râles sibilants avant l'inhalation.

γ. Certains patients avec sibilances peuvent voir disparaître leurs signes auscultatoires malgré la bronchoconstriction. Ce phénomène, à première vue paradoxal, a été observé dans des cas où l'acétylcholine avait entraîné de nombreuses secousses de toux.

δ. Dans certains cas, par contre, l'inhalation d'aleudrine bronchodilatatrice s'accompagne d'une augmentation des râles sibilants.

ε. En présence de sibilances très nombreuses, la sensibilité aux bronchodilatateurs est la règle, ce qui signifie l'existence de spasmes bronchiques au cours des états de bronchite sévère. Toutefois, le comportement des signes auscultatoires n'est guère parallèle aux améliorations ventilatoires.

c. *Conclusions.*

Ces recherches n'ont donc pas mis en évidence un parallélisme étroit entre le calibre bronchique et les sibilances. Celles-ci doivent donc s'expliquer autrement, vraisemblablement par l'existence de sécrétions dans les bronches, ce qui est d'autant plus probable qu'on peut les modifier sous l'influence de la toux.

Au point de vue thérapeutique, on ne peut donc admettre que la présence de râles sibilants soit une indication impérative de traitement bronchodilatateur systématique, sauf chez les sujets où les râles sont très nombreux. Même dans ces cas, le traitement bronchodilatateur ne constitue qu'un aspect de la thérapeutique, puisqu'il n'influence

qu'irrégulièrement les râles. D'autre part, certains sujets non porteurs de sibilances peuvent être améliorés au point de vue fonctionnel par l'aleudrine. Des recherches ultérieures seront nécessaires pour tenter de préciser les modalités du traitement rationnel de ces phénomènes de bronchite.

4. — Recherches tomographiques sur la localisation des images confluentes dans la pneumoconiose des houilleurs.

A. But de la recherche.

La gravité de la pneumoconiose des houilleurs réside essentiellement dans le danger de développement de condensations intra-pulmonaires pouvant évoluer en pseudotumeurs. La pathogénie de ces confluences est loin d'être connue avec certitude. Fletcher (21) a montré qu'une fois atteint un certain degré de pneumoconiose micronodulaire, les pseudotumeurs apparaissent indépendamment de toute nouvelle exposition aux poussières.

Ces formations pseudotumorales dépendent-elles uniquement de la quantité de poussières et surtout de silice libre présente dans les poumons ? Ou bien, faut-il faire intervenir une surinfection, notamment d'origine tuberculeuse comme l'ont suggéré les auteurs britanniques ? Selon ceux-ci, un poumon chargé de poussières réagirait à la tuberculose de façon particulière en constituant des masses fibrohyalines. Telles sont les deux théories proposées.

Si la tuberculose joue un rôle prépondérant dans l'apparition des confluences, on doit s'attendre à ce que la topographie des masses fibreuses soit analogue à celle de la phtisie évolutive de l'adulte. Les travaux anatomo-pathologiques et radiologiques sur ce sujet donnant des résultats assez divergents, il était utile de reprendre ce problème. F. Lavenne, D. Belayew, A. Minette et F. Meersseman ont entrepris une étude anatomo-pathologique de la topographie des masses confluentes dans les poumons de 27 houilleurs atteints de pneumoconiose pseudotumorale. Parallèlement, D. Belayew, J. Prignot et F. Lavenne ont tenté de préciser cette topographie sur clichés simples et sur tomographies frontales et sagittales dans 112 cas consécutifs de pneumoconiose des houilleurs examinés à l'Institut d'Hygiène des Mines. Les résultats de cette dernière étude ont été publiés au cours de l'année 1956 (22). Nous les résumons ci-après.

Si la localisation des confluences sur coupes tomographiques est indiscutablement moins précise que sur documents anatomo-pathologiques, elle est toutefois valable, à condition qu'on se limite aux condensations de faible étendue, celles de types A et B de la classification de Cardiff-Douai. Dans les pseudotumeurs très évoluées, types C et D, les

distorsions rendent en effet illusoire toute localisation d'après les documents radiologiques. En étudiant les condensations A et B, on a de plus l'avantage de préciser l'endroit où débutent les pseudotumeurs, tandis que les documents anatomo-pathologiques souvent trop évolués conviennent peut-être moins à la solution du problème pathologique qui nous intéresse.

B. Localisations segmentaires des condensations pneumoconiotiques.

Tandis que le poumon droit contient trois lobes correspondant chacun à une grosse bronche (supérieur, moyen et inférieur), le poumon gauche n'en comprend que deux (supérieur et inférieur). Ces divers lobes sont eux-mêmes divisés en segments, auxquels correspond chaque fois une division de la bronche lobaire. Les segments les plus importants en ce qui concerne cette étude sont, pour le lobe supérieur, les segments apico-postérieurs et antérieurs. A gauche, le lobe supérieur comprend un segment supplémentaire appelé lingula, qui est l'homologue du lobe moyen droit. Dans le lobe inférieur, le segment apical est très fréquemment atteint par les condensations pneumoconiotiques. Aussi l'avons-nous séparé des autres parties du lobe inférieur, groupées sous la dénomination de segments basaux inférieurs.

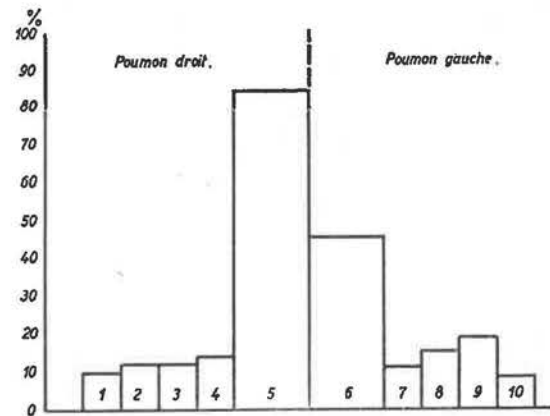


Fig. 4.

- | | |
|--|---|
| 1 : segments basaux inférieurs | 6 : segment apico-postérieur |
| 2 : segment apical inférieur | 7 : segment antérieur du lobe supérieur |
| 3 : lobe moyen | 8 : lingula |
| 4 : segment antérieur du lobe supérieur | 9 : segment apical du lobe inférieur |
| 5 : segments apical et postérieur du lobe supérieur considérés comme un seul segment | 10 : segments basaux inférieurs. |

La figure 4 schématise pour les 112 cas étudiés la fréquence de l'atteinte des divers segments. Le plus souvent entrepris est le segment apico-postérieur du lobe supérieur droit, atteint dans 85 % des cas; puis viennent le segment apico-postérieur du lobe supérieur gauche (45 % des cas), le segment apical du lobe inférieur gauche (18 %),

la lingula (15 %), le segment antérieur du lobe supérieur droit (13 %), le lobe moyen droit (12 %), le segment apical du lobe inférieur droit (12 %), le segment antérieur du lobe supérieur gauche (12 %), les segments basaux inférieurs droits (11 %), les segments basaux inférieurs gauches (8 %).

Dans l'ensemble, le poumon droit l'emporte sur le gauche à la fois par la fréquence (93 % contre 66 %) et par l'étendue des condensations, mais cette prédominance est due uniquement à la plus grande fréquence des atteintes des segments apico-postérieurs droits (85 %) par rapport aux gauches (45 %). Les lésions des autres segments se répartissent de façon similaire entre les deux côtés.

C. Comparaison avec la topographie de la tuberculose évolutive des non-pneumoconiotiques.

La topographie des confluences pneumoconiotiques a été comparée à celle des lésions tuberculeuses progressives de l'adulte : statistique de 320 cas par Adler (23) et celle de Belayew, Prignot et Lavenne portant sur 50 patients de sexe masculin d'un âge moyen de 39 ans, n'ayant jamais été exposés aux poussières.

Dans la ptisie de l'adulte, on retrouve également l'atteinte préférentielle des segments apicaux et postérieurs des lobes supérieurs, mais sans différence notable entre la droite et la gauche.

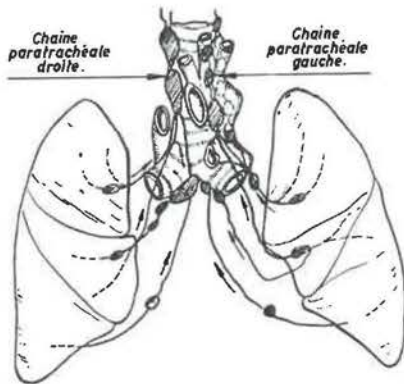


Fig. 5.

Ainsi, Adler (23) trouve 73 % des lésions dans les lobes supérieurs, mais celles-ci se répartissent de façon approximativement égale entre les segments apico-postérieurs droits (211 cas) et gauches (207 cas).

Sur les 50 cas de Belayew, Prignot et Lavenne, le segment apico-postérieur du lobe supérieur droit est atteint 35 fois (70 %) et l'homologue gauche 31 fois (62 %).

En outre, les atteintes du lobe supérieur gauche en dehors de toute lésion du lobe supérieur droit sont relativement fréquentes (11 cas sur 50,

soit 22 %). C'est ici que se marque la plus grande différence avec la topographie de la pneumoconiose condensée des houilleurs, où une confluence du lobe supérieur gauche sans condensation du lobe supérieur droit n'a été rencontrée que dans 6 cas sur 112.

Parmi ces 6 cas, l'aspect tomographique était 4 fois caractéristique d'une tuberculose évolutive (2 cavernes, 1 foyer rond excavé, 1 foyer rond avec infiltrat de voisinage).

Parmi les 96 cas de pneumoconiose confluyente radiologiquement non suspects de tuberculose évolutive, on ne trouve donc que 2 fois (2,08 %) une atteinte du lobe supérieur gauche sans atteinte du lobe supérieur droit.

La différence entre les chiffres de 2 cas sur 96, pour la pneumoconiose des houilleurs, et de 11 cas sur 50, pour la tuberculose pulmonaire évolutive de l'adulte, est statistiquement très significative (χ^2 corrigé 13,7, significatif pour $P < 0,001$).

D. Facteurs pouvant rendre compte de la localisation préférentielle des condensations pneumoconiotiques.

La localisation préférentielle des condensations pneumoconiotiques dans certaines régions des poumons, et en particulier dans les segments apical et postérieur du lobe supérieur droit, peut être expliquée soit par la présence à ces niveaux d'une quantité plus grande de poussières, soit par l'intervention d'un mécanisme infectieux ou autre indépendant de l'action des poussières, les deux hypothèses pouvant d'ailleurs se combiner.

a. Hypothèse « poussières ».

A notre connaissance, les auteurs qui se sont intéressés à l'analyse des poussières contenues dans les poumons post mortem (24), (25), (26) ne mentionnent pas de déterminations séparées de la concentration des poussières dans les divers segments pulmonaires; on ne peut dès lors trouver dans ces publications de renseignements précis concernant la quantité et la nature des poussières contenues respectivement dans les zones atteintes de masses pseudotumorales et dans les zones de pneumoconiose simple. Remarquons toutefois que ni Thomas ni King ne signalent de différences significatives entre la quantité et la nature des poussières contenues dans les poumons entiers atteints de pneumoconiose simple, d'une part, ou de pneumoconiose confluyente, d'autre part. Le problème reste donc posé et l'on en est réduit aux hypothèses.

Si les poussières se trouvaient en quantité plus grande aux niveaux les plus entrepris, ce ne pourrait être que par suite d'un apport plus grand ou d'une élimination moins bonne dans ces régions.

L'idée d'un apport plus grand de poussières est a priori peu séduisante, car les gouttières posté-

rieures, fréquemment atteintes par les condensations pneumoconiotiques, sont classiquement mal ventilées; d'autre part, cette hypothèse n'expliquerait pas la prédominance marquée du côté droit.

On est ainsi amené à envisager les conditions de l'élimination des poussières. Celle-ci peut se faire par voie bronchique ou lymphatique; or, le drainage endo-bronchique des foyers infectieux haut situés est généralement très satisfaisant; c'est donc plutôt une déficience relative de l'entraînement dans les voies lymphatiques qu'on devrait incriminer si l'on parvenait à prouver une concentration plus grande des poussières dans les secteurs atteints de confluences. Nous envisagerons de façon plus détaillée le rôle du système lymphatique à propos de la seconde hypothèse.

b. Hypothèse « facteur surajouté ».

Si les localisations sont indépendantes de la concentration locale des poussières, elles peuvent répondre à un mécanisme inflammatoire ou autre.

L'intervention d'un facteur infectieux, le plus souvent tuberculeux, est considérée par les auteurs britanniques et beaucoup d'autres, comme déterminante dans la constitution des masses.

Une parfaite similitude topographique entre la phtisie et les pneumoconioses confluentes ne constituerait pas un argument absolument décisif en faveur de l'intervention nécessaire de l'infection tuberculeuse, car un même facteur pathogénique pourrait influencer les deux maladies de la même façon. Comme nous l'avons montré, cette similitude n'est même pas parfaite, car il existe dans la pneumoconiose une prédominance marquée du côté droit qu'on ne trouve pas dans la phtisie. La théorie infectieuse ne suffit donc pas à expliquer l'ensemble des faits.

On est ainsi amené à envisager à nouveau le rôle des voies lymphatiques. Une stase au niveau du système lymphatique, indépendamment de la rétention des poussières qu'elle peut déterminer, pourrait aussi constituer le facteur surajouté, en provoquant des modifications tissulaires et humorales localisées, susceptibles de favoriser les progrès de la fibrose confluyente.

L'intervention du système lymphatique dans la répartition des lésions confluentes paraît devoir être retenue comme hypothèse de travail, si l'on considère la fréquence et la précocité des lésions ganglionnaires chez les pneumoconiotiques. Les travaux anatomo-pathologiques de Schmorl (27), Wätjen (28) et Leicher (29) ont souligné ce point en ce qui concerne la silicose. Dans l'anthraco-silicose, l'encombrement considérable des carrefours ganglionnaires est également un fait indiscutable.

Or, des particularités anatomiques du système lymphatique permettent d'interpréter, à partir de cet encombrement, la prédominance droite des

confluences. Rouvière (30) a montré en effet que la chaîne paratrachéale droite draine à la fois les lymphatiques de tout le poumon droit et de la moitié inférieure du poumon gauche, alors que les ganglions gauches ne drainent que la partie supérieure du poumon gauche (fig. 5). Ce fait correspond à l'expérience des chirurgiens thoraciques sur la topographie des métastases ganglionnaires des néoplasmes bronchiques.

Dans ces conditions, la quantité de poussières drainées vers la chaîne paratrachéale droite paraît devoir être largement supérieure à celle qui atteint les ganglions hilaires gauches. L'encombrement plus précoce des ganglions droits par la poussière et la fibrose rendrait bien compte d'une stase lymphatique plus marquée et éventuellement d'une plus grande rétention de poussières dans le lobe supérieur droit que dans le lobe supérieur gauche. On aurait ainsi une explication à la localisation préférentielle des lésions confluentes débutantes dans le lobe supérieur droit plutôt que dans le lobe supérieur gauche.

Il est évident que cette explication lymphatique ne suffit pas à interpréter l'ensemble des faits topographiques. En effet, elle rend uniquement compte de la localisation préférentielle dans le lobe supérieur droit par rapport à son homologue gauche, sans expliquer la prédominance des régions supérieures et postérieures des poumons. Si l'encombrement lymphatique à lui seul devait intervenir, les régions inférieures des deux poumons devraient être plus souvent atteintes par les condensations que le lobe supérieur gauche, ce qui n'est pas le cas.

Il faut donc faire intervenir d'autres facteurs pour expliquer la localisation préférentielle dans les segments apico-postérieurs. Cette hypothèse complémentaire pourrait éventuellement être représentée par l'intervention d'un facteur tuberculeux, au moins dans un certain nombre de cas. Il ne doit toutefois pas nécessairement s'agir d'une tuberculose évoluant sur un fond pneumoconiotique; les séquelles lymphatiques d'une tuberculose cicatricielle ou d'une autre infection pulmonaire ancienne pourraient, dans des cas particuliers, constituer l'élément déterminant de la localisation.

La topographie habituelle des confluences ne permet donc ni de confirmer pleinement, ni d'exclure avec certitude, l'intervention de facteurs inflammatoires ou infectieux dans leur pathogénie. Sans nier l'importance de la tuberculose, qui reste peut-être à ce jour l'explication la plus plausible de l'atteinte fréquente des lobes supérieurs, il nous paraît nécessaire de mettre l'accent sur l'encombrement des voies lymphatiques.

Cet encombrement lymphatique peut constituer une explication valable de la plus grande fréquence des condensations lobaires supérieures droites,

que ce soit par une plus grande rétention des poussières ou par une stase lymphatique plus marquée à ce niveau. De plus, il permet de donner une explication satisfaisante à la localisation fréquemment péri-scissurale des condensations, signalée dans la pneumoconiose par Mac Vittie (31), Roche (32) et di Biasi (33), et retrouvée par les chercheurs de l'Institut au stade des lésions étendues. L'atteinte simultanée de régions séparées par une scissure est, par contre, rare dans la phthisie. Elle

s'explique mal par des troubles localisés de la ventilation puisque ces régions sont drainées par des bronches indépendantes l'une de l'autre. Elle répond mieux à l'idée de perturbations lymphatiques. Il existe en effet d'importantes voies lymphatiques sous-pleurales et inter-scissurales. Giacomelli et ses collaborateurs (34) ont même démontré récemment la présence de relations entre les lymphatiques des segments voisins, de part et d'autre des scissures.

II. — TRAVAUX DE LA SECTION TECHNIQUE

1. — Lutte contre les poussières.

A. Analyse des poussières. Conimétrie.

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

La Direction des Charbonnages de Houthalen a décidé, en accord et avec la collaboration de la Section Technique de l'Institut, d'organiser de la façon la plus complète possible la lutte technique contre les poussières. Tous les moyens de prévention y seront essayés et appliqués; les méthodes qu'on pourrait imaginer à l'avenir y seront expérimentées.

Ces essais permettront d'établir, dans l'état actuel de la technique et pour des circonstances de travail bien déterminées, quels sont les empoussiérages minima qu'on doit considérer comme inévitables. Le second but de ce travail, à poursuivre durant plusieurs années, est d'établir une anamnèse professionnelle et médicale de l'ensemble des ouvriers, en tenant compte des empoussiérages subis dans les travaux du fond.

L'instrument de base pour effectuer nos prélèvements de contrôle est le précipitateur thermique. Nous employons simultanément un appareil filtrant qui recueille sur dés de Soxhlet les particules en suspension dans l'air, à proximité immédiate de la tête de captage du précipitateur. Le dépouillement et l'examen de ces échantillons précisent d'une façon suffisante la granulométrie et la nature de la poussière récoltée.

Cependant, vu le nombre de chantiers à examiner aux trois postes, nous avons dû recourir à des appareils de routine, de manière à suivre, dans tous les travaux, les fluctuations d'empoussiérage qui se produisent entre les contrôles systématiques. Les instruments de routine sont les appareils prescrits par le Règlement des Mines, à savoir la « hand-pump » du P.R.U. pour la prise d'échantillons dans les chantiers d'exploitation et le « British Konimeter » de Watson pour la mesure des empoussiérages dans les travaux préparatoires.

Chaque chantier est ainsi contrôlé au moins une fois par quinzaine à chaque poste à l'aide des ap-

pareils de routine, les stations de mesure étant les recoupes des voies inférieures et supérieures, les pieds et tête des tailles ainsi que les fronts de bouvaux.

Les plaques du précipitateur thermique sont comptées microscopiquement sur fond clair au moyen d'un microprojecteur de grossissement $1.000 \times$ et de pouvoir de résolution égal à $0,2 \mu$. Nous avons adopté la répartition granulométrique $> 5 \mu$, $5-3 \mu$, $3-1 \mu$, $1-0,5 \mu$ et $0,5-0,2 \mu$, de sorte que les résultats peuvent être exprimés en nombre de particules par cm^3 d'air suivant les classes les plus communément admises dans l'appréciation du risque silicotique : $5-1 \mu$, $5-0,5 \mu$, ... Les filtres-clips de la hand-pump sont examinés au densitomètre P.R.U. L'expression des résultats est le rapport $r = L/L_0$ où L est la lecture au galvanomètre pour un papier souillé et L_0 la lecture au galvanomètre pour un papier propre. Ce rapport, multiplié par 100, est appelé « pourcentage de lumière transmise » et ne constitue une mesure de l'empoussiérage que pour un nombre n constant d'aspirations à la pompe ($n = 10$).

Les plaques du conimètre sont examinées sur fond clair au moyen du microscope incorporé à l'appareil (grossissement $200 \times$). La numération est globale; elle porte sur les particules inférieures à 5μ .

Quant au contenu des filtres dés de Soxhlet, il est analysé dans le but d'en rechercher la teneur en cendres et la teneur en silice libre.

Comme tous les résultats devront servir ultérieurement à des investigations d'ordre médical, l'anamnèse professionnelle est faite au charbonnage par le système mécanographique I.B.M. à carte individuelle perforée et peut fournir les renseignements suivants : n° matricule, nom, prénoms, date de naissance de l'ouvrier, date d'entrée au charbonnage, années de service au fond au charbonnage de Houthalen et dans d'autres charbonnages, profession (notée suivant le code détaillé qui sert au calcul des salaires), chantier, mesures d'empoussiérage, températures sèche et humide, image radiographique, indice d'appréciation d'examen

clinique et des épreuves fonctionnelles... Certains de ces renseignements sont reportés sur la carte en clair, d'autres par perforation, de façon à pouvoir faire l'objet d'un tri dans divers sens.

Jusqu'à présent, nous avons effectué 160 prises de contrôle au précipitateur thermique pour la détermination de la granulométrie des poussières en suspension, ainsi que 40 analyses chimiques. Le service de mesure du charbonnage, que dirige M. l'Ingénieur Principal Lavallée, a procédé au prélèvement et à l'examen de 22.650 clips de hand-pump, ainsi qu'à 1.400 mesures et comptages au conimètre.

Les premiers résultats acquis montrent l'intérêt et la nécessité de procéder à l'étalonnage de la pompe à main pour chaque chantier d'abatage et pour chaque poste. La granulométrie et la nature des poussières sont en effet parfois très différentes dans des tailles voisines, exploitant la même couche. Dans certaines tailles où les empoussiérages exprimés en nombre de particules sont quasi identiques à chaque poste, on trouve des teneurs en cendres qui varient par exemple de 23,6 à 70,6 %, de 16,4 à 27,2 %, ou de 19,3 à 36,7 % suivant le poste contrôlé.

b. *Corrélation hand-pump — précipitateur thermique.*

De nombreux prélèvements simultanés à la pompe à main, au précipitateur thermique et au dé de Soxhlet ont été faits dans divers chantiers souterrains dans le but de rechercher la signification des valeurs limites imposées par l'Administration des Mines, lorsqu'on effectue le contrôle de l'empoussiérage uniquement avec la pompe à main.

L'expression la plus simple des résultats de la mesure à la pompe à main est le rapport $r = L/L_0$ dont nous venons de parler au paragraphe précédent.

Les expérimentateurs anglais (35) ont utilisé, comme expression du résultat de la mesure, la grandeur

$$p = \frac{100 \times D^{1,5}}{n} \quad [1]$$

dans laquelle n désigne le nombre d'aspirations et $D = \log_{10} L_0/L$ la densité optique du papier souillé. La grandeur $100 D^{1,5}$ peut être lue directement sur l'échelle supérieure du densitomètre si l'on obtient la pleine déviation pour un papier vierge (réglage adéquat). Cet indice p doit être multiplié par une constante c obtenue par étalonnage au précipitateur thermique. Le nombre de particules s'obtient par la formule

$$N = c.p \quad [2]$$

Cependant c varie d'un chantier à l'autre, suivant la couche, le débit d'air, le mode d'exploitation,

les moyens de lutte contre les poussières, etc... D'autres expérimentateurs (36) ont suggéré de remplacer les formules [1] et [2] par

$$Nn = a.D^{1,5} + k \quad [3]$$

a et k étant des constantes résultant d'étalonnages au précipitateur thermique.

Finalement, le « Safety in Mines Research Establishment » a proposé de calculer le nombre de particules N (généralement de 1 à 5 μ) par les formules

$$Nn = k's$$

et $s = 100(0,3010 - \log_{10} \log_{10} 100 L_0/L)$ les symboles ayant la même signification que ci-dessus et k' résultant encore d'un étalonnage par rapport au précipitateur thermique. Les valeurs de ces coefficients k' sont moins dispersées que celles des autres coefficients c , a et k (37).

On voit donc que la valeur moyenne des résultats (exprimés en % de lumière transmise) d'un grand nombre de mesures à la pompe à main, même si elle a une signification en tant que moyenne, ne signifie pas grand chose en soi; elle ne peut pas définir un empoussiérage. Pour s'en rendre compte, il suffit d'examiner un diagramme sur lequel on porte, en abscisses, les nombres de particules d'une classe donnée et, en ordonnées, les pourcentages correspondants de lumière transmise; la surface du diagramme est couverte de points qu'il est impossible de relier par une droite ou une courbe quelconque (fig. 6).

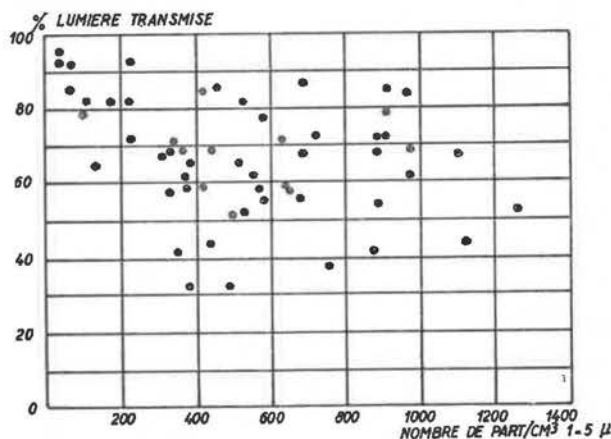


Fig. 6.

Nous avons commencé et poursuivons encore des étalonnages hand-pump/précipitateur thermique dans tous les chantiers du Charbonnage de Houtalen et à tous les postes. Nous espérons obtenir à la longue suffisamment de renseignements pour pouvoir étendre nos résultats aux chantiers de même type des autres mines, surtout en ce qui concerne les variations de granulométrie en fonction du mode de travail adopté. La connaissance des

facteurs de correction a , c , k ou k' (cités plus haut), *n'est à vrai dire qu'une première étape*, car les recherches anglaises dans ce domaine ont été faites en général *avec du charbon*. Or, nos gisements et nos méthodes modernes d'exploitation libèrent de nombreuses particules de roches, même pendant l'abatage. Dans les retours d'air de nos tailles par exemple, suivant le poste ou la technique de travail adoptée, il n'est pas rare de trouver des rapports charbon-roche totalement différents, variant même de 1 à 5. La pompe à main dans ces cas donne des résultats tout à fait incertains.

Ce dernier point a retenu spécialement toute notre attention. Nous pensons même que, dans nos chantiers d'abatage, la teneur en cendres des poussières aériennes a bien plus d'importance pour la signification d'une mesure à la pompe à main que la granulométrie de la poussière elle-même.

L'étude que nous avons entamée ne porte jusqu'à présent que sur une quinzaine de chantiers, mais il apparaît que la corrélation hand-pump/précipitateur thermique est possible si l'on prend comme variable la teneur en cendres des poussières aériennes prélevées au chantier. Sur la base de ces quinze premières séries de contrôles, nous pouvons dire qu'un pourcentage de lumière transmise de 75 % correspond à des concentrations de l'ordre de 500 particules/cm³ de 1 à 5 μ , si leur teneur en cendres est de 15 %, à environ 600 ... 650 particules/cm³ de 1 à 5 μ , si leur teneur en cendres est de 25 %, et à plus de 1.500 particules/cm³ de 1 à 5 μ , si la teneur en cendres dépasse 50 %.

c. Reproductibilité des mesures d'empoussiérages au « British Konimeter » (Watson).

Cet appareil est l'instrument imposé par l'Administration des Mines. Après avoir abandonné de nombreux autres appareils du même genre, nous avons été appelés à revoir la validité des mesures faites avec ce conimètre pour pouvoir interpréter les résultats obtenus dans les charbonnages et éventuellement donner des directives de comptage. Tous les auteurs sont d'accord pour dire que la numération des particules sur plaque de conimètre au moyen du microscope adapté à l'appareil (grossissement de l'ordre de 200 \times) n'est possible qu'avec de faibles concentrations. Certains vont jusqu'à dire qu'au delà de 200, 250 particules/cm³, le travail devient difficile. Nous n'avons pas toujours aussi peu de poussières sur nos plaques.

Avant de faire des étalonnages par rapport au précipitateur thermique, nous avons donc recherché quelle était la reproductibilité des comptages effectués par un même observateur entraîné (travaillant au microscope depuis plus d'un an). On sait que l'oculaire du microscope monté sur le co-

nimètre est muni d'un réticule dont les fils dessinent deux secteurs opposés ayant un angle au sommet de 18°. On se contente de compter les particules comprises dans ces deux secteurs, ce qui représente 1/10^{me} de la surface du champ. Or, le centre du spot *n'est pas toujours* à la croisée des fils du réticule; pour remédier à cette dissymétrie, on fait un double comptage en plaçant le réticule dans deux positions orthogonales, que nous appelons V et H.

Notre première étude a consisté à compter 10 jours consécutivement 12 prélèvements, dont 6 avaient été effectués dans une taille et 6 dans un bouveau, avec réticule placé dans les positions H et V, et à déterminer la dispersion de ces séries de numérations répétées 10 fois.

Nous avons conclu que, pour des concentrations de poussières charbonneuses allant de 600 à 850 particules/cm³, l'écart type serait de 11,3 pour le comptage de 1 spot, que le réticule soit horizontal ou vertical. Si l'on fait la moyenne M de 2 comptages H et V pour 1 seul spot, il y a 95 chances sur 100 que le résultat « vrai », c'est-à-dire le nombre vrai de particules déposées sur la plaque, se trouve entre les limites $M \pm 200$ particules/cm³.

d. Dosage de la silice.

Les combinaisons de silicium susceptibles de se trouver dans les poussières peuvent être relativement simples comme dans le cas de l'anhydride silicique SiO₂, ou complexes lorsqu'elles renferment en outre différents métaux sous forme de silicates ou d'alumino-silicates. Ces diverses combinaisons ne possèdent pas un même degré de nocivité, ce qui entraîne en premier lieu la distinction entre silices combinée (silicates) et libre (anhydride silicique). Pour faire une étude systématique de la question, il nous a paru logique de commencer par l'examen attentif des méthodes de dosage de la silice totale, celles-ci étant considérées comme plus simples. Quoique classique et citée dans tous les ouvrages de chimie analytique, la mesure de la silice totale ne nous a pas semblé traitée avec toute la rigueur qui s'impose. En effet, non seulement deux méthodes très différentes peuvent être employées, mais certains détails opératoires sont négligés ou adoptés sans justification précise. Comme il n'existe pas à notre connaissance d'ouvrage donnant satisfaction à cet égard, nous avons rassemblé dans une de nos Communications (38), les différentes expériences qui nous ont conduits à adopter un mode opératoire déterminé, tant pour l'analyse gravimétrique que pour la mesure colorimétrique. Ces techniques ont été élaborées après analyse statistique des résultats expérimentaux et discussion des différentes étapes parcourues au cours de l'analyse. Lorsque l'échantillon ne contient pas de silice sous forme combinée, il peut

tout d'abord être enrichi en silice au moyen d'une attaque sélective choisie d'après la nature de la substance à examiner. Le concentré ainsi obtenu est soumis à l'action de l'acide fluorhydrique en milieu acide fort qui volatilise le silicium sous forme de SiF_4 . Pour obtenir des résultats exacts et reproductibles, il est nécessaire d'amener tous les sels métalliques sous la même combinaison chimique avant chaque pesée. On atteint ce but par un traitement sulfurique préalable et une incinération à $825 \pm 25^\circ \text{C}$. L'écart-type de la méthode est de l'ordre de 0,50 entre 30 et 100 mg de substance. Outre l'analyse de produits divers, tels que craies, poudres à diatomées, poussières de quartz, cette méthode permet de contrôler la pureté de la silice totale isolée après désagrégation, ainsi que celle de la silice libre après l'attaque.

Lorsque l'échantillon contient de la silice combinée, le moyen le plus général de solubilisation consiste en une désagrégation par les carbonates alcalins. L'emploi d'un mélange à parties égales des sels de sodium et de potassium permet d'abaisser le point de fusion de 180°C . Une bonne insolubilisation de la silice est aisément obtenue par dessiccation du résidu pendant une heure à 120°C après évaporation de l'acide chlorhydrique. Le nombre de dessiccations successives dépend de l'abondance du précipité : pour 100 mg de silice, deux évaporations sont utiles, tandis qu'une seule suffit dans le cas de 30 mg de produit. La quantité de silice entraînée est indépendante de la masse du précipité, mais est tributaire du mode opératoire adopté. L'emploi de 100 cm^3 de solution de lavage à 10 % HCl par exemple entraîne une perte de $0,00047 \pm 0,00013 \text{ g SiO}_2$. Toutes corrections faites, la déviation standard est estimée à 0,56 pour des prises d'essais de 30 mg.

Le dosage colorimétrique est basé sur la mesure de l'absorption de complexes jaunes silicomolybdiques développés en milieu acide au moyen de molybdate d'ammonium. Nous avons adopté la longueur d'onde $430 \text{ m}\mu$ et le pH 1,6. Après solubilisation par les carbonates, l'échantillon est amené à une concentration telle qu'on évite l'influence des ions fer, calcium et magnésium; néanmoins, cette solution est encore suffisamment concentrée pour rendre négligeable l'influence des inégalités de transparence des cuvettes employées. La reproductibilité de cette méthode ne s'est avérée intéressante qu'en dessous de 30 % en silice dans les conditions adoptées. L'écart-type est alors de l'ordre de 0,9. C'est pourquoi nous adoptons la méthode gravimétrique lorsque l'échantillon disponible dépasse 30 mg, la méthode colorimétrique étant réservée aux prises d'essais plus restreintes ou moins riches en silice.

B. Lutte contre les poussières dans les chantiers.

Matériel et procédés divers.

a. Essais de masques anti-poussières.

Quinze nouveaux appareils filtrants ont fait l'objet de contrôles aux points de vue rétention et gêne respiratoire suivant notre mode opératoire standardisé (39). Il s'agit des appareils Auer 2066. C.3.W.1; Colonia 575D, Draeger 73-545, 73-10853, 74-545 et Draeger Stinnes Zeche; Filtron Netta 1, 2, 3, 4; Leconte; Lungenrein n° 5 A; M.S.A. Dustfoe B.M. 2166; Zoro T600 et T601.

Trois seulement ont été retenus : le Draeger Stinnes Zeche, le Colonia 575D et le Draeger 74-545, ce qui porte à 14 le nombre de masques filtrants commodes et efficaces satisfaisant à toutes nos exigences, sur un total de 53 modèles soumis aux essais depuis trois années.

Le tableau III fournit la liste des modèles approuvés et donne les caractéristiques principales faisant l'objet des contrôles : pouvoir de rétention en % (poids des particules retenues inférieures à 5μ) et gêne respiratoire exprimée en mm d'eau pour un débit d'air continu de 50 litres/minute.

Nous croyons cependant utile de signaler que quatre masques parmi ces appareils sont à la limite du maximum toléré à l'inspiration après 90 minutes d'essai dans nos conditions standards : il s'agit des masques Draeger 74-545 et 99-545, du Brison 6 F.I.14 et du n° 430 de Prévoyance Industrielle (Industrie de Protection).

b. Comportement de marteaux perforateurs dans des roches de natures différentes.

Des essais comparatifs de marteaux perforateurs avec ou sans prévention ont été effectués dans deux travers-bancs du Charbonnage de Winter-slag (40).

Les équipements de foration expérimentés ont été :

- le matériel Meudon : perforateur B.P.E. à 1.600 coups/minute et alésage de 60 mm, pesant 15,100 kg, utilisé avec fleurets lisses pourvus de taillants Grimard de 44 mm de diamètre et montés avec manchon injecteur pour l'aduction latérale d'eau (Système Flotmann à 4 bagues d'étanchéité) ou fleurets hélicoïdaux équipés de têtes amovibles du type Ingersoll (Jack-bitt) d'un diamètre de 44 mm; les poussoirs étaient des béquilles Grimard dont le diamètre du piston est de 60 mm et la course de 300 mm.
- le matériel Atlas Copco comprenant : le perforateur B.B.D. 41 W.K.C à 3.000 coups/minute et alésage de 75 mm, pesant 23 kg, des fleurets lisses type Sandvik Coromant, à emmanchement hexagonal et taillant monobloc simple burin d'un diamètre de 44 mm; des béquilles

TABLEAU III

Masques anti-poussières satisfaisant aux normes.

Types de masques (en ordre alphabétique)	Pouvoir de rétention %			Gêne respiratoire en mm H ₂ O	
	après 30 min.	après 60 min.	après 90 min.	inspiration	expiration
Auer Kollix 2620(2625)	97,0	97,5	98,4	7,0	3,5
Bartels-Rieger	86,3	93,7	98,4	10,5	4,0
Brison 6 F.I. 14 couvre-face S	90,6	91,7	94,0	7,0	2,8
Brison 7 LN « en forme » double paroi 5, couvre-face S	94,3	95,2	96,1	5,0	2,4
couvre-face GN à clapets collés	94,3	95,2	96,1	5,0	2,8
couvre-face GN à clapets boutonnés	94,3	95,2	96,1	5,0	4,0
Brison 7 LN « en forme » double paroi 8,5, couvre-face S	92,8	94,8	97,0	6,5	2,4
couvre-face GN à clapets collés	92,8	94,8	97,0	6,5	2,8
couvre-face GN à clapets boutonnés	92,8	94,8	97,0	6,5	4,0
Colonia 575 D	94,1	96,0	97,2	6,0	2,5
Draeger 70-545	92,5	96,0	99,0	9,0	3,0
Draeger 99-545	92,5	96,0	99,0	13,0	3,5
Draeger Stinnes Zeche	98,4	99,4	99,6	5,0	2,0
Draeger 75-545	98,0	99,3	99,4	10,0	3,0
Fernez	98,0	98,2	99,2	4,5	2,0
G.M.I.B.	91,4	93,3	98,2	7,0	5,0
N° 430 de Prévoyance Industrielle (Indus- trie de Protection)	93,8	97,3	96,4	7,5	2,5
S.F.A. 31-150 (modifié)	88,6	89,7	96,0	5,0	3,5

Atlas dont le diamètre du piston est de 75 mm et la course 1,30 m.

- le matériel Victor constitué de la perforatrice rotative tournant à 650 tours/minute lorsqu'elle est alimentée sous 4,2 kg/cm² de pression et pesant 12 kg et de fleurets hélicoïdaux type Diamond, munis de taillants à 2 becs avec plaquettes en carbure de tungstène, d'un diamètre de 43 mm; les béquilles sont du même modèle que celles qu'on utilise avec les perforateurs Meudon.

Pour effectuer les essais comparatifs, on a employé dans un bouveau en grès les marteaux perforateurs Atlas à injection centrale d'eau et Meudon à adduction latérale, tandis qu'un bouveau creusé en schistes tendres était équipé des appareils Meudon et Victor forant à sec, mais avec aspersion d'eau à l'orifice du trou de mine.

Le dispositif de pulvérisation d'eau à l'orifice du trou, système Winterslag, était utilisé pour éviter le blocage des fleurets dans des schistes gonflant rapidement sous l'action de l'eau d'injection. Il comprend (fig. 7) deux, éventuellement trois pulvérisateurs « Winterslag » fixés à l'extrémité d'une canne orientable montée sur rotule. Ces appareils

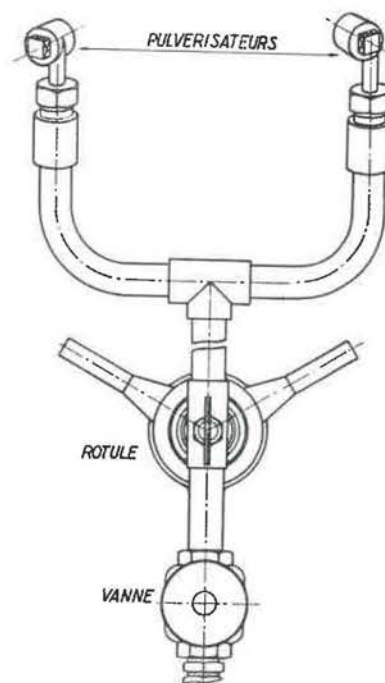


Fig. 7.

ont une consommation d'eau faible : de 1,4 à 2,15 litres/minute pour une pression de 2 à 5 kg/cm². L'eau pénètre tangentiellement dans un cyclone terminé par un ajutage légèrement conique percé d'un orifice de 2 mm de diamètre (fig. 8). L'angle du faisceau reste compris entre 64 et 70°, la portée du jet allant de 1,60 à 2.00 m.

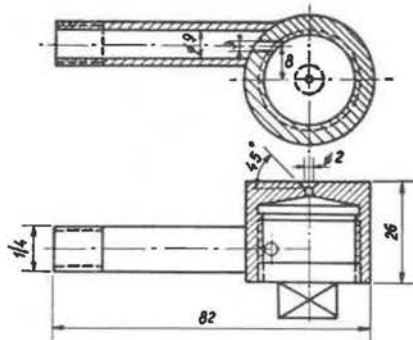


Fig. 8.

Nous avons trouvé que du point de vue mécanique, à pressions d'air comprimé égales, le forage humide classique n'était pas un frein à l'avancement en roches dures. Tout système humide autre que l'injection centrale ou l'adduction latérale d'eau par le fleuret en fond de trou risque de donner une protection illusoire dans les grès.

Par contre, s'il s'agit de roches tendres, schistes déliteux et friables gonflant fortement sous l'action de l'eau, la perforation rotative réalise des avancements supérieurs à ce qu'on obtient avec des perforateurs percutants; cette différence est d'autant plus marquée lorsque la prévention par amenée d'eau dans le fleuret est appliquée.

Enfin, dans le forage percutant en schistes tendres, le dispositif de pulvérisation « Winterslag », comparé aux systèmes habituels d'injection, réalise un excellent compromis entre vitesse d'avancement et lutte contre les poussières.

c. Essais d'ampoules anti-poussières pour tirs en charbon.

α. Nos premières expériences faites sur les ampoules Demelenne datent de 1954 (40). Elles ont été réalisées dans la galerie de tir de la S.A. Explosifs d'Arendonck; elles ont montré que l'ampoule peut donner un rendement de suppression des poussières de 70 % lors du tir au mortier d'une cartouche de Ruptol B lorsqu'on désagrège la gaine de l'explosif formée de 100 g de poussières. Ces mêmes essais ont montré un effet nul lorsque le bourrage est éjecté du trou.

β. Des expériences ont été faites dans un montage du Charbonnage de Gosson-Kessales lors du tir en charbon (41), pour comparer les empoussiérages produits au moment du minage et pendant le pelletage à front du charbon miné après tirs ordinaires et tirs avec ampoules Demelenne (30 cartouches de Nitro-Boncellite, 26 ampoules d'eau pour environ 10 tonnes de charbon, soit une proportion d'eau 4 fois plus forte que celle préconisée par l'inventeur).

Le rendement de suppression des poussières dans le bouchon de fumées, calculé à partir des résultats bruts, est de 21,3 % avec une déviation standard $\sigma = \pm 11 \%$.

Les résultats moyens du comptage des plaques de précipitateur thermique exprimés en particules/cm³ d'air, sont repris au tableau IV (colonnes 2 et 4); nous y indiquons également les concentrations ramenées à un même débit d'air à front (colonnes 3 et 5).

Pendant le travail de pelletage qui suit le minage, le taux d'élimination est nul. En effet, les concentrations pendant tout le temps de pelletage ont été en moyenne (sur 30 mesures) :

— après le tir ordinaire, sans ampoule :

$$N_1 = 1.640 \text{ particules/cm}^3 \text{ de } 1 \text{ à } 5 \mu$$

$$N_1^2 = 2.485 \text{ particules/cm}^3 \text{ de } 0,5 \text{ à } 5 \mu$$

TABLEAU IV

Comparaison des empoussiérages au minage.

Classes granulométriques	Tirs ordinaires		Tirs + ampoules Demelenne	
	Débit réel 1,22 m ³ /sec	Débit théorique 1,00 m ³ /sec	Débit réel 1,05 m ³ /sec	Débit théorique 1,00 m ³ /sec
> 5 μ	1.480	1.805	1.610	1.690
5 - 1 μ	4.795	5.850	3.775	3.965
1 - 0,5 μ	2.415	2.945	1.520	1.595
0,5 - 0,2 μ	1.955	2.385	1.530	1.605

— après le tir, avec ampoules :

$$N_2 = 1.740 \text{ particules/cm}^3 \text{ de } 1 \text{ à } 5 \mu$$

$$N'_2 = 2.620 \text{ particules/cm}^3 \text{ de } 0,5 \text{ à } 5 \mu.$$

Or, l'écart-type de chacune de ces moyennes est faible, nous avons respectivement obtenu :

$$s_{m,1} = 5,36 \% \quad s'_{m,1} = 5,31 \%$$

$$s_{m,2} = 5,97 \% \quad s'_{m,2} = 5,35 \%$$

Cependant, rien ne prouve que les nombres de particules de 1 à 5 μ , par exemple (1.640 et 1.740), soient significativement différents, c'est-à-dire que l'écart entre ces deux nombres soit dû à autre chose qu'une fluctuation accidentelle de l'empoussié-
rage mesuré. Le test de Student montre, au contraire, qu'il n'y a pas de différence significative entre 1.640 et 1.740, même au palier de confiance de 90 %.

Si l'on ramène les concentrations trouvées à un même débit d'air, comme nous l'avons fait pour les empoussié-
rages mesurés au moment du tir, nous obtenons des valeurs qui sont à première vue un peu favorables aux ampoules Demelenne :

$$N''_1 = 2.000 \text{ particules/cm}^3 \text{ au lieu de } 1.640 \text{ de } 1 \text{ à } 5 \mu,$$

$$N''_2 = 1.830 \text{ particules/cm}^3 \text{ au lieu de } 1.740 \text{ de } 1 \text{ à } 5 \mu.$$

L'écart type de ces nouvelles moyennes est affecté par l'imprécision supplémentaire sur le facteur de correction, à savoir le rapport des débits d'air réel et théorique. Le calcul conduit à des écarts types plus élevés : $s''_{m,1} = 8,05 \%$ et $s''_{m,2} = 8,46 \%$, ce qui est encore très acceptable. Le test de Student montre, comme précédemment et dans les mêmes limites, que les concentrations 2.000 et 1.830 particules/cm³ ne diffèrent pas significativement. Le même calcul, appliqué aux valeurs moyennes du nombre de particules de 5 à 0,5 μ , conduit à des constatations identiques.

γ . D'autres expériences ont été effectuées dans une taille du Charbonnage de Ressaix, Leval, Péronnes, Sainte Aldegonde et Genck (41). Ce travail a consisté à comparer les empoussié-
rages en tête de taille et au pied de taille pendant l'abat-
tage, après tirs d'ébranlement avec ou sans ampoules Demelenne. L'augmentation du nombre de particules en suspension dans l'air entre pied et tête de taille est restée la même statistiquement parlant, c'est-à-dire que la différence entre les valeurs trouvées n'est pas significative au palier de confiance de 90 %. Nous avons obtenu des accroissements de 450 particules/cm³ de 5 à 1 μ et 820 particules/cm³ de 5 à 0,5 μ sans ampoules et respectivement 440 et 720 après le tir d'ébranlement effectué avec bourrage Demelenne.

δ . Entre nos premiers essais d'Arendonck et ceux du Gosson faits avec ampoules Demelenne, on nous a présenté des ampoules en matière plastique également renfermant, non plus de l'eau, mais une « charge coagulante » destinée à réduire la quan-

tité de poussières libérées par le tir en charbon (ampoules Jacolite) (41). Les éléments entrant dans la fabrication de la cartouche Jacolite sont : du silicate de soude, de l'huile soluble, de la poussière de Kieselguhr et de l'eau. Le Kieselguhr a été analysé : il contient $85,9 \pm 0,5 \%$ de silice libre (acide pyrophosphorique) et $90,55 \pm 0,21 \%$ de silice totale (évaporation fluorhydrique). Nous avons trouvé également que 50 % des particules étaient inférieures à 5 μ et que la quantité totale de particules de Kieselguhr par cartouche était de l'ordre de 500 milliards. Nous n'avons donc pas retenu cette cartouche telle qu'elle était proposée pour en faire un moyen de lutte contre les pneumoconioses. Il nous a cependant été demandé de vérifier expérimentalement le pouvoir agglutinant du silicate de soude en mélange avec un absorbant (le Kieselguhr). Ces essais ont eu lieu au Charbonnage de Gosson-Kessales, en même temps que ceux avec ampoules Demelenne.

Dans l'hypothèse la plus favorable, le taux de suppression des poussières en suspension au minage a été au maximum de 26 % pour les particules > 0,2 μ et 29 % pour tout ce qui est inférieur à 5 μ .

Pendant le pelletage, les concentrations moyennes en particules de 5 à 1 μ , ramenées à un même débit d'air, diffèrent significativement au palier de confiance de 95 %, mais pas au palier de confiance de 99 %, alors que les résultats bruts du comptage ne permettent pas de tirer la moindre conclusion. D'autre part, nous n'avons pas pu mettre en évidence une action manifeste résultant de l'agglutination des poussières.

En conséquence, abstraction faite de considérations relatives à la sécurité du tir, nous constatons que les ampoules Demelenne n'améliorent pas d'une façon suffisamment sensible les conditions de travail dans les chantiers souterrains pendant les travaux de pelletage et d'abattage du charbon. Au moment du minage, dans un montage et dans les circonstances particulières de ce montage, elles provoquent une élimination de l'ordre de 20 % des particules de 1 à 5 μ .

Quant aux ampoules Jacolite, bien qu'elles se soient montrées quantitativement un peu supérieures aux ampoules Demelenne au point de vue empoussié-
rage résultant, nous estimons qu'elles doivent être écartées en raison de l'accroissement de la teneur en silice de l'ensemble des particules captées au minage et pendant le pelletage.

2. — Ventilation et climatisation des mines profondes.

A. Etude de la ventilation par analogie électrique.

Deux problèmes de ventilation ont été soumis à l'Institut cette année. Le plus important est celui

posé par le Charbonnage du Rieu-du-Cœur et de la Boule Réunis. Le démarrage d'une nouvelle tranche en même temps que la poursuite de l'exploitation à un niveau supérieur oblige à utiliser, pour la tranche inférieure, des circuits de retour d'air compliqués et fort résistants. En fait, trois ventilateurs fractionnaires sont nécessaires, branchés chacun sur un circuit de retour séparé; deux de ces circuits reçoivent par ailleurs l'air revenant des chantiers de la tranche supérieure. Le problème consistait à répartir l'air entre les trois circuits de façon conforme aux besoins des chantiers de la tranche inférieure, tout en contrariant le moins possible la ventilation de la tranche supérieure. L'étude en question, déjà entamée en 1955, a été reprise au début de 1956 par suite de modifications dans le planning d'exploitation du charbonnage.

Le Charbonnage de Monceau-Fontaine nous a également soumis un problème de ventilation. Dans un des sièges de cette société, on envisageait diverses modifications simultanées des circuits d'aéragé (notamment l'ouverture de nouveaux chantiers, le remplacement d'un retour d'air très résistant par un autre moins résistant, ...). Ces modifications impliquaient le déplacement et peut-être le remplacement d'un ventilateur fractionnaire. L'étude entreprise a prouvé que les modifications proposées ne changeraient guère l'ouverture de la mine, mais augmenteraient l'ouverture de fonctionnement du ventilateur fractionnaire, ce qui obligerait à en remplacer au moins le rotor. Dans ces conditions, le charbonnage nous a demandé d'étudier en même temps la possibilité d'installer le ventilateur principal au fond; les caractéristiques de ce ventilateur ont été déterminées.

Pour chacun de ces problèmes, les charbonnages intéressés nous ont transmis des relevés détaillés des débits et des pertes de charge, à partir desquels nous avons pu calculer la résistance aérodynamique des éléments du schéma de ventilation. Rappelons que, par définition, cette résistance (K) vaut en kmurgues :

$$K = \frac{\Delta h}{Q^2}$$

h étant la perte de charge exprimée en kg/m^2 et Q le débit en m^3/sec . Dans le schéma électrique, l'analogue de K est le rapport R/I de la résistance au courant qui la traverse. En principe, pour les puits et galeries du moins, la caractéristique K peut être calculée à partir de la section, du périmètre et de la rugosité des parois. On peut écrire en effet

$$\Delta h = \lambda \delta \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = \lambda \delta \frac{L}{D} \frac{Q^2}{2gS^2} \quad [1]$$

avec les notations suivantes :

- λ : coefficient de pertes de charge essentiellement en fonction de la rugosité des parois;
- δ : poids spécifique (kg/m^3);
- D : diamètre hydraulique de la galerie (m), valant 4 fois le rapport de la section S (m^2) au périmètre P (m) dans le cas de sections non circulaires;
- L : longueur de la galerie (m);
- v : vitesse de l'air (m/sec);
- Q : débit de l'air (m^3/sec).

Cette façon d'exprimer la perte de charge est classique; mais on a souvent recours à d'autres formules. C'est ainsi qu'on exprime souvent les pertes de charge sous la forme

$$\Delta h = \frac{c PLv^2}{S} = \frac{cPLQ^2}{S^3} \quad [2]$$

c étant également un coefficient de friction dépendant de la rugosité des parois.

Enfin, on utilise encore la notion de résistance métrique k d'une galerie; cette résistance est telle que

$$\Delta h = k L Q^2 \quad [3]$$

La comparaison des formules [1], [2] et [3] donne :

$$k = \frac{cP}{S^3} = \frac{\lambda \delta P}{8gS^3} \quad \text{ou} \quad c = \frac{\lambda \delta}{8g} = \frac{kS^3}{P}$$

$$\text{ou} \quad \lambda = \frac{8gc}{\delta} = \frac{8gS^3k}{\delta P}$$

Seul le coefficient λ est indépendant du poids spécifique δ ; les valeurs qu'on trouve dans la littérature (42) pour des galeries à cadres sont de l'ordre de 0,060 à 0,100, ce qui laisse déjà une large incertitude lors des calculs de pertes de charge. D'autre part, dans les problèmes de ventilation, ce sont les résistances K (ou les résistances métriques $k = K/L$) qui doivent être connues puisqu'elles déterminent la répartition de l'air et la force aéromotrice à prévoir aux ventilateurs. Or, le calcul de K fait intervenir outre λ ou c les facteurs S et P , dont les valeurs sont très difficiles à déterminer en pratique, surtout lorsqu'ils varient beaucoup tout au long des galeries. On conçoit, dans ces conditions, que le calcul des pertes de charge dans des galeries minières comporte de gros aléas et c'est pour cette raison qu'il nous a toujours paru préférable jusqu'à présent de recourir à la mesure directe de la résistance aérodynamique des galeries minières avant l'étude de tout problème de ventilation. Les formules citées ci-dessus ne sont utilisées que dans une mesure restreinte pour calculer la résistance de galeries non existantes ou présentant des pertes de charge non mesurables, par comparaison avec celles pour lesquelles on dispose de mesures satisfaisantes.

Pour illustrer les considérations précédentes, nous donnons ci-après quelques valeurs des caractéristiques c , k et λ résultant de mesures effectuées à l'occasion des problèmes de ventilation qui nous ont été posés.

Les chiffres cités dans ce tableau se passent de tout commentaire.

en désignant par L la longueur (m), P le périmètre (m), S la section (m^2), Q le débit (m^3/sec) et g l'accélération de la pesanteur (m/sec^2). Les grandeurs non accentuées se rapportent aux dimensions brutes du puits, compte non tenu de la présence du guidonnage. Au contraire, P' , S' désignent le périmètre et l'étendue de la section la plus en-

TABLEAU V

Comparaison des coefficients k , c et λ pour divers types de galerie.

Description de la galerie	S m^2	P m	k murgue/m	c kg sec ² /m ⁴	λ
bouveau parfaitement rectiligne, cadres W, écartement 1 m entre cadres, 2 voies de roulage + rigole	7,5	11	0,0177	0,00068	0,041
bouveau pratiquement rectiligne, section peu régulière, cadres W ou de section équivalente, écartement 1 m entre cadres, section encombrée en divers endroits, sur une vingtaine de mètres rétrécissement important (remise à locomotives)	± 6,5	± 10,25	0,0603	0,00161	0,102
bouveau général de retour d'air équipé de cadres L-M, soufflage important et écrasement de la galerie à la clef	7 à 4,5	9,5 à 8,5	0,060 à 0,178	...0,00205	0,124
bouveau général d'entrée d'air équipé de cadres L-M espacés de 0,5 m (100 à 200 m de cadres renforcés par boisage anglé)	8,5	11	0,023	0,00130	0,079

B. Etude des pertes de charge dans les puits.

Nous avons déjà rendu compte dans ces colonnes de nos mesures de pertes de charge tant sur modèle que sur puits existants (2), (3), (40), (43). A la suite de ces essais, nous avons pu proposer et éprouver une méthode semi-empirique pour le calcul des coefficients de perte de charge des puits, tenant compte de la disposition des traverses, mais non de leur forme ou de leur écartement le long du puits.

Au cours de l'année écoulée, nous avons eu l'occasion de généraliser la formule donnée précédemment, que nous allons rappeler brièvement. Considérons d'abord le cas où le guidonnage ne divise pas le puits en plusieurs compartiments. On peut en calculer la perte de charge (en kgm/kg de fluide ou en m), par la formule

$$\Delta h = \lambda \frac{LPQ^2}{8gS^3} = \lambda' \frac{LP'Q^2}{8gS'^3} \quad [1]$$

$$\lambda' = \lambda \frac{P}{S^3} \left[\sqrt{\frac{S_a^3}{P_a}} + \sqrt{\frac{S_\beta^3}{P_\beta}} + \dots + \sqrt{\frac{S_\mu^3}{P_\mu}} \right]^2 \quad [3]$$

combrée et λ' le coefficient de pertes de charge correspondant. L'expérience montre que λ' varie dans des limites moins étendues que λ , parce que ce dernier est influencé non seulement par la rugosité de l'équipement, mais par son encombrement, alors que λ' est un paramètre lié plus spécifiquement à la rugosité. Entre λ' et λ , on a évidemment

$$\lambda' = \lambda \frac{P}{S^3} \cdot \frac{S'^3}{P'} \quad [2]$$

Cette formule peut être généralisée au cas où le puits est divisé par le guidonnage en plusieurs compartiments $\alpha, \beta \dots \mu$ qui, mesurés dans la section la plus encombrée, ont des périmètres $P_\alpha, P_\beta \dots P_\mu$ et des surfaces $S_\alpha, S_\beta \dots S_\mu$. On trouve alors

λ' étant le coefficient de friction moyen des divers conduits en parallèle en lesquels on peut diviser le puits. En comparant les valeurs de λ' dans divers cas, on constatait que ce paramètre dépendait dans une certaine mesure du profil et de l'écartement des traverses, mais qu'il était influencé de façon prépondérante par la fraction du périmètre total ($P_\alpha + P_\beta + \dots + P_\mu$) correspondant aux traverses. Pour des traverses de 22,5 cm de largeur espacées de 3,08 m dans un puits de 3,50 m de diamètre, on avait sensiblement

$$\lambda' = 0,027 \frac{P'_{\text{lisse}}}{P'_{\text{total}}} + 0,157 \frac{P'_{\text{rugueux}}}{P'_{\text{total}}} \quad [4]$$

en désignant par P'_{lisse} la partie de la somme $P_\alpha + P_\beta + \dots + P_\mu$ correspondant à la paroi du puits et par P'_{rugueux} la fraction relative aux traverses.

L'influence du profil des traverses, bien qu'évidente, n'avait pas jusqu'à présent fait l'objet d'études systématiques de notre part. Un important travail se rapportant à cette question a été publié au cours de l'année 1955 en Afrique du Sud (44). Les auteurs, après avoir mesuré avec précision la perte de charge d'un puits dont l'équipement est reproduit à la figure 9, en avaient reconstitué une

contenait de formes grossièrement aérodynamiques.

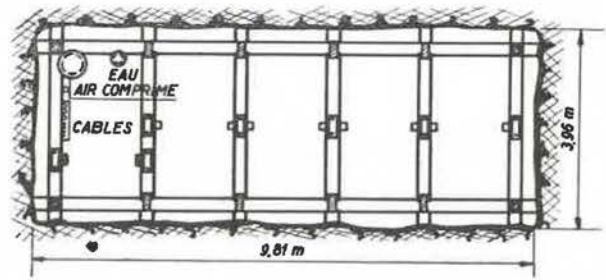


Fig. 9.

Ces conclusions sont-elles aussi valables pour nos puits de structure très différente? C'est ce que nous allons examiner. Nous pouvons tout d'abord calculer pour un puits donné le coefficient λ' obtenu en divisant le puits en compartiments. Pour le cas particulier du puits représenté à la figure 9, on le divisera en 17 compartiments: les 5 compartiments principaux et 12 plus petits compris entre le guidonnage et les parois, qui jouent un rôle non négligeable au point de vue des pertes de charge. On trouve ainsi $\lambda' = 0,0973$, c'est-à-dire une valeur moyenne parmi celles que nous avons trouvées pour nos puits. Les traverses correspondent à 70,5

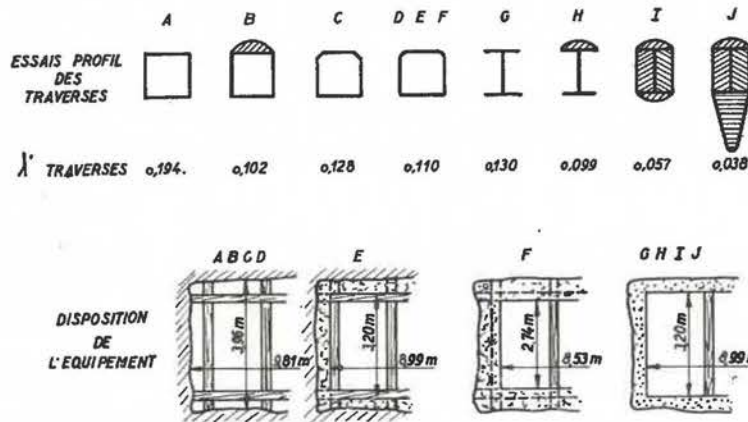


Fig. 10.

maquette strictement équivalente au point de vue des pertes de charge; ensuite, ils avaient sur cette maquette procédé à des modifications de l'équipement du puits et tout particulièrement du profil des traverses en vue d'en réduire la résistance. Nous reproduisons à la figure 10 les schémas des équipements et les profils des traverses ayant fait l'objet des études. Au tableau VI, nous avons rassemblé les résultats des essais sur maquette, en indiquant la valeur du coefficient λ et de la résistance K (en kmurgues/km). Il apparaît clairement que, dans le cas considéré, la modification du profil des traverses était avantageuse, même si l'on se

% du périmètre total des 17 compartiments, si bien que l'application de la formule [4] donnerait $\lambda' = 0,027 \times 0,295 + 0,157 \times 0,705 = 0,118$, soit 20 % de plus que la valeur réelle.

Ce premier calcul montre que notre méthode semi-empirique reste toujours applicable, même pour des puits de configuration très différente de ceux ayant fait l'objet de nos recherches. Cependant, dans nos essais sur modèles, les coefficients 0,027 et 0,157 correspondaient respectivement à une paroi lisse en planches et à un alignement de traverses espacées d'environ 3 m, de 22,5 cm de largeur mais de faible épaisseur. Cette simplifica-

TABLEAU VI

Pertes de charge λ et résistances spécifiques K pour divers équipements de puits.

Réf.	Types d'équipement	Coefficient de pertes de charge λ	Dimensions intérieures du revêtement du puits	Résistance spécifique K kmurgues/ km*
A	traverses horizontales de section carrée; parois extérieures brutes (rocher)	0,934	9,81 m \times 3,96 m	0,00699
B	traverses horizontales de section carrée surmontée de segment circulaire; parois extérieures brutes	0,515	9,81 m \times 3,96 m	0,00385
C	traverses horizontales de section carrée chanfreinée à la partie supérieure; parois extérieures brutes	0,624	9,81 m \times 3,96 m	0,00468
D	traverses horizontales de section carrée arrondie aux coins supérieurs; parois extérieures brutes	0,546	9,81 m \times 3,96 m	0,00408
E	traverses horizontales de section carrée arrondie aux coins supérieurs; enduit de béton tangent extérieurement aux traverses	0,491	8,99 m \times 3,20 m	0,00800
F	traverses horizontales de section carrée arrondie aux coins supérieurs; enduit de béton tangent intérieurement aux traverses	0,1565	8,53 m \times 3,20 m	0,00438
G	poutrelles I encastrées dans le revêtement de béton	0,205	8,99 m \times 3,20 m	0,00334
H	poutrelles I avec segment circulaire supérieur encastrées dans le revêtement de béton	0,164	8,99 m \times 3,20 m	0,00227
I	traverses de forme arrondie avec âme métallique encastrées dans le revêtement de béton	0,1045	8,99 m \times 3,20 m	0,00171
J	traverses aérodynamiques avec âme métallique encastrées dans le revêtement de béton	0,0785	8,99 m \times 3,20 m	0,00128

* $\delta_{\text{ref}} = 1,25 \text{ kg/m}^3$.

tion avait été admise pour faciliter la construction du modèle. Pour tenir compte de la rugosité réelle des parois et des alignements de traverses, nous écrirons la formule [4] sous la forme générale

$$\lambda' = \lambda'_{\text{parois}} \frac{P'_{\text{parois}}}{P'_{\text{total}}} + \lambda'_{\text{traverses}} \frac{P'_{\text{traverses}}}{P'_{\text{total}}} \quad [5]$$

(l'accent rappelant que toutes les grandeurs sont relatives à la section la plus encombrée). Pour chacune des dispositions de la figure 10, nous pouvons calculer λ' à partir des valeurs de λ (tableau VI), et de la formule [3]. Nous pouvons par ail-

leurs déterminer le rapport $\frac{P'_{\text{parois}}}{P'_{\text{total}}}$. Enfin, d'après

les essais effectués par les auteurs sur puits et sur maquette dégarnie, il faut prendre $\lambda'_{\text{parois}} = 0,067$ pour la roche nue et 0,018 pour du béton lisse. La formule [5] permet finalement de calculer les valeurs de $\lambda'_{\text{traverses}}$, valeurs inscrites à la figure 10

sous les profils correspondants. Les essais D, E et F, effectués avec des traverses de même profil, permettent deux vérifications satisfaisantes.

Si nous passons maintenant à un autre puits, l'application de la formule [5], avec les valeurs adéquates de λ'_{parois} et $\lambda'_{\text{traverses}}$ permet d'étudier l'influence du profil des traverses sur la résistance. Des applications numériques montrent que, si la contribution des traverses au périmètre total est importante, leur profilage permet d'abaisser notablement la résistance du puits. Le Charbonnage de Gosson-Kessales s'était proposé d'effectuer une telle modification dans un de ses puits de retour d'air et a demandé à l'Institut d'Hygiène des Mines de chiffrer au préalable le bénéfice réalisable dans ce cas particulier. La figure 11 représente l'équipement de ce puits: indépendamment du guidonnage, il comporte au total 21 tenues d'eau ou « creppes » dont certaines ne laissent libre que l'espace nécessaire au passage des cages. Une mesure préalable des pertes de charge nous a dès lors

paru nécessaire avant toute transformation. Dans ce but, une tuyauterie métallique de 234 m de longueur a été installée dans une partie du puits assez représentative de son ensemble; par ailleurs, une station de mesure des débits a été établie sur une des creppes entourant complètement l'espace réservé aux cages. Les mesures de perte de charge ont été réalisées, d'une part, au moyen d'un micro-baromètre « Barolux » placé alternativement aux deux extrémités et, d'autre part, au moyen d'un micromanomètre à tube incliné Fuess raccordé au tuyau métallique. Les débits ont été calculés par intégration des courbes de vitesse résultant des mesures par points successifs au moyen d'un anémomètre.

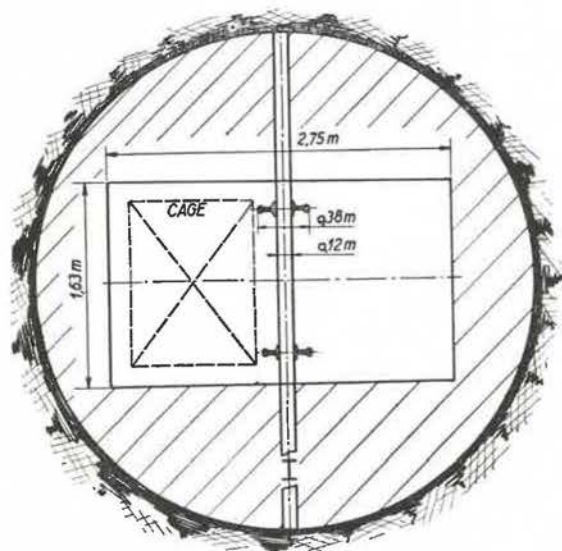


Fig. 11.

Les résultats bruts des mesures ont été affectés de diverses corrections tenant compte des variations du poids spécifique de l'air et de la section du puits, d'inégalités de température entre le courant d'air et le tuyau métallique, etc... Ils sont rassemblés au tableau VII.

La « résistance » du puits, conventionnellement définie comme étant la chute de pression (due aux pertes de charge) par 100 m et par m³/sec, vaut

donc en moyenne 0,0069 kg sec²/m⁸, tandis que le coefficient de pertes de charge λ vaut en moyenne 0,65. Ce dernier coefficient est anormalement élevé : nos essais sur modèle donnent des valeurs de l'ordre de 0,15 ... 0,20 pour des puits équipés de façon analogue. Dans le cas présent, les rétrécissements brusques de section dus aux « creppes » constituent donc l'essentiel de la résistance du puits au courant d'air; aussi le profilage des traverses n'eut-il donné ici qu'un avantage minime. C'est pourquoi on a entrepris tout d'abord le démontage des « creppes » et leur remplacement par des rigoles ne donnant lieu qu'à un faible rétrécissement de section.

Pour chiffrer la perte de charge due aux creppes, nous avons d'abord calculé par les formules [4] et [5] le coefficient λ pour les puits sans « creppes » : on trouve ainsi λ = 0,143, soit 22 % de la valeur mesurée sur le puits avec « creppes ». D'après ce calcul, les rétrécissements interviendraient dans les pertes de charge pour 78 %. Nous avons aussi essayé de chiffrer la perte de charge due à chaque rétrécissement de section par la formule de Belanger

$$\Delta p = \frac{\delta (v_{\max} - v_{\min})^2}{2g}$$

rigoureuse dans le cas où les vitesses sont parfaitement uniformes. Dans notre cas, la répartition des vitesses est assez éloignée de l'uniforme (fig. 12); on obtient cependant une approximation convenable en prenant pour v_{max} la vitesse moyenne dans la section la plus contractée, ce qui suppose la connaissance du coefficient de contraction. Nous avons admis pour celui-ci une valeur moyenne entre celle donnée dans la littérature spécialisée pour les diaphragmes et les tuyères. En opérant de la sorte pour chaque rétrécissement, nous avons finalement obtenu pour le grand débit une perte de charge globale de 22,68 mm H₂O, soit 66 % de la perte de charge mesurée et qui constitue la contribution des « creppes » dans la perte de charge globale du puits. Compte tenu des incertitudes

TABLEAU VII

Mesure des pertes de charge d'un puits de retour d'air.

	Essai à grand débit	Essai à faible débit
Débit (m ³ /sec)	45,7	35,0
(kg/sec)	57,2	43,25
Perte de charge (kg/m ²)		
méthode barométrique (236 m)	34,31	22,25
méthode du tuyau (234 m)	34,29	19,63
« Résistance » du puits par 100 m (kg sec ² /m ⁸)	0,00703	0,00684
Coefficient de pertes de charge	0,662	0,645

de ces deux méthodes de calcul, il faut admettre que les creppes contribuent à environ 70 % de la perte de charge globale.

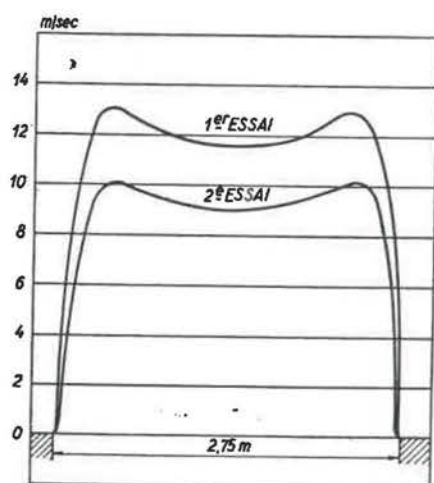


Fig. 12.

C. Contrôle de l'étanchéité de canars.

L'étanchéité d'une colonne de canars équipés de joints Mercier (corde imprégnée) a fait l'objet d'un contrôle au Charbonnage du Rieu-du-Cœur et de la Boule Réunis, environ un an après la pose de cette file de canars. En vue de ne pas perturber l'écoulement normal dans le canar, on a eu recours à la technique de mesure par sonde de Prandtl. Deux stations de mesure avaient été établies à 200 m de distance, les canars normaux y étant remplacés par des éléments pourvus d'orifice pour la mesure des vitesses, des pressions et des températures. Les canars, de diamètre 600 mm et de 4 m de longueur, étaient munis de brides à assembler par boulon et écrou. Comme il s'agissait d'éléments usagés, toutes ces brides n'étaient pas parfaitement planes. Il y avait aussi quelques clapets Briart lutés au mieux avant les essais. Tous les joints avaient été resserrés et les fuites anormales réduites au minimum.

Nous avons ainsi trouvé les résultats du tableau VIII.

TABLEAU VIII

Etude de l'étanchéité d'une colonne de canars.

	1 ^{re} station	2 ^{me} station
Vitesse moyenne	12,14 m/sec	11,42 m/sec
Poids spécifique moyen	1,320 kg/m ³	1,292 kg/m ³
Section	0,2807 m ²	0,2770 m ²
Débit moyen	4,497 kg/sec	4,087 kg/sec

La fuite d'air s'élevait donc à 0,41 kg/sec, soit 0,314 m³/sec au poids spécifique moyen 1,306 kg/m³. La perte de charge entre les deux points con-

sidérés s'élevait à 75,4 mm H₂O; la différence de pression entre le canar et la galerie variait entre les deux stations de 170,5 mm H₂O à 70 mm H₂O.

Pour comparer ces résultats à ceux d'autres expérimentateurs, il faut prendre en considération le nombre de joints et le diamètre des canars. La longueur totale des 52 joints compris entre les stations de mesure atteignant 98 m, la fuite par mètre de joint vaut donc

$$Q_f = 314/98 = 3,2 \text{ l/s,m.}$$

On admet généralement (45) que la fuite est proportionnelle à la racine carrée de la pression qui la provoque :

$$Q_f \text{ (l/s)} = 1.000 \theta_1 \sqrt{\Delta p}$$

θ_1 désignant le coefficient de fuites. Comme nous ignorons la répartition de Δp le long du canar, nous calculerons θ_1 en posant $\Delta p = 120 \text{ mm H}_2\text{O}$, valeur moyenne arithmétique des mesures effectuées aux stations terminales. On trouve alors

$$\theta_1 = \frac{3,2}{1.000 \times \sqrt{120}} = 291 \times 10^6$$

Ce coefficient est de l'ordre de celui correspondant aux mêmes brides avec joints intercalaires plats en caoutchouc toilé, soit 316×10^6 ; cette dernière valeur a été obtenue par P. Ledent sur des canars de 400 mm, neufs au moment de la pose dans les chantiers souterrains. Comme dans notre cas, les éléments étaient usagés et que les clapets Briart introduisaient quelques fuites supplémentaires, on peut estimer que le joint essayé, bon marché et facile à l'usage, donne en service au fond une étanchéité au moins aussi bonne que celle de joints plats en caoutchouc toilé.

D. Etude du climat minier.

a. Thermique minière.

D'une façon générale, les études antérieures de l'Institut concernant les facteurs du climat minier ont été basées sur des mesures quasi instantanées des températures sèche et humide et des débits d'air. Ces mesures peuvent être rendues très précises, mais elles restent trop tributaires de facteurs tels que la cadence de la production, les perturbations de l'aérage ou du transport, etc... Il est donc intéressant de disposer de relevés portant sur une longue période, grâce à la technique de l'enregistrement des températures, humidités et débits d'air. Pour ces relevés de longue durée, on ne trouve guère jusqu'à présent d'appareils qui soient à la fois précis, robustes et présentant toute sécurité

d'emploi au fond de la mine. Nous avons cependant acquis, au cours de l'année 1956, divers types d'appareils et nous avons cherché à les adapter aux conditions du fond. Bien que les délais de livraison élevés de ces appareils aient fortement retardé le démarrage de cette étude, nous pouvons espérer dès à présent utiliser une méthode d'enregistrement électrique à distance des températures, basée sur l'emploi de résistances à coefficient de température négatif comme éléments thermosensibles. L'enregistrement du débit d'air est aussi à l'étude, mais on se heurte ici à de plus grandes difficultés. Jusqu'à nouvel ordre, nous ne disposons que d'anémomètres totalisateurs qui donnent la vitesse moyenne en un point sur une longue période (une semaine par exemple).

À partir des mesures de températures sèche et humide, ainsi que des débits, il est le plus souvent nécessaire de calculer les enthalpies et humidités absolues de l'air, d'où l'on déduit ensuite les apports horaires de chaleur et d'humidité dans l'air. Pour faciliter ce travail, il est utile de disposer d'un diagramme psychrométrique (j,x) à grande échelle. Les calculs nécessaires à la construction d'un tel diagramme, valable par ailleurs pour toute pression, ont été exécutés avec l'aide de machines à cartes perforées I.B.M. en se basant sur les tables les plus récentes de la vapeur d'eau. La publication de ce diagramme est en préparation.

Enfin, les apports horaires de chaleur et d'humidité dans l'air sont fonction d'un ensemble de facteurs auxquels ils sont liés par des lois physiques compliquées. Il est possible de grouper tous ces facteurs en 4 paramètres fondamentaux qui conditionnent l'évolution de l'air dans les galeries. Nous avons également demandé à l'I.B.M. d'effectuer les calculs nécessaires au tracé de courbes-types d'évolution de l'air pour diverses valeurs de ces paramètres. Ce travail est en cours.

Lorsque nous aurons effectué, dans un nombre important de galeries, des relevés des températures et mesuré les valeurs correspondantes des facteurs déterminants du climat, nous disposerons d'une statistique qui nous permettra de prévoir avec une bonne approximation les conditions climatiques dans des travaux non encore existants.

b. Température originelle des roches de houiller.

À la demande des Houillères d'Anderlues, nous avons procédé à la mesure de la température originelle des roches à l'étage de 1 100 m, de façon à estimer le risque de difficultés climatiques lors de la mise en exploitation de cet étage. On a, dans ce but, inséré 7 couples thermoélectriques dans un trou de sonde de quelque 8 m de longueur foré en montant sous une inclinaison de 45° dans la paroi du bouveau. En désignant par T_0 , $T_{1/2}$ et T_1 les températures relevées à la paroi, à mi-profondeur

et au fond du trou, on a obtenu la température originelle T_r des roches par la formule d'extrapolation établie par De Braaf (46) et qui s'écrit

$$T_r = \frac{T_{1/2}^2 - T_0 T_1}{2 T_{1/2} - (T_0 + T_1)}$$

On a ainsi trouvé $T_r = 34^\circ \text{C}$. En admettant à la surface une température moyenne de 10°C , on en déduit un degré géothermique de $45,5 \text{ m}/^\circ\text{C}$. Cette valeur est à comparer avec celle de $51 \text{ m}/^\circ\text{C}$ que nous avons relevée antérieurement dans un siège voisin du Charbonnage de Fontaine-l'Évêque. Elle ne se justifie pas uniquement par l'existence d'une centaine de mètres de morts-terrains.

Les résultats obtenus permettent encore de calculer approximativement la diffusivité thermique de la roche entourant le bouveau où ont eu lieu les mesures. En effet, la théorie des écoulements calorifiques autour d'une galerie cylindrique de

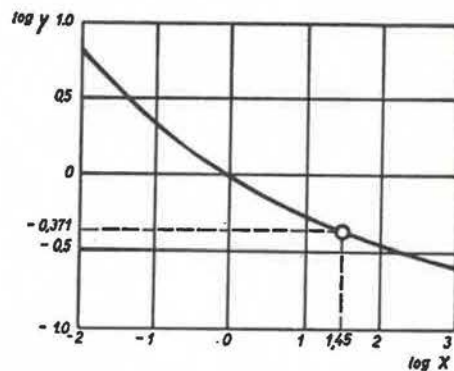


Fig. 15.

longueur infinie permet d'établir une relation généralement présentée sous forme d'une courbe $y = f(x)$ entre les deux grandeurs sans dimensions suivantes (figure 13) :

$$y = R\Phi/\lambda\Delta t \quad \text{et} \quad x = a\tau/R^2$$

les symboles ayant la signification suivante :

- R : rayon du bouveau cylindrique (m),
- Φ : flux calorifique à la paroi du bouveau (kcal/m² h),
- λ : conductibilité thermique des terrains (kcal/m h °C),
- Δt : écart de température (supposé constant) entre la roche profonde et la paroi (°C),
- a : diffusivité thermique inconnue (m²/h),
- τ : temps écoulé entre l'abaissement de température de la paroi T_r jusqu'à T_0 (heures).

En pratique, nous pouvons estimer R égal au rayon du cercle de même surface que la section droite de la galerie; d'autre part, le rapport Φ/λ n'est autre que le gradient de température à la

paroi $(dt/dr)_0$, mesurable par extrapolation de la courbe des températures dans le sondage; enfin $\Delta t = T_r - T_0$ est également connu une fois T_r calculée. On a trouvé ainsi $y = 0,425$, d'où $\log. y = -0,371$. A cette valeur correspond $\log. x = 1,45$ d'où $x = 28,2$, d'où ensuite $a = 0,0235 \text{ m}^2/\text{h}$.

La diffusivité a étant calculée, on peut estimer la conductibilité thermique λ par la formule

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}$$

en attribuant à c , chaleur spécifique du terrain, la valeur moyenne $0,2 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$ et à ρ , poids spécifique, l'ordre de grandeur 2.700 kg/m^3 . On trouve ainsi $\lambda = 540 a = 12,6 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$. La tolérance sur cette estimation est assez large, il est vrai (de l'ordre de 20 %); la valeur ainsi obtenue est cependant très élevée.

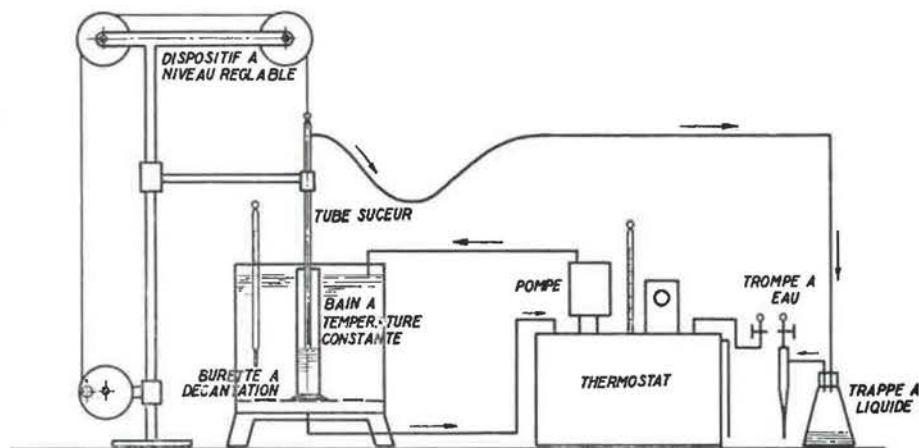


Fig. 14.

Il est logique qu'une conductibilité élevée corresponde à un degré géothermique long, le flux calorifique moyen de l'intérieur de la terre vers l'atmosphère étant pratiquement constant à la surface du globe (sauf perturbation locale par suite de volcanisme) ... A ce flux correspond donc une valeur constante du produit $\lambda \text{ grad. t}$; si λ est grand, le gradient de température suivant la verticale sera petit et vice-versa. Or, le gradient thermique ($^\circ\text{C/m}$) en question est inversement proportionnel au degré géothermique ($\text{m}/^\circ\text{C}$). On en conclut qu'une conductibilité λ élevée correspond à un degré géothermique long et vice-versa. Nous en trouvons une vérification dans les chiffres trouvés pour le degré géothermique moyen à Anderlues ($45 \text{ m}/^\circ\text{C}$) et pour la conductibilité des roches à l'étage considéré (de l'ordre de $12 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$).

3. — Travaux divers de laboratoire.

A. Préparation et contrôle de poussières de granulométrie fine.

Nous avons poursuivi nos essais de décantation en milieu liquide. Dans ce but, la poussière passée au tamis Tyler n° 400 (ouverture 37μ) est mise en suspension dans l'eau d'un large cylindre maintenu à température constante par un courant d'eau provenant d'un thermostat. La décantation se fait conformément à la loi de Stokes (47). La récupération de la partie fine se fait très facilement par l'immersion progressive d'un tube d'aspiration relié à un réservoir et une trompe à eau. Malgré sa simplicité, cette façon d'opérer garantit un minimum d'agitation de la suspension, puisque l'aspiration au voisinage de la limite de séparation choisie ne se fait qu'au dernier moment. Le dispositif, schématisé à la figure 14, ne nécessite aucune verrerie spéciale et nous a donné de bons résultats.

Cette méthode nous a permis de préparer plusieurs échantillons de granulométries différentes, dont plusieurs dizaines de grammes de particules inférieures à 5μ . Des poudres de quartz ont été ainsi séparées à des fins biologiques et physico-chimiques. En dessous de 5 microns, nous avons adopté une température de décantation de 45°C , ce qui permet une économie de temps de près de 50 %. Avec le concours d'un agent peptisant, le montage adopté permet l'analyse granulométrique d'une poudre fine selon la méthode d'Andreasen.

B. Analyses diverses.

Dans le courant de l'année, nous avons procédé à l'analyse de 4 échantillons d'eau souterraine et de 3 prélèvements d'air captés dans les chantiers. Ces études étaient justifiées par des problèmes particuliers, tels que le choix de l'aérage en vue

TABLEAU IX

Développement des tailles auxquelles sont appliqués régulièrement des traitements humides.

Situation provisoire au début de 1957 comparée à la situation au 1^{er} janvier 1956.

Bassins administratifs	Campine		Liège		Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957
Années de référence	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957
Longueur des fronts déhouillés (m)	19.261	19.976	24.037	22.654	32.606	32.536	12.142	12.420	13.857	12.619	101.903	100.205
I. Traitements appliqués au point de formation des poussières.												
1. Arrosage des fronts	4.854	5.840	—	300	831	2.545	—	150	570	135	6.255	8.970
2. Injection d'eau en veine	8.752	9.853	1.025	1.105	1.525	3.427	1.948	2.035	1.347	1.284	14.597	17.704
3. Havage humide	3.696	3.396	680	470	—	200	—	—	—	—	4.376	4.066
4. Emploi de piqueurs à pulvérisation d'eau ...	5.073	6.205	5.195	4.947	4.930	5.654	1.462	718	578	120	17.238	17.644
Longueur totale traitée	22.375	25.294	6.900	6.822	7.286	11.826	3.410	2.903	2.495	1.539	42.466	48.384
II. Longueur des fronts traités par plusieurs de ces procédés à la fois												
	6.138	8.084	500	470	—	—	—	—	—	—	6.638	8.554
III. Longueur des fronts traités par un de ces procédés combinée à la pulvérisation d'eau dans la taille												
	2.852	4.173	—	—	2.432	—	—	—	115	—	5.399	4.173
IV. Longueur des fronts traités par pulvérisation d'eau au dessus des engins d'évacuation en taille												
	2.852	4.808	2.255	3.417	9.414	8.320	3.139	2.932	1.534	3.284	19.194	22.761
V. Longueur des fronts naturellement humides ou peu poussiéreux												
	1.186	2.994	4.321	4.799	3.670	4.750	3.300	1.215	3.085	4.164	15.562	17.922

de diluer des venues d'hydrogène sulfuré, les précautions à prendre pour la protection de la peau contre toute irritation.

Les analyses d'air ont été effectuées avec le concours de l'appareil-absorbeur R 6 déjà décrit (2). Quant aux analyses d'eau, elles ont porté principalement sur leur salinité en général et leur teneur en ions chlore, sulfate, calcium et sodium en particulier.

C. Etalonnage d'instruments de mesure.

L'Institut d'Hygiène des Mines a continué à assurer le tarage des instruments de mesure suivant les méthodes précédemment mises au point. Cinquante neuf anémomètres et 4 baromètres, appartenant à l'Administration des Mines et aux différents charbonnages du pays, ont été étalonnés au cours de l'année 1956.

4. — Enquêtes.

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 pour lutter contre les poussières (48).

Nous sommes à même de donner en plus les résultats provisoires de la situation telle qu'elle se présente au début de l'année 1957. On trouvera au tableau IX le développement des tailles auxquelles sont appliqués 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 en taille. Nous avons également ajouté la longueur des fronts traités par pulvérisation d'eau au-dessus des engins d'évacuation en taille et celle des fronts naturellement humides ou peu poussiéreux.

Au tableau X, 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. Dans un cas comme dans l'autre, travail en taille ou creusement des préparatoires, nous enregistrons pour l'ensemble du pays un léger progrès par rapport à l'année précédente.

BIBLIOGRAPHIE

(1) 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.

(2) HOUBERECHTS, A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1952. — Annales des Mines de Belgique, 1953, T.52, 325/360.

TABLEAU X

Moyens de prévention normalement mis à la disposition du personnel dans les travaux préparatoires au cours des opérations de foration.

Situation provisoire au début de 1957 comparée à la situation au 1^{er} janvier 1956.

(Bouveaux, bacures, chassages, burquins, approfondissements de puits,...)

Bassins administratifs	Campine		Liège		Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957
Années de référence ... ..	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Nombre de fronts en creusement	127	127	91	92	123	147	42	36	44	69	427	473
Fronts équipés de :												
1. Capteurs pour foration à sec	12	13	19	19	37	45	20	16	—	—	88	93
2. Perforateurs à adduction latérale d'eau	32	53	20	19	2	—	2	2	8	3	64	77
3. Perforateurs à injection centrale d'eau	72	61	31	36	52	69	14	10	27	36	196	212
Fronts avec prévention	116	127	70	74	91	114	36	28	35	39	348	382

- (3) HOUBERECHTS, A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1951. — *Annales des Mines de Belgique*, 1952, T.51, 5, 285/312.
- (4) LAVENNE, F., GIELEN, E. et PESTIAUX, J. — Recherches sur la pneumoconstriction après le travail et sur la pneumodilatation par aérosols chez les houilleurs. — in *Comptes rendus du XI^{ème} Congrès International de Médecine du Travail*, Naples, 1954, 80/81.
- (5) HOUBERECHTS, A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1953. — *Annales des Mines de Belgique*, 1954, T.53, 3, 297/327.
- (6) LAVENNE, F. et BELAYEW, D. — Problèmes médicaux soulevés par le travail aux températures élevées. 2^{ème} partie : Etat cardiaque et circulatoire de mineurs ayant travaillé durant au moins 5 ans aux hautes températures. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1954, n° 117, 24 p.
- (7) FLEISCH, A. — Le métabographe : appareil pour l'enregistrement direct chez l'homme de la consommation d'oxygène, de la production de gaz carbonique, de l'amplitude respiratoire, du débit et de l'équivalent ventilatoires et du quotient respiratoire. — *Helvetica Physiologica et Pharmacologica Acta*, 1953, 11, 361/394.
- (8) SIMONIN, C. — Médecine du Travail. — Paris, Maloine, 2^{ème} édition, 1956, 1048 p.
- (9) ROSSIER, P.H. — A propos de la physiopathologie de l'asthme. in *Comptes rendus du Congrès de l'Asthme du Mont Dore*, 1950, juin, 67/84.
- (10) CARA, M. et SADOUL, P. — Essai de sémiologie spirométrique appliquée à la pneumologie. — *Le Poumon*, 1953, 9, 295/327.
- (11) ROSSIER, P.H. — L'épreuve à l'adrénaline : un test de fonction bronchique. — *Revue Médicale de la Suisse Romande*, 1949, 69, 686/696.
- (12) WIJSS, F. et WILBRANDT, W. — Die quantitative pneumometrische Beurteilung asthmatische Zustände und ihre pharmakotherapeutischen Beeinflussung. — *Hel. Med. Acta*, 1945, 12, 819/835.
- (13) TIFFENEAU, R. et BEAUVALLET, M. — Production exclusive d'effets pulmonaires locaux par inhalation d'aérosols d'acétylcholine. Son utilisation comme test d'insuffisance respiratoire. — *La Sem. des Hôpitaux de Paris*, 1945, 21, 154/155.
- (14) TIFFENEAU, R. et DRUTEL, P. — Les aérosols d'acétylcholine dans l'exploration fonctionnelle des poumons. Etude de leurs actions motrice et sensitive. Applications pratiques. — *Le Poumon et le Cœur*, 1955, 11, 385/468.
- (15) SADOUL, P. — Exploration de la fonction pulmonaire dans les pneumoconioses. — in *Comptes rendus du 27^{ème} Congrès International de Langue Française, de Médecine du Travail, Médecine Légale, Médecine Sociale*, Strasbourg, 1954, 62/240.
- (16) RUYSSSEN, L., DECHOUX, J. et LAURENS. — Les formes dites pseudotumorales dans les pneumoconioses des mineurs de charbonnages. Retentissement fonctionnel. Pronostic. Thérapeutique. — Rapport présenté aux 5^{ème} Journées Françaises de Pathologie Minière, Paris, 25-26 octobre 1956 (sous presse).
- (17) SHLOMO-HESTRIN. — The Reaction of acetylcholin and other carboxylic acid derivatives with hydroxylamine and its analytical application. — *J. Biol. Clin.*, 1949, 180, 249/261.
- (18) HAWK, P., OSER, B. et SUMMERSON, W. — *Practical Physiological Chemistry*. — London, J. et A. Churchill, 1954, 1439 p.
- (19) SCHMIDT, O. et VAN STACKELBERG, G. — Etude de l'effet broncho-spasmolytique de la l- et d- isopropyl-nor-adrenaline comparativement à l'isopropyl-nor-adrenaline racémique. — *Schweiz. med. Woch.*, 1954, 84, 1345/1346.
- (20) MINETTE, A., THERASSE, F. et VAN WYMEERSCH, L. — Action des poussières et d'agents pharmacodynamiques sur la fonction respiratoire. 4^{ème} partie : Râles sibilants et bronchosténose. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1956, n° 141, 24 p.
- (21) FLETCHER, C.M. — Pneumoconiosis of coal-miners. — *Brit. Med. Journal*, 1948, 1, 1015/1024 et 1065/1076.
- (22) 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, n° 136, 41 p.
- (23) ADLER, H. — Phthisiogenetic Considerations based on Tomographic Analysis of 320 Consecutive Cases of Localised Pulmonary Tuberculosis in Adults. — *Dis. Chest.*, 1953, 24, 191/204.
- (24) THOMAS, K. et STEGEMANN, H. — Isolierung und Eigenschaften der Fremdstäube aus Lungen. — *Die Staublungenerkrankungen*, Band 2, Darmstadt, Steinkoff, 1953, 172/182.
- (25) THOMAS, K. et STEGEMANN, H. — Darstellung der Fremdstäube aus Lungen und ihre Eigenschaften. — *Beitr. Silik. Forschung*, 1954, Heft 28, 3/30.
- (26) KING, E.J., MAGUIRE, B.A. et NAGELSCHEMIDT, G. — Further Studies on the Dust in Lungs of Coal-miners. — *Brit. J. Industr. Med.*, 1956, 13, 9/23.
- (27) SCHMORL. — Ueber die Beziehungen anthrakochaliktischer bronchialer Lymphknoten zu Bronchialerkrankungen und über Bronchitis. deformans. — *Munch. Mediz. Wochschr.*, 1925, N° 19, 757.
- (28) WATJEN, J. — Ueber Lungenhilusveränderungen und ihre Bedeutung bei Staublungen. — *Arch. f. Gewerbepath. u. Gewerbehyg.*, 1944, 12, 171/197.
- (29) LEICHER, F. — Ueber die Silikosis des Mediastinalen Lymphknoten und ihre Komplikationen. — *Virch. Arch.*, 1948, 315, 341/374.
- (30) ROUVIERE, H. — Les vaisseaux lymphatiques des poumons et les ganglions intrathoraciques. — *Ann. Anat. path. et Anat. norm. méd. chir.*, 1929, 6, 113/158.
- (31) MAC VITTIE, J.C. — Pneumoconiosis in Coal Miners. — *Postgraduate Med. J.*, 1949, 25, 618/631.
- (32) ROCHE, L. — Valeur de la tomographie dans l'expertise de la silicose. — *Brit. J. Indust. Med.*, 1951, 8, 236/243.
- (33) di BIASI, W. — Pathologische Anatomie der Silikose. — *Beiträge zur Silik. Forsch.*, 1949, Heft 3, 95 p.
- (34) GIACOMELLI, V., MAZZELIA, A. et SETTI, G.C. — Ricerche sulla morfogenesi dei vasi linfatici del pomone umano. — *Ateneo Parmense*, 1955, 26, 99/126.
- (35) WATSON, H.H. et HOUNAM, R.F. — Assessing Airborne Dust The P.R.U. Hand-Pump Outfit. — *Colliery Guardian*, 1948, 176, n° 4551, 447/450.
- (36) CATCHPOLE, D.H.J., GREENHAM, R.E., WHITE, E. — Airborne Dust. Correlation of Thermal Precipitator with P.R.U. Hand-Pump. — *Colliery Guardian*, 1952, 185, n° 4791, 792/796.
- (37) DAWES, J.G. — Hand-Pump Sampling in Coal Dust Clouds : Optical Density Method. Ministry of Fuel and Power, Safety in Mine Research Establishment. — *Research Report 83*, janv. 1954, 24 p.
- (38) CARTIGNY, S. — Dosage de la silice dans les poussières de roches. 1^{ère} partie : Détermination de la silice totale par voie chimique. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1956, n° 138, 51 p.
- (39) HOUBERECHTS, A. et DEGUELDRE, G. — Essais de masques anti-poussières. 1^{ère} partie. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1953, n° 110, 7 p., 12 fig.

(40) HOUBERECHTS, A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1954. — *Annales des Mines de Belgique*, 1955, 3^{me} livraison, 375/410.

(41) DEGUELDRE, G. — Ampoules anti-poussières pour tirs en charbon. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1956, n° 139, 35 p.

(42) BIDLOT, R. et LEDENT, P. — Etude expérimentale de l'influence de l'équipement d'un puits sur les pertes de charge subies par le courant de ventilation. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1950, n° 69, 15 p.

(43) HOUBERECHTS, A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1950. — *Annales des Mines de Belgique*, 1951, 3, 316/333.

(44) BARCZA, M., MARTINSON, M.J. et PYNE MERCIER, G.S. — An Investigation into the Resistance to Airflow of

N° 5 Shaft, City Deep Ltd. — *J. of the Chemical Metallurgical and Mining Society of S.Africa*, 1955, 56, n° 2, 49/82.

(45) LEDENT, P. — Les joints de canalisations d'aérage en caoutchouc. — *Annales des Mines de Belgique*, 1955, 4, 679/691.

(46) BIDLOT, R. et LEDENT, P. — Détermination de la température originelle des roches dans cinq charbonnages belges. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1948, n° 46, 5 p.

(47) PATIGNY, J. et CARTIGNY, S. — Etude du Midget Scrubber D.18. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1953, n° 115, 54 p.

(48) DEGUELDRE, G. — La lutte contre les poussières dans les charbonnages belges. Situation au début de l'année 1956. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1956, n° 134, 18 p.