

# L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1955

(1<sup>re</sup> Partie)

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. — *Prospection médicale systématique.*
2. — *Examens spéciaux effectués à l'Institut d'Hygiène des Mines. — Recherches sur l'incidence des cardiopathies chez les houilleurs.*
  - A. - Intérêt d'une recherche sur l'incidence des cardiopathies chez les houilleurs.
  - B. - Matériel et méthodes de travail.
  - C. - Résultats.
  - D. - Discussion des résultats.
  - E. - Conclusions pratiques concernant les conditions d'embauchage et de pension des houilleurs.
3. — *Recherches sur la bronchoconstriction due aux poussières et la bronchodilatation par aérosols.*
  - A. - Bases physiologiques et intérêt pratique des recherches.
  - B. - Influence du travail poussiéreux sur le calibre bronchique.
  - C. - Action des aérosols bronchodilatateurs après le travail en milieu poussiéreux.
  - D. - Conclusions de la recherche. Place des aérosols bronchodilatateurs dans la prophylaxie et la thérapeutique des pneumoconioses.
4. — *Mise au point de techniques au laboratoire d'exploration fonctionnelle pulmonaire.*

- A. - Mesures de la température à l'intérieur du spiromètre au cours des diverses épreuves spirométriques.
- B. - Mesures du volume résiduel par la méthode à l'hélium en circuit fermé. — Courbes d'étalonnage expérimentales et théoriques.

#### II. — Travaux de la section technique.

1. — *Lutte contre les poussières.*
  - A. - Analyse des poussières.
  - 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. - Réfrigération des chantiers souterrains.
  - C. - Travaux dans le domaine de la thermique minière.
3. — *Travaux de laboratoire.*
  - A. - Etude d'un appareil pour prélèvements de gaz.
  - B. - Préparation de poussières de petites dimensions.
  - C. - Etude granulométrique des fines poussières.
  - D. - Etalonnage d'instruments de mesure.

#### III. — Enquêtes, documentation et conférences. Bibliographie.

## INTRODUCTION

Cet article relatif à l'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1955 constitue la suite traditionnelle des rapports publiés dans les Annales des Mines de Belgique depuis 1948.

Bien que la plupart des recherches effectuées aient fait l'objet d'une Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, nous résumerons, comme chaque année, les travaux entrepris tant au point de vue

médical que technique, ainsi que les résultats les plus intéressants enregistrés.

Nous profiterons également de cette publication pour décrire certaines expériences dont l'ampleur ne justifie pas la rédaction d'une Communication régulière de l'Institut, mais qui présentent néanmoins un intérêt pratique indéniable.

## I. — TRAVAUX DE LA SECTION MEDICALE

## 1. — Prospection médicale systématique.

Utilisant le car radiologique, le Service Médical de l'Institut d'Hygiène des Mines a revu, au cours de l'année 1955, la population souterraine des trois sièges d'un charbonnage du Bassin de Liège. L'image pulmonaire de 1.210 ouvriers a été contrôlée sur des radiophotographies de l'écran de format 10 × 12 centimètres.

Le tableau I permet de comparer les résultats de ces examens avec ceux de la révision effectuée deux ans auparavant (1).

systématiques périodiques remplissent leur rôle. L'écartement des travaux souterrains des ouvriers reconnus tuberculeux permet non seulement de les traiter adéquatement, mais il diminue en même temps le risque de contagion pour leurs compagnons de travail.

On peut se poser la question de la valeur comparée de la radiophotographie de l'écran et de la radiographie grand format, en vue du dépistage des pneumoconioses. Une étude comparative a été réalisée par D. Belayew et E. Gielen sur les radiogra-

TABLEAU I.  
Comparaison des protocoles radiologiques  
d'un même charbonnage en 1953 et 1955  
(population totale du fond).

Images	1953	1955
Normales et subnormales	84,08 %	83,38 %
Micronodulaires	11,19 %	12,81 %
Nodulaires	0,74 %	0,75 %
Condensations non définies	5,15 %	2,56 %
Pseudotumeurs	0,84 %	0,50 %

Une tuberculose surajoutée avait été suspectée en 1953 dans 1,77 % des cas. Une telle suspicion n'a cette fois été retenue que dans 0,08 % des cas.

Si les pourcentages d'images micronodulaires et nodulaires restent pratiquement inchangés, on note une légère diminution des cas de condensations non définies et de pseudotumeurs et surtout du pourcentage d'images suspectes de tuberculose évolutive. Cette dernière diminution prouve que les examens

de 589 ouvriers d'un siège de Campine. Ceux-ci, mineurs de longue date, puisqu'ils avaient déjà été examinés en 1946-1947, et constituant ainsi un groupe sélectionné, ont subi en 1954 une radiographie grand format protocolée par D. Belayew, et une radiophotographie de l'écran sur format 10 sur 12 cm, protocolée par E. Gielen.

La comparaison des résultats globaux de ces deux protocoles est illustrée dans le tableau II.

TABLEAU II.  
Comparaison des protocoles de radiographies grand  
format et de radiophotographies de l'écran de  
589 mineurs (ayant au moins 10 ans de fond).

Images	Radiographies grand format		Radiophotographies 10 × 12 cm	
Normales et subnormales	255	43,4 %	284	48,2 %
Micronodulaires	192	32,7 %	161	27,4 %
Nodulaires	55	9,1 %	54	9,1 %
Pseudotumeurs	71	12,0 %	80	13,6 %
Condensations non définies	16	2,8 %	10	1,7 %

Cet examen comparatif suggère une sensibilité légèrement plus grande de la radiographie grand format pour la détection des stades de début de la pneumoconiose. Cet avantage disparaît lorsqu'il s'agit d'images nodulaires, condensées ou pseudotumorales. Il en est de même d'ailleurs pour les formes de tuberculose évolutive.

Il ne faut toutefois pas en tirer des conclusions trop hâtives. On doit tenir compte, en effet, du fait que les deux séries de clichés ont été lues par des médecins différents. Ceux-ci, bien qu'habituellement à travailler ensemble, peuvent différer légèrement d'optique en ce qui concerne la limite inférieure du stade micronodulaire.

Aussi, l'Institut d'Hygiène des Mines a-t-il entrepris une étude plus systématique de la comparaison des diagnostics émis à partir de radiographies grand format et de radiophotographies de l'écran de formats  $10 \times 12$  cm et  $7 \times 7$  cm. Les trois types de clichés avaient été enregistrés dans les meilleures conditions techniques possible, chez 50 houilleurs pour la plupart atteints de formes de début de la pneumoconiose. On a choisi 16 médecins en fonction de leur habitude de lire, soit des grands, soit des petits formats, et chacun d'eux a protocolé deux fois, à quinze jours d'intervalle, les trois séries de clichés. On a ainsi pu comparer les diagnostics posés, en fonction du format du cliché, ainsi que la reproductibilité du diagnostic après un intervalle de quinze jours, pour un même format. Dans cette étude, qui a été voulue aussi impartiale que possible, on a dû tenir compte des multiples variables, notamment des perturbations causées par la fatigue. Ces dernières ont été pratiquement éliminées par un roulement dans l'ordre de présentation des clichés.

Les résultats de ce travail seront publiés après l'achèvement de l'étude statistique actuellement en cours. Il est sage d'attendre cette publication avant de se faire une idée définitive de la valeur des procédés de radiophotographie de l'écran actuellement en usage, en vue du diagnostic précoce des pneumoconioses.

On peut toutefois dès maintenant affirmer que la qualité des clichés, quelles que soient leurs dimensions, constitue une condition d'importance beaucoup plus grande que le format lui-même à un diagnostic correct.

## 2. — Examens spéciaux effectués à l'Institut d'Hygiène des Mines. — Recherches sur l'incidence des cardiopathies chez les houilleurs.

Au cours de l'année 1955, 299 ouvriers ont été envoyés à l'Institut d'Hygiène des Mines par les services médicaux des charbonnages des divers bassins du pays, en vue de préciser un diagnostic difficile. De plus, 87 mineurs ont été examinés à la

demande des Caisses de pensions afin de décider du degré d'invalidité, et 8 sujets ont été convoqués directement par le service médical de l'Institut afin de contrôler leur évolution.

Cela porte à 594 le nombre d'examens spéciaux pratiqués à l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1955. Dans la presque totalité des cas, ils ont comporté à la fois des investigations cliniques, de laboratoire, radiologiques et souvent tomographiques, électrocardiographiques, ainsi que des épreuves fonctionnelles pulmonaires au repos et à l'effort. Le service médical de l'Institut a ainsi déjà rassemblé plus de 1.000 dossiers de mineurs, dont certains ont été revus jusqu'à cinq fois.

Cette documentation importante sert de base à des études d'ensemble. Au cours de l'année 1955, F. Lavenne et D. Belayew se sont attachés à un examen critique des documents rassemblés concernant la fréquence des cardiopathies chez les houilleurs.

### A. Intérêt d'une recherche sur l'incidence des cardiopathies chez les houilleurs.

Au cours d'une enquête entreprise en 1952 sur 205 houilleurs occupés au travail du fond, F. Lavenne et D. Belayew (2) avaient déjà été frappés par la fréquence des affections cardio-vasculaires chez les sujets de plus de 40 ans.

Parmi les 205 ouvriers, on avait diagnostiqué 22 cas d'atteinte cardio-vasculaire certaine (10,7 %). En outre, 34 sujets présentaient une anomalie (hypertension légère ou électrocardiogramme suspect) incitant à une surveillance médicale plus attentive, sans qu'on puisse toutefois les classer avec certitude comme cardiaques.

Si l'on excluait de la statistique 5 sujets de plus de 60 ans, chez qui l'incidence des anomalies cardio-vasculaires est particulièrement élevée (80 %), il restait un groupe de 200 houilleurs, dont 18 (soit 9 %) présentaient une maladie cardiaque ou artérielle certaine.

Le tableau III indique les affectations cardio-vasculaires diagnostiquées ainsi que leur fréquence aux différents âges. A l'exception d'une insuffisance mitrale organique chez un sujet de 50 ans et d'un cas de scoliose importante avec déviation droite de l'AQRS et saillie des veines jugulaires, il s'agit chaque fois d'une cardiopathie dite artérielle : hypertension ou troubles coronariens. Ont été considérés comme cardiopathies hypertensives indiscutables, d'une part les cas avec pression artérielle maxima supérieure à 200 mm Hg ou pression minima supérieure à 120 mm Hg et, d'autre part, ceux avec pressions maxima et minima comprises respectivement entre 165 et 200 mm Hg et entre 100 et 120 mm Hg, mais dont l'électrocardiogramme était anormal. Le diagnostic de troubles coronariens fut posé sur les plaintes de douleurs précordiales d'effort (ty-

piques chez deux sujets) et surtout sur les modifications électrocardiographiques.

La fréquence des cardiopathies artérielles, hypertensives et coronariennes réunies, est faible chez les sujets de moins de 40 ans : 1 cas sur 61, soit 1,6 %. Elle est par contre élevée après 40 ans (15 cas sur 139, soit 10,8 %). Après la cinquantaine, elle atteint 16 %.

D'autre part, les statistiques des Caisses de pensions pour ouvriers mineurs corroboraient la fréquence des cardiopathies comme cause d'invalidité chez ces ouvriers. Parmi les 2.733 anciens mineurs pensionnés pour invalidité, encore en vie à la date du 31 décembre 1953, 21,8 % avaient été déclarés inaptes pour une affection de l'appareil circulatoire. Les maladies cardio-vasculaires venaient, dans les causes d'invalidité chez les mineurs, au deuxième rang, après les maladies des voies respiratoires (54,5 %), mais loin avant les affections ostéo-articulaires (7,3 %) et digestives (5,3 %).

trocardiographiques habituels, la plupart de ces ouvriers ont subi une série de tests fonctionnels cardio-pulmonaires : enregistrement de la capacité vitale et du volume expiratoire maximum/seconde, mesure du volume résiduel, détermination oxymétrique de la saturation oxyhémoglobinée au cours d'un effort sur un ergomètre et surtout marche sur le tapis roulant.

L'épreuve d'effort sur le tapis roulant permet d'étudier à la fois les fonctions pulmonaire et cardiaque à l'effort. On mesure pendant l'effort la fréquence respiratoire, le volume d'air ventilé par minute, la consommation d'O<sub>2</sub> et l'excrétion de CO<sub>2</sub>. D'autre part, un enregistrement électrocardiographique effectué durant les 5 minutes suivant l'exercice permet de mettre en évidence les troubles cardiaques éventuels. La marche sur le tapis roulant se fait normalement à une vitesse de 5,600 km à l'heure, l'intensité de l'effort étant réglée par l'inclinaison donnée au tapis. Pour les sujets encore jeunes et restant

TABLEAU III  
Anomalies cardio-vasculaires chez 200 houilleurs au travail.

Age	Nombre de cas	Troubles valvulaires	Hypertension	Troubles coronariens	Autres causes	Total et pourcentages
20-30	11	—	—	—	—	—
30-40	50	—	—	1	1	2 4 %
40-50	89	1	2	5	—	8 9 %
50-60	50	—	4	4	—	8 16 %
Total	200	1	6	10	1	18 9 %
< 40	61	—	—	1 (1,6 %)	1 (1,6 %)	2 3,2 %
> 40	139	1 (0,7 %)	6 (4,3 %)	9 (6,5 %)	—	16 11,5 %

On ne pouvait néanmoins accepter sans réserve les conclusions de cette statistique étant donné l'imprécision et le manque d'uniformité des critères de diagnostic. Aussi, a-t-il paru utile de reprendre, à partir d'une statistique homogène, ce travail dont l'importance est surtout grande en Belgique à cause des particularités de notre législation de pension pour mineurs : on n'y fait pas en effet de distinction entre maladies professionnelles et autres, les affections cardiaques d'origine coronarienne ou hypertensives donnent droit à la pension aussi bien que les pneumoconioses invalidisantes.

#### B. Matériel et méthodes de travail.

F. Lavenne et D. Belayew (3) ont revu à ce point de vue les dossiers de 400 mineurs envoyés pour examen complémentaire à l'Institut d'Hygiène des Mines en 1953, 1954 et 1955.

Outre les examens cliniques, radiologiques et élec-

à un travail de force, on adopte une pente de 13°, ce qui représente un effort sévère. Pour les sujets plus âgés, la pente est réduite à 8°. On la diminue encore dans les cas où l'électrocardiogramme au repos fait déjà soupçonner des troubles cardiaques. On n'impose évidemment pas d'effort aux ouvriers chez que le diagnostic de troubles coronariens peut être posé avec certitude indépendamment de cet examen. Chez des ouvriers mineurs bien portants, l'effort décrit ci-dessus n'entraîne ni troubles du rythme, ni modifications électrocardiographiques. De plus, la fréquence cardiaque n'excède pas 150/minute, 30 secondes après la fin de l'effort, et revient à moins de 100/minute après 5 minutes de repos en position couchée.

#### C. Résultats.

Le tableau IV résume, en les condensant fortement, les divers diagnostics posés et leur répartition par catégories d'âges.

Dans la colonne 3, on a groupé les examens négatifs ou révélant une affection non thoracique (rhumatisme, ulcère gastrique, etc.), en l'absence de toute pneumoconiose.

La colonne 4 comprend les cas avec une anomalie radiologique pulmonaire (pneumoconiotique, tuberculeuse ou autre), mais sans altération notable des fonctions pulmonaire et cardiaque. Ces 170 ouvriers se répartissent comme suit :

- pneumoconiose simple : 39 cas,
- pneumoconiose pseudotumorale : 16 cas,
- images de condensations non définies, dans lesquelles il n'est pas toujours possible d'exclure un processus tuberculeux : 49 cas,
- pneumoconiose simple avec tuberculose évolutive : 11 cas,
- tuberculose évolutive sans pneumoconiose : 17 cas (la plupart de ces derniers ayant moins de 40 ans),
- tuberculose cicatricielle : 26 cas,
- divers (bronchiectasies, néoplasmes bronchiques, etc.) : 12 cas.

La colonne 5 groupe les déficiences des épreuves fonctionnelles pulmonaires : capacité vitale et surtout volume expiratoire maximum/seconde et ventilation maximum inférieurs de plus de 20 % aux

résultats de la spirométrie et de l'oxymétrie et paraissait plutôt attribuable au manque d'entraînement ou à une névrose cardio-respiratoire. Parmi les 36 insuffisances respiratoires, la diminution de la fonction pulmonaire était légère dans 16 cas et très marquée dans 20. Notons que parmi ces derniers, 7 n'ont pas d'image pneumoconiotique avancée et doivent être considérés avant tout comme des emphysémateux. Les 13 autres étaient des pseudotumeurs. Chez tous ces sujets, les examens cardiovasculaires, cliniques, radiologiques et électrocardiographiques étaient normaux et l'épreuve d'effort, poussée aussi loin que le permettait la fonction respiratoire, n'amenait pas de tachycardie exagérée, ni de troubles du rythme.

Dans la colonne 6, on trouve les sujets ayant à la fois une diminution de la fonction respiratoire et une anomalie cardiaque. A une exception près, ils sont âgés de plus de 40 ans. Dans 10 cas, l'anomalie cardiaque est représentée par certains signes électrocardiographiques qui satisfont aux critères établis par F. Lavenne (4) pour le diagnostic de cœur pulmonaire chronique. Les onze autres montrent à l'effort, soit une tachycardie exagérée, soit des anomalies du rythme cardiaque, soit des modifications électrocardiographiques de type coronarien. Chez

TABLEAU IV.  
Examen de 400 houilleurs à l'Institut d'Hygiène des Mines.

Age	Nombre de cas	Examen négatif ou affection non thoracique	Diagnostic radiologique sans troubles fonctionnels	Diminution de la fonction pulmonaire	Diminution des fonctions pulmonaire + cardiaque (*)	Cardiaque organique +	Cardiaque organique ±	Troubles de la fonction cardiaque secondaires à infection, névrose, obésité
16-20	9	3	5	—	—	1	—	—
21-30	52	20	21	—	—	4	1	6
31-40	117	22	61	8	1 (0)	8	8	9
41-50	163	18	62	18	14 (7)	20	9	22
> 50	59	4	21	10	6 (3)	9	5	4
Total	400	67	170	36	21 (10)	42	23	41
%	—	16,7	42,5	9	5,3	10,5	5,8	10,2

(\*) Les chiffres entre parenthèses représentent les cas répondant aux critères du cœur pulmonaire chronique.

chiffres théoriques, volume résiduel représentant plus de 35 % du volume pulmonaire total (limite supérieure de la normale), désaturation nette à l'effort (saturation inférieure à 90 % à l'oxymètre de Wood), hyperventilation avec augmentation de la fréquence respiratoire lors de l'effort sur le tapis roulant. En ce qui concerne l'hyperventilation à l'effort, on a pourtant placé à part, dans la dernière colonne, certains cas avec fréquence respiratoire supérieure à 30/minute et souvent tachycardie à l'effort, où la tachypnée était en discordance avec les

ces derniers, la fixation exacte du pourcentage d'invalidité attribuable à la pneumoconiose peut poser des problèmes difficiles. Deux ouvriers montraient à l'effort, à la fois une désaturation oxyhémoglobinée et des modifications coronariennes sur l'électrocardiogramme. Or, on ne peut pas exclure qu'une désaturation oxyhémoglobinée puisse entraîner des troubles électrocardiographiques par insuffisance qualitative d'irrigation du myocarde. Il faut donc être très prudent avant d'affirmer à partir de modifications électrocardiographiques survenant unique-

ment à l'effort, l'existence de lésions coronariennes concomitantes chez un pneumoconiotique à fonction pulmonaire gravement atteinte (5).

La colonne 7 donne la répartition, suivant l'âge, des affections cardiaques organiques, dont le détail sera donné dans le tableau VI. Ces sujets avaient une fonction pulmonaire normale.

Dans la colonne 8 sont rangés 23 ouvriers où l'anomalie cardio-vasculaire est moins importante : hypertensions légères (maxima inférieure à 200 mm Hg et minima inférieur à 120 mm Hg, sans modifications électrocardiographiques notables), extrasystoles peu nombreuses persistant à l'effort, etc.

Enfin, la dernière colonne rassemble les cas où l'épreuve d'effort était mal supportée (tachycardie exagérée et trop persistante avec souvent tachypnée), mais où l'on pouvait incriminer non une affection cardiaque organique, mais un processus infectieux tuberculeux ou autre (11 cas), une névrose cardiaque (13 cas), l'obésité (9 cas) ou le manque d'entraînement (8 cas).

Au total, les troubles cardio-vasculaires organiques nettement indépendants des pneumoconioses sont presque aussi fréquents (10,5 %) que les diminutions de la fonction pulmonaire pouvant être attribuées à la pneumoconiose, représentées par la somme des colonnes 5 et 6 (14,3 %). On arrive même à des chiffres presque égaux, si l'on inclut parmi les cardiaques les sujets de la colonne 8 (anomalies cardiaques légères).

Le tableau V donne les chiffres absolus et les pourcentages des différents diagnostics posés, pour les sujets âgés respectivement de moins et de plus de 40 ans. Pour les troubles de la fonction pulmonaire, le pourcentage augmente nettement après la qua-

rantaine (de 4,5 % à 12,6 %). A une exception près, les troubles fonctionnels pulmonaires compliqués d'une anomalie cardiaque ne se voient qu'après la quarantaine. Les maladies cardiaques organiques sévères sont près de deux fois plus fréquentes après la quarantaine.

Dans le tableau VI, on trouve la répartition par diagnostic plus précis et par catégories d'âge, des troubles cardiaques organiques indiscutables (colonne 7 des tableaux IV et V). La grande majorité (35 cas sur 42) est représentée par les cardiopathies d'origine artérielle : hypertension et troubles coronariens. Comme dans l'enquête systématique sur les 200 ouvriers encore au travail, la fréquence des cardiopathies artérielles augmente très fortement après 40 ans. Le diagnostic de maladie hypertensive ou coronarienne a été posé chez 3,9 % des ouvriers âgés de moins de 40 ans et chez 11,8 % de ceux ayant dépassé la quarantaine.

#### D. Discussion des résultats.

Le chiffre de 9 % d'affections cardio-vasculaires indiscutables parmi les 200 houilleurs encore au travail et âgés de moins de 60 ans ne semble pas exceptionnel. D'une revue récente de la question, Dervillée (6) conclut que des chiffres de 4 à 5 % de cardiopathies par rapport à l'ensemble du personnel paraissent être des chiffres moyens, qui s'élèvent rapidement lorsqu'on se trouve en présence d'une main-d'œuvre plus âgée.

L'âge moyen de la population ouvrière que nous avons examinée était assez élevé, atteignant 44 ans et le fort pourcentage trouvé est dû essentiellement à la fréquence des cardiopathies artérielles (hypertensives ou coronariennes) chez les sujets ayant dépassé la quarantaine.

TABLEAU V.

Examen de 400 houilleurs à l'Institut d'Hygiène des Mines.

Age	Nombre de cas %	Examen négatif ou affection non thoracique	Anomalie radiologique thoracique, sans troubles fonctionnels pulmonaires	Diminution de la fonction pulmonaire	Diminution des fonctions pulmonaire + cardiaque	Cardiaque organique +	Cardiaque organique ±	Troubles de la fonction cardiaque secondaires à infection, névrose, obésité
< 40	178	45	87	8	1	13	9	15
> 40	222	22	83	28	20	20	14	26
< 40	%	25,2	48,9	4,5	0,6	7,3	5,1	8,4
> 40	%	9,9	37,4	12,6	9	13	6,3	11,7

TABLEAU VI.

Troubles cardiaques organiques chez les 400 houilleurs examinés à l'Institut d'Hygiène des Mines.  
Répartition par diagnostic.

Age	Nombre de cas	Malformation congénitale	Anomalie valvulaire rhumatismale	Hypertension	Troubles coronariens	Troubles graves du rythme	Maladies des artères périphériques	Cause indéterminée
16-20	1/9	1	—	—	—	—	—	—
21-30	4/52	—	1	—	2	—	—	1
31-40	8/117	1	1	1	4	1	—	—
41-50	20/163	—	1	3	14	1	1	—
> 50	9/59	—	—	4	5	—	—	—
Total	42/400 (10,5 %)	2 (0,5 %)	3 (0,75 %)	8 (2 %)	25 (6,25 %)	2 (0,5 %)	1 (0,25 %)	1 (0,25 %)
< 40	13/178 (7,3 %)	2 (1,1 %)	2 (1,1 %)	1 (0,6 %)	6 (3,3 %)	1 (0,6 %)	—	1 (0,6 %)
> 40	29/222 (13 %)	—	1 (0,4 %)	7 (3,2 %)	19 (8,6 %)	1 (0,4 %)	1 (0,4 %)	—

On peut se demander si les cardiopathies artérielles et spécialement les troubles coronariens sont particulièrement fréquents chez les mineurs et, d'une façon plus générale, chez les travailleurs de force. Selon Dervillée (6), l'accroissement notable du nombre de cardiopathies artérielles à partir de 40-45 ans est un fait d'observation courante, qui s'étend à l'ensemble de la population, mais se trouve parfois favorisé par des efforts physiques excessifs et par certaines habitudes d'intempérance qui les accompagnent. Morris et Heady (7) n'ont toutefois pas pu démontrer une action favorisante des travaux lourds sur les affections coronariennes. Boemke, Piroth et Schulte-Stracke (8) ont recherché sur un vaste matériel d'autopsie s'il n'existait pas une relation entre la silicose et la sclérose coronarienne. Leurs arguments statistiques dans le sens d'une corrélation ne paraissent pas convaincants.

Toutefois, des altérations anatomiques et fonctionnelles, qui seraient bien tolérées par des employés à occupation sédentaire et physiquement peu fatigante, sont de nature à gêner rapidement des ouvriers exerçant un travail pénible. Même si leur fréquence n'y est pas plus élevée, on conçoit donc l'importance particulière du point de vue social des cardiopathies artérielles dans les industries imposant un travail de force et n'offrant que peu de possibilité de reclassement à des travaux légers.

La rareté des cardiopathies valvulaires rhumatismales ne doit pas étonner, puisqu'à l'examen d'embauchage, les porteurs de troubles cardiaques organiques sont à juste titre écartés. On ne devrait trouver que des anomalies valvulaires apparues postérieurement à l'entrée dans la mine. La découverte de deux cas de maladie congénitale du cœur parmi

les ouvriers examinés à l'Institut d'Hygiène des Mines prouve toutefois que l'examen d'embauchage est parfois en défaut.

Le cœur pulmonaire chronique, dont F. Lavenne (4) a souligné la fréquence chez les mineurs pensionnés et l'importance comme cause de mort chez les mineurs pneumoconiotiques, n'intervient pratiquement pas comme type de cardiopathie chez les mineurs encore au travail. Il s'agit d'une complication tardive des pneumoconioses. Le seul des 200 ouvriers examinés systématiquement, chez qui l'on pouvait suspecter une surcharge ventriculaire droite, était atteint d'une cyphoscoliose, dont le rôle dans l'étiologie du « cor pulmonale » est bien connu. Même au moment de la mise à la pension, le cœur pulmonaire chronique constitue chez les mineurs une source beaucoup moins fréquente de difficultés que les cardiopathies artérielles (5).

#### E. Conclusions pratiques concernant les conditions d'embauchage et de pension des houilleurs.

Les constatations sur l'importance des cardiopathies artérielles comme cause d'invalidité chez les houilleurs comportent certains enseignements, d'importance pratique.

a) La fréquence des troubles cardiaques organiques après la quarantaine rend illogique l'embauchage, pour des travaux durs au fond de la mine, de sujets ayant dépassé l'âge de 40 ans et même de 35 ans. Ceux-ci risquent de ne pouvoir exercer un travail de force que pendant un nombre d'années limité. En embauchant des ouvriers aussi âgés, on s'expose à les voir rapidement accuser à tort le travail dans la mine d'une diminution de capacité de

travail, uniquement attribuable aux processus de sénescence du système circulatoire.

b) Chez les ouvriers âgés atteints de pneumoconiose micronodulaire, la diminution de la capacité de travail est souvent due non à l'atteinte pulmonaire, par elle-même peu invalidisante, mais à des troubles cardiaques d'origine non professionnelle. C'est à ce point de vue que Nadiras et Delesvaux (9) ont attiré l'attention sur l'intérêt de l'électrocardiogramme dans l'expertise des silicotiques.

Toutefois, lorsque la pneumoconiose est réparée en tant que maladie professionnelle, ce qui n'est pas le cas chez les houilleurs belges, les invalidités purement cardiaques constituent une source de difficultés psychologiques. Il s'agit en effet, non de simulateurs, mais d'ouvriers se sentant physiquement diminués et qui sont de bonne foi lorsqu'ils accusent la pneumoconiose.

La coexistence d'une diminution de la fonction pulmonaire et d'une anomalie cardiaque autre que le cœur pulmonaire chronique, situation qui a été rencontrée 11 fois sur 400 examens de l'étude de Lavenne et Belayew, pose parfois des problèmes pratiquement insolubles à un expert chargé de déterminer le pourcentage d'invalidité attribuable à la pneumoconiose; la difficulté d'interprétation des modifications électrocardiographiques à l'effort chez des sujets ayant une désaturation oxyhémoglobinée du sang artériel a été soulignée plus haut.

c) La législation belge en matière de pension des houilleurs, qui ne fait pas de distinction en ce qui concerne l'origine de l'invalidité, évite ces difficultés d'expertise et ces sources de conflit psychologique.

Comme à peine plus de 50 % des pensions prématurées sont accordés pour affections pulmonaires, il est certain que de nombreux houilleurs belges, qui ont été déclarés inaptes au travail dans la mine, n'auraient obtenu aucune indemnité ou uniquement un faible pourcentage d'invalidité dans les pays où la pneumoconiose des houilleurs est réparée comme maladie professionnelle. Il en aurait été de même en Belgique, s'ils avaient appartenu à une profession où la silicose est indemnisée par le Fonds de Prévoyance en faveur des Victimes des Maladies professionnelles. Sans vouloir considérer la législation belge en matière de pension des mineurs comme parfaite, il importe pourtant de souligner que, tout en étant plus simple, elle est conçue sur des bases plus larges que les législations étrangères.

Par le fait même, une orientation légèrement différente doit être donnée dans notre pays aux examens d'expertise en matière de pension de houilleurs. L'absence d'images pneumoconiotiques graves ou surinfectées à l'examen radiologique et de diminution de la fonction pulmonaire, qui exclut une invalidité d'origine pneumoconiotique, ne suffit pas à faire rejeter la demande de pension. On est amené à rechercher l'existence d'autres manifestations pa-

thologiques incompatibles avec « les travaux normaux de fond et de surface ». Les statistiques des Caisses de pensions de houilleurs, confirmées par celles de l'Institut d'Hygiène des Mines, montrent la fréquence des troubles cardiaques indépendants de la pneumoconiose. Dans tous les cas où le mineur se plaint de dyspnée, de palpitations ou de douleurs thoraciques, dont les examens pulmonaires ne rendent pas compte, il paraît donc indispensable de pratiquer un examen cardiologique complet avec enregistrement électrocardiographique. Dans 9 des 42 cardiopathies organiques incontestables, c'est l'enregistrement électrocardiographique après l'épreuve d'effort qui a permis de démontrer la gravité du trouble cardiaque, en mettant en évidence des modifications de nature coronarienne ou des arythmies graves. Par ailleurs, dans certains cas, la marche sur le tapis roulant a prouvé le caractère objectif de plaintes dont la sincérité avait d'abord été mise en doute.

Les particularités de la législation belge en matière de pension des houilleurs expliquent qu'à l'Institut d'Hygiène des Mines les épreuves d'effort soient conçues autant comme une exploration de la fonction cardiaque que de la fonction pulmonaire.

### 3. — Recherches sur la bronchoconstriction due aux poussières et la bronchodilatation par aérosols.

#### A. Bases physiologiques et intérêt pratique des recherches.

Nous avons rapporté antérieurement (1) les premiers résultats des travaux entrepris sur ce problème à l'Institut d'Hygiène des Mines et présentés par F. Lavenne, E. Gielen et J. Pestiaux (10) au XI<sup>me</sup> Congrès International de Médecine du Travail tenu à Naples en septembre 1954. Ils visaient à vérifier la légitimité d'application au domaine industriel d'expériences de laboratoire réalisées par Dautrebande, Alford, Highman, Downing et Weaver (11) qui avaient conclu à une action « pneumoconstrictive » des fines poussières quelle qu'en soit la nature.

L'inhalation aiguë d'un nuage poussiéreux, dont la concentration est laissée en dessous du seuil provoquant des réflexes tussigènes, entraînait rapidement chez les sujets en expérience une diminution du volume pulmonaire pouvant atteindre un litre, accompagnée d'une respiration plus rapide et plus superficielle. Cette diminution du volume pulmonaire, qui selon les auteurs, ne peut être attribuée qu'à la constriction des bronches, ne cesse pas immédiatement lorsqu'on remet le sujet en atmosphère normale. Elle est encore accrue par une nouvelle exposition aux poussières. Répétant, dans dix expériences à résultats concordants, l'inhalation de poussières après quelques minutes de repos, Dautrebande et collaborateurs (11) avaient en effet trouvé une

exagération des phénomènes après la deuxième dose de poussières.

Selon Dautrebande (12), cette pneumoconstriction expérimentale par les poussières peut être, non seulement combattue, mais prévenue, par des aérosols bronchodilatateurs d'aleudrine ou d'aleudrine-adrianol. « Si avant d'administrer les fines poussières, on a soin de dilater largement les poumons au moyen d'un aérosol puissamment pneumodilatateur comme l'aleudrine, l'inhalation ultérieure d'une ou de plusieurs doses de poussières ne produit pas de pneumoconstriction ».

Passant des expériences de laboratoire au domaine industriel, Dautrebande (13) a conclu à l'existence, chez les ouvriers occupés en atmosphères poussiéreuses, d'une bronchoconstriction persistant après le travail, durant sans doute toute la nuit et faisant encore sentir ses effets le lendemain. Cette pneumoconstriction durable serait, non seulement la source de troubles ventilatoires (tachypnée superficielle, source d'hypoxémie et de fatigue) se prolongeant durant les périodes de repos, mais elle favoriserait en même temps le développement des pneumoconioses. Cette action favorisante se réaliserait par deux mécanismes principaux : d'une part, constitution de zones hypoventilées avec impossibilité d'expulsion des poussières qui y sont incluses, et, d'autre part, augmentation de la vitesse instantanée de l'air à travers les conduits rétrécis, ce qui permet la pénétration jusque dans les alvéoles de particules qui normalement auraient été arrêtées plus haut.

Dautrebande (12) (13) en a conclu que « la technique de pneumodilatation pouvait légitimement être proposée en fin de leur journée de travail à tous les ouvriers ayant séjourné en atmosphère poussiéreuse ». Schiller et Worth (14) et Zorn et Worth (15) ont toutefois fait remarquer que, dans ce cas, il serait plus logique de pratiquer l'inhalation d'aérosols bronchodilatateurs avant le poste de travail.

Quoi qu'il en soit, la recommandation de Dautrebande a été rapidement suivie d'essais pratiques en Belgique, au Charbonnage d'Hensies-Pommerœul à partir de 1951 et au Charbonnage André Dumont à Waterschei à partir de 1953 (16). Dans le premier, les aérosols bronchodilatateurs ont été administrés de façon individuelle après le poste de travail; dans le second, il s'agissait également d'une inhalation après le poste de travail, mais réalisée de façon collective dans un couloir spécialement aménagé entre les puits et le bâtiment des bains-douches. En Allemagne, selon Beckmann (17), douze charbonnages de la Ruhr font actuellement usage d'aérosols pneumodilatateurs après le poste de travail.

Avant de conseiller une extension éventuelle de ces mesures thérapeutiques, l'Institut d'Hygiène des Mines a voulu vérifier si les résultats des expériences de laboratoire de Dautrebande, Alford et colla-

borateurs (11) étaient applicables au travail normal en milieu poussiéreux. Il était particulièrement important de prouver la réalité d'une bronchoconstriction perdurant après la cessation du travail. L'absence de bronchoconstriction au moment où l'ouvrier revient au jour rendrait en effet superflue la thérapeutique bronchodilatatrice telle qu'elle a été conseillée par Dautrebande et essayée dans les deux charbonnages belges.

Les données sur ce sujet étaient jusqu'ici peu nombreuses et peu probantes. Lent (18) a examiné 69 mineurs successivement avant la descente dans la mine, au fond même de la mine après 2-3 heures de travail, immédiatement après la remontée, puis après 5 à 10 minutes d'inhalation d'un aérosol d'aleudrine. Il a étudié le comportement du calibre bronchique dans ces diverses conditions, en recherchant par l'auscultation l'apparition de râles sibilants caractéristiques de spasmes bronchiques et en déterminant par voie spirométrique la valeur de la capacité vitale et de la ventilation maximum. Selon Rossier (19), ces deux valeurs, surtout la dernière, sont en effet nettement affectées en cas de bronchoconstriction. Les résultats obtenus montraient que ces épreuves étaient diminuées de façon significative sur les lieux du travail. De même, les râles sibilants furent trouvés beaucoup plus souvent au fond de la mine qu'en surface (37 cas contre 6). Toutefois, dès la remontée, la capacité vitale et la ventilation maximum étaient revenues à la normale avant même qu'on ait procédé à l'inhalation d'aleudrine, ce qui plaçait contre le caractère durable de la bronchoconstriction.

De même, Lavenne et Belayew (20), examinant 205 houilleurs dans l'heure suivant la remontée et les répartissant en deux groupes en fonction de l'importance de l'empoussiérage, n'avaient trouvé en moyenne aucune différence entre la capacité vitale, la ventilation maximum et l'incidence des râles sibilants dans ces deux groupes. Ce travail n'avait donc pas davantage confirmé le caractère durable de la bronchoconstriction due au travail en atmosphère poussiéreuse.

En présence de ces divergences, B. Wright (21) conseillait de centrer de nouvelles études sur ce point précis. Au cours des premiers mois de 1954, J. Pestiaux, E. Gielen, G. Degueldre et F. Lavenne entreprirent dans un charbonnage belge une série de recherches sur la fonction respiratoire avant et après le travail, puis après inhalation d'un aérosol bronchodilatateur (22) (23).

## B. Influence du travail poussiéreux sur le calibre bronchique.

### a. Technique utilisée et sujets examinés.

#### α. Critères pour la recherche de la bronchoconstriction.

Il a été procédé, comme dans les travaux de Lent, à la recherche de râles sibilants par l'auscultation

pulmonaire et à la détermination de la capacité vitale (CV). Toutefois, l'épreuve de la ventilation maximum a été remplacée par celle du volume expiratoire maximum/seconde (VEMS). Cette épreuve, proposée par Tiffeneau et Pinelli (24), a l'avantage d'être parfaitement reproductible avec un appareillage donné, tandis que pour la ventilation maximum, surtout dans les cas pathologiques, la valeur obtenue dépend fortement de la fréquence respiratoire qu'il est difficile de reproduire exactement d'une expérience à l'autre (20) (25). La recherche du volume expiratoire maximum par seconde, encore appelée épreuve de Tiffeneau, étant plus courte et moins pénible a, d'autre part, l'avantage de pouvoir être répétée un plus grand nombre de fois, ce qui accroît la valeur statistique des résultats.

### β. Variation des tests spirographiques utilisés avec la répétition des mesures.

La validité de l'étude entreprise nécessitant la comparaison d'un grand nombre de mesures répétées chez chacun des ouvriers examinés, il était nécessaire de déterminer au préalable s'il n'intervenait pas normalement un facteur de fatigue ou d'entraînement susceptible de modifier les valeurs spirographiques indépendamment de tout agent extérieur.

Ce problème a été étudié par A. Minette et J. Pestiaux sur un groupe de 30 sujets normaux jeunes (20 à 26 ans), n'ayant aucune expérience des appareils de mesure de la fonction ventilatoire (26). Chacun de ces sujets a été soumis, à quelques jours d'intervalle, à quinze séances de mesures, dont chacune comportait 10 déterminations de la capacité vitale et 6 déterminations du volume expiratoire maximum/seconde.

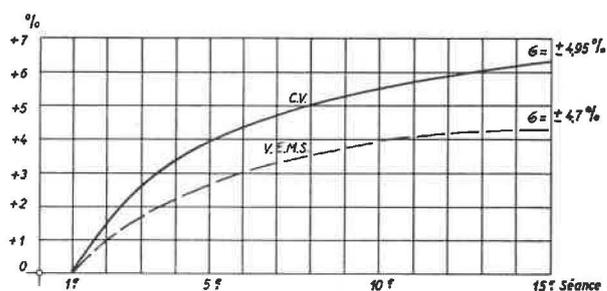


Fig. 1.

Les résultats de cette recherche sont résumés par les courbes 1 et 2 de la figure 1. Les deux valeurs s'accroissent en moyenne avec la répétition des mesures. A la quinzième séance, la capacité vitale moyenne s'est accrue de 6,2 % par rapport à la première séance avec une déviation standard de 4,9 %. De même, le volume expiratoire maximum/seconde s'accroît en moyenne de 4,4 % avec une déviation standard de 4,7 %. Ces accroissements sont surtout importants au cours des trois premières

séances, après lesquelles 45 % de l'accroissement global étaient déjà acquis. Par conséquent, au cours de recherches nécessitant des mesures fréquemment répétées, il y a intérêt à procéder au préalable à deux séances d'entraînement et à ne retenir comme valeur initiale que les performances réalisées lors de la troisième séance. Il sera néanmoins utile de noter ultérieurement l'ordre chronologique des mesures effectuées, surtout si les variations constatées sont faibles, auquel cas l'accroissement qu'on peut déjà noter physiologiquement peut jouer un rôle important dans l'appréciation des résultats.

### γ. Personnel examiné et conditions d'empoussiérement.

On choisit pour ces recherches 30 houilleurs d'un même siège exposés à des empoussiérages exceptionnellement importants, instruits du but de ces examens et pleinement coopérants. Leur âge (24 à 52 ans), l'image radiologique (classification de Cardiff-Douai) et le poste de travail sont indiqués dans le tableau VII, colonnes 2 à 4. A quatre exceptions près, ces ouvriers étaient âgés de moins de 40 ans. Le symbole « pl » de la colonne 3 signifie séquelle pleurale.

Les teneurs en poussières de l'air inspiré au cours du poste de travail ont été déterminées de la façon suivante : pour chaque ouvrier ou groupe d'ouvriers travaillant au même endroit, 4 prélèvements au précipitateur thermique ont été réalisés à des moments choisis de telle sorte que la moyenne des résultats représente le taux moyen des empoussiérages auxquels sont soumis les ouvriers; pour chaque prélèvement, 4 comptages microscopiques ont été effectués au moyen d'un microprojecteur de grossissement égal à  $1000\times$  et d'un pouvoir de résolution de  $0,2\mu$ , en adoptant la répartition granulométrique suivante :  $0,2-0,5\mu$ ;  $0,5-1\mu$ ;  $1-3\mu$ ;  $3-5\mu$ ;  $> 5\mu$ . Les nombres de poussières par  $\text{cm}^3$  indiqués dans le tableau VII représentent donc chaque fois la moyenne de 16 comptages. La colonne 5 exprime l'empoussiérement en nombre de particules de toutes tailles par  $\text{cm}^3$  d'air. Les particules d'un diamètre supérieur à  $5\mu$ , qui ne sont pas susceptibles d'atteindre les alvéoles pulmonaires, sont négligées lorsqu'il s'agit d'évaluer un risque de pneumoconiose. On devait par contre en tenir compte dans un travail centré sur l'action immédiate des poussières sur l'arbre bronchique. Les chiffres de la colonne 6 représentent les nombres de particules de diamètre  $< 5\mu$  et par conséquent susceptibles de pénétrer dans les alvéoles pulmonaires. Ils ne représentent toutefois pas le risque comparé de pneumoconiose dans les divers chantiers. Ils ne tiennent en effet pas compte de la différence de rétention alvéolaire en fonction du diamètre des particules (27) ni du fait que, comparativement à une particule de  $0,2\mu$ , une poussière de diamètre de  $1\mu$  est 25 fois plus nocive si l'on admet une action de surface, comme pour la silice,

TABLEAU VII.

N°	Age	R.X.	Poste de travail	Nombre de particules/cm <sup>3</sup> d'air		
				Total	< 5 μ	de 1 à 5 μ
1	28	0	abattage en taille	3.720	3.650	1.500
2	29	2	abattage en taille	3.720	3.650	1.500
3	39	2	abattage en taille	5.600	5.340	1.710
4	31	1	abattage en montage	7.080	6.440	1.780
5	34	0	abattage en taille	12.630	11.950	4.170
6	31	1	foudroyage	3.185	2.915	720
7	29	3	abattage en taille	8.180	7.695	1.420
8	21	0	creusement, voie de retour d'air	6.260	6.150	1.420
9	26	X	abattage en taille	12.680	12.190	1.530
10	33	2	creusement, voie d'entrée d'air	8.810	8.470	2.830
11	25	0	abattage, voie d'entrée d'air	7.560	7.430	730
12	29	X	creusement, voie de retour d'air	10.050	9.590	3.210
13	33	0 (pl)	abattage en taille et en montage	6.350	5.800	2.380
14	27	0	abattage en taille	3.720	3.650	1.500
15	28	X	abattage en taille	8.810	8.470	2.830
16	29	2	abattage, voie d'entrée d'air	6.340	6.130	1.080
17	24	0	abattage en taille	6.130	6.065	1.420
18	24	0	creusement, voie de retour d'air	6.260	6.150	1.420
19	39	A	abattage en taille	5.630	5.155	2.030
20	32	2	abattage en taille	3.720	3.650	1.500
21	40	2	foudroyage	1.580	1.490	400
22	52	A	abattage en taille	5.600	5.260	1.230
23	24	1	abattage et creusement dans une voie de retour d'air	4.220	4.185	145
24	31	0	abattage en taille	10.320	9.710	2.840
25	34	1	abattage en taille	19.480	10.820	3.450
26	45	X	creusement, voie d'entrée d'air	6.970	6.850	870
27	41	X	foudroyage	3.185	2.915	720
28	23	1	abattage en taille	3.720	3.650	1.500
29	29	1 (pl)	abattage en taille	8.065	7.780	2.450
30	29	2 (pl)	abattage, voie d'entrée d'air	10.320	9.710	2.840

et 125 fois plus nocive si l'on admet une action de masse, comme pour le charbon (28). En collaboration avec Deguelde et Lavenne (29), nous avons montré que pour les chantiers d'abattage de charbon, le meilleur critère de nocivité au point de vue pneumoconiotique était représenté par le poids total des particules inférieures à 5 μ et qu'il existait une excellente corrélation entre ce poids et le nombre de particules de 1 à 5 μ (colonne 7), mesure de l'empoussiérement généralement adoptée en Grande-Bretagne et aux États-Unis.

#### δ. Nombre et rythme des examens pratiqués.

Chacun des ouvriers, après avoir été accoutumé aux déterminations de la capacité vitale et du volume expiratoire maximum/seconde, a été examiné, au moins 6 jours non nécessairement consécutifs, d'une part avant le poste de travail et d'autre part

au cours de l'heure suivant la remontée. On a recherché chaque fois la présence de râles sibilants et tenté d'en évaluer la densité. Toutes les mesures spirométriques ont été effectuées en position assise. Lors de chaque séance, le sujet a été invité à donner 6 capacités vitales, puis 6 volumes expiratoires maximum/seconde, ces derniers à raison de deux par minute avec une pose d'une minute entre les 3<sup>me</sup> et 4<sup>me</sup> mesures.

On a systématiquement négligé les résultats obtenus avant et après le travail, le premier jour où chaque ouvrier s'est soumis à la recherche. Chez certains, on a également écarté les résultats du 2<sup>me</sup> jour et, même dans un cas, ceux du 3<sup>me</sup> jour, et l'on s'est alors astreint à un 7<sup>me</sup> ou même à un 8<sup>me</sup> jour d'examen, de manière à posséder pour chaque ouvrier des données valables avant et après 5 postes de travail. Parmi les 10 mesures retenues, les déterminations avant la descente portent donc chro-

nologiquement les n<sup>os</sup> 1, 3, 5, 7 et 9 et les mesures après la remontée les n<sup>os</sup> 2, 4, 6, 8 et 10. Chaque ouvrier a été examiné au moins une fois un lundi matin, par conséquent après avoir quitté l'atmosphère poussiéreuse depuis plus de 24 heures.

Comme valeur de la capacité vitale et du volume expiratoire maximum/seconde, c'est la meilleure performance de chaque séance qui a été retenue, ce qui correspond à la définition traditionnelle de la capacité vitale et du volume expiratoire maximum/seconde. Les résultats ont été corrigés aux conditions de l'air alvéolaire (air saturé à 37° C et pression atmosphérique).

Les chiffres obtenus ont été comparés à des valeurs théoriques. Pour la CV comme pour le VEMS, la prédiction de Hanaut, Ruysen et Cara (30) a l'avantage d'avoir été calculée sur des ouvriers mineurs de nos contrées. Les formules de prédiction de Hanaut, Ruysen et Cara ayant été établies à partir des volumes non ramenés à 37° C, on doit s'attendre à ce que les valeurs obtenues soient en moyenne supérieures aux valeurs prédites, le facteur de multiplication allant de 1,08 à 1,1.

## b. Résultats.

### α. Capacité vitale.

La figure 2 permet de comparer les capacités vitales (CV) des divers sujets avant et après le poste. Pour chaque ouvrier, la moyenne de 5 déterminations respectivement avant et après le poste a été exprimée en pourcents en plus ou en moins de la

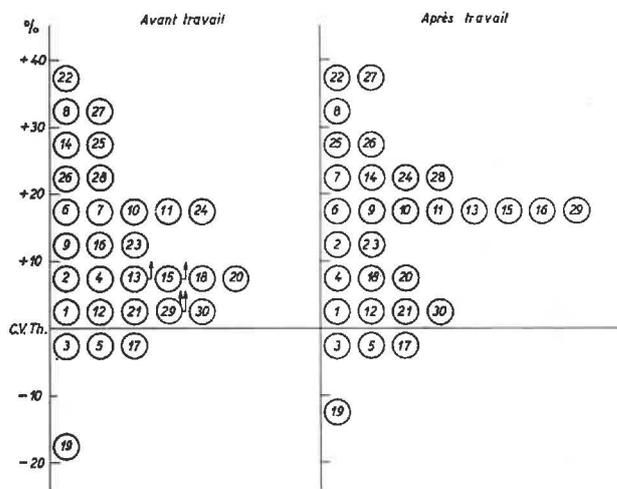


Fig. 2.

prédiction de Hanaut et collaborateurs. Elle illustre la similitude des résultats obtenus avant et après le travail chez chacun des ouvriers. Chez aucun d'eux, on ne constate une diminution de plus de 5 % de la capacité vitale après le travail en milieu poussiéreux. Par contre, chez deux sujets, les n<sup>os</sup> 13 et 15

(indiqués dans la partie gauche de la figure par une flèche dirigée vers le haut), l'augmentation moyenne de la capacité vitale après le travail est supérieure à 5 %. Cet accroissement est même de 10 % chez le n<sup>o</sup> 29 (indiqué par deux flèches dans la moitié gauche de la figure).

Statistiquement d'ailleurs (tableau VIII) la capacité vitale, loin de diminuer après le travail, augmente en moyenne de 70 cm<sup>3</sup>, passant de 4.750 cm<sup>3</sup> à 4.820 cm<sup>3</sup>. L'écart-type affectant cette augmentation moyenne de 70 cm<sup>3</sup> est de ± 32 cm<sup>3</sup>. L'augmentation est donc significative au palier de confiance de 95 %.

L'écart-type de la moyenne a été calculé en tenant compte du fait que chacun des chiffres retenus est lui-même la moyenne de 5 mesures faites à des jours différents. Dans ce cas, l'écart-type moyen doit être calculé suivant la formule ci-après :

$$\sigma_M^2 = \frac{\sigma_1^2}{30} + \frac{\sigma_2^2}{150}$$

où  $\sigma_1$  désigne l'écart quadratique moyen de l'accroissement de la capacité vitale (supposée exactement connue) des divers individus, et où  $\sigma_2$  représente l'écart quadratique moyen de l'accroissement de la capacité vitale d'un même individu aux divers jours de mesure.

Le calcul de  $\sigma_1^2$  se fait en additionnant les carrés des écarts des moyennes individuelles par rapport à la moyenne générale (+ 70 cm<sup>3</sup>). Cette somme est divisée par 29 ( $\frac{\sum (\text{écarts})^2}{n - 1}$ ). Pour obtenir la valeur

de  $\sigma_2$ , il faut effectuer la somme des carrés des écarts entre chacune des 5 variations individuelles de la capacité vitale après le travail et la variation moyenne de l'individu considéré. Cette somme doit être divisée par 120, ce qui représente 30 fois 4 degrés de liberté ou 30 × (n - 1).

### β. Volume expiratoire maximum/seconde.

Tout comme la capacité vitale, le VEMS augmente en moyenne après le travail poussiéreux (tableau VIII). L'augmentation est ici de 35 cm<sup>3</sup>/sec. L'écart-type affectant cette augmentation est de ± 30 cm<sup>3</sup>/sec. L'augmentation observée n'est pas significative au palier de confiance de 95 %.

La figure 3 permet de comparer les VEMS des divers sujets avant et après le poste. Dans chaque cas, la moyenne de 5 déterminations, respectivement avant et après le poste, a été exprimée en pourcents en plus et en moins du chiffre théorique selon Hanaut et collaborateurs. Seul, l'ouvrier n<sup>o</sup> 3, caractérisé sur la partie gauche de la figure par deux petites flèches dirigées vers le bas, montre après le travail une diminution du VEMS dépassant 5 % de la valeur obtenue avant le poste (diminution de

TABLEAU VIII.  
Variation de la capacité vitale et du volume  
expiratoire maximum/seconde après le travail  
poussiéreux.

Valeurs moyennes sur 30 sujets	CV (cm <sup>3</sup> )	VEMS (cm <sup>3</sup> /sec)
valeur théorique	4.230	3.290
trouvée avant poste	4.750	3.500
trouvée après poste	4.820	3.535
variation après poste	+ 70 (1,4 %)	+ 35 (+ 1 %)

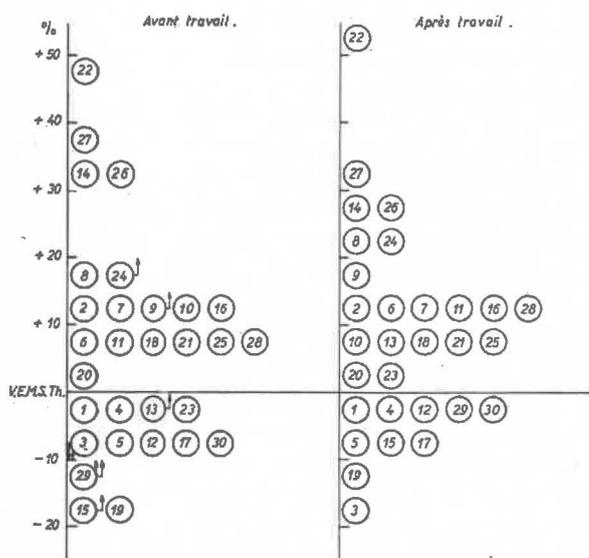


Fig. 5.

13 %). Par contre, on notait après le travail une augmentation du VEMS au moins égale à 5 % de la valeur initiale chez 4 ouvriers caractérisés par une flèche vers le haut dans la moitié gauche de la figure (nos 9, 13, 15 et 24). L'accroissement après le travail dépasse même 10 % du chiffre initial chez le n° 29 (double flèche vers le haut).

γ. Auscultation pulmonaire.

Nous avons schématisé les résultats de l'auscultation pulmonaire respectivement avant et après le travail de la façon suivante :

- o : pas de râles sibilants,
- ± : sibilances rares et entendues uniquement lors d'un ou deux des examens avant ou après le travail,
- + : râles sibilants plus nombreux et présents lors de la majorité des examens avant ou après le travail,
- ++ : râles sibilants très nombreux et présents lors de tous les examens avant ou après le travail.

En fonction de cette subdivision, les 30 ouvriers se répartissent comme suit :

avant le travail :	15	o
	8	±
	4	+
	3	++
après le travail :	16	o
	8	±
	3	+
	3	++

Les râles sibilants n'ont donc pas été dans l'ensemble plus fréquemment entendus après la remontée qu'avant le poste, la légère différence étant même en sens inverse. La plupart des ouvriers n'ont pas changé de catégorie. Il en est particulièrement ainsi des 15 ouvriers classés o et des 3 classés ++. Il n'a été observé de modifications que chez 4 sujets, le changement s'étant effectué vers la catégorie immédiatement voisine, une fois dans le sens d'une aggravation après le travail (de ± à +) et trois fois dans le sens d'une diminution des sibilances après le travail (une fois de ± à o et deux fois de + à ±). Ces légères différences sont certainement dues au hasard et au caractère forcément peu précis des critères définissant les diverses classes.

Au total, chez 15 des 30 ouvriers, on n'a jamais trouvé le moindre râle sibilant à l'occasion de douze auscultations pulmonaires avant et après le travail, centrées sur la recherche des signes cliniques de bronchoconstriction.

Chez 8 des 30 ouvriers, soit 26,6 %, les sibilances étaient suffisamment nombreuses avant ou après le travail pour mériter de retenir l'attention.

c. Discussion des résultats.

La comparaison de la capacité vitale, du volume expiratoire maximum/seconde et de la fréquence des râles sibilants avant et après le travail plaide contre l'existence d'une bronchoconstriction provoquée par le travail poussiéreux et perdurant plus d'une heure après la sortie de la mine.

On trouve en effet légèrement moins de râles sibilants après le poste. De même, on note une augmentation moyenne du VEMS et de la CV après le travail, l'augmentation de cette dernière étant même significative au palier de confiance de 95 %.

Les augmentations moyennes de la CV et du VEMS après le travail représentent 1,4 % et 1 % du chiffre initial. Le fait que les séances retenues après le travail portent chronologiquement les n<sup>os</sup> 2, 4, 6, 8 et 10 et les séances retenues avant le poste les n<sup>os</sup> 1, 3, 5, 7 et 9 peut expliquer une augmentation moyenne de 0,5 % (fig. 1). On devrait peut-être invoquer également l'influence des décharges physiologiques d'adrénaline au cours des efforts, que Lent (18) considère comme susceptibles d'améliorer les épreuves fonctionnelles pulmonaires pendant et après le travail.

Comme les empoussiérages mesurés dans les divers postes de travail varient du simple au décuple, on peut toutefois se demander si la bronchoconstriction provoquée chez les ouvriers travaillant dans les endroits les plus poussiéreux n'était pas masquée par les résultats observés chez leurs compagnons

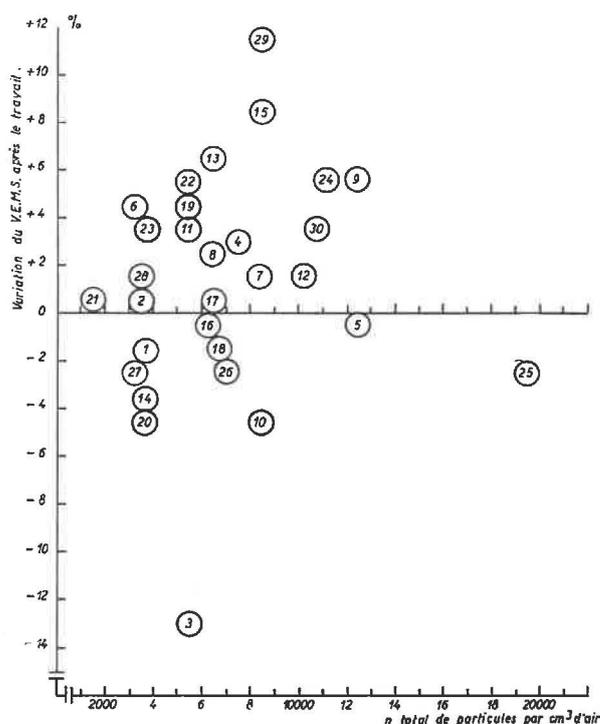


Fig. 4.

plus favorisés. Dans la figure 4, on peut comparer la variation du VEMS après le travail exprimée en pourcents en plus ou en moins du chiffre trouvé avant la descente, aux empoussiérages exprimés en nombre de particules de tous diamètres par cm<sup>3</sup> d'air (tableau VII, colonne 5). On ne trouve aucune corrélation entre la variation du VEMS après le travail et le nombre de poussières présentes dans l'atmosphère. Ceci ne plaide donc pas non plus en

faveur de l'application des expériences de Dautrebande et collaborateurs au travail normal dans les mines.

On pourrait toutefois objecter que l'absence de diminution des épreuves fonctionnelles pulmonaires après le poste n'exclut pas de façon absolue l'existence chez ces houilleurs d'une bronchoconstriction due aux poussières. Celle-ci pourrait ne pas avoir cessé le lendemain du travail, si bien que les chiffres pris comme base seraient déjà influencés par un spasme bronchique faisant sentir ses effets durant plus de 24 heures. Rappelons pourtant qu'il a été veillé à ce que tous les sujets soient examinés au moins une fois un lundi, après avoir quitté la mine depuis 40 heures et dans certains cas depuis 64 heures. Les résultats du lundi ne furent pas en moyenne supérieurs à ceux des autres jours.

Pour que cette objection soit valable, il faut d'autre part que les valeurs de référence avant le travail soient anormalement basses. Ce n'est certainement pas le cas pour la capacité vitale, 15 des 30 ouvriers ayant une capacité vitale supérieure de plus de 10 % à la prédiction de Hanaut et collaborateurs. La seule valeur inférieure de plus de 15 % au chiffre théorique est celle du n<sup>o</sup> 19, atteint de pneumoconiose sévère avec image condensée. Or, si la pneumoconiose micronodulaire n'a qu'une influence minime sur la fonction ventilatoire (20) (31), il n'en est souvent plus de même lorsqu'apparaissent des masses confluentes.

En dépit des résultats de ces mesures spirométriques, il faut cependant souligner la fréquence avec laquelle des râles sibilants furent notés au cours de cette étude. On les retrouve en effet nombreux ou très nombreux chez 8 des 30 sujets, soit dans 26,6 % des cas. Ce pourcentage est voisin de celui trouvé par Lavenne et Belayew (20) : présence de râles sibilants chez 20 % des 205 ouvriers examinés, pour la plupart dans l'heure suivant la remontée, au cours des mois de janvier et février. Ces râles sibilants sont certainement l'indice d'une pathologie bronchique, qu'il s'agisse de bronchites avec sécrétions (32) ou de simple bronchoconstriction (12).

En moyenne, les ouvriers présentant des sibilances avaient des épreuves fonctionnelles pulmonaires légèrement moins bonnes que leurs compagnons à l'auscultation pulmonaire négative. Cette différence est surtout nette pour le volume expiratoire maximum/seconde qui, chez les premiers, était en moyenne inférieur de 4,4 % au chiffre théorique ( $\sigma$  de la moyenne 4,2 %) alors qu'il lui était supérieur de 9 % chez les ouvriers à auscultation normale ( $\sigma$  de la moyenne 3,1 %). Les ouvriers ayant des râles sibilants n'étaient cependant pas plus influencés que leurs compagnons par le travail du fond. Même chez eux, les chiffres de CV et de VEMS obtenus avant et après le travail sont largement satisfaisants et ne

cadrent pas avec le tableau pessimiste de la fonction respiratoire des houilleurs après le travail poussiéreux, que Dautrebande a longuement décrit (15).

Un doute pouvait cependant subsister pour les rares sujets examinés qui avaient montré systématiquement une diminution de la capacité vitale et du volume expiratoire maximum/seconde après le travail, notamment l'ouvrier n° 3. On pouvait évidemment supposer chez eux l'existence d'une bronchoconstriction masquée dans la statistique par la rareté de ce phénomène.

Aussi a-t-il été nécessaire de les étudier plus spécialement et ils ont fait l'objet d'une recherche ultérieure où les tests spirométriques furent comparés, non seulement avant et après le travail, mais en outre après administration d'un aérosol bronchodilatateur. En effet, dans l'hypothèse d'une bronchoconstriction, on devait s'attendre à voir leurs épreuves ventilatoires nettement améliorées par un aérosol de ce type.

### C. Action des aérosols bronchodilatateurs après le travail en milieu poussiéreux.

#### a. Sujets examinés et méthode d'investigation.

Pour cette étude (23), on a choisi parmi les ouvriers qui avaient fait l'objet du travail précédent, certains sujets dont les épreuves fonctionnelles pulmonaires augmentaient après le travail et d'autres chez qui elles diminuaient en moyenne, et on a cette fois répété les mêmes tests spirométriques après inhalation d'un aérosol bronchodilatateur. L'hypothèse de travail était la suivante : si les déficits spirométriques après le poste sont dus à une bronchoconstriction, on obtiendra une augmentation plus considérable des épreuves ventilatoires après aérosol bronchodilatateur dans les cas où l'on aura constaté une réduction de la capacité vitale et du volume expiratoire maximum/seconde.

Les sujets qui ont participé à la présente recherche portaient les n°s 2, 3, 4, 14, 15, 18, 20 et 23 dans la recherche précédente (22). Ce groupe comprend donc le n° 3 qui, dans les expériences antérieures, avait été le plus suspect de présenter des phénomènes de bronchoconstriction après le poste. Les conditions d'empoussiérage étaient entretemps restées les mêmes pour chacun des ouvriers examinés. Pour tous, les données spirométriques et auscultatoires ont été recueillies à 5 reprises avant et après le poste, puis après 20 inhalations profondes d'un aérosol d'aleudrine-adrianol en solution dans le propylène-glycol selon la formule recommandée par Dautrebande (12) :

- aleudrine : 0,2
- effortil (ethyl-adrianol) : 1
- propylène glycol : 80
- eau ad : 100.

#### b. Résultats.

##### a. Capacité vitale.

Les résultats sont détaillés dans le tableau IX, qui est divisé en deux parties : celle de gauche comprend les postes de travail après lesquels on a noté une augmentation de la capacité vitale, celle de droite ceux après lesquels on a noté une diminution.

Dans les deux moitiés du tableau IX, la première colonne indique le n° d'ordre du mineur (identique à celui attribué dans la recherche précédente), les cinq épreuves réalisées par chacun des sujets étant classées a, b, c, d, e; on constatera que seul l'ouvrier n° 3 a été classé pour les cinq jours dans la moitié droite du tableau, les autres ayant montré tantôt une augmentation, tantôt une diminution de la capacité vitale après le travail. Néanmoins, pour les n°s 9, 15, 18 et 23, la tendance (4 épreuves sur 5) est nettement à l'augmentation après le travail, tandis que la capacité vitale diminue quatre fois sur cinq après le poste chez le n° 14.

Les colonnes 2 à 4 donnent respectivement les capacités vitales enregistrées avant le travail, la variation après le poste exprimée en  $\text{cm}^3$  en plus ou en moins, et cette même différence en pourcents de la valeur obtenue avant le travail.

Les colonnes 5 et 6 illustrent les résultats de l'aérosolisation bronchodilatatrice : variation de la capacité vitale, exprimée d'abord en  $\text{cm}^3$ , puis en pourcents de la valeur trouvée après le poste.

Pour les cas où la capacité vitale avait augmenté après le travail (partie gauche du tableau IX), cet accroissement était en moyenne de  $210 \text{ cm}^3$  (+ 4,4 %), avec des extrêmes de  $20 \text{ cm}^3$  (+ 0,2 %) et  $640 \text{ cm}^3$  (+ 13,7 %). L'aérosolisation entraînait pour la capacité vitale une nouvelle augmentation moyenne de  $80 \text{ cm}^3$  (+ 1,6 %) avec comme extrêmes une diminution de  $20 \text{ cm}^3$  (- 3,6 %) et une augmentation de  $340 \text{ cm}^3$  (+ 7,1 %).

Dans les épreuves reprises dans la partie droite du tableau, la capacité vitale avait diminué en moyenne de  $110 \text{ cm}^3$  (2,1 %) après le travail avec comme extrêmes  $10 \text{ cm}^3$  (- 0,2 %) et  $250 \text{ cm}^3$  (- 5,1 %). L'aérosol bronchodilatateur amenait dans ce cas une augmentation moyenne de la capacité vitale de  $90 \text{ cm}^3$  (+ 2 %), avec comme extrêmes une diminution de  $50 \text{ cm}^3$  (- 9 %) et une augmentation de  $380 \text{ cm}^3$  (+ 8,2 %).

Si l'on applique le test « student » Fisher à l'effet des aérosols sur la capacité vitale, d'une part, dans les cas où cette valeur avait été trouvée augmentée après le travail et, d'autre part, dans ceux où elle avait diminué, on ne trouve aucune différence significative au palier de confiance de 95 %. Les chiffres sont en effet de + 1,6 % avec un écart-type de la moyenne de  $\pm 0,5$  % et de + 2 % avec un écart type de la moyenne de  $\pm 0,5$  %.

TABLEAU IX.

Modifications de la capacité vitale après inhalation d'aérosols bronchodilatateurs.

Cas où la C.V. avait augmenté après le travail

N° sujet et épreuve	C.V. avant poste cm <sup>3</sup>	Variation après poste cm <sup>3</sup>	Variation après poste %	Variation après aérosol cm <sup>3</sup>	Variation après aérosol %
2 c	4.720	+ 90	+ 1,8	+ 70	+ 1,4
d	4.720	+ 50	+ 1	+ 110	+ 2,3
e	4.630	+ 140	+ 3	+ 110	+ 2,3
4 b	4.340	+ 140	+ 3,2	+ 200	+ 4,4
c	4.500	+ 160	+ 3,5	+ 110	+ 2,3
9 a	5.200	+ 130	+ 2,4	+ 30	+ 0,5
c	4.950	+ 270	+ 5,4	+ 130	+ 2,4
d	4.910	+ 370	+ 7,5	0	0
e	4.820	+ 640	+ 13,2	- 200	- 3,6
14 e	5.580	+ 20	+ 0,3	- 110	- 1,9
15 a	4.750	+ 250	+ 5,2	+ 270	+ 5,4
b	4.410	+ 610	+ 13,8	+ 290	+ 5,7
d	4.640	+ 640	+ 13,7	+ 70	+ 1,3
e	4.950	+ 290	+ 5,8	0	0
18 a	4.680	+ 90	+ 1,9	+ 340	+ 7,1
c	4.680	+ 30	+ 0,6	+ 170	+ 3,6
d	4.660	+ 160	+ 3,4	+ 90	+ 1,8
e	4.770	+ 110	+ 2,3	+ 20	+ 0,4
20 d	4.460	+ 40	+ 0,8	- 40	- 0,8
e	4.550	+ 70	+ 1,5	+ 20	+ 0,4
23 a	5.220	+ 180	+ 3,4	+ 70	+ 1,2
b	5.170	+ 340	+ 6,5	- 70	- 1,2
d	5.390	+ 140	+ 2,5	+ 130	+ 2,3
e	5.470	+ 160	+ 2,9	+ 40	+ 0,7
Moyennes	4.840	+ 210	+ 4,4	+ 80	+ 1,6

Cas où la C.V. avait diminué après le travail

N° sujet et épreuve	C.V. avant poste cm <sup>3</sup>	Variation après poste cm <sup>3</sup>	Variation après poste %	Variation après aérosol cm <sup>3</sup>	Variation après aérosol %
2 a	4.820	- 20	- 0,4	+ 80	+ 1,6
b	4.770	- 90	- 1,9	+ 70	+ 1,4
4 a	4.410	- 90	- 2	+ 200	+ 4,6
c	4.800	- 200	- 4,1	+ 220	+ 4,8
d	4.710	- 210	- 4,4	+ 90	+ 2
5 a	4.010	- 10	- 0,2	+ 20	+ 0,5
b	4.010	- 50	- 1,2	0	0
c	4.030	- 110	- 2,7	+ 110	+ 2,8
d	4.020	- 20	- 0,4	- 50	- 1,2
e	4.080	- 80	- 1,9	+ 80	+ 2
9 b	5.240	- 130	- 2,4	- 50	- 0,9
14 a	5.560	- 230	- 4,1	+ 160	+ 3
b	5.670	- 90	- 1,5	+ 50	+ 0,8
c	5.660	- 130	- 2,2	0	0
d	5.560	- 10	- 0,2	+ 90	+ 1,6
15 c	4.840	- 250	- 5,1	+ 380	+ 8,2
18 b	4.820	- 160	- 3,3	+ 160	+ 3,4
20 a	4.770	- 160	- 3,3	+ 90	+ 1,9
b	4.590	- 110	- 2,3	+ 20	+ 0,4
c	4.460	- 30	- 0,6	+ 120	+ 2,7
23 c	5.460	- 90	- 1,6	+ 140	+ 2,6
Moyennes	4.780	- 110	- 2,1	+ 90	+ 2

**β. Volume expiratoire maximum/seconde.**

Ici de même, il n'a pas été constaté de différences significatives après aérosolisation entre les ouvriers dont le volume expiratoire maximum/seconde diminuait après le travail et ceux où il augmentait.

Chez ces derniers (30 postes), l'accroissement était en moyenne de 190 cm<sup>3</sup> (+ 5,5 %) avec des extrêmes de 30 cm<sup>3</sup> (+ 0,8 %) et de 490 cm<sup>3</sup> (+ 18,9 %). L'aérosol entraînait pour le VEMS une nouvelle augmentation moyenne de 160 cm<sup>3</sup> (+ 4,6 %) avec comme extrêmes une diminution de 220 cm<sup>3</sup> (- 5,1 %) et une augmentation de 590 cm<sup>3</sup> (+ 16,7 %).

Dans l'autre groupe (15 postes), le VEMS avait diminué en moyenne de 140 cm<sup>3</sup> (- 3,9 %) avec des extrêmes de 40 cm<sup>3</sup> (- 1,1 %) et de 380 cm<sup>3</sup> (- 12 %). L'aérosol bronchodilatateur amenait dans ce cas, une augmentation moyenne du VEMS de 170 cm<sup>3</sup> (5,1 %) avec comme extrêmes une absence de variation et une augmentation de 270 cm<sup>3</sup> (+ 9,6 %). Les écarts-types de la moyenne étaient respectivement de ± 0,8 % et ± 0,6 %.

**γ. Auscultation pulmonaire.**

Chez deux ouvriers, aucun râle sibilant n'a été perçu au cours des 5 séances d'examen. Les sept autres avaient des râles sibilants plus ou moins nombreux aussi bien avant qu'après le travail, mais ce signe auscultatoire n'a pas été modifié dans ces cas par l'aérosolthérapie. Les râles sibilants étaient particulièrement denses chez les ouvriers n<sup>os</sup> 2, 15 et 23.

et 25) furent les seuls à montrer des augmentations supérieures à 10 % du VEMS après l'aérosol. Dans ces deux cas, l'augmentation du VEMS après l'inhalation bronchodilatatrice était en moyenne, pour les cinq séances, voisine de 10 %. Il est à remarquer que cette augmentation a été calculée par rapport aux chiffres trouvés après le travail, qui étaient eux-mêmes pour ces deux sujets respectivement supérieurs de 8 % et 5 % aux VEMS enregistrés avant le poste.

**c. Discussion des résultats.**

On admet habituellement que l'augmentation de la capacité vitale et du volume expiratoire maximum/seconde doit dépasser 10 % après inhalation d'aleudrine pour qu'on puisse conclure à l'existence de spasmes bronchiques (33).

Selon Lent (18), l'augmentation de la ventilation maximum devrait même être de 20 % après l'injection d'un mg d'adrénaline pour qu'on puisse parler de spasmes bronchiques. De même Rossier (19) qui utilise depuis 1936 les substances bronchodilatatrices pour combattre les phénomènes spastiques dans les bronchites spasmodiques de la silicose, considère qu'après aleudrine à 1 % une augmentation de 10 % de la ventilation maximum peut se voir chez des sujets normaux.

En comparant ces données avec les augmentations que nous avons recueillies, on est frappé par le peu d'importance de celles-ci : 2 % pour la CV et 5 % pour le VEMS. Dans ce dernier cas toutefois, l'augmentation est significative au palier de confiance de 99 %, l'écart-type de la moyenne étant ± 0,6 %.

De même, Lent (18) faisant inhaler durant 10 à 15 minutes de l'aleudrine (à une concentration non précisée) après le travail à 69 mineurs, n'a pratiquement pas trouvé de variation de la CV. L'augmentation de la ventilation maximum ne dépassait pas en moyenne 5,1 % chez les 63 ouvriers sans signes de bronchite. Cet auteur trouvait par contre une augmentation moyenne de la ventilation maximum s'élevant en moyenne à près de 30 % chez 6 silicotiques avec signes de bronchite. La moindre importance des résultats obtenus chez nos sujets avec nombreuses sibilances est peut-être en rapport avec la concentration de la solution d'aleudrine employée ou avec la durée de l'inhalation. Ce point mériterait d'être vérifié. Signalons toutefois que la solution bronchodilatatrice et la technique d'aérosolisation étaient, dans le cas des sujets étudiés dans nos recherches, celles que Dautrebande (12 et 13) a préconisées pour l'aérosolisation individuelle et collective après le travail.

**D. Conclusions de la recherche. Place des aérosols bronchodilatateurs dans la prophylaxie et la thérapeutique des pneumocoïoses.**

Cette recherche n'a donc pas mis en évidence d'action bronchodilatatrice durable du travail en

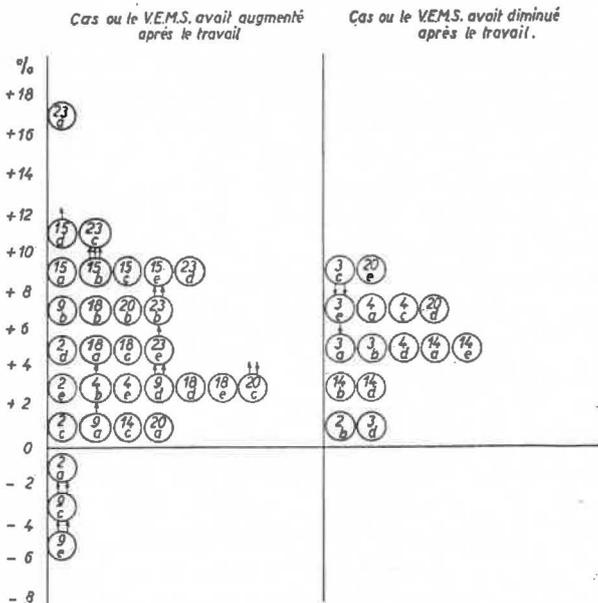


Fig. 5.

Comme on le constate sur la figure 5 (où la variation du VEMS après l'aérosol bronchodilatateur est exprimée en % en plus ou en moins de la valeur trouvée après le travail), deux des ouvriers présentant des râles particulièrement nombreux (les n<sup>os</sup> 15

atmosphère poussiéreuse. En effet, la majorité des sujets ont des épreuves fonctionnelles pulmonaires meilleures après le travail qu'avant le poste et, d'autre part, même dans les rares cas où le VEMS diminuait systématiquement après le travail, l'essai thérapeutique à l'aleudrine n'a pas apporté d'argument en faveur d'un spasme bronchique.

Les résultats des recherches effectuées par la Section Médicale de l'Institut d'Hygiène des Mines ont d'ailleurs été confirmés par les tout récents travaux de Worth et collaborateurs (34) qui, examinant 30 mineurs aux points de vue clinique, radiologique, spirométrique et oxymétrique, n'ont trouvé aucune modification après un séjour de 7 heures 30 en atmosphère poussiéreuse.

Les seuls ouvriers justiciables d'une thérapeutique bronchodilatatrice semblent être ceux qui présentent des râles sibilants disséminés et, même dans ces cas, les résultats de ce traitement ne sont pas constants.

Des recherches sont poursuivies sur les indications de la thérapeutique bronchodilatatrice, ainsi que sur la fonction respiratoire pendant le séjour en atmosphère poussiéreuse. Ces dernières permettront sans doute d'expliquer certaines plaintes de dyspnée accusées uniquement dans les atmosphères poussiéreuses.

Les résultats déjà obtenus permettent toutefois de remettre la thérapeutique bronchodilatatrice à sa véritable place : médication symptomatique de certains épisodes de bronchite ou de spasmes bronchiques chez les houilleurs. Ils n'apportent aucun argument en faveur de la possibilité d'une prévention des pneumoconioses par des séances d'aérosolisation collective après le travail. Le rôle des médecins dans la lutte contre les pneumoconioses non surinfectées (« simple pneumoconiosis » des auteurs britanniques) continue à se limiter au contrôle radiologique périodique. Les procédés techniques de lutte contre les poussières restent actuellement la seule arme efficace. Les méthodes préventives à action illusoire ne sont pas sans danger; elles risquent en effet de faire relâcher les mesures de prévention traditionnelles, sans doute plus coûteuses, mais qui ont fait leurs preuves.

#### 4. — Mise au point de techniques au laboratoire d'exploration fonctionnelle pulmonaire.

##### A. Mesures de la température à l'intérieur du spiromètre au cours des diverses épreuves spirométriques.

###### a. Intérêt du problème.

Après leur introduction dans les appareils de mesure, les volumes gazeux pulmonaires prennent une température inférieure à celle du corps (37° C) et occupent par conséquent un volume moindre que dans les poumons. Des capacités vitales identiques pourront donc correspondre à des volumes spiromé-

triques différents en fonction de la température régnant dans le circuit de mesure.

Dans les conditions habituelles existant au laboratoire de l'Institut d'Hygiène des Mines, les différences qui peuvent résulter de ces variations fortuites de température dans le spiromètre n'excèdent cependant pas 6 % environ (exemple 1).

##### Exemple 1.

Soit un sujet dont la capacité vitale réelle est de 4.500 cm<sup>3</sup> à 37° C. Il est aisé, en utilisant la formule ci-dessous, de calculer à quel volume spirométrique correspond cette capacité vitale, lorsque la température varie :

$$\text{C.V. réelle} = \text{volume mesuré} \times \frac{273 + 37^\circ}{273 + t^\circ} \times \frac{\text{PB} - p \text{H}_2\text{O}^{t^\circ}}{\text{PB} - p \text{H}_2\text{O}^{37^\circ}} \quad [1]$$

$$\text{Volume mesuré} = \text{C.V. réelle} \times \frac{273 + t^\circ}{273 + 37^\circ} \times \frac{\text{PB} - p \text{H}_2\text{O}^{37^\circ}}{\text{PB} - p \text{H}_2\text{O}^{t^\circ}} \quad [2]$$

En adoptant pour t° les valeurs extrêmes constatées au laboratoire, soit 27° C et 15° C et une P.B. moyenne de 755 mm Hg, on obtiendrait respectivement pour valeurs du volume mesuré 4.500 cm<sup>3</sup> et 4.050 cm<sup>3</sup>. Cette dernière mesure est presque de 6 % inférieure à la première.

Des erreurs de cet ordre sont acceptables en expertise courante. Par contre, si l'on veut étudier les variations du volume pulmonaire sous l'effet des poussières ou d'agents pharmacodynamiques, il y a intérêt à augmenter la précision des résultats obtenus, en corrigeant les volumes lus au spiromètre en volumes pulmonaires réels, comme cela a été recommandé d'ailleurs dans les conclusions du Congrès d'Atlantic City (35) (correction B.T.P.S.).

La correction peut être calculée pour chaque patient par la formule (1) exposée à propos de l'exemple 1. On peut également faciliter l'application pratique de cette correction en recourant à des coefficients simplifiés calculés pour une pression barométrique moyenne. Une simplification de ce type a été proposée par les physiologistes de Cardiff, qui ont choisi le chiffre de pression barométrique moyenne de 750 mm Hg. Les coefficients simplifiés de Cardiff sont couramment utilisés au laboratoire d'épreuves fonctionnelles respiratoires de l'Institut (20), la pression barométrique régnant à Hasselt étant en moyenne de 755 mm Hg.

Pour que la correction ait une signification, il importe que la température interne du circuit de mesure puisse être déterminée avec précision. Or, les appareils de mesure de la fonction respiratoire existant dans le commerce ne comportent pas habituellement les dispositifs répondant de façon satisfaisante à cette nécessité. Le spiromètre type Boulitte, qui a servi à la plupart des recherches faites dans ce domaine à l'Institut d'Hygiène des Mines (20, 22, 23), constitue une exception à cette règle. Cet appareil est, en effet, muni d'un thermomètre dont le bulbe plonge dans la partie supérieure de la cloche.

Malheureusement, ce spiromètre, à cause de sa faible capacité, est de moins employé.

La plupart des auteurs qui appliquent la correction B.T.P.S. se contentent de mesurer, soit la température de la pièce, soit celle de la surface externe de la caisse, soit, au mieux, celle du réservoir d'eau dans lequel plonge la cloche du spiromètre. Ces techniques paraissent acceptables en ce qui concerne la température interne du circuit *avant toute mesure*. Il est en effet logique d'admettre qu'à ce moment cette température est très proche de la température ambiante. Par contre, *au cours des mesures*, on ne peut en accepter la validité qu'après avoir démontré que la température interne du circuit n'est pas influencée par la respiration.

Or, cette température est soumise, à chaque instant des mesures, à l'action simultanée de facteurs d'échauffement et de refroidissement.

Les facteurs d'échauffement sont :

- la chaleur communiquée par les poumons à l'air expiré;
- le dégagement de chaleur qui se produit lors de la fixation du CO<sub>2</sub> et de l'eau de l'air expiré, par la chaux sodée, utilisée comme absorbeur;
- la chaleur produite par le fonctionnement de la pompe d'entraînement d'air intercalée dans le circuit.

Le refroidissement du système est assuré essentiellement par convection externe : celle-ci est accrue par la ventilation de la caisse de l'appareil équipée d'un ventilateur ad hoc. L'équilibre à chaque instant est donc la résultante de plusieurs facteurs dont certains sont liés à l'importance des volumes ventilés et ne peuvent être prévus. C'est notamment le cas pour l'apport calorifique considérable que représente la fixation du CO<sub>2</sub> et de l'eau par la chaux sodée.

On conçoit, par conséquent, la nécessité d'une étude expérimentale des variations de températures du circuit en cours de mesure. Ce problème a été étudié à l'Institut par A. Minette et G. Degueudre.

#### b. Techniques de mesure.

Le spiromètre type Knipping « Pulmotest », utilisé actuellement pour les examens de routine à l'Institut d'Hygiène des Mines, n'est normalement pas équipé d'un dispositif permettant de suivre la température interne. A première vue, la technique la plus précise consistait à adapter un thermomètre plongeant directement dans la cloche de mesure comme dans l'appareil de Boullite. Mais l'inconvénient de cette solution était de troubler l'équilibre de la cloche et d'augmenter son inertie.

Aussi, a-t-il paru préférable de mesurer simultanément les températures à l'entrée et à la sortie de la cloche, en admettant que la moyenne arithmétique des deux chiffres obtenus correspond à la température régnant effectivement dans la cloche. Les mesu-

res ont été pratiquées à l'aide de deux thermocouples cuivre-constantan introduits dans le circuit à proximité des orifices d'entrée et de sortie de la cloche, points A et B de la figure 6. Des relevés de température ont été faits parallèlement dans la pièce, sur la caisse de l'appareil et dans l'eau où plonge la cloche de mesure.

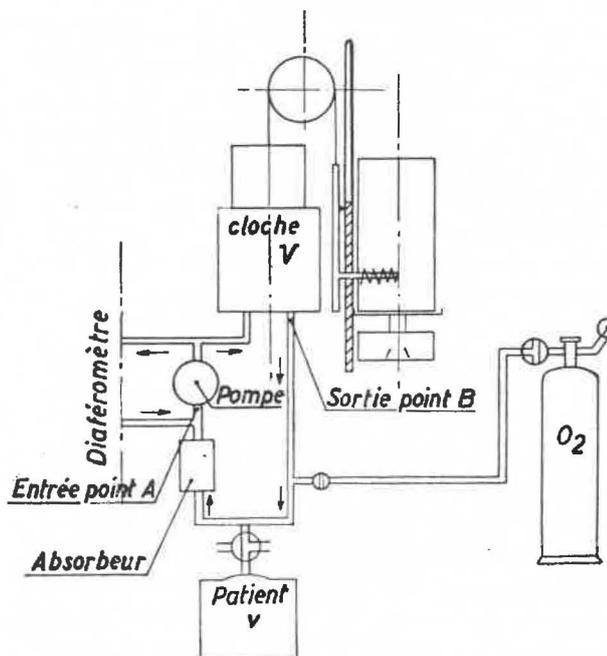


Fig. 6.

Il a été procédé à 6 séries de mesures. L'une d'entre elles visait à étudier l'élévation de température interne due au fonctionnement de la pompe d'entraînement du circuit indépendamment de la respiration.

Au cours de trois autres essais, on a mesuré les variations de température consécutives à des séries de mesures de courte durée (5 C.V et 3 V.M.S.) analogues à celles que l'on pratique au laboratoire lorsque l'on étudie l'action pharmacodynamique sur la fonction respiratoire. Après chaque série, on a mesuré le temps d'arrêt nécessaire au refroidissement du circuit jusqu'à la température de départ.

Au cours des deux derniers essais, on a mesuré l'élévation totale de température produite par une détermination complète de la fonction respiratoire ainsi que la différence de température finale observée lorsqu'on diminue la durée des temps de ventilation en circuit ouvert, intercalés dans les déterminations afin de renouveler l'air du circuit.

#### c. Résultats.

a) L'échauffement dû au fonctionnement du moteur de la pompe est peu important. Après deux heures de fonctionnement en circuit fermé, la température de l'air de sortie s'était élevée de 3° C. A l'entrée, l'accroissement était moindre : 0,5° C.

Cette différence s'explique vraisemblablement par le fait que les températures d'entrée sont mesurées avant le passage de l'air par la pompe d'entraînement et ne sont donc influencées par le fonctionnement de celle-ci qu'après refroidissement dans la totalité du circuit. Les températures de sortie sont par contre plus fortement influencées par les calories produites par la pompe.

β) Dès le début des mesures, les températures s'élèvent rapidement surtout par suite de l'intervention des réactions exothermiques de fixation du CO<sub>2</sub> de l'air dans le bac absorbeur. Celles-ci influencent directement la température d'entrée, mais n'agissent sur les températures de sortie qu'après refroidissement au contact de la masse de l'appareil.

Après la réalisation de 5 capacités vitales et de 3 volumes expiratoires maximum/seconde, la température d'entrée s'est élevée en moyenne (3 essais) de 5° C par rapport à la température de départ. Dans le même temps, la température de sortie ne monte que de 2,5° C.

Les mesures ayant été interrompues à ce moment pour ventiler le circuit par l'air de la pièce, la température d'entrée retombe en 3 minutes à une valeur très proche de la température de départ, tandis que la température de sortie ne redescend que très lentement : au cours des 3 essais, elle n'a rejoint les valeurs de départ qu'après respectivement 15 minutes, 13 minutes 30 secondes et 15 minutes d'arrêt total de l'appareil.

γ) Au cours d'une série complète de déterminations pratiquées selon la technique habituelle du laboratoire et comportant successivement une mesure de ventilation basale d'une durée de 5 minutes, deux séries de 5 CV et 3 V.M.S., puis 3 mesures de ventilation maximum, chaque série étant suivie d'une ventilation en circuit ouvert pendant deux minutes, les températures finales étaient supérieures respectivement de 7,8° et 4,5° aux chiffres de départ à l'entrée et à la sortie. Pendant les poses de 2 minutes, les températures ne sont jamais redescendues au niveau de départ.

Ayant répété les mêmes séries de mesures en réduisant à 30 secondes la durée des ventilations, les températures se sont élevées de 12,5 et de 7°.

Après ces déterminations les températures sont revenues aux niveaux de départ en 7 minutes environ à l'entrée et en 25 minutes à la sortie.

δ) Pendant toute la durée d'une mesure complète de la fonction ventilatoire, les températures de la pièce et de la caisse de l'appareil ne se sont modifiées que de quelques dixièmes de degré. Pendant le même temps, la température de l'eau dans laquelle plonge la cloche de mesure s'est élevée de 1,2°. Ces diverses mesures ne constituaient donc pas un témoin fidèle des variations de température interne du circuit.

Dans le tableau X, sont schématisées les variations de températures dues au fonctionnement de l'appareil et les variations observées au cours d'une détermination complète de la fonction pratiquée selon le schéma habituel du laboratoire (colonne 5, 6 et 7). Les chiffres en gras correspondent aux températures lues immédiatement à la fin d'une série de déterminations; les températures figurées entre parenthèses correspondent aux mesures faites après que l'air du circuit ait été renouvelé et ventilé par l'air de la pièce. Les données recueillies ont été reportées en regard des déterminations spirométriques correspondantes (colonne 1) et peuvent être comparées aux variations de température ambiante : pièce, caisse de l'appareil, eau (colonnes 2, 3 et 4).

Les trois courbes de la figure 7 schématisent l'évolution des températures en cours de détermination de la fonction (tableau X, colonnes 6, 7 et 8). Ces courbes ne tiennent pas compte des lectures faites après ventilation, elles représentent uniquement les chiffres de température notés immédiatement après chaque série de mesures. Les courbes 1 et 2 figurent l'évolution des températures d'entrée et de sortie; la courbe 3 donne les valeurs moyennes des températures précédentes (températures de la cloche).

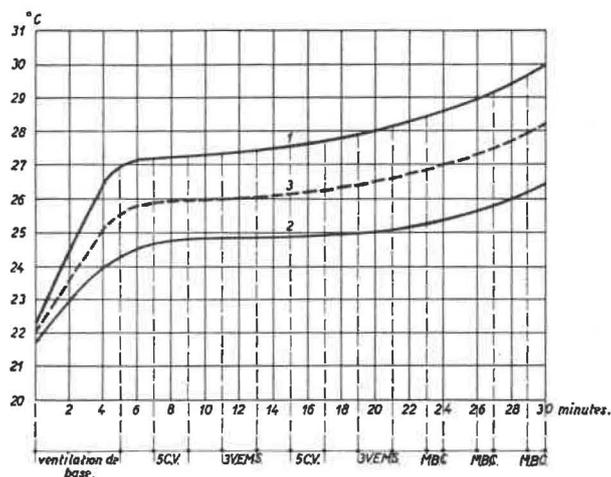


Fig. 7.

#### d. Conclusions pratiques à tirer de ces mesures.

Il apparaît donc qu'au cours de mesures pratiquées selon le schéma en usage au laboratoire de l'Institut, la température de la cloche de mesure s'accroît progressivement.

Par conséquent, en effectuant la correction B.T. P.S. avec pour base de correction la température du laboratoire, par exemple sur le thermomètre dont est équipé le diaféromètre de Kipp, on surestime les résultats obtenus en fin de détermination.

La température maximum atteinte à la fin de la séance était au cours de nos essais de 6° environ supérieure à la température de départ (fig. 6 courbe 3). L'importance de la surestimation commise en ne

nous l'avons antérieurement signalé (16), on s'expose par le fait même à l'influence de gaz parasites. Le plus gênant est l'argon qui constitue la principale impureté des bonbonnes d'oxygène. On est en effet amené à remplacer continuellement dans le circuit, l'oxygène qui en disparaît pour se combiner à l'hémoglobine.

On peut tenir compte de la variation de conductibilité thermique attribuable à l'argon par extrapolation de la déviation du galvanomètre se poursuivant après le temps requis pour la réalisation d'un mélange parfait. Nous avons décrit (16) le procédé graphique employé pour cette extrapolation. Toutefois, cette correction suppose que l'adjonction d'argon est uniforme dans le temps, ce qui implique une consommation d'oxygène invariable. D'autre part, elle nécessite la prolongation de la mesure jusqu'à un moment où l'on admet que le mélange est parfait. Ces deux conditions sont assez facilement réalisables chez des sujets à fonction pulmonaire normale. Par contre, les insuffisants respiratoires ont souvent une ventilation et une consommation d'oxygène très irrégulières ainsi que des troubles importants de la ventilation alvéolaire, qui retardent l'homogénéisation du mélange jusqu'au delà de la période de 10 minutes généralement adoptée pour la mesure du volume résiduel. Dans les cas où le mélange gazeux se fait d'une façon anormalement lente, on pourrait même attribuer à tort à l'adjonction d'argon une partie de la déviation du galvanomètre due en réalité à la diffusion de l'oxygène dans la capacité résiduelle fonctionnelle du patient.

Il est évidemment regrettable qu'une méthode de mesure du volume résiduel donne surtout des causes d'erreurs chez les insuffisants respiratoires, chez qui cette détermination est la plus intéressante. Si l'on adopte l'hélium comme gaz témoin, on peut diminuer la sensibilité du catharomètre de telle façon que l'effet argon ne se fasse pratiquement plus sentir.

β) Quasi insensibilité vis-à-vis des variations du niveau respiratoire et des modifications du volume total du système spiromètre-poumons.

Un second avantage de la méthode à l'hélium est sa sensibilité quasi nulle vis-à-vis des variations de volume, au cours de l'épreuve, du système spiromètre-poumons par suite de modifications du niveau respiratoire du sujet. Une des conditions essentielles à la mesure du volume résiduel en circuit fermé est le maintien d'un volume constant au cours du mélange des gaz. Ceci est réalisé par un dispositif de compensation automatique (16) qui maintient la cloche du spiromètre à un niveau moyen identique, par remplacement continu de l'oxygène consommé par le sujet. Toutefois, même ainsi, la constance du volume total n'est assurée que si le niveau respiratoire reste invariable. Or, les modifications du niveau respiratoire, avec empiétement progressif sur le

volume inspiratoire de réserve ou sur le volume expiratoire de réserve, ne sont pas rares chez les insuffisants respiratoires.

Considérons par exemple un sujet dont la capacité résiduelle fonctionnelle au début de la période de mélange représente 3.000 cm<sup>3</sup> se répartissant en 1.500 cm<sup>3</sup> de volume résiduel et 1.500 cm<sup>3</sup> de volume expiratoire de réserve. Dans la méthode à l'oxygène-azote, on le branche sur un spiromètre contenant par exemple 7 litres de gaz avec un pourcentage d'oxygène de 50 %. Le volume du système spiromètre-poumons sera de 10 litres et, en admettant que l'air expiré par le sujet ait une concentration en oxygène de 0,20 (compte tenu du fait que la concentration en azote de la capacité résiduelle fonctionnelle serait initialement de 80 %, et que l'anhydride carbonique CO<sub>2</sub> est absorbé de façon continue et pratiquement remplacé par un volume égal d'oxygène dans le mélange gazeux dirigé vers le diaféromètre) on doit arriver à la fin du mélange des gaz à une teneur en oxygène de :

$$\frac{7 \times 0,5 + 3 \times 0,20}{10} = 0,410 \quad \text{ou} \quad 41,0 \%$$

Si, au cours du mélange, le sujet abaisse progressivement de 200 cm<sup>3</sup> son niveau respiratoire en amputant par conséquent son volume expiratoire de réserve (fig. 8), ces 200 cm<sup>3</sup> vont être progressivement transférés dans le spiromètre et tendront à faire remonter la cloche. Le dispositif d'adjonction d'oxygène étant réglé de telle sorte que la cloche soit maintenue à un niveau constant, automatiquement la quantité d'oxygène ajoutée au circuit sera de 200 cm<sup>3</sup> inférieure à celle consommée et, de ce fait, le pourcentage d'oxygène diminuera dans le système. En même temps, le volume total de l'ensemble spiromètre-poumons sera réduit à 9.800 cm<sup>3</sup> et la concentration en oxygène deviendra :

$$\frac{7 \times 0,5 + 3 \times 0,20 - 0,200}{9,8} = \frac{3,90}{9,80} = 0,398$$

ou 39,8 %.

Or, si le volume total du système n'avait pas varié au cours de la mesure (ce que l'observateur est incapable de contrôler), une teneur finale de 0,398 d'oxygène aurait signifié une capacité résiduelle fonctionnelle *v* telle que

$$\frac{7 \times 0,5 + v \times 0,20}{7 + v} = 0,398$$

c'est-à-dire *v* = 3.600 cm<sup>3</sup>.

Dans la méthode à l'oxygène-azote, une modification du niveau respiratoire avec amputation de 200 cm<sup>3</sup> du volume expiratoire de réserve, amène

donc une surestimation de la capacité résiduelle fonctionnelle égale, dans ce cas, à 600 cm<sup>3</sup>. De plus, à la fin de l'épreuve, le volume expiratoire de réserve mesuré sur le spirogramme (fig. 8) ne sera évidemment que de 1.500 cm<sup>3</sup>. Pour un volume résiduel réel de 1.500 cm<sup>3</sup>, on arrivera donc à la valeur 3.600 — 1.500 = 2.300 cm<sup>3</sup> (en faisant une erreur supérieure à 50 %). Une erreur du même genre s'introduit dans la détermination au cas où, par suite d'une compensation incorrecte, la position de la cloche a varié entre le début et la fin de la période de mélange.

Par la méthode à l'hélium, toute erreur de ce genre est en principe exclue, car la modification du niveau respiratoire du sujet n'affecte pas la quantité d'hélium présente dans le système. Nous le prouvons en fin du paragraphe C.

L'exemple ci-dessus montre jusqu'à quel point il est désavantageux, dans la méthode en circuit fermé, d'adopter comme gaz indicateur celui qui intervient en même temps dans le mécanisme compensateur en vue du maintien d'un volume constant. Si, dans la méthode à l'hélium, la réponse du galvanomètre peut être influencée par les modifications de la teneur en oxygène du système (modifications dues à des variations du niveau respiratoire, ou à une compensation non correcte de la quantité d'oxygène consommée), l'erreur ainsi introduite est automatiquement réduite par la diminution de la sensibilité du catharomètre que permet l'emploi d'un gaz indicateur présentant une conductibilité thermique très différente de celle des gaz normalement contenus dans les poumons.

c. *Etude de la méthode à l'hélium. Etalonnage des appareils.*

Soit V le volume du spiromètre rempli initialement d'un volume V<sub>a</sub> d'air et d'un volume V<sub>He</sub> d'hélium. La concentration initiale de l'hélium est dès lors

$$[\text{He}] = \frac{V_{\text{He}}}{V_a + V_{\text{He}}} = \frac{V_{\text{He}}}{V}$$

Après la mise en communication de ce volume V avec celui v (inconnu) du poumon du sujet, communication établie à la fin d'une expiration normale de façon que v soit le volume résiduel v' plus le volume expiratoire de réserve v'', la concentration en He (après mélange) devient :

$$[\text{He}]' = \frac{V_{\text{He}}}{V + v} = \frac{\frac{V_{\text{He}}}{V}}{1 + \frac{v}{V}} = \frac{[\text{He}]}{1 + \frac{v}{V}}$$

On en déduit

$$\frac{v}{V} = \frac{[\text{He}]}{[\text{He}]'} - 1 \quad [1]$$

Le volume v peut donc être calculé en fonction de V, de [He] et de [He]'. Comme teneur initiale en He, nous avons adopté une valeur de 4 %. L'espace mort du spiromètre, cloche complètement abaissée et absorbeur de CO<sub>2</sub> rempli, a été mesuré par dosage du pourcentage d'azote aux appareils de Van Slijke et de Scholander après adjonction d'un volume connu d'oxygène. Le chiffre obtenu a été de 5.700 cm<sup>3</sup>. Il est nécessaire d'ajouter à cet espace mort un certain volume gazeux, pour permettre les mouvements de la cloche parallèles aux mouvements respiratoires. Ce volume a été standardisé à 1.500 cm<sup>3</sup> de telle sorte qu'en ajoutant 300 cm<sup>3</sup> d'He, on obtient

$$V = 5.700 + 1.500 + 300 = 7.500 \text{ cm}^3$$

$$\text{et } [\text{He}] = \frac{300}{7500} = 0,04$$

Par le choix de la sensibilité du diaféromètre, on peut réaliser pour cette teneur en He une déviation du galvanomètre de 200 unités. Pour obtenir ce résultat, il faut presque réduire la sensibilité au minimum possible. L'effet de l'adjonction d'argon, qui accompagne l'O<sub>2</sub> compensant l'oxygène consommé par le sujet, est dès lors pratiquement nul. Lorsqu'on emploie le diaféromètre de Kipp comme catharomètre, il est inutile et même difficile d'adopter des concentrations initiales d'hélium de 14 % comme celles employées au Pneumoconiosis Research Unit avec le catharomètre de Cambridge, par Gilson et Hugh-Jones (37) (38) et par Lavenne, Wade, Hugh-Jones et Gilson (39). Le coût de 300 cm<sup>3</sup> d'hélium, suffisant pour une détermination du volume résiduel, n'est que de 6 francs environ.

La mesure de routine de la capacité résiduelle fonctionnelle à partir de la déviation du galvanomètre à la fin du mélange des gaz nécessite l'établissement d'une courbe d'étalonnage. Dans la méthode à l'oxygène-azote, celle-ci était réalisée par l'adjonction de volumes croissants d'air atmosphérique au spiromètre, préparé comme pour la mesure de la capacité résiduelle fonctionnelle. La relation entre la lecture au galvanomètre et le volume gazeux ajouté au circuit est donnée par une courbe que nous avons publiée antérieurement (16).

Pour la méthode à l'hélium, on peut opérer de la même façon en ajoutant au volume initial de 7.500 cm<sup>3</sup>, contenant 4 % d'hélium, des volumes croissants ΔV d'air atmosphérique (600, 1200, 1800 ... 5.400 cm<sup>3</sup>). A chaque volume V + ΔV, correspond une concentration en He et une déviation x du galvanomètre. Le tableau XI en donne les grandeurs.

TABLEAU XI.

Déviations du galvanomètre en fonction des concentrations en hélium.

$\Delta V$	$V + \Delta V$	[He]	$x$
0	7.500	0,0400	200
600	8.100	0,0370	187
1.200	8.700	0,0345	174
1.800	9.300	0,0323	163
2.400	9.900	0,0303	153
3.000	10.500	0,0285	145
3.600	11.100	0,0270	138
4.200	11.700	0,0257	131
4.800	12.300	0,0244	125
5.400	12.900	0,0233	119

Les valeurs de  $x$  renseignées à ce tableau sont les valeurs médianes provenant de 40 mesures. Celles-ci ont au préalable subi une correction de façon à ramener chaque fois la lecture  $x$  à 200 unités pour  $[He] = 0,04$  (et donc  $\Delta V = 0$ ).

Pour une même sensibilité du circuit du pont de Wheatstone, la déviation du galvanomètre entre des pourcentages de 0 et 4 % d'hélium varie en effet d'une expérience à l'autre de  $\pm 10$  %. Par rapport à la valeur de 200 fixée pour  $[He] = 0,04$  par le choix de la sensibilité, les déviations initiales réellement obtenues s'échelonnent donc entre 180 et 220. Ces différences sont dues à deux facteurs. D'une part, il est difficile de réaliser exactement la concentration d'hélium choisie : dans l'adjonction des 300 cm<sup>3</sup> d'hélium, on évite difficilement une

(38), la réponse du catharomètre à des concentrations d'hélium identiques varie légèrement d'un jour à l'autre en fonction de la pression barométrique et de la température.

Les valeurs de  $x$  obtenues expérimentalement, en ajoutant des quantités croissantes d'air atmosphérique diluant le mélange initial donnent lieu à des écarts relativement importants. Ceux-ci s'atténuent toutefois considérablement si l'on prend soin de corriger tous les résultats de façon à ramener à 200 la déviation du galvanomètre obtenue entre la concentration en hélium de 0 % et celle de 4 % supposée réalisée initialement. Chacune des 40 valeurs individuelles de  $x$  sera donc corrigée en la multipliant par 200 et en la divisant par la lecture initiale ( $200 \pm \epsilon$ ) du galvanomètre. La nature de cette correction se justifie d'une part par le fait que dans l'expression [1] de  $v/V$  écrite ci-dessus, les concentrations en He interviennent par leur rapport et d'autre part par le caractère linéaire de la courbe d'étalonnage, qui en principe doit passer par l'origine.

$$x = f ([He]) \quad [2]$$

qui résulte des valeurs inscrites au tableau XI. En effet, les points obtenus par report des valeurs du tableau XI par rapport à un système d'axes  $o [He]$ ,  $ox$  donnent un ensemble se plaçant sur une droite comme on le voit à la figure 9. Il est intéressant de comparer cette ligne expérimentale à une ligne d'étalonnage théorique basée sur l'hypothèse suivant laquelle la réponse du catharomètre, dans les limites de concentrations envisagées, serait strictement proportionnelle à la concentration en hélium. La droite

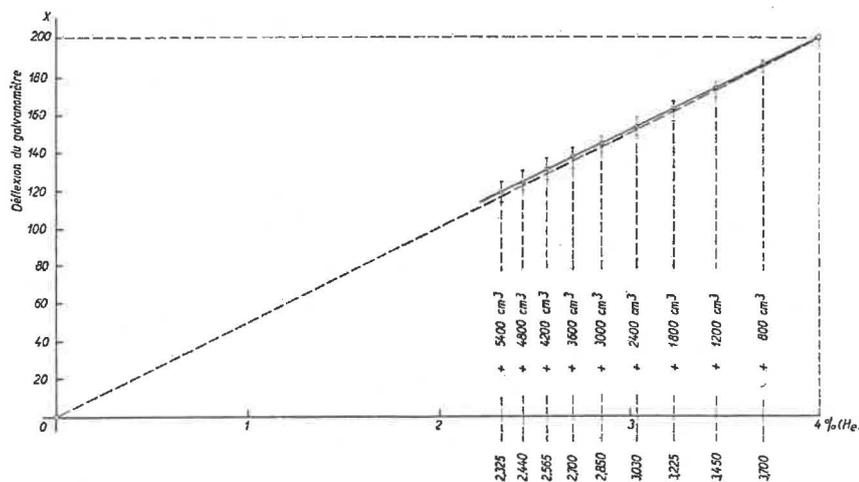


Fig. 9.

erreur de  $\pm 5$  %, sans compter que l'espace mort du spiromètre peut varier légèrement en fonction du niveau d'eau sous la cloche et du degré de remplissage des récipients de chaux sodée. D'autre part, comme le font remarquer Gilson et Hugh-Jones

joignant le point  $[He] = 0,04$  et  $x = 200$  à l'origine des coordonnées est tracée en pointillé dans la figure 9. La quasi identité dans l'intervalle  $[He] = 0,02 \dots 0,04$  des lignes expérimentale et théorique confirme l'hypothèse d'une réponse liné-

aire du catharomètre à la concentration en [He].  
On peut dès lors écrire

$$x = k [\text{He}].$$

La formule [1] devient alors

$$\frac{v}{V} = \frac{k [\text{He}]}{k [\text{He}']} - 1 = \frac{200}{x} - 1 \quad [3]$$

car la valeur initiale de  $x$  est choisie de façon que  $k [\text{He}] = 200$ . La valeur de  $x$  à introduire dans la formule [3] sera d'autre part celle corrigée comme dit ci-avant. Si  $x_0$  est l'élongation brute, la valeur de  $x$  à utiliser dans le calcul sera

$$x = x_0 \frac{200}{200 \pm \varepsilon}$$

$200 \pm \varepsilon$  étant la déviation initiale dans l'opération qui a conduit à  $x_0$ ; en effet on a

$$\frac{[\text{He}]}{[\text{He}']} = \frac{200 \pm \varepsilon}{x_0} = \frac{200}{x_0 \frac{200}{200 \pm \varepsilon}} = \frac{200}{x}$$

et conduit dans un système d'axes ( $v/V, x$ ) à une hyperbole équilatère dont une des asymptotes est l'axe  $o v/V$  horizontal et l'autre la verticale  $v/V = -1$ . La courbe coupe par ailleurs l'axe  $o, x$  au point  $x = 200$ . La figure 10 représente cette hyperbole. Dans les publications médicales, on a coutume de présenter cette courbe comme le montre la figure 11 : la ligne tracée dans cette figure est une image spéculaire de l'hyperbole construite rationnellement. Dans cette dernière figure, la ligne en trait interrompu représente la courbe obtenue par calcul, tandis que celle en trait plein représente la courbe expérimentale résultant de la considération pour chacun de ses points de 40 mesures d'étalonnage. Par ailleurs, le diagramme de la figure 11 a subi une modification d'échelle permettant de lire directement en abscisses la valeur de  $v$  pour  $V = 7.500 \text{ cm}^3$ , qui est le volume de départ standardisé pour toutes les opérations de routine à l'Institut d'Hygiène des Mines.

La dispersion des résultats, illustrée sur la courbe expérimentale de la figure 9, permet de calculer l'écart-type de ces mesures. Celui-ci monte progressivement de  $\pm 80 \text{ cm}^3$  pour une adjonction d'un volume d'air de  $1.200 \text{ cm}^3$ , à  $\pm 110 \text{ cm}^3$  pour un volume d'air de  $1.800 \text{ cm}^3$ , à  $\pm 150 \text{ cm}^3$  pour un

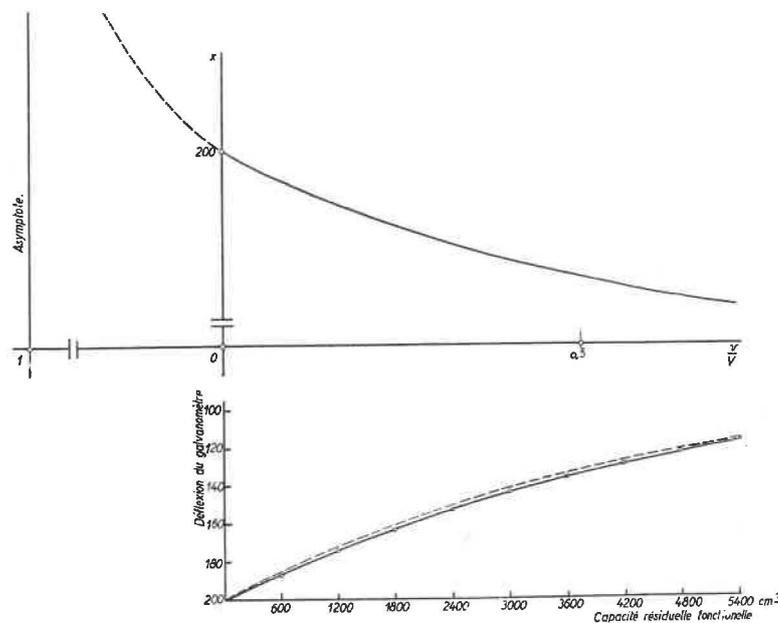


Fig. 10.

La formule [3] se prête évidemment à la construction d'une courbe d'étalonnage donnant directement

$\frac{v}{V}$  ou  $v$ ; elle peut s'écrire en effet

$$\frac{v}{V} x = 200 - x$$

volume de  $4.200 \text{ cm}^3$  et à  $\pm 200 \text{ cm}^3$  pour l'adjonction d'un volume de  $5.400 \text{ cm}^3$ . Dans la mesure du volume résiduel, on ne paraît pas en droit d'espérer une précision plus grande que dans l'établissement des courbes d'étalonnage. Les écarts-types que nous avons trouvés sont à rapprocher de ceux obtenus par d'autres auteurs dans les mesures du volume résiduel par la méthode à l'hélium. Selon Gilson et Hugh-Jones (58), Meneely et Kaltreider (40) et

Briscoe, Becklake et Rose (41) l'écart-type d'une mesure chez un sujet serait de  $\pm 100 \text{ cm}^3$ . Par contre, Whitfield, Waterhouse et Arnott (42) ont trouvé un écart-type, d'environ  $\pm 500 \text{ cm}^3$ .

L'examen de la méthode, telle que nous l'avons faite par les formules ci-dessus, justifie directement notre assertion concernant l'insensibilité de la méthode à l'hélium, aux variations du niveau respiratoire du sujet ainsi qu'à la position de la cloche.

Si au cours de l'expérience le sujet modifie son niveau respiratoire, tout se passe comme s'il modifiait le volume  $v$  qui fait l'objet de la mesure. Toutefois, cette modification se fait uniquement par la variation du volume expiratoire de réserve  $v''$ . Or, la valeur de  $v''$  peut être relevée au spiromètre en fin d'essai. La valeur du volume résiduel  $v'$  résultant du calcul

$$v' = v - v''$$

est dès lors rigoureusement exacte.

Un raisonnement semblable pourrait être fait si la cloche à la fin de l'expérience n'est pas rigoureusement à la même hauteur qu'au début : cette circonstance se présente fréquemment et des écarts de

$\pm 150 \text{ cm}^3$  sont courants. Mais cette différence peut être mesurée sur le spirogramme. Si cette différence, exprimée en  $\text{cm}^3$ , est  $\pm \Delta v$ , tout se passe comme si le volume  $v$  ajouté à  $V$  au cours de la mesure était modifié de  $\pm \Delta v$ . On devra dès lors calculer  $v'$  en écrivant

$$v' = v \pm \Delta v - v''.$$

En revenant à la figure 8 qui représente un spirogramme avec maintien d'un niveau expiratoire constant et un second spirogramme avec niveau expiratoire abaissé insuffisamment compensé par un abaissement de la cloche, on voit que pratiquement on doit toujours soustraire le volume expiratoire de réserve à partir du niveau expiratoire initial et non du niveau expiratoire final. En procédant ainsi, on soustrait en effet de  $V$ , la somme éventuelle de  $v'' \pm \Delta v$ .

Enfin, du fait que la courbe d'étalonnage originale donne en fonction de  $x$  le rapport  $v/V$ , on voit encore que l'on fera sur la mesure de  $v$  une erreur proportionnelle à celle réalisée sur le volume  $V$  avant l'expérience.

(à suivre).

## BIBLIOGRAPHIE

(1) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1954. — Annales des Mines de Belgique, 1955, 3, 373/410.

(2) LAVENNE F. et BELAYEW D. — Problèmes médicaux soulevés par le travail aux températures élevées. 2<sup>me</sup> partie : État cardiaque et circulatoire de mineurs ayant travaillé durant au moins 5 ans aux hautes températures. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1954, T. 9, n° 117, 24 p.

(3) LAVENNE F. et BELAYEW D. — Incidence des affections cardio-vasculaires chez les houilleurs. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1955, T. 10, n° 127, 19 p.

(4) LAVENNE F. — Le retentissement cardio-vasculaire de la silicose et de l'antraco-silicose. Contribution à l'étude du « cor pulmonale ». — Rev. Belge Pathologie et Médecine Expérimentale, 1951, T. 21, Suppl. VI, 264 p.

(5) LAVENNE F. — Les complications cardiaques de la silicose. Leur place parmi les cardiopathies des houilleurs. — in Compte rendu des Journées Françaises de Pathologie Minière, Paris, Charbonnages de France, 1954, 263/348.

(6) DERVILLEE P. — Problèmes de médecine du travail posés par les états cardio-vasculaires chroniques. A. Exposé général — Fréquence et importance des états cardio-vasculaires chroniques dans les collectivités de travail. — in Rapports et Communications des 4<sup>me</sup> Journées Nationales de Médecine du Travail (Montpellier, 1955). Paris, Association « Médecine du Travail », 1955, 11/27.

(7) MORRIS J.N. et HEADY J.A. — Mortality in relation to the physical activity of work. A preliminary note on experience in middle age. — Brit. J. Indust. Med., 1953, T. 10, 245/254.

(8) BOEMKE F., PIROTH M. et SCHULTE-STRACKE F.J. — Silikose und Coronarsklerose. — Beitr. Silikose-Forschung, 1955, Heft 33, 1/19.

(9) NADIRAS P. et DELESVAUX R. — Exploration électrocardiographique d'un groupe de silicosés. — Rev. Méd. Minière, 1951, T. 4, n° 13-14, 3/9.

(10) LAVENNE F., GIELEN E. et PESTIAUX J. — Recherches sur la pneumoconstriction après le travail et sur la pneumodilatation par aérosols chez les houilleurs. — in Compte rendu du IX<sup>me</sup> Congrès International de Médecine du Travail, Naples, 1954, 80/81.

(11) DAUTREBANDE L., ALFORD W.C., HIGHMAN B., DOWNING R. et WEAVER F.L. — Studies on Aerosols. V. The influence of dust on the actual pulmonary volume. — J. of Applied Physiology, 1948, T. 1, 339/349.

(12) DAUTREBANDE L. — L'aérosologie. Technique. Physiologie. Thérapeutique. Hygiène. — Paris, Baillière, 1951, 540 p.

(13) DAUTREBANDE L. — Aspects nouveaux de la lutte contre les poussières. — Bruxelles, Librairie de l'A.I.B., 1952, 119 p.

(14) SCHILLER E. et WORTH G. — Die Retention von Gewerbestäuben im Respirationstrakt und ihre Bedeutung für die Entstehung von Pneumokoniosen. — Ztschr. f. Aerosol-Forschung und Therapie, 1953, T. 2, 462/475.

(15) ZORN O. et WORTH G. — Möglichkeiten der Therapie bei der Silikose. — Fortschr. der Medizin, 1954, T. 72, 403/404.

(16) 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.

(17) BECKMANN H. — Prophylaxe und Behandlung der Silikose. P.A.C.T., 1955, T. 9, 21/35.

(18) LENT H. — Untersuchungen über das Vorkommen von Bronchialspasmen bei Bergleuten. — Beitr. Silikose-Forschung, 1950, Heft 10, 3/17.