

L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1957

par A. HOUBERECHTS

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

SOMMAIRE

Introduction.

I. — Travaux de la Section Médicale.

1. — *Examens systématiques.*
 - A. - Examens pratiqués à l'Institut d'Hygiène des Mines.
 - B. - Examens pratiqués en dehors de l'Institut d'Hygiène des Mines.
2. — *Travaux radiologiques.*
 - A. - Comparaison entre radiographies grand format et radiophotographies pour le diagnostic de la pneumoconiose simple.
 - B. - Aspects tomographiques des images confluentes dans la pneumoconiose des houilleurs.
3. — *Recherche sur les épreuves fonctionnelles pulmonaires à l'effort par la méthode en circuit fermé.*
 - A. - Intérêt de la méthode en circuit fermé par rapport à la méthode en circuit ouvert.
 - B. - Écueils de la méthode en circuit fermé.
 - C. - Usage du metabographe de Fleish.

4. — *Recherches sur l'entraînement aux hautes températures.*

II. — Travaux de la Section Technique.

1. — *Lutte contre les poussières.*
 - A. - Analyse des poussières. Conimétrie.
 - B. - Lutte contre les poussières dans les chantiers. Matériel et procédés divers.
2. — *Ventilation et climat.*
 - A. - Résolution de problèmes de ventilation par analogie électrique.
 - B. - Etudes des conditions climatiques du fond.
 - C. - Étude des pertes de charge dans les puits.
3. — *Travaux divers.*
 - A. - Contrôle de l'empoussiérage de l'air dans un triage lavoir.
 - B. - Épuration des gaz d'échappement d'un moteur Diesel.
 - C. - Tarage des anémomètres.
4. — *Enquête.*

BIBLIOGRAPHIE.

INTRODUCTION

L'Institut d'Hygiène des Mines publie régulièrement au profit de ses affiliés, sous forme de « Communications » le détail des travaux poursuivis par ses chercheurs, tant dans ses laboratoires que dans les charbonnages. Toutefois, suivant une tradition établie depuis plusieurs années, les Annales des Mines de Belgique publient un rapport montrant dans son ensemble l'activité de l'Institut, ses principales réalisations et les résultats les plus intéressants enregistrés.

Le présent article constitue donc la suite logique des rapports parus les années antérieures. Nous invitons nos lecteurs à se reporter aux exposés relatifs aux années antérieures afin de comprendre

plus aisément la continuité de nos travaux. Afin de ne pas allonger inutilement notre exposé, nous avons en effet traité certaines questions d'une façon relativement compendieuse. La plupart de nos travaux étant du reste déjà publiés, nous ne nous arrêterons plus aux détails des essais, calculs et études.

Comme par le passé, nous profiterons cependant de cette publication pour faire connaître les résultats de certaines études particulières qui, tout en présentant un intérêt certain, n'ont pas une ampleur suffisante pour justifier la diffusion d'une Communication à leur sujet.

I. — TRAVAUX DE LA SECTION MEDICALE

1. — Examens systématiques.

A. Examens pratiqués à l'Institut d'Hygiène des mines.

Jusqu'en 1951, le nombre de houilleurs envoyés annuellement à l'Institut par les médecins de charbonnages pour mise au point d'un diagnostic difficile ne dépassait guère la centaine. En 1957, il s'est élevé à 504.

L'augmentation régulière du nombre d'examens pratiqués ne donne toutefois qu'une idée imparfaite du travail accompli par la Section Médicale. Ainsi que nous l'avons exposé l'an dernier (1), les techniques d'examens ont été en même temps considérablement développées. Parmi les 504 houilleurs examinés, 228 ont été tomographiés, 467 ont subi un électrocardiogramme et 459 des épreuves fonctionnelles pulmonaires au repos et à l'effort. Dans plus de 300 cas, outre l'effort standard de 6 minutes décrit antérieurement (1), on a imposé un effort de plus longue durée, dans lequel le débit ventilatoire, la fréquence respiratoire, les équivalents respiratoires ainsi que le quotient respiratoire ont été enregistrés de façon continue à l'aide du métabographe de Fleish (2). Nous envisagerons plus loin le principe et les avantages de cet appareil.

Ces examens approfondis sont indiscutablement utiles au patient, à son médecin de famille ainsi qu'au médecin d'industrie qui a pour mission d'assurer la tutelle sanitaire des travailleurs. Mais ils constituent en outre une source de documentation considérable pour les chercheurs de l'Institut d'Hygiène des Mines, concernant les rapports notamment entre l'image pneumoconiotique et l'empoussiérage, entre l'apparition de confluences et les infections intercurrentes, entre les modifications radiologiques et la gêne respiratoire.

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

Grâce à l'usage du car radiologique de l'Institut, des collectivités importantes de mineurs ont pu être examinées au sein même de l'entreprise qui les occupe. C'est ainsi que le Dr. Belayew a poursuivi l'exploration radiologique de 1.394 ouvriers des Charbonnages de l'Espérance et Bonne Fortune et de 352 ouvriers des Charbonnages d'Ans et de Rocour.

De nombreux ouvriers ont déjà subi 3 ou 4 examens radiologiques à deux ans d'intervalle, ce qui permet une étude de l'évolution de leur pneumoconiose en tenant compte de leur anamnèse professionnelle et des conditions d'empoussiérage.

2. — Travaux radiologiques.

A. Comparaison entre radiographies grand format et radiophotographies pour le diagnostic de la pneumoconiose simple.

Au 12^e Congrès International de Médecine du Travail, qui s'est tenu à Helsinki du 1^{er} au 6 juillet 1957, F. Lavenne et J. Patigny (3) ont présenté les résultats d'un travail précédemment annoncé dans cette revue (4) sur la valeur de la radiophotographie de l'écran pour le diagnostic de la pneumoconiose simple.

Rappelons que la classification internationale de Cardiff-Douai (5) appelle pneumoconiose simple les images micronodulaires et nodulaires, par opposition aux images condensées.

La pneumoconiose simple est elle-même divisée en 3 stades 1, 2, 3, en fonction du nombre de micronodules. Ces 3 stades correspondent assez bien aux images M₁, M₂, M₃ de la classification de l'Institut d'Hygiène des Mines (6). Entre les images normales (classées 0) et le stade micronodulaire débutant (catégorie 1), la classification de Cardiff-Douai situe une image X, caractérisée essentiellement par une accentuation de la trame pulmonaire, sans images micronodulaires évidentes, qui correspond assez bien à l'image SOR de l'Institut d'Hygiène des Mines.

Les images condensées sont classées A, B, C, D suivant l'étendue des confluences. La catégorie A correspond aux condensations non définies de l'Institut d'Hygiène des Mines (C.N.D.), les images B, C et D aux pseudotumeurs. Le tableau I permet de convertir la classification de l'Institut d'Hygiène des Mines dans la classification internationale.

TABLEAU I.

Comparaison de la classification de l'Institut d'Hygiène des Mines et de celle de Cardiff-Douai.

| Classification de l'Institut d'Hygiène des Mines | Classification internationale Cardiff-Douai |
|--|---|
| O, SO | O |
| SOR | X |
| M ₁ N ₁ | 1 (m ou n) |
| M ₂ N ₂ | 2 (m ou n) |
| M ₃ N ₃ | 3 (m ou n) |
| CND | A |
| T | B, C, D |

En ce qui concerne leur mise en évidence par radiophotographie, les images de pneumoconiose condensée posent le même problème que la tuber-

culose, pour laquelle Bariéty et collaborateurs (7) ont effectué une étude comparée des grands et petits formats, tout en revoyant les travaux antérieurs. On peut conclure de ces comparaisons que la radiophotographie sur format 7 × 7 convient très bien à la détection des images de pneumoconiose condensée, les cas décelés devant être soumis à des examens radiologiques plus poussés comportant non seulement des radiographies mais aussi des tomographies (8).

Le diagnostic de la pneumoconiose simple et de son stade a fait l'objet d'études comparatives moins nombreuses et aux résultats plus divergents. A côté des conclusions optimistes de Bonte et collaborateurs (9) et de Jarry (10), on note l'avis plus nuancé de Aupetit et Flouquet (11), qui considèrent les radiophotographies 7 × 7 cm comme parfaitement valables pour permettre le diagnostic entre images normales et anormales, mais insuffisantes en vue d'un protocilage précis. Fletcher (12) avait conclu d'une comparaison entre radiographies standards et divers types de petits formats, qu'aucune technique radiophotographique n'était au point pour le diagnostic de la pneumoconiose simple.

Les travaux du «Pneumoconiosis Research Unit» de Cardiff (13) (14) (15) (16) (17), confirmés récemment par une recherche de l'Institut d'Hygiène des Mines de Hasselt (8), ont montré que pour prévenir la pneumoconiose pseudotumorale, il importait de retirer les ouvriers des chantiers poussiéreux avant qu'ils aient atteint le stade 2 de la classification de Cardiff-Douai. D'où l'intérêt au point de vue prophylactique de distinguer le stade 1 du stade 2. Environ 20 % des ouvriers travaillant dans le fond ont une image de pneumoconiose simple (18). Si la distinction entre stade 1 et stade 2 n'est réellement pas possible sur radiophotographies, on sera amené à contrôler sur grands formats un pourcentage très important de certaines catégories d'ouvriers (par exemple ceux ayant de 5 à 15 ans de

fond). Dans ce cas, l'intérêt économique du triage initial sur petits formats pourrait être mis en doute.

a. *Matériel et méthode de travail.*

Cinquante houilleurs ont été radiographiés à la fois sur format 35 × 35 cm et radiophotographiés sur formats 10 × 12 cm et 7 × 7 cm (Odelca). Chez 10 sujets, une seconde radiographie grand format a été prise avec une technique légèrement différente. La même expérience a été faite dans 10 cas pour les 10 × 12 cm. On avait ainsi 60 radiographies 35 × 35, 60 clichés 10 × 12 (caméra à lentille) et 50 clichés Odelca 7 × 7, tous reconnus acceptables pour le diagnostic courant.

Ils furent soumis à 16 médecins, compétents dans le diagnostic des pneumoconioses, dont 8 avaient en outre une grande habitude des petits formats. Chacun d'eux protocila isolément à deux reprises à quinze jours d'intervalle les 3 séries de clichés, en fonction de la classification de l'Institut d'Hygiène des Mines qui, comme nous l'avons signalé, est aisément transposée en celle de Cardiff-Douai. De plus, les clichés grand format furent lus d'une part sans référence à une collection standard (G.F.) et d'autre part avec référence à cette collection (G.F. comparés). Un planning précis fut adopté pour réduire au maximum l'influence de la mémoire, celle de la fatigue et toute autre cause d'erreur supplémentaire.

On veilla à ce que les clichés de chaque série ne fussent pas représentés dans le même ordre aux divers observateurs. D'autre part, lors de la seconde séance, chacun des observateurs revit les séries de clichés dans l'ordre inverse de la première fois. L'ordre choisi fut tel que pour chaque groupe de 4 médecins et les deux séances de lectures, on obtint toutes les combinaisons possibles. Nous donnons ci-dessous comme exemple l'ordre adopté pour les lecteurs A, B, C et D.

TABLEAU II.
Organisation des séances de protocilage pour les lecteurs A, B, C, et D.

| 1 ^{re} séance | | | | 2 ^{me} séance | | | |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| A | B | C | D | A | B | C | D |
| 35 × 35 | 10 × 12 | 35 × 35 | 7 × 7 | 7 × 7 | 35 × 35 (C) | 10 × 12 | 35 × 35 (C) |
| 10 × 12 | 35 × 35 | 7 × 7 | 35 × 35 | 35 × 35 (C) | 7 × 7 | 35 × 35 (C) | 10 × 12 |
| 35 × 35 (C) | 7 × 7 | 35 × 35 (C) | 10 × 12 | 10 × 12 | 35 × 35 | 7 × 7 | 35 × 35 |
| 7 × 7 | 35 × 35 (C) | 10 × 12 | 35 × 35 (C) | 35 × 35 | 10 × 12 | 35 × 35 | 7 × 7 |

La note (C) après 35 × 35 indique les lectures des grands formats avec référence à la collection standard.

Les radiophotographies 7 × 7 furent lues à l'aide d'une loupe au grossissement 2,5. Les clichés 10 × 12 ne furent pas protocilés à la loupe.

Lors de chaque séance, les deux premières séries de clichés furent vues le matin, les deux autres l'après-midi, avec entretemps des périodes de dé-

tente visant à réduire au maximum l'effet de fatigue.

Le temps nécessaire au protocologage de 50 ou 60 clichés varie considérablement selon les observateurs, les extrêmes étant de 30 minutes et de 1 heure 30 minutes.

On obtint ainsi pour chacun des clichés de chaque série (G.F., G.F. comparés, 10×12 et 7×7) 32 diagnostics, soit deux par médecin. Le calcul de leur dispersion nécessitait la fixation du diagnostic considéré comme vrai. Dans la forte majorité des cas, celui-ci résultait clairement de l'ensemble des opinions individuelles; pour ces cas en effet l'opinion médiane, l'opinion modale (la plus fréquente) et l'opinion moyenne se concentraient sur la même classe.

Pour certains clichés toutefois, le diagnostic optimum n'apparaissait pas clairement, la médiane et la modale, entre lesquelles se situe nécessairement la moyenne, correspondant à des classes différentes. D'autre part, le diagnostic médian était loin d'être toujours identique pour les divers formats. Les 16 médecins ont alors effectué une lecture collective, les divers clichés d'un même ouvrier étant cette fois groupés. Le diagnostic collectif ne fut en désaccord avec l'opinion médiane que pour moins de 10 % des clichés et chaque fois dans des cas limites. Ce diagnostic médian, éventuellement corrigé par la lecture collective, a été considéré comme le *diagnostic « optimum »* à partir duquel on a calculé les erreurs individuelles pour chacun des clichés.

D'autre part, lorsque le diagnostic optimum était différent selon le format ou la qualité du cliché, on a fait préciser pour chacun des 50 ouvriers le *diagnostic « correct »*, compte tenu de la technique radiologique. C'est à partir de cette réponse qu'on a recherché l'influence du type de cliché sur le diagnostic optimum.

b. Résultats.

a. Influence du type de cliché sur le diagnostic optimum.

L'accord se fit sur les diagnostics corrects suivants : catégorie 0 - 18 cas ; catégorie X - 12 cas ; catégorie 1 - 9 cas ; catégorie 2 - 9 cas ; catégorie 3 - 2 cas. La comparaison de ces diagnostics avec les diagnostics optimums des divers clichés met en évidence les faits suivants :

— Parmi les 60 clichés 35×35 (G.F.), 5 (8 %) ne permettaient pas un diagnostic correct. L'erreur était chaque fois par défaut et d'une classe seulement. De ces 5 clichés, 4 étaient des doubles. Par conséquent, chez les 10 sujets dont on possédait deux clichés G.F., ceux-ci ne permettaient que six fois un diagnostic identique.

— Parmi les 60 clichés 10×12 , 22 (37 %) ne permettaient pas un diagnostic correct, l'erreur collective étant 16 fois par défaut, dont une fois de 2 classes et 6 fois par excès, dont une fois de 2 clas-

ses. De ces 22 clichés amenant un diagnostic collectivement erroné, 7 étaient des doubles. Chez les 10 ouvriers dont on possédait deux clichés 10×12 , les deux diagnostics n'étaient que 4 fois identiques. Dans 4 cas, l'un des clichés donnait un diagnostic trop faible d'une classe, dans un cas le diagnostic faux était exagéré de deux classes (1 au lieu de 0) et dans le dernier, les deux diagnostics étaient faux (1 et 0, au lieu de X).

— Les radiophotographies 7×7 cm ont permis un accord sur le diagnostic correct chez 33 des 50 sujets. Les 17 erreurs (34 %) se répartissent en 9 par défaut et 8 par excès, chaque fois d'une classe.

— Pour les 50 ouvriers, le diagnostic commun des observateurs ne fut que 20 fois identique sur les 3 à 5 clichés examinés. De plus, la proportion de diagnostics identiques est plus importante lorsque le diagnostic correct est 0 (12 fois sur 18) qu'aux stades X (5 fois sur 12), 1 (1 sur 9), 2 (1 sur 9) et 3 (1 sur 2).

— Même si l'on ne tient compte que des 32 ouvriers dont les clichés G.F. ou 10×12 n'étaient pas présentés en double, la concordance des diagnostics optimum dans les trois formats n'est encore réalisée que 15 fois sur 32, dont 10 fois sur 14 au stade 0, 3 fois sur 8 au stade X, 1 fois sur 6 au stade 1, 0 fois sur 3 au stade 2 et 1 fois sur 1 au stade 3. Parmi les 17 cas où au moins un des clichés induisait en erreur, le grand format n'était ici jamais en cause. Dans 6 cas, il s'agissait uniquement du 10×12 cm, dans 4 cas uniquement du 7×7 cm et dans les 7 autres à la fois des deux procédés de radiophotographie.

β. Influence du format sur la dispersion des diagnostics.

On a calculé pour chacune des séances de lecture la dispersion des résultats des divers observateurs par rapport au diagnostic optimum pour chacun des clichés. Considérant les 5 classes successives (0, X, 1, 2, 3), on a grevé du coefficient ± 1 tout écart d'une classe respectivement vers le haut ou le bas, du coefficient ± 2 tout écart de 2 classes et ainsi de suite. Dès lors, on peut traiter les résultats statistiquement en calculant, comme Fletcher et Oldham (19) l'ont fait, la somme des carrés des écarts d'un lecteur ou de l'ensemble des lecteurs à l'une ou l'autre des séances. En divisant les valeurs ainsi obtenues chaque fois par le nombre de clichés protocologés (moins un), on a pu calculer 8 écarts quadratiques moyens σ^2 représentant la variance des réponses, au cours de chaque séance, par rapport au diagnostic optimum, respectivement pour les G.F. comparés, les G.F., les 10×12 et les 7×7 .

Les écarts quadratiques moyens individuels, qui permettent de calculer les écarts quadratiques moyens collectifs, ne reflètent toutefois qu'imparfaitement la faculté du lecteur de classer les docu-

ments en fonction de la gravité de la pneumoconiose. En effet, il faut tenir compte des tendances individuelles à être plus ou moins sévères, qui entraînant systématiquement une erreur dans le même sens. En effectuant les sommes algébriques des écarts et en les divisant par 50 ou 60, on obtient pour chaque lecteur et pour un format donné, la *tendance moyenne* à l'une ou l'autre séance. En retirant de la somme des carrés des écarts autant de

fois le carré de la tendance qu'il y a de clichés dans chaque série, on obtient comme on peut le montrer une somme des carrés des écarts corrigés, à partir de laquelle on peut calculer des σ^2 corrigés, individuels et collectifs.

Le tableau III donne pour chacune des séances et chacun des formats, les σ^2 de l'ensemble des observateurs avec et sans correction pour les tendances personnelles.

TABLEAU III.
Comparaison des σ^2 collectifs, corrigés et non corrigés, pour les divers formats à chacune des séances de lecture.

| Clichés | 1 ^{re} séance | | 2 ^{me} séance | |
|--------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| | σ^2 | σ^2 corrigé | σ^2 | σ^2 corrigé |
| G.F. comparé | 0,49 | 0,40 | 0,44 | 0,41 |
| G.F. | 0,77 | 0,55 | 0,47 | 0,42 |
| 10 × 12 | 0,94 | 0,57 | 0,58 | 0,46 |
| 7 × 7 | 0,84 | 0,57 | 0,64 | 0,51 |

L'application à ces σ^2 du test de Snedecor permet les conclusions suivantes :

— Il existait en moyenne lors de la 1^{re} séance des tendances individuelles significatives même pour les clichés grand format avec comparaison de standards. Ces tendances sont devenues plus faibles lors de la seconde séance et elles sont le moins prononcées pour les grands formats avec comparaison. Si l'on veut comparer les formats entre eux, l'examen des σ^2 bruts constitue un test plus complet de la valeur du format que la comparaison des σ^2 corrigés.

— Les σ^2 bruts et corrigés des petits formats et du G.F. se rapprochent d'une séance à l'autre des valeurs obtenues avec le G.F. comparé. Toutefois même lors de la seconde séance, il persiste une dif-

férence significative entre les σ^2 bruts des grands formats avec ou sans comparaison et les petits formats. Rien ne permet de déceler une supériorité du format 7 × 7 Odelca sur le 10 × 12.

γ. Etude des dispersions individuelles.

Le tableau IV indique la contribution de huit des seize observateurs aux σ^2 corrigés du tableau III. Les quatre premiers n'avaient qu'une pratique très limitée des petits formats, F et J étaient accoutumés à lire des 10 × 12, B et N à lire des 10 × 12 et des 7 × 7 cm.

La lecture de ce tableau vient nuancer les constatations tirées des σ^2 collectifs, mais met surtout en évidence l'influence considérable de l'observateur sur la dispersion des diagnostics.

TABLEAU IV.
Comparaison des σ^2 corrigés de huit des lecteurs.

| Lecteur | 1 ^{re} séance | | | | 2 ^{me} séance | | | |
|---------|------------------------|------|---------|-------|------------------------|------|---------|-------|
| | G.F.C. | G.F. | 10 × 12 | 7 × 7 | G.F.C. | G.F. | 10 × 12 | 7 × 7 |
| A | 0,25 | 0,23 | 0,36 | 0,42 | 0,34 | 0,24 | 0,32 | 0,42 |
| H | 0,28 | 0,57 | 0,49 | 0,52 | 0,31 | 0,39 | 0,66 | 0,62 |
| M | 0,64 | 1,15 | 0,99 | 0,91 | 0,72 | 0,60 | 0,63 | 0,63 |
| O | 0,37 | 0,42 | 0,30 | 0,49 | 0,32 | 0,45 | 0,36 | 0,41 |
| F | 0,40 | 0,42 | 0,61 | 0,80 | 0,43 | 0,42 | 0,59 | 0,78 |
| J | 0,44 | 0,57 | 0,29 | 0,54 | 0,35 | 0,39 | 0,22 | 0,36 |
| B | 0,48 | 0,75 | 0,69 | 0,42 | 0,49 | 0,46 | 0,38 | 0,48 |
| N | 0,42 | 0,45 | 0,49 | 0,31 | 0,38 | 0,39 | 0,38 | 0,53 |

c. Conclusions.

α. Aux radiophotographies 10×12 cm et 7×7 cm retenues pour cette expérience, on peut faire un reproche fondamental : plus du tiers d'entre elles ont induit l'ensemble des lecteurs en erreur, en décalant le diagnostic optimum d'une classe et même parfois de deux, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Les clichés 7×7 cm à caméra-miroir n'ont pas à ce point de vue une supériorité évidente sur les 10×12 cm à lentille.

Des erreurs collectives ont également été rencontrées dans 8 % des clichés grand format. Il s'agissait toutefois presque toujours de radiographies faites en double en variant systématiquement la technique, ce qui expliquerait que l'erreur soit ici toujours dans le même sens.

On voit donc l'importance de légères variations de la technique radiologique sur le diagnostic moyen des observateurs. Il se peut que l'infériorité constatée pour les petits formats soit due non à la grandeur du cliché, mais à la difficulté d'obtenir des documents parfaits avec la technique radiographique actuelle. Nos techniciens, pourtant entraînés, n'ont pas échappé à cet écueil.

Vu le pourcentage considérable de diagnostics collectivement erronés sur radiophotographies, aux stades X, 1 et 2, notre technique radiographique actuelle peut servir à un simple triage de cas normaux d'une part et des pneumoconioses condensées d'autre part, mais doit être rejetée si l'on a pour but de faire un diagnostic de pneumoconiose au stade 1. Elle ne convient d'autre part pas à une étude scientifique de la relation entre l'empoussiérage et l'évolution des images radiologiques.

β. En outre, les petits formats exposent à une plus grande dispersion des diagnostics individuels et accroissent les tendances personnelles, qu'elles soient dans le sens optimiste ou pessimiste. Pour la moyenne des observateurs, la meilleure façon de réduire les tendances personnelles et les erreurs de classement consiste dans l'emploi du grand format avec référence à une série standard.

γ. Néanmoins, des résultats individuels laissent supposer qu'avec de l'entraînement, au moins certains observateurs sont capables d'arriver au classement le plus précis possible, même sur petit format sans référence à des standards.

La dispersion des résultats individuels nous paraît donc constituer envers l'emploi des petits formats une objection moins grave que l'erreur collective de diagnostic à laquelle ils exposent.

δ. Enfin, les qualités du lecteur jouent dans la précision du diagnostic un rôle aussi fondamental que la qualité du cliché.

Les différences considérables entre les lecteurs, tant systématiques qu'accidentelles, peuvent être

dues à des raisons physiologiques (acuité visuelle par exemple) ou à des raisons psychologiques (type de mémoire, faculté d'attention, etc.), qu'il serait intéressant d'analyser en vue d'une sélection plus judicieuse des observateurs.

B. Aspects tomographiques des images confluentes dans la pneumoconiose des houilleurs.

Nous avons résumé antérieurement (1) un travail de D. Belayew, J. Prignot et F. Lavenne (8) sur la localisation des condensations pneumoconiotiques telle qu'elle apparaissait sur les tomographies de 112 houilleurs.

A partir de ces documents, ces mêmes auteurs (20) ont tenté de préciser les caractères de ces confluentes en confrontant leurs constatations avec les publications antérieures sur ce problème (53 références bibliographiques).

a. Matériel et méthode de travail.

On a retenu 112 cas consécutifs envoyés à l'Institut d'Hygiène des Mines et montrant des confluentes sur un fond micronodulaire.

Les opacités ont été réparties en « opacités discrètes » (dont la partie homogène dépasse un centimètre de diamètre, mais n'atteint pas, sur le cliché simple, la largeur de l'espace intercostal correspondant) et en « opacités étendues » (dont la partie homogène occupe au moins l'espace intercostal antérieur homologue sans atteindre la hauteur de 3 côtes et de 3 espaces intercostaux).

Les « opacités étendues » ont été subdivisées en opacités « A » et « B » selon les critères de classement de Cardiff-Douai, de façon à préciser si à ces deux stades radiologiques correspondait un aspect tomographique caractéristique ; rappelons que la différenciation des opacités A et B laisse une large part à l'interprétation individuelle, les condensations du type B étant « plus » étendues, « mieux » limitées que les condensations du type A et s'en distinguant en outre par un caractère homogène et dense (5).

Les opacités du type C et D de Cardiff-Douai, s'étendant sur plus de 3 espaces intercostaux, n'ont pas été retenues dans cette étude.

La recherche des bacilles de Koch n'a pas été pratiquée systématiquement, mais uniquement dans certains des cas où l'aspect clinique ou radiographique faisait soupçonner l'association à la pneumoconiose d'une tuberculose évolutive.

Le diagnostic de tuberculose a été posé dans 10 cas : il a été fondé sur la présence de bacilles, l'évolution ultérieure ou l'aspect caractéristique de l'image radiologique. Dans 12 cas, la tuberculose a été jugée probable, sur le simple aspect de l'image radiologique.

b. Résultats de ce travail.

Sans entrer dans la description détaillée des opacités faite par les auteurs, nous citerons les conclusions les plus saillantes du travail.

α. Possibilités et limites d'une classification radiographique des pneumoconioses condensées.

La classification de Cardiff-Douai distingue parmi les images condensées les stades A, B, C et D. Les signes radiologiques qui doivent permettre la différenciation entre A et B sont au nombre de quatre : étendue, densité, homogénéité et netteté des contours (5) (21).

La forme A correspond sensiblement aux « localized ambiguous shadows » de Fletcher et collaborateurs et aux « condensations non définies » de l'Institut d'Hygiène des Mines. Les formes B, C et D répondent à la notion de pseudotumeurs. En effet, les similitudes radiologiques avec les tumeurs (densité, homogénéité et limites nettes) ne sont très marquées qu'à ces stades.

Comme nous l'avons souligné plus haut, le libellé des critères de distinction entre A et B est imprécis; à cette imprécision s'ajoute celle inhérente à la technique radiographique. Les caractères des condensations apparaissent plus nettement sur les tomographies que sur les clichés simples. Aussi Belayew, Prignot et Lavenne ont-ils comparé les aspects sur coupes tomographiques aux diagnostics de « A » et « B » posés sur les radiographies standards.

Les protocoles radiographiques ont été basés sur des lectures multiples, dont une en collaboration avec Cochrane et Miall. Cette dernière a montré un bon accord avec les spécialistes britanniques; on n'a pourtant pas suivi ceux-ci dans leur habitude de protocoler « B » les opacités « A » multiples.

Il apparaît d'emblée que la densité, telle qu'elle a été définie sur les planigrammes (opacité au moins égale à celle de l'artère pulmonaire), ne peut constituer un critère discriminatoire tomographique. En effet, dans les rares cas où elle manque, il s'agit en même temps d'opacités peu étendues, non homogènes et à limites floues. Aussi peut-elle être négligée dans cette étude.

Ont été considérées comme étendues, les opacités

dont le grand axe sur les coupes frontales dépassait 7,5 cm. La fréquence maximale se trouvait en effet entre 5 et 7 cm pour les opacités « A » et entre 8 et 9 cm pour les opacités « B ».

Ont été considérées comme homogènes, les opacités comportant sur une des coupes principales un foyer parenchymateux de densité uniforme sur la moitié au moins de son étendue. On n'a pas exigé que la totalité de l'image soit homogène, car il arrive souvent qu'autour des aspects franchement pseudotumoraux, on trouve des macronodules en voie de condensation, qui rendent non homogène la périphérie de l'ombre principale.

Si par ailleurs on n'a pas exigé une homogénéité apparaissant sur toutes les coupes, c'est à la fois pour des raisons anatomiques et à cause de facteurs liés à la technique tomographique. Il est en effet évident qu'en cas de macronodules accolés à une pseudotumeur, les coupes extrêmes ne sont pas homogènes. D'autre part, même en présence de condensations anatomiquement uniformes, l'effacement de structures voisines plus denses ou plus transparentes peut faire apparaître artificiellement sur certaines coupes, des différences d'opacité.

Le contour des opacités a été noté comme flou lorsque, sur la plus grande partie du périmètre, la densité va en se dégradant ou s'il existe dans leur voisinage immédiat des images nodulaires multiples non accolées.

Les tableaux V et VI analysent la répartition des trois caractéristiques retenues (étendue, homogénéité et netteté des contours) respectivement chez les 59 sujets classés A et chez 27 des 28 classés B. On voit que 55,6 % des B (tableau VI, ligne supérieure, à droite) apparaissent indiscutables en tomographie, l'opacité étant à la fois étendue, homogène et à contour net. De même, 33,8 % des sujets classés A (tableau V, ligne inférieure, à gauche) sont tout aussi indiscutables en tomographie, les trois caractères susmentionnés y faisant défaut.

Certains diagnostics posés sur le cliché simple ne se justifient toutefois plus au vu des planigrammes. Il en est certainement ainsi des 5 cas (8,5 %) A étendus, homogènes et à limites nettes (tableau V, ligne supérieure à droite) et du cas (3,7 %) clas-

TABLEAU V.

Caractères tomographiques des opacités principales dans les clichés classés « A ».

| Caractères des opacités | Opacités non étendues (< 7,5 cm) | | Opacités étendues (> 7,5 cm) | |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | Nombre | % de l'ensemble des opacités A | Nombre | % de l'ensemble des opacités A |
| homogènes à contours nets | 12 | 20,3 | 5 | 8,5 |
| homogènes à contours flous | 3 | 5,1 | 1 | 1,7 |
| non homogènes à contours nets | 7 | 11,9 | 3 | 5,1 |
| non homogènes à contours flous | 20 | 33,8 | 8 | 13,6 |

TABLEAU VI.
Caractères tomographiques des opacités principales dans les clichés classés « B ».

| Caractères des opacités | Opacités non étendues (< 7,5 cm) | | Opacités étendues (> 7,5 cm) | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | Nombre | % de l'ensemble des opacités B | Nombre | % de l'ensemble des opacités B |
| homogènes à contours nets | 4 | 14,8 | 15 | 55,6 |
| homogènes à contours flous | 1 | 3,7 | 1 | 3,7 |
| non homogènes à contours nets | 0 | 0 | 3 | 11,1 |
| non homogènes à contours flous | 1 | 3,7 | 2 | 7,4 |

sé B (tableau VI, ligne inférieure, à gauche), alors que la tomographie révèle une ombre à la fois peu étendue, non homogène et à limites floues. Il faut noter que 3 des cas « A » atypiques avaient été classés « B » lors d'une première lecture. Il est certain que dans ces 6 cas, la tomographie incite à rectifier le diagnostic radiographique.

Il est d'autre part évident qu'il doit exister des cas intermédiaires entre A et B, la pneumoconiose confluyente étant essentiellement polymorphe et progressive et pouvant être intriquée avec d'autres affections. Il n'est donc pas étonnant que les 3 caractéristiques puissent être dissociées (autres chiffres des tableaux V et VI).

Si l'on considère que la présence de deux des caractéristiques est nécessaire et suffisante pour faire le diagnostic de B sur coupes tomographiques, il y aura concordance entre le diagnostic radiographique et tomographique dans 23 cas sur 27, soit 85 %.

Si l'absence de deux des caractéristiques est nécessaire et suffisante au diagnostic de « A », 38 cas sur 59 (64 %) seulement resteraient « A » tandis que 21 (36 %) deviendraient « B ». Il faut toutefois noter que dans 12 de ces 21 cas, les deux caractéristiques présentes étaient l'homogénéité et la netteté des contours, alors que l'étendue était parfois nettement au-dessous de 7,5 cm : il paraît logique dans ces circonstances d'attribuer au critère étendue une valeur supérieure aux deux autres ; des opacités d'un diamètre de 2 à 3 cm ne méritent certainement pas d'être classées « B ».

Avec cette correction, on trouve finalement une concordance entre les lectures radiographiques et tomographiques dans environ 80 % de l'ensemble des cas classés A et B.

Les 20 % de divergence sont dus au fait que sur les clichés standards la superposition de structures situées en avant et en arrière des lésions principales tend à les faire apparaître comme floues, non homogènes et non denses alors que la tomographie leur reconnaît ces caractères.

β . Eléments tomographiques utiles au diagnostic de la tuberculose.

Le travail de Belayew, Prignot et Lavenne (8) sur la tomographie des foyers confluentes a montré que les lésions développées sur un fond pneumoconiotique X ou 1 sont très suspectes de tuberculose ; il en est de même des condensations du lobe supérieur gauche sans confluences concomitantes du lobe supérieur droit. Par contre, la fréquente asymétrie des foyers pneumoconiotiques sans surinfection tuberculeuse enlève à ce signe toute signification pour le diagnostic de la phtisie des mineurs.

Il restait à envisager les renseignements complémentaires que peut donner l'aspect tomographique des confluences en vue du diagnostic différentiel entre pneumoconiose condensée et silico-tuberculose.

En ce qui concerne la forme des opacités, les images macronodulaires, ovoïdes et allongées verticalement sont bien caractéristiques de la pneumoconiose où par contre, les aspects infiltratifs sont rares et très suspects de bacillose. Contrairement à l'avis de Morel (22), le caractère flou des limites ne peut servir de diagnostic entre les deux affections vu sa grande fréquence dans la pneumoconiose. Les lésions peu denses, rares dans les condensations pneumoconiotiques, suggèrent une étiologie tuberculeuse. Comme Worth (23) l'avait déjà signalé, les calcifications ne se rencontrent pas souvent dans la pneumoconiose des houilleurs. Il n'en est pas de même des rétractions ni de l'extension des foyers jusqu'à la plèvre latérale et postérieure : leur caractère courant dans la pneumoconiose enlève à ce signe toute signification dans le diagnostic positif de phtisie ; on ne peut donc, à ce point de vue, partager l'opinion de Pendergrass (24).

En ce qui concerne le contact avec le hile, il est rare aux stades initiaux de la pneumoconiose condensée, mais se retrouve par contre plus souvent aux stades plus avancés, à la suite des phénomènes de rétraction. Comme l'a signalé Balestra (25), une opacité débutante située au contact du hile est très suspecte de tuberculose ; par contre, la présence

de traînées reliant les foyers périphériques au hile est banale dans la pneumoconiose condensée et ne constitue pas à elle seule un argument en faveur d'une tuberculose évolutive.

Les « images croisées » ont été spécialement étudiées.

Celles-ci sont fréquentes dans la tuberculose cavitaire, où elles signent une dissémination bronchique. La plus classique est constituée par l'association d'une lésion creusée axillaire et postérieure avec un ensemencement du côté opposé dans les champs pulmonaires moyens surtout en avant (figure 1) ; le caractère croisé de l'image doit s'apprécier dans l'espace au moyen de coupes tomographiques sériées.



Fig. 1.

Les lésions tuberculeuses situées dans l'apex du poumon provoquent des disséminations non dans le poumon opposé mais dans la base homolatérale. Bien qu'un seul poumon soit atteint, on peut, par assimilation au cas précédent, parler ici également d'image croisée.

Dans un groupe contrôle constitué par 40 cas de tuberculose pulmonaire bacillifère en dehors de toute pneumoconiose, l'image d'ensemencement bronchogène contro- ou homolatéral a été trouvée dans 14 cas, soit 28 %.

Parmi les 112 sujets atteints de pneumoconiose condensée, on trouve des lésions répondant aux critères topographiques des images croisées dans 18 cas, dont 2 de lésions discrètes, 8 au stade A et 8 au stade B. Parmi ces 18 patients, 6 sont, pour d'autres raisons, suspects de tuberculose.

Les images croisées sont donc moins fréquentes dans la pneumoconiose confluyente (16 %) que dans la tuberculose de l'adulte. Elles doivent faire soupçonner la bacillose et conduire à des recherches bactériologiques approfondies.

Selon Fletcher (15), les stades précoces de la pneumoconiose condensée ressemblent étroitement à la tuberculose de réinfection, à la fois en ce qui concerne la topographie et la morphologie des opacités. Cet auteur signale toutefois qu'il existe sou-

vent des particularités permettant de distinguer ces deux types de lésions.

Les recherches de Belayew, Prignot et Lavenne ont mis l'accent sur ces particularités qui apparaissent surtout en tomographie. Ce qui oppose le plus nettement la tuberculose de réinfection à la fibrose progressive débutante, c'est d'une part la densité des lésions, qui est précoce dans la fibrose massive progressive et d'autre part les formes particulières que revêt souvent cette dernière (aspects bipolaires, etc. décrits plus haut).

Il est toutefois difficile chez les empoussiérés de distinguer radiologiquement les condensations non bacillifères des lésions confluentes silico-tuberculeuses.

3. — Recherche

sur les épreuves fonctionnelles pulmonaires à l'effort par la méthode en circuit fermé.

A. Intérêt de la méthode en circuit fermé par rapport à la méthode en circuit ouvert.

L'étude de la ventilation et des échanges respiratoires à l'effort peut s'effectuer par deux types de méthodes : en circuit ouvert et en circuit fermé.

Dans la méthode en circuit ouvert en usage jusqu'ici au laboratoire d'exploration fonctionnelle de l'Institut d'Hygiène des Mines, l'air expiré est recueilli dans un sac de Douglas, mesuré dans un spiromètre de Tissot et analysé à la micro-méthode de Scholander. On obtient ainsi les équivalents respiratoires qui peuvent être définis par le rapport du nombre de litres d'air ventilés au nombre de litres d'oxygène consommés ou de CO₂ excrétés, ainsi que le quotient respiratoire, c'est-à-dire le quotient du nombre de litres de CO₂ excrétés par le nombre de litres d'oxygène consommés. Vu la durée des dosages chimiques de la teneur en oxygène et en CO₂ de l'air expiré, on doit généralement se contenter d'analyser l'air recueilli durant la dernière minute de l'effort. Celui-ci doit être suffisamment long pour qu'on atteigne une stabilisation de la ventilation et des échanges respiratoires. Le temps nécessaire pour atteindre ce régime stable ou « steady-state » est encore mal précisé et varie avec l'intensité de l'effort et la condition physique du sujet examiné. En ce qui concerne la prise d'oxygène et le rejet de CO₂, le régime stable semble apparaître entre la 5^e et la 10^e minute d'exercice, tandis qu'il n'existe même pas de régime stable rigoureux pour le débit ventilatoire (26).

Les méthodes en circuit fermé doivent permettre de suivre la ventilation et les échanges respiratoires avant l'effort, au cours de celui-ci et durant la période de récupération. Au lieu de mesures instantanées comme celles obtenues en circuit ouvert, on peut obtenir toute une courbe décrivant l'évolution

dans le temps des variables physiologiques, sur laquelle on peut choisir les valeurs correspondant au « steady state ». D'autre part, les courbes obtenues permettent de calculer la dette ventilatoire et la dette d'oxygène encourues au début de l'effort et payées au cours de la récupération.

B. Ecueils de la méthode en circuit fermé.

La méthode en circuit fermé s'est pratiquement substituée à la méthode en circuit ouvert pour la détermination du métabolisme de base et du métabolisme au repos. Par contre, pour le métabolisme à l'effort, elle comporte des causes d'erreurs auxquelles échappe la méthode en circuit ouvert. C'est ce qui explique que celle-ci soit restée en faveur pour les épreuves d'effort.

En effet, pour convenir à la mesure des échanges respiratoires lors d'efforts importants, un spiromètre doit répondre aux conditions suivantes :

a) assurer un débit instantané suffisant, c'est-à-dire au moins égal au débit inspiratoire instantané maximum ;

b) posséder un système de refroidissement empêchant l'échauffement des gaz du circuit par les calories provenant tant des poumons du sujet que de la réaction exothermique d'absorption du CO_2 . L'échauffement des gaz en modifiant les volumes du circuit fausse la mesure de consommation d'oxygène. En effet, celle-ci est déterminée par la quantité de ce gaz qui doit être ajoutée au circuit pour en maintenir le volume constant ;

c) posséder un système de neutralisation rapide du CO_2 excrété. En effet, tout défaut de neutralisation de ce gaz entraîne une augmentation du pourcentage de CO_2 inspiré, ce qui amène une augmentation du débit ventilatoire, le CO_2 étant en effet le plus puissant excitant du centre respiratoire. Une augmentation de la ventilation pour une consommation donnée d'oxygène augmente évidemment les équivalents respiratoires. D'autre part, lorsque l'absorption de CO_2 est incomplète, le chiffre de consommation d'oxygène est sous-estimé vu le principe de mesure par volume constant ;

d) enfin, permettre une détermination continue du CO_2 excrété.

Aucun spiromètre proposé jusqu'ici ne réalisait la condition (d) et dans la plupart des cas les conditions (a) (b) et surtout (c) n'étaient pas pleinement satisfaites.

C. Usage du metabographe de Fleisch.

Le metabographe de Fleisch (2), dont nous disposons depuis janvier 1957, répond par contre aux desiderata exposés ci-dessus.

a. Schéma de l'appareil.

Il se compose d'un circuit d'air auquel le patient est relié par l'intermédiaire d'un masque étanche.

L'air expiré par le sujet est chassé par une pompe rotative 1 vers une chambre cylindrique où se réalise l'absorption du CO_2 , puis retourne dans le masque, bouclant ainsi le circuit. Une partie du courant d'air est dérivée dans un double spiromètre couplé 2. Le tuyau 3 permet d'ajouter au circuit, par un mécanisme décrit plus loin, de l'oxygène préalablement décomprimé dans un sac.

La neutralisation du CO_2 est assurée par du KOH dont le carter de la chambre d'absorption contient une réserve, le niveau en étant maintenu constant par un trop plein 4. Un apport plus ou moins constant de KOH frais par l'entrée 5 ne modifie donc pas le volume total du liquide de neutralisation. Le KOH, aspiré par la pompe rotative 6 couplée avec celle du circuit d'air, est refoulé par les conduits α , β , γ dans la tuyauterie 7, d'où il retombe dans le carter sous forme de pluie mouillant les disques d'acier représentés sur le schéma 8. Un engrenage conique anime ces disques d'un mouvement de rotation lent 9.

Les trois tuyaux α , β , γ jouent un rôle très différent. Tandis que la plus grosse partie du KOH passé par α , le restant circule dans le tuyau β entre une série d'électrodes de platine destinées à mesurer la conductivité du KOH. Le tuyau γ entoure une cellule de mesure exactement semblable traversée par de la potasse fraîche et contient lui-même du KOH partiellement neutralisé. Ce manchon de potasse est destiné à augmenter la précision des mesures en portant à la température de la chambre d'absorption la cellule baignée par le KOH frais. Les deux cellules sont opposées dans les branches d'un pont de Wheatstone.

Enfin, la chambre d'absorption du CO_2 est maintenue à une température constante de 20°C au moyen d'une circulation d'eau 10 dont le débit est réglé par un thermostat non représenté. Ceci permet également de maintenir la température du gaz circulant aux environs de 20°C .

Les contacts électriques commandés par des cames dont sont garnis les arbres de commande des pompes d' O_2 et de KOH permettent à un totalisateur électrique d'inscrire par 1/2 minute la quantité de O_2 fournie à l'appareil (aiguille II) et le nombre de cm^3 de KOH frais injectés dans la chambre d'absorption (aiguille III). La cloche du double spiromètre couplé inscrit directement sur le tambour du spiromètre la courbe de ventilation du sujet examiné (aiguille V). Un intégrateur 11 représenté sur le schéma donne les impulsions destinées à enregistrer le débit ventilatoire à partir des mouvements de la cloche du double spiromètre couplé ; une autre plume n° IV permet d'inscrire soit le QR, soit l'équivalent respiratoire pour l' O_2 .

b. Fonctionnement du circuit fermé.

Le patient relié au metabographe par un masque étanche modifie continuellement le volume et la

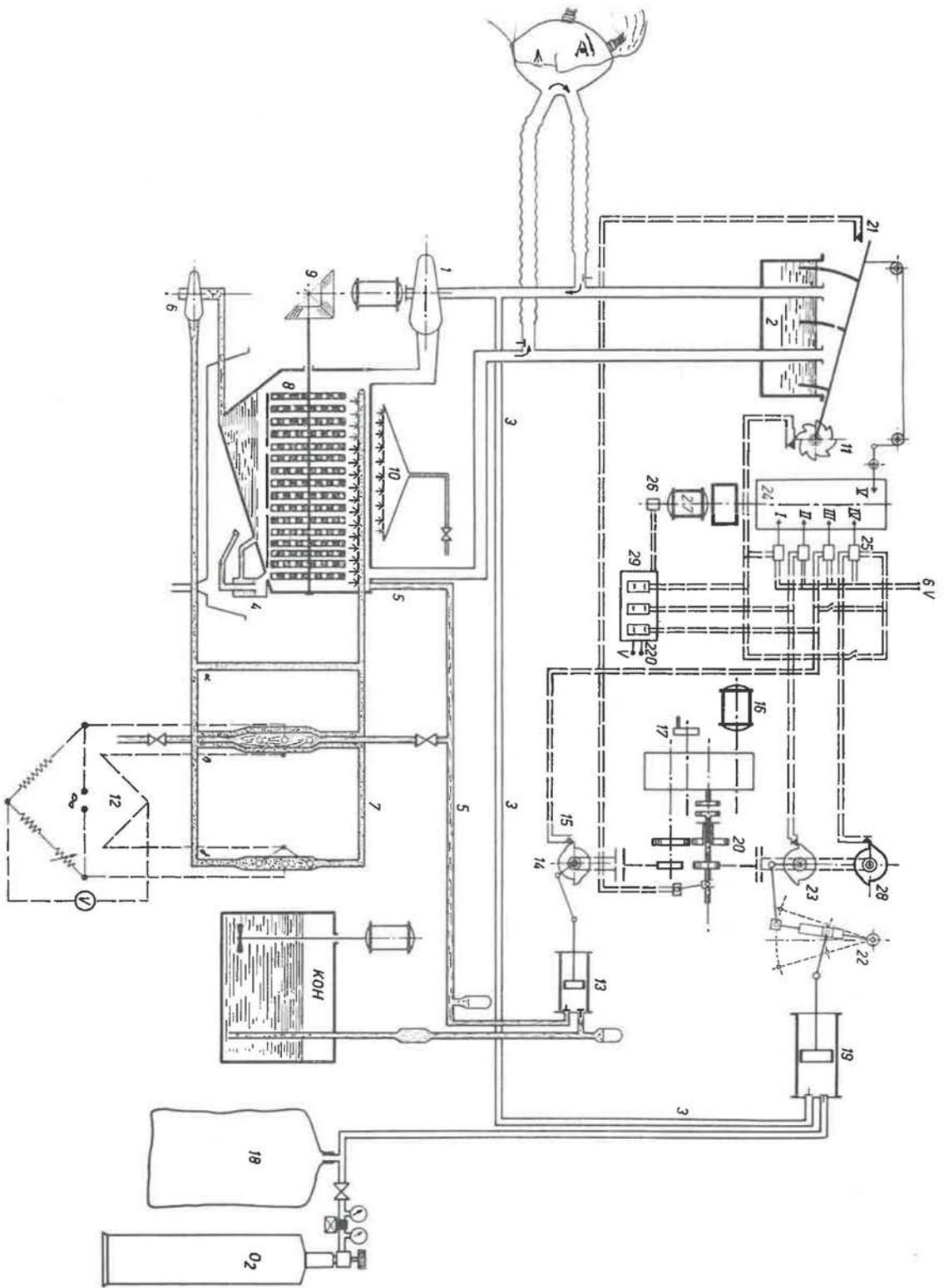


Fig. 2.

composition de l'air contenu dans l'appareil. Le danger de « rebreathing » (réaspiration par le patient de l'air qu'il vient d'expirer) était un des écueils principaux à éviter. Pour y remédier, il faut que la pompe ait à chaque instant un débit au moins égal au débit instantané inspiratoire ou expiratoire. Lors d'efforts importants, les débits instantanés atteignent 6 à 8 litres/seconde. Pour laisser une marge de sécurité, les pompes devraient donc avoir un débit constant de 9 litres/seconde, ce qui correspond à 540 litres/minute. Mais si l'on évite de cette façon le danger de rebreathing, on s'expose par contre à créer ainsi une surpression dans le masque pendant la phase expiratoire au cours de laquelle s'ajoute au débit de l'appareil le volume d'air provenant des poumons du patient. Il peut en résulter un soulèvement du masque avec perte d'étanchéité du circuit.

L'utilisation d'un spiromètre à double compartiment permet de réduire de moitié le débit de la pompe. Ce spiromètre est constitué d'une cloche étanche divisée en deux parties égales par une cloison percée d'une petite ouverture à sa partie supérieure. La cloche, dont les deux compartiments sont de section rectangulaire, oscille autour d'un axe horizontal situé à hauteur du niveau d'eau ; de cette façon, les volumes des deux compartiments du spiromètre sont pour chaque position rigoureusement égaux.

Grâce à la disposition des tuyaux d'arrivée et de sortie des gaz du spiromètre et grâce à l'égalité de volume des cloches, toute modification de hauteur de la cloche ne déplace dans chaque tuyau qu'un volume égal à la moitié de ce qu'il serait pour un spiromètre à chambre unique.

Si le spiromètre était simple, la pompe rotative chasserait dans la cloche au cours de la phase expiratoire un volume d'air correspondant à un débit de régime auquel s'ajoute le volume expiré par le patient. Par contre, la pompe équipant un double spiromètre couplé ne doit aspirer et refouler qu'un volume d'air égal à la moitié seulement de ce que le sujet expire. En effet, la quantité d'air expirée par le patient est répartie de façon égale dans chacune des branches du T, dont l'une va vers le premier compartiment du spiromètre et dont l'autre est reliée à l'entrée d'air de la pompe. Lors du soulèvement de la cloche, provoqué par l'expiration du patient, la pompe ne doit refouler vers le 2^me compartiment du spiromètre que la moitié du volume, ce qui revient à dire que pour un débit expiratoire donné l'usage d'un double spiromètre couplé permet de réduire de moitié le débit de la pompe sans risque de rebreathing. Un raisonnement analogue peut être établi pour la phase inspiratoire du cycle respiratoire. La petite ouverture percée à la partie supérieure de la cloison séparant les deux cloches est destinée à prévenir toute différence de pression dans l'une ou l'autre des chambres et à laver con-

tinuellement l'air qui y séjourne. En fait, la pompe à air du metabographe débite 270 litres/minute, ce qui suffit à éviter à la fois le rebreathing et le danger de surpression dans le masque. Même au cours d'efforts ventilatoires élevés, nous n'avons jamais observé de modifications notables de la pression dans le masque, dont l'étanchéité est très satisfaisante pour une gêne minime.

Le metabographe réalise l'enregistrement du débit ventilatoire à partir des mouvements de la cloche du spiromètre. Une plume inscrit les cycles respiratoires sur lesquels on peut calculer la fréquence respiratoire et le volume courant, tandis qu'un montage intégrateur envoie par demi-litre d'air inspiré ou expiré une impulsion électrique dans le totalisateur inscripteur. Ce système permet l'enregistrement continu du débit ventilatoire.

c. Absorption du CO₂.

Malgré le débit ventilatoire élevé de 270 litres/minute, le metabographe assure de façon satisfaisante la neutralisation du CO₂, dont la concentration se situe avant l'absorption entre 0,08 % et 1,5 %. Même au cours d'efforts très intenses, on n'a jamais relevé des concentrations en CO₂ dans l'air inspiré supérieures à 0,5 %. La neutralisation du CO₂ est assurée par du KOH 2n dont le degré de carbonatation exprime indirectement la quantité de CO₂ absorbée et partant, excrétée par le patient. Pour autant que le degré de neutralisation du KOH reste constant pendant toute la durée de l'épreuve, la quantité de KOH frais envoyée dans l'appareil est directement proportionnelle à l'excrétion de CO₂ par le sujet.

Le courant gazeux provenant du masque est refoulé par la pompe rotative dans la chambre d'absorption contenant des disques troués et animés d'un mouvement lent de rotation. Ils sont mouillés par une pluie de KOH. Ce montage permet une absorption quasi instantanée du CO₂. La mesure continue de la teneur en CO₂ est assurée par un dispositif physique basé sur la diminution de conductivité du KOH 2n partiellement neutralisé par CO₂. La résistance électrique de ce dernier est comparée pendant toute la durée de l'expérience avec celle du KOH frais. A cette fin, les deux solutions passent à travers deux cellules en matière plastique contenant des électrodes de platine. Chaque cellule est opposée de façon continue dans un pont de Wheatstone 12 à une résistance déterminée préalablement par étalonnage. Toute modification dans le degré de neutralisation du KOH se manifeste en moins de 4 secondes par une déflexion de l'aiguille du voltmètre. L'opérateur se basant sur les indications de ce dernier introduit au moyen d'une pompe 13 la quantité de KOH frais nécessaire au maintien constant du degré de neutralisation. Dans le metabographe, le titre de KOH initialement de deux fois normal passe à 0,65 normal, ce qui équi-

vaut à une fixation par litre de KOH de 15 litres normaux de CO₂. A chaque tour, la pompe débite 2,66 cm³ de KOH, quantité qui absorbera 40 cm³ de CO₂. L'axe de la pompe est muni de deux cames 14 destinées à commander un contact électrique 15 transmettant une impulsion à un système de totalisation. La pompe à KOH est entraînée au moyen d'un moteur 16 dont la vitesse, réglable par une manivelle 17, permet de modifier le débit d'après les besoins de neutralisation.

d. Alimentation en oxygène.

Le mélange gazeux contenu dans le métabographe est d'autre part enrichi périodiquement en oxygène qui remplace celui qui a été consommé par le patient. L'oxygène détendu dans un sac 18 est chassé dans le circuit par une pompe 19 capable de travailler à deux régimes. Si le quotient respiratoire ne se modifie pas, la production de CO₂ et la consommation en O₂ sont liées et varient dans les mêmes proportions. Le métabographe réalise ce premier couplage au moyen d'une série d'engrenages 20. Cependant, lors de modifications du quotient respiratoire, le maintien dans l'appareil d'un volume constant est en outre assuré par la position même de la cloche du spiromètre. Celle-ci est munie d'un contact électromagnétique 21 qui, par l'envoi d'une impulsion électrique, modifie la combinaison d'engrenages 20 dans la boîte de vitesse lorsque le volume du circuit diminue. Automatiquement, la pompe débite plus rapidement le volume d'oxygène qui manquait dans le circuit et remonte la cloche à sa hauteur initiale. A ce moment, le contact électrique 21 se referme et la vitesse de rotation précédente est reprise. Un dispositif à coulisse 22 est prévu dans un levier intermédiaire du mécanisme de commande de la pompe d'oxygène et permet le réglage du volume débité en fonction de la température ambiante et de la pression barométrique. Comme pour la pompe à KOH, l'établissement d'un contact électrique par les deux cames 23 que porte l'arbre, envoie des impulsions au système de totalisation.

e. Mode d'inscription du métabographe.

Les diverses valeurs physiologiques sont inscrites sur le papier du tambour 24 par des stylets à déplacement vertical (I, II, III, IV, V de la figure 2). Seule la plume supérieure (V), entraînée directement par les mouvements de la cloche, dessine une courbe continue (spirogramme de la figure 3). Les autres plumes sont entraînées par des électroaimants 25 qui les soulèvent d'un millimètre par impulsion électrique reçue, tout en les maintenant à la hauteur acquise entre les impulsions. La rotation du tambour et le soulèvement des stylets donnent aux quatre tracés inférieurs de la fig. 3 un aspect en escalier. Un contact électrique 26, entraî-

né par le moteur synchrone 27 du tambour, fait retomber toutes les demi-minutes les stylets I, II et III.



Fig. 3.

On obtient ainsi sur les tracés 3 et 4 de la fig. 3 l'excrétion de CO₂ et la consommation d'O₂ par demi-minute, ces deux valeurs étant automatiquement ramenées aux conditions standards de mesure : S.T.P.D. c'est-à-dire température standard (0°), pression standard (760 mm), air sec. La courbe 5 donne le débit ventilatoire par demi-minute, mais celui-ci est ramené aux conditions de température réelle du corps (37° C), de pression ambiante et de saturation complète en vapeur d'eau (B.T.P.S.). Il est en effet logique et d'usage courant en physiologie d'exprimer les volumes pulmonaires dans les conditions où les gaz respiratoires se trouvent dans les poumons.

En outre, le système combiné de totalisation et d'inscription permet l'enregistrement sur le tracé 2 de la fig. 3, soit de l'équivalent respiratoire pour l'oxygène (rapport entre le volume d'air ventilé et le volume d'oxygène consommé), soit du quotient respiratoire (rapport entre le volume de CO₂ excrété et le volume d'O₂ consommé). Si l'on règle la chute du stylet « débit ventilatoire » non en fonc-

tion du temps mais en fonction de la consommation d'oxygène, la hauteur de l'escalier obtenu est directement proportionnelle à la valeur de l'équivalent respiratoire pour l'oxygène. Un contact 28, entraîné par la pompe d'oxygène, fait alors tomber la plume (IV) mobilisée d'autre part par l'intégrateur du spiromètre. Si l'on désire par contre enregistrer le quotient respiratoire, cette même plume doit recevoir des impulsions provenant de la pompe à KOH, tandis que sa chute reste commandée par la pompe d'oxygène.

f. *Etude des courbes.*

Pendant la durée de l'épreuve, l'opérateur ne peut que surveiller le tracé et en apprécier l'allure générale. Il faut ensuite mesurer la hauteur des différentes pointes dessinées pour le débit ventilatoire, l'oxygène et le CO₂ afin d'obtenir les valeurs exactes. Le temps requis pour la mesure et l'inscription des résultats est au moins aussi long que la durée de l'épreuve. Il s'est montré intéressant de pouvoir relever les différentes données au cours de l'épreuve elle-même. On gagne un temps précieux et on diminue les risques d'erreurs. A cette fin, nous avons mis au point deux séries de trois compteurs 20 qui, comme les plumes, reçoivent respectivement les impulsions du débit ventilatoire, de l'oxygène et du CO₂. Un système de relais permet de totaliser sur les trois premiers compteurs ces différentes valeurs pendant une minute. Après une pause d'une demi-minute destinée à la lecture des résultats, ces trois premiers compteurs sont remis à zéro afin de permettre une totalisation pendant la minute suivante. Pendant la lecture et la remise à zéro, la seconde série de compteurs est automatiquement branchée sur les circuits et enregistre les résultats pour en permettre ensuite la lecture.

Cette amélioration mise au point par les ingénieurs de l'Institut d'Hygiène des Mines a donné pleinement satisfaction. Le gain de temps est considérable et la précision des mesures est accrue.

4. — Recherches sur l'entraînement aux hautes températures.

Nous avons rapporté antérieurement (27) les travaux de Lavenne et Belayew (28) sur les entraînements des sauveteurs aux hautes températures, réalisés à la Centrale de Sauvetage du bassin charbonnier du Borinage.

On trouvera dans les publications mentionnées ci-dessus la description de la chambre et des séances d'entraînement. Les exercices ont une durée de deux heures et sont effectués dans une ambiance où en moyenne $t_s = 43,2^\circ \text{C}$, $t_h = 30,6^\circ \text{C}$ et où φ varie de 58 à 45 %.

Lavenne et Belayew avaient conclu d'une part à l'innocuité pour les sujets bien entraînés de ces efforts particulièrement pénibles en milieu sur-

chauffé et d'autre part à leur utilité tant sur le plan psychologique que sur le plan physiologique.

Au point de vue physiologique, le but est d'entretenir l'acclimatation aux hautes températures. Vu l'organisation de la Centrale où les sauveteurs sont de garde durant une quinzaine toutes les 6 semaines, on avait fixé la fréquence des séances d'entraînement à une toute les 6 semaines. Cette fréquence avait paru suffisante à Lavenne et Belayew (28), qui n'ont pas trouvé de réactions subjectives ou objectives défavorables lors de la reprise de l'exercice après le délai fixé. Eichna (29) avait d'ailleurs montré que, si en hiver l'acclimatation était presque entièrement perdue en trois semaines, la majeure partie de l'accoutumance était par contre conservée en été après un délai de 6 semaines. Les sauveteurs, travaillant entretemps dans des mines profondes, y trouvent des conditions de climat voisines de celles de l'été.

Il était pourtant important de préciser par une étude systématique à quel point l'accoutumance des sauveteurs était conservée après 6 semaines. Au cours de l'année 1957, P. Leyh (30) a repris cette étude.

Au cours des mois d'hiver, 18 sauveteurs volontaires, préalablement entraînés à des exercices pénibles dans des ambiances chaudes, ont effectué une série d'exercices rapprochés (5 en 9 jours) après un délai de 6 semaines durant lequel aucun entraînement n'avait été pratiqué. Ces sauveteurs avaient toutefois travaillé entretemps au fond de la mine.

Chaque entraînement comportait un effort de deux heures dans une ambiance dont les conditions climatiques moyennes ont été précisées ci-dessus. On a suivi au cours de cet effort l'évolution de la fréquence cardiaque, de la fréquence respiratoire, de la pression artérielle, des températures internes (buccale et rectale) et cutanées et de la température de l'air inspiré. On a en outre mesuré la perte de liquides par sudation et le débit urinaire.

Si les résultats obtenus lors de la 5^e séance étaient statistiquement différents de ceux de la première séance, on serait fondé à conclure à un phénomène de réadaptation à ces exercices et par conséquent à une perte d'acclimatation durant l'intervalle de 6 semaines.

Les expériences réalisées par P. Leyh ont permis de répondre à cette question. D'autre part, tout en confirmant les travaux antérieurs de Lavenne et Belayew sur les réactions générales, les variations de la température interne, les modifications circulatoires et la perte de liquides au cours des entraînements, elles ont apporté des données nouvelles notamment sur la température de l'air inspiré dans l'appareil Draeger, sur la relation entre la température buccale et la température rectale, et sur la température cutanée.

a. *Persistence de l'accoutumance après un délai de 6 semaines.*

La comparaison des résultats recueillis lors d'épreuves se succédant à un intervalle de peu de jours permet de conclure que la majeure partie de l'acclimatation est en général conservée. L'amélioration des réponses physiologiques entre la première et la cinquième séance se limite à une diminution de la fréquence cardiaque de 9 pulsations par minute en moyenne, qui est surtout significative au maximum de l'effort. Toutefois, même en ce qui concerne la fréquence cardiaque, un seul entraînement suffit à rendre une pleine accoutumance.

Les sauveteurs préalablement entraînés aux hautes températures sont donc capables d'effectuer, après un délai de 6 semaines, des prestations fatigantes en ambiance surchauffée, sans qu'il soit nécessaire de les réacclimater aux hautes températures. Il ne paraît donc pas utile de réduire l'intervalle fixé antérieurement par Lavenne et Belayew (28) entre les exercices d'entraînement.

b. *Température de l'air inspiré, température buccale et rectale, et température cutanée des sauveteurs.*

α. *Température buccale et température rectale.*

La température de l'air inspiré avec l'appareil Draeger atteint en moyenne 42 à 43°C au cours de l'effort et s'élève dans un cas jusqu'à 47,5°C (fig. 4). Ceci justifie de nouveaux essais avec appareils respiratoires à air liquide, qui seront entrepris au cours de l'année 1958.

β. *Température buccale et température rectale.*

L'inspiration d'air surchauffé entraîne une élévation légèrement plus grande de la température buccale ; pour cette raison, la température rectale constitue un meilleur test des variations de la température interne. Signalons qu'on n'a rencontré de la part des sauveteurs aucune opposition d'ordre psychologique à ces mesures, pourtant répétées fréquemment.

γ. *Température cutanée.*

La température cutanée varie considérablement d'un endroit à l'autre de la surface corporelle et elle n'évolue pas parallèlement à la température interne ; elle est fortement influencée par l'évaporation de la sueur ; or, la sudation apparaît plus importante durant la seconde partie de l'exercice ; c'est ce qui explique sans doute le fait que la température cutanée tend à s'abaisser en fin d'exercice tandis que la température interne varie peu ou continue à s'accroître légèrement. Les mesures de la température cutanée effectuées par P. Leyh nous seront de grande utilité pour la discussion de la valeur des diagrammes de Belding et Hatch (31) établissant les bilans calorifiques des travailleurs dans des ambiances surchauffées.

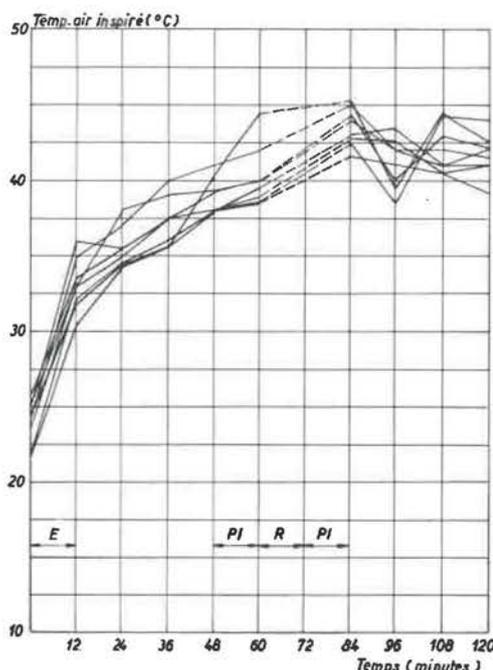


Fig. 4.
E. montées d'échelle
P.I. plan incliné
R. repos de 12 minutes.
Variation de la température de l'air inspiré au cours de l'exercice (mesures faites chez 8 sauveteurs).

II. — TRAVAUX DE LA SECTION TECHNIQUE

1. — *Lutte contre les poussières.*

A. *Analyse des poussières. Conimétrie.*

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

Nous avons annoncé l'année dernière dans cette même revue (1), le début d'une longue série de prélèvements de poussières dans tous les chantiers des Charbonnages de Houthalen et à tous les postes. Le but était d'établir une relation entre les indications de la pompe à main P.R.U. et le nombre de particules comptées à partir de prélèvements ef-

fectués au précipitateur thermique au même endroit et au même moment. Après avoir rappelé les divers modes d'expression des résultats de la mesure à la pompe à main, nous avons montré que le résultat exprimé en pourcentage de lumière transmise ne pouvait à lui seul définir un empoussiérage quelconque avec suffisamment de précision. Au vu des 60 premiers résultats des prélèvements simultanés avec le précipitateur thermique (effectués principalement pendant l'abattage du charbon), nous pensions que la corrélation hand-pump - précipitateur thermique était néanmoins possible si l'on pré-

nait comme paramètre la teneur en cendres des poussières aériennes prélevées dans le chantier.

Nous nous sommes dès lors fixés un nombre de prélèvements de l'ordre de 250 au précipitateur thermique avant d'entreprendre les calculs statistiques de corrélation. Nous avons classé les valeurs trouvées en fonction de la teneur en cendres des poussières aériennes : < 10 %, puis par tranches de 5 en 5 % jusque 50 % et par tranches de 10 en 10 % au delà de 50 %.

Nous avons constaté, par exemple, qu'à une même valeur du pourcentage moyen de lumière transmise, 80 %, correspondaient les concentrations suivantes :

| | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|---|----------------|
| 510 particules/cm ³ | de 5 à 1 μ (s _x = 187) | } | pour 10 à 15 % |
| 1210 particules/cm ³ | | | |
| 650 particules/cm ³ | de 5 à 1 μ (s _x = 160) | } | pour 30 à 35 % |
| 1800 particules/cm ³ | | | |

Nous mentionnons entre parenthèses l'estimation s_x de la dispersion qui résulte de l'emploi de la droite de régression pour calculer la concentration correspondant à un pourcentage donné de lumière transmise. On l'obtient par application de la formule

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (X - x)^2 (1 - r^2)}{n}}$$

dans laquelle X est la moyenne des n concentrations x mesurées et r le coefficient de corrélation.

Si l'on veut rester sur le plan pratique, prendre la teneur en cendres des poussières comme paramètre est à vrai dire une vue de l'esprit, car il est impossible a priori de prévoir la teneur en cendres des particules en suspension même si l'on connaît la teneur des produits travaillés et manutentionnés; une analyse minutieuse est indispensable. D'autre part, comme la hand-pump (H.P.) nous est imposée dans les chantiers d'abattage quels que soient le travail exécuté et le poste contrôlé, on ne doit pas réglementairement tenir compte des variations, pourtant importantes, de la teneur en cendres. On trouve dès lors qu'à la valeur de 90 % à la hand-pump correspond une teneur de 370 particules/cm³ de 1 à 5 μ avec un écart quadratique s = 200 et à 75 % hand-pump correspond 1.200 particules/cm³ de 1 à 5 μ avec un écart s = 500.

Ces résultats basés sur plus de 250 prélèvements faits dans des tailles différentes et à des postes différents, sont décevants. Après avoir fait 125 nouveaux prélèvements au précipitateur thermique (accompagnés de mesures simultanées à la hand-

pump), nous avons constaté que, sur la base de 380 séries de mesures comparatives, la valeur moyenne du pourcentage de lumière transmise de 10 clips de hand-pump a la signification suivante au palier de confiance de 90 % :

| | |
|----------------|---|
| 75 % hand-pump | 2.700 ± 1.450 particules/cm ³ de 5 à 0,5 μ |
| 90 % hand-pump | 1.100 ± 600 particules/cm ³ de 5 à 0,5 μ |

Comme on le voit, la détermination des concentrations numériques à partir de mesures faites à la hand-pump reste très peu précise. Pour améliorer cette précision, il faudrait tenir compte de la granulométrie des empoussiérages. Nous avons dès lors réparti les différentes valeurs trouvées suivant le mode de travail adopté dans le chantier. Nous distinguons 5 catégories de tailles, ce qui permettra d'étendre nos résultats aux chantiers de même type des autres mines, tout au moins en Campine : chantiers avec abattage au marteau-pic, avec havage et sans havage, transport par courroie ou par convoyeur blindé, abattage par rabot et transport par convoyeur blindé.

Moyennant cette nouvelle répartition, nous pensons définir avec une précision passable la signification la plus probable des mesures à la hand-pump, mais nous sommes arrivés à la conclusion que pour donner une estimation acceptable du risque pneumoconiotique la hand-pump doit être étalonnée pour chaque chantier et pour chaque poste (la publication de ce travail est prévue dans les premiers mois de 1958).

En conclusion, la hand-pump reste un instrument précieux pour l'ingénieur de sécurité qui veut comparer les empoussiérages au jour le jour dans un chantier; elle ne lui permet pas de comparer un poste avec un autre poste dans le même chantier. Sans étalonnage, elle exclut même toute possibilité de comparer une taille à une autre taille.

b. Corrélation conimètre de Watson - précipitateur thermique.

Tout comme pour la hand-pump, le travail de corrélation conimètre de Watson - précipitateur thermique, a été entrepris dans le cadre de la vaste campagne de prélèvements effectués aux Charbonnages de Houthalen. Une des phases de cette étude a porté sur la reproductibilité de plusieurs conimètres opérant simultanément dans le même nuage poussiéreux. Les essais à diverses concentrations ne se sont pas cependant déroulés tous au même moment : trois des cinq appareils contrôlés étaient utilisés d'une manière intensive dans les travaux des Charbonnages de Houthalen (9.000 prélèvements en 10 mois) avec pour conséquences des réparations assez fréquentes (3 par an en moyenne). Après ré-

vision de deux de ces conimètres (qui étaient dès lors en bon état de fonctionnement et sans qu'on puisse y déceler à première vue la moindre anomalie) on a constaté que dans la gamme des concentrations de 650 ... 800 particules/cm³, en prenant un conimètre quelconque, le nombre vrai de particules déposées avait 95 chances sur 100 d'être compris entre 655 ± 305 et 800 ± 435 .

D'autre part, si l'on compare les indications fournies par 4 appareils n'ayant pas encore nécessité de réparation, même en prenant pour valeur de l'empoussièrement la moyenne de 6 spots comptés deux fois, on a trouvé que le nombre « limite 650 » ne peut être défini à moins de $\pm 25\%$ à supposer encore que le nombre de particules déposées sur les plaques soit l'image fidèle du nuage poussiéreux. Ces observations ainsi que d'autres investigations complémentaires feront l'objet d'une prochaine publication de l'Institut d'Hygiène des Mines en 1958.

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

Les objectifs ainsi que les moyens mis en œuvre pour mener à bien cette étude ont été exposés l'an dernier dans cette revue (1). Nous rappelons brièvement que ces buts sont : établir une anamnèse professionnelle et médicale de l'ensemble du personnel en tenant compte des empoussierements subis dans les travaux du fond ainsi que rechercher quels sont les empoussierements minima qu'on doit considérer comme inéluctables dans l'état actuel de la technique et pour des circonstances de travail bien déterminées. Pour ce faire, le service de mesures des Charbonnages de Houthalen a procédé cette année au prélèvement et à l'examen de plus de 30.000 clips de pompe à main P.R.U. ainsi qu'au comptage de plus de 9.000 prélèvements au conimètre.

Tous ces résultats, transcrits chaque quinzaine sur les cartes mécanographiques, doivent être transposés en valeur réelle, c'est-à-dire suivant les conceptions que nous avons de la nocivité des empoussierements, en nombres de particules de 5 à 0,5 μ par unité de volume d'air avec mention du pourcentage en silice libre. A cet égard, nous avons procédé à l'étalonnage de la hand-pump dans 25 chantiers et prélevé les poussières aériennes en vue d'analyses chimiques.

De grosses difficultés ont surgi, notamment dans les travaux préparatoires. Les Charbonnages de Houthalen possèdent 4 conimètres que nous avons étalonnés. Ils ont cependant dû être réparés et revisés à une cadence telle qu'on a estimé avoir plus facile à prélever les poussières directement au précipitateur thermique plutôt que de faire des étalonnages après chaque révision. Ces prélèvements, depuis la fin de l'année 1957, se font à la cadence de 3 (6 plaques) par jour en attendant la fourniture d'un supplément de matériel.

d. Etude minéralogique des poussières.

La nature minéralogique des particules de l'ordre de quelques dizaines de microns peut être identifiée sous le microscope polarisant par les critères classiques de la cristallographie (indice de réfraction, extinction, teinte de polarisation, figures d'interférence, etc.). L'observation de ces phénomènes optiques n'est cependant plus possible dans le cas des poussières aériennes dont le diamètre est inférieur à 5 μ .

Reprenant les travaux de Crosmonn (32) et de Dodge (33) effectués en Amérique, le physicien A. Thaer, de la Hauptstelle für Staub und Silikosebekämpfung à Essen (34) a mis au point une méthode optique permettant de distinguer les principaux groupes de minéraux du houiller : quartz, kaolin, micas dans des poudres microniques. L'intérêt de cette méthode nous a décidés à envoyer notre chimiste, M.S. Cartigny, à Essen, afin de se mettre au courant du procédé. Celui-ci est basé sur la variation différente de l'indice de réfraction d'un minéral et du milieu dans lequel il est plongé, en fonction de la longueur d'onde de la lumière incidente (phénomène de dispersion). La poudre étant immergée dans un liquide approprié, une première technique (Farbimmersion bei Dunkelfeld) consiste à éclairer obliquement la préparation (fond sombre). Plus les indices diffèrent, plus les rayons sont réfractés par le grain et plus l'intensité lumineuse perçue est grande. Si l'on emploie de la lumière blanche, le minéral prendra une couleur composite due à l'absence des rayons non déviés. On peut ainsi faire apparaître les micas jaunes, la kaolinite rouge et le quartz bleu foncé. La méthode est applicable jusqu'à 2 μ .

Par ailleurs, si l'on combine les propriétés du contraste de phase avec le phénomène de dispersion (Farbimmersionsmethode bei Phasenkontrast), les rayons lumineux seront renforcés ou affaiblis à l'endroit de l'image, selon que l'indice du minéral est plus petit ou plus grand que celui du milieu et d'autant plus intensément que la différence entre les indices est grande. Par suite des propriétés des liquides disponibles, les couleurs sont moins différenciées : la teinte bleue obtenue est d'autant plus foncée que le point d'isométrie est situé dans les courtes longueurs d'onde. On distingue le quartz bleu-vert, la kaolinite bleu azur et les micas bleu marine. On peut identifier ainsi des grains de 1 micron.

Cette double méthode est actuellement appliquée de façon routinière à l'étude des prélèvements au précipitateur thermique après leur examen granulométrique par la méthode courante.

e. Dosage de la silice.

Dans le cadre d'une étude systématique du dosage de la silice dans les poussières et suite à notre

premier travail sur la détermination de la silice totale (35), nous avons abordé le problème de la mesure de la teneur en silice libre dans les poudres fines. On a tout d'abord procédé à l'étude critique des nombreuses techniques proposées à ce sujet. Leur nombre élevé est un indice de ce qu'aucune d'elles n'est entièrement satisfaisante. En effet, la plupart des modes opératoires font non seulement intervenir des prises d'essais trop considérables pour nous, mais se rapportent à des granulométries beaucoup plus grossières que celles que nous avons à étudier. D'autres conduisent à des manipulations trop longues ou possèdent une efficacité trop limitée vis-à-vis des différents minéraux pouvant se présenter.

De cette étude, il ressort que deux méthodes sont à retenir tant pour la simplicité du principe que pour les possibilités de l'attaque : la désagrégation par le pyrosulfate de potassium dont Trostel et Wynne sont les promoteurs et la solubilisation des silicates à chaud dans les acides phosphoriques comme l'ont proposé en premier lieu Hirsch et Dawihl. Telle qu'elle a été décrite à l'origine ou sous quelques autres adaptations, la technique de dosage par l'acide pyrophosphorique ne nous a pas paru parfaitement convenir à l'étude des poussières aériennes en général et des cendres de charbon en particulier. C'est pourquoi nous avons entrepris une étude approfondie des conditions expérimentales adaptées aux faibles quantités de matière disponible (de l'ordre de 50 mg de cendres). Tout en conduisant à des résultats suffisamment reproductibles, le mode opératoire ne comportera que des manipulations simples et rapides et sera applicable à des échantillons d'origine et de composition très variées. Par ailleurs, la fusion au moyen de pyrosulfate s'avère d'un intérêt particulier lorsque les constituants se montrent trop réfractaires à $H_4P_2O_7$; c'est le cas de certains minéraux lourds des sables.

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

f. Essai du séparateur Zurlo.

Cet appareil a été conçu afin de séparer à sec en différentes tranches granulométriques, les poussières en suspension dans l'air des lieux de travail ou soulevées artificiellement au laboratoire. Le principe mis en œuvre est celui de l'inertie. La figure 5 représente la coupe d'un des éléments : l'air circulant de haut en bas dans l'axe de l'appareil est accéléré dans une partie rétrécie, puis est dévié à 45° vers l'élément suivant. En vertu de leur inertie, les particules les plus lourdes ont une trajectoire moins courbe que les filets d'air et continuent leur chemin pour aller se déposer dans la trappe annulaire extérieure. Le débit d'air et la largeur de la partie rétrécie conditionnent le niveau de la coupure effectuée dans la granulométrie de la poussière aspi-

rée. En pratique, l'appareil entier comprend 8 éléments en série. Pour un débit de 60 litres/minute d'air et une perte de charge de 270 mm Hg, la classification théoriquement réalisée est la suivante: pour les deux premiers éléments : particules supérieures à 20μ ; troisième et quatrième éléments : fraction $10 - 20 \mu$; cinquième élément : fraction $5 - 10 \mu$; trois derniers éléments : poussière inférieure à 5μ . L'appareil se prolonge par un filtre de Soxhlet destiné à recueillir les plus fines particules, inférieures à 2μ , ayant échappé au captage.

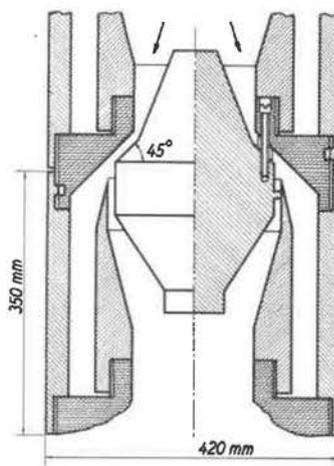


Fig. 5.

Le séparateur Zurlo se présente sous la forme d'un cylindre de laiton d'environ 4,5 cm de diamètre et 50 cm de longueur. Le tout forme un ensemble compact aisé à transporter et à manipuler. L'aspiration de l'air est assurée par deux puissants éjecteurs à air comprimé.

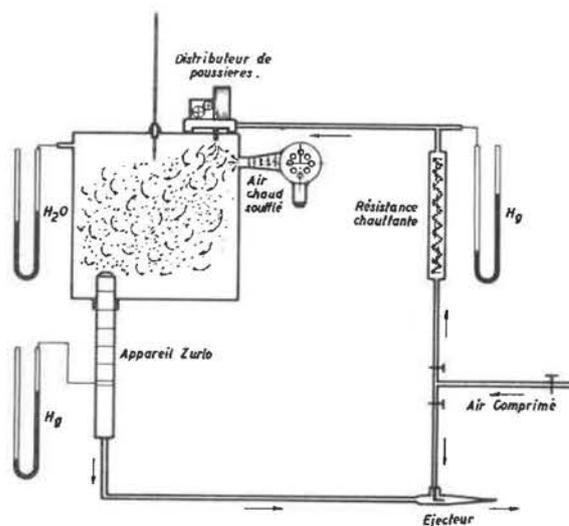


Fig. 6.

Dans le but d'étudier les possibilités de cet appareil, nous l'avons essayé au laboratoire en présence de nuages de poussières de charbon, de schiste et de silice. Le montage réalisé est représenté schématiquement à la figure 6. Le fonctionnement de

l'aspirateur donnant lieu à une chute de pression importante, on a cherché à réduire les risques de condensation d'eau en diminuant l'humidité relative de l'atmosphère ; ceci a été obtenu en réchauffant l'air admis dans l'enceinte. L'empoussièrement a été réalisé au moyen du distributeur de Wright. Les différentes fractions recueillies tant dans les trappes ad hoc que sur les parois des éléments, ont fait l'objet de pesées et de nombreux examens granulométriques en cellule d'après notre méthode standard (36). On en a déduit les granulométries pondérales ainsi que la proportion en poids de chaque classe captée par chaque élément par rapport à la poussière totale captée. L'examen des résultats montre premièrement que malgré les précautions prises pour dessécher l'air, une proportion non négligeable, de l'ordre de 30 %, des poussières aspirées reste collée le long des parois de l'appareil à tous les niveaux et ne fait donc pas l'objet d'une classification complète. En deuxième lieu, la comparaison des granulométries des échantillons retenus dans les divers éléments montre un affinement progressif incontestable dans le sens du courant d'air. Cependant, dans les conditions où les déterminations ont été faites, les poudres les plus fines contiennent encore une teneur appréciable en particules nettement plus grosses que la théorie ne le prévoit. Enfin, le démontage de l'appareil et la récupération de la poudre captée aux différents étages, nécessitent des manipulations assez délicates.

En conclusion, le classificateur Zurlo dans sa forme actuelle ne constitue pas à nos yeux et jusqu'à plus ample information, l'appareil idéal permettant l'étude de la granulométrie des atmosphères poussiéreuses. Néanmoins, vu sa robustesse et son faible encombrement, il peut permettre de prélever directement dans l'air une quantité importante de poudre riche en fines particules et qui pourrait servir telle quelle à l'analyse au laboratoire.

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

a. Essais d'un injecteur surpresseur pour infusion d'eau en veine.

L'injecteur surpresseur Jerusel, d'un poids de 7 kg, avec son robinet d'admission d'eau, se présente sous la forme d'un cylindre de 170 mm de diamètre, prolongé par un canon tubulaire de 60 mm de diamètre. L'appareil associe le principe du tiroir des machines à vapeur et celui de la multiplication des pressions appliquées sur un piston de surface donnée, transmises à un autre piston solidaire et coaxial au précédent mais de surface plus petite, chacun de ces pistons se déplaçant dans un cylindre de diamètre correspondant (fig. 7).

Cet appareil a été utilisé dans la taille Querelle Levant du siège n° 4 des Charbonnages de Monceau-Fontaine. La couche y est irrégulière tant en

pendage qu'en composition ; l'inclinaison varie de 0 à 35°, l'ouverture de 1,0 à 3,0 m et la puissance de 0,75 à 1,90 m. L'abattage a lieu au poste du matin ; il se fait uniquement au marteau-piqueur. L'évacuation en taille est assurée par une série de couloirs fixes dans les 80 m supérieurs, un convoyeur blindé sur les 50 m médians et une deuxième série de couloirs fixes dans les 90 m inférieurs ; le chargement se fait directement en wagonnets au pied de taille.

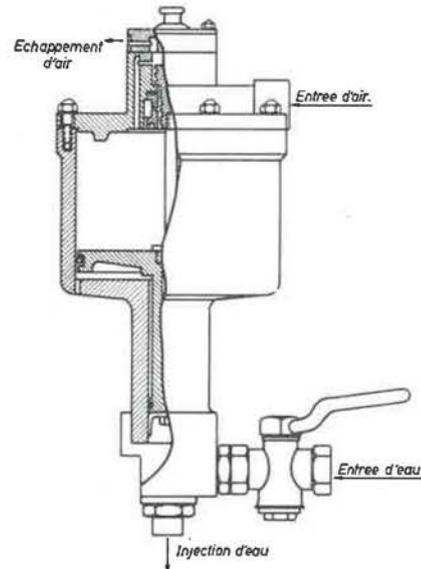


Fig. 7.

L'achèvement complet d'une havée ne se fait pas en une journée : les difficultés d'abattage et de soutènement sont trop grandes dans la partie médiane de la taille. On compte en effet un avancement de l'ordre d'un mètre en deux jours. L'injection d'eau est donc pratiquée, au poste de nuit, dans les parties de taille qui vont être déhouillées au poste suivant. Comme il y a un certain recouvrement des tronçons traités dans les grandes ouvertures, la longueur injectée chaque jour est de 160 m environ.

Les trous d'infusion sont forés à mi-hauteur de la veine, en schiste ou en charbon, perpendiculairement au front de taille, à la profondeur de 1,50 m, séparés par une distance de 3 à 4 m, sauf dans les grandes ouvertures où ils sont disposés en quinconce avec un écartement moyen de 2,50 m. La quantité d'eau injectée par trou varie de 40 à 60 litres, de sorte que la quantité totale consommée ne dépasse pas 2,5 m³/jour. La pression d'eau dans le circuit de distribution est de 3,5 à 4,0 kg/cm² à la tête du chantier ; l'injection avec le Jerusel se fait à la pression de 30 ... 40 kg/cm², ce qui demande environ 7 minutes pour le débit indiqué.

Nous avons mesuré l'empoussièrement de l'air 3 jours consécutifs avec prévention et 2 jours sans prévention, en prélevant les poussières sur filtres de Soxhlet en tête de taille pour en déterminer la

nature et sur plaques de précipitateur thermique pour rechercher la concentration et la granulométrie des particules en suspension dans l'air tant au pied qu'en tête de taille. En principe, nous avons effectué au précipitateur thermique 16 prélèvements par jour, d'une durée de 6 à 7 minutes dans l'entrée d'air et de 4 à 5 minutes dans le retour, en essayant d'espacer régulièrement les prises d'échantillons de manière à obtenir l'empoussiérage moyen pendant les 40 ... 45 minutes qui précèdent et qui suivent l'interruption du poste (repas des ouvriers).

Les résultats des comptages microscopiques, effectués sur fond clair, au grossissement 1.000 X, au moyen d'un microprojecteur de pouvoir de résolution égal à 0,2 μ , sont indiqués au tableau VII.

plus facile consistant à forer et à injecter à intervalles réguliers à mi-épaisseur de la couche sans devoir choisir les sillons charbonneux et sans devoir alterner la position des trous comme on aurait dû le faire en pareil cas avec l'injection ordinaire basse pression.

b. Efficacité de la pulvérisation d'eau mouillante.

α. Contrôle du fonctionnement d'un doseur de produits tensio-actifs.

Le doseur Teepol de la Shell-Permutit, dont le schéma de principe est reproduit à la figure 8, comprend essentiellement un réservoir formé de deux demi-coquilles délimitant deux espaces séparés par

TABLEAU VII.
Résultats de la prévention.

| | Sans prévention | Avec prévention |
|--|-----------------|-----------------|
| Production brute (1 ^{er} poste) t | 306 | 270 |
| Berlines chargées | 430 | 380 |
| Débit d'air (m ³ /s) | 4,550 | 5,925 |
| Consommation d'eau (m ³) | — | 2,250 |
| <i>Empoussiérage de l'air</i> | | |
| — en tête de taille : | | |
| part/cm ³ 5 à 1 μ | 2.760 | 800 |
| part/cm ³ 5 à 0,5 μ | 4.620 | 1.730 |
| — au pied de taille : | | |
| part/cm ³ 5 à 1 μ | 235 | 185 |
| part/cm ³ 5 à 0,5 μ | 1.300 | 1.285 |

Comme en moyenne, au pied de taille, il n'y a pas de différence sensible entre les valeurs trouvées avec ou sans prévention, on peut se contenter de comparer les résultats obtenus en tête de taille pour apprécier l'efficacité de la prévention dans le chantier.

On constate donc une amélioration des conditions de travail qui se chiffre par une réduction de 70 % du nombre des particules de 5 à 1 μ et 60 % du nombre des particules de 5 à 0,5 μ . La consommation d'eau ne dépassant pas 2,5 m³/jour, il est vraisemblable qu'une pompe haute pression, placée en voie et munie de flexibles spéciaux aurait rendu les mêmes services. Cependant, le travail n'a pas présenté ici plus de difficultés que dans le cas de l'injection d'eau ordinaire sans pompe. Nous croyons d'autre part que le fait d'avoir pu injecter aussi bien dans le charbon que dans les lits stériles qui sont généralement réfractaires à l'infusion d'eau aux basses pressions, a rendu possible l'obtention d'un taux aussi élevé d'élimination de poussières.

Il y a lieu de signaler enfin que, grâce à l'injecteur surpresseur, on a réalisé un mode opératoire

une membrane. Chacun de ces espaces, dont l'un contient la réserve de mouillant liquide, est mis en communication avec la tuyauterie d'eau, respectivement en amont et au col d'un venturi, de sorte que la différence de pression créée en cet endroit provoque automatiquement une différence de pression entre les deux compartiments du réservoir. La pression exercée sur la membrane chasse le mouillant vers la tuyauterie. Grâce à un orifice calibré, on peut limiter le débit d'eau vers le réservoir et par l'même le débit de mouillant vers la tuyauterie. Les dimensions hors tout du doseur pouvant contenir 12 litres de mouillant sont : hauteur 920 mm, largeur 590 mm, épaisseur 450 mm. Le poids est de 40 kg pour le type de construction normale permettant un service prolongé à la pression de 16 kg/cm² et supportant des pointes de 20 kg/cm², ce qui paraît convenir dans la plupart des applications minières.

Les essais ont consisté à vérifier la constance de la concentration en agent mouillant dans la gamme des débits d'eau prévus par le constructeur et pour diverses pressions. L'orifice calibré qui limite le débit d'eau vers le réservoir doit permettre d'obtenir

un débit de 350 à 1.350 litres/heure d'une solution tensio-active à 0,2 % de Teepol, pour une pression maximum de service de 16 kg/cm².

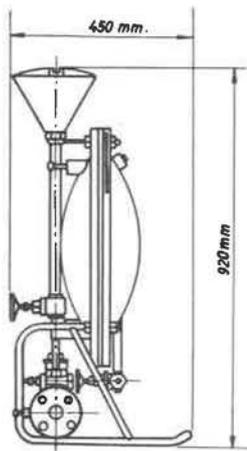


Fig. 5

Les expériences ont donné lieu aux constatations suivantes : utilisant, non pas le Teepol, mais le Tensophène I₁₀ qui est, d'après nos tests de laboratoire (37) le meilleur tensio-actif que nous ayons examiné, nous avons trouvé que dans une gamme de débits et pressions d'eau variant dans le rapport 1 à 4, c'est-à-dire de 6 à 24 litres par minute et de 2 à 8 kg/cm², le doseur « Shell-Permutit » libère une quantité de Tensophène I₁₀ telle que la concentration en agent mouillant de la solution ainsi préparée à partir de l'eau de ville est de 0,250 % ± 0,070 % avec un gicleur de 0,6 mm et 0,125 % ± 0,025 % avec un gicleur de 0,4 mm.

Nous avons conclu que l'appareil maintenait une constance de la concentration suffisante dans la pratique industrielle.

β. Essais de pulvérisation dans les travaux du fond.

Dans un des sièges des Charbonnages de Ressaix, Leval, Péronnes, Sainte Aldegonde et Genck, la production d'une taille de 3^e catégorie est évacuée en voie au moyen de convoyeurs à courroie. Ce

charbon, très friable par nature, est de plus miné chaque jour à l'ébranlement suivant la réglementation propre aux chantiers grisouteux à dégagements instantanés. Il en résulte que l'empoussiérage est assez élevé dans la voie d'entrée d'air, la cadence normale de chargement étant de 2 berlines/minute (environ 1 tonne).

Le trajet des charbons abattus est le suivant :

- déversement au pied de taille sur une raclette ;
- transbordement sur une courroie d'une longueur de ± 100 m ;
- nouveau transbordement sur une seconde courroie de 110 m environ (relais imposé par suite d'un coude brusque de la voie) ;
- déversement dans des couloirs fixes placés dans un incliné ;
- chargement en berlines sur le nouveau d'entrée d'air.

Nous avons contrôlé l'empoussiérage de l'air aux points de transbordement courroie-couloirs et courroie-courroie en nous plaçant à une vingtaine de mètres du point de chute, du côté aval par rapport au sens du courant d'air. Les conditions d'essais ont été :

- transport à sec ;
- transport lors de la pulvérisation d'eau au moyen de deux groupes de 3 pulvérisateurs Lechler KS 12 débitant environ 3 litres/minute par appareil ;
- transport et pulvérisation d'eau mouillante: solution de Tensophène I₁₀ produite grâce au doseur Teepol expérimenté ci-avant.

On a mesuré les pressions et débits de l'eau dans les tuyauteries d'alimentation des pulvérisateurs ; on a déterminé l'intensité du transport en comptant les berlines chargées de 15 en 15 minutes ; enfin, pendant les essais avec eau mouillante, on a prélevé toutes les 10 minutes un échantillon de la solution tensio-active en vue de son analyse (contrôle de la concentration).

Les constatations suivantes ont été faites à la station de mesure située à l'aval du point de transbordement : courroie-couloirs (tableau VIII).

TABLEAU VIII.

Elimination des poussières par la pulvérisation d'eau mouillante.

| Réduction des concentrations | Eau seule | Eau mouillante |
|-------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| | 9,15 litres/minute | à 0,116 % 9,75 litres/minute |
| particules supérieures à 10 μ | 70 % | 74 % |
| particules de 10 à 5 μ | 47 % | 57 % |
| particules de 5 à 1 μ | 19 % | 22 % |
| particules de 1 à 0,5 μ | 7 ... 8 % | 7 ... 8 % |

Dans la tranche granulométrique 1 - 0,5 μ , on ne peut mettre en évidence une différence de comportement de l'eau seule et de l'eau mouillante. Dans les tranches plus grossières, on remarque que l'eau mouillante a une tendance à avoir un meilleur rendement que l'eau seule, tendance qu'on ne peut préciser avec certitude par suite des fluctuations de l'empoussiérement. De plus, le fait qu'une grande partie de l'air poussiéreux n'a pas traversé le rideau de pulvérisation a vraisemblablement réduit l'efficacité du procédé.

c. *Efficacité de la pulvérisation d'eau pendant les opérations de tir en bouveau.*

Des tentatives d'abattement des poussières de tir en créant une zone de brouillard suivie d'une zone d'arrosage, ont été effectuées dans un bouveau clavé à 4,80 m de diamètre intérieur (chassage Levant 910, des Charbonnages de Houthalen), ventilé par canars soufflants débitant à front un débit d'air de l'ordre de 2,4 m³/s.

Pour les premiers essais, on avait installé à 62 m des fronts une rampe formée de 5 pulvérisateurs mixtes eau-air (Lechler, type radial ED), suivie d'une deuxième rampe de 4 pulvérisateurs identiques, placés 19 m en arrière. Ce tronçon de galerie de près de 20 m de longueur constituait la zone de brouillard dans laquelle on pulvérisait 135 litres d'eau à la minute.

A 10 m plus en arrière encore, c'est-à-dire à 91 m des fronts, on avait fixé à couronne 2 pulvérisateurs à jet conique (Lechler KS 12) et 1 pulvérisateur à jet en éventail (Lechler B 172) débitant ensemble 28 litres d'eau/minute pour former la zone d'arrosage.

A la station de mesure située à 150 m des fronts, nous avons prélevé les poussières aériennes, immédiatement au moment du tir et à intervalles réguliers pendant 24 minutes (1^{er} essai), puis pendant 40 minutes pour les essais suivants.

La comparaison relatée ci-dessus ne porte que sur deux séries de prélèvements tout-à-fait comparables: les minages exécutés comportaient la mise à feu de :

475 cartouches de dynamite lors des essais à sec (80 mines) ;

471 cartouches de dynamite lors des essais avec écrans d'eau (80 mines).

Les diagrammes de la figure 9 montrent l'évolution des empoussiéagements dans le temps ; on constate que le maximum, qui est voisin de 105.000 particules/cm³ toutes catégories lors du minage à sec, est ramené à 65.000 particules/cm³ (> 0,2 μ) lorsqu'on tire derrière écrans de pulvérisation, ce qui représente une réduction de 40 % des particules supérieures à 0,2 μ .

Des essais supplémentaires restent à faire pour déterminer l'emplacement le plus judicieux des pulvérisateurs utilisés et surtout le nombre de pulvéri-

sateurs formant la zone d'arrosage, car une partie importante de la section du bouveau (située derrière les canars) échappe au rideau de pulvérisation.

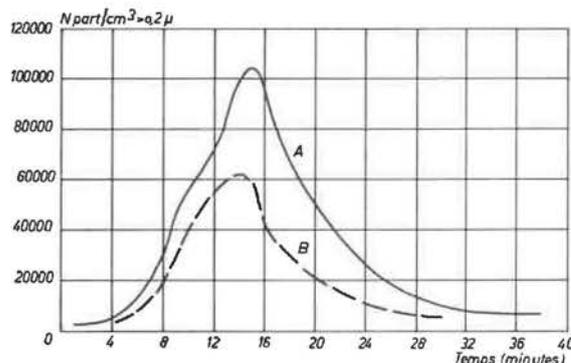


Fig. 9.

A. — Tir sans prévention.

B. — Tir derrière écran de pulvérisation.

2. — Ventilation et climat.

A. Résolution de problèmes de ventilation par analogie électrique.

Au cours de l'année écoulée, 5 sociétés charbonnières ont soumis à l'Institut d'Hygiène des Mines des problèmes de ventilation qui ont été étudiés sur notre tableau d'analogie électrique. Il nous paraît opportun de signaler ici certaines caractéristiques communes de ces problèmes, de façon à mieux faire comprendre dans quels cas l'utilisation de l'analogie électrique s'avère intéressante.

Notons tout d'abord que dans tous les cas la ventilation était assurée par plus d'un ventilateur. Dans un cas, il y avait 2 puits d'entrée et 2 puits de retour, équipés chacun d'un ventilateur en surface. Dans un autre problème, il n'y avait pas de ventilateur en surface, mais deux ventilateurs au fond (un par étage). Les autres schémas comportaient tous un ventilateur principal en surface et un ou plusieurs ventilateurs fractionnaires. D'une façon générale, on peut donc dire qu'il devient difficile d'étudier la répartition de l'aéragé par les procédés classiques de calcul ou de dessin lorsque plusieurs ventilateurs assurent la ventilation.

Une deuxième caractéristique intéressante est le schéma d'aéragé ; aucun ne s'écartait considérablement de dispositions absolument classiques, mais les nécessités de l'exploitation ont entraîné l'existence de connexions diagonales dans lesquelles le maintien du sens de l'aéragé, ou en tout cas d'un débit suffisant, était aléatoire. A titre d'exemple, nous donnons d'une façon quelque peu simplifiée deux schémas que nous avons rencontrés et pour lesquels les procédés de calcul habituels sont inapplicables. Nous citerons d'abord le cas du creusement d'un nouvel étage, suivant le schéma de la figure 10.

Lorsque le nouveau chassage couchant CC' a progressé suffisamment, il est normal d'établir une communication avec l'étage supérieur pour rapprocher la prise d'air du front. Cette connexion existait

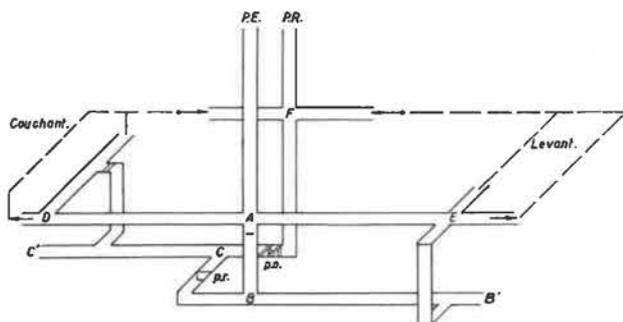


Fig. 10.

déjà au moment où nous fut posé le problème. Au Levant, une technique analogue allait être adoptée par la mise en communication des deux étages à travers le burquin B'E. Le schéma électrique de la figure 11, apparenté au classique « pont de Wheatstone », met clairement en évidence l'existence d'une

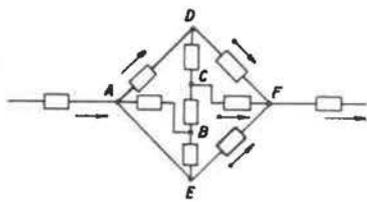


Fig. 11.

diagonale DCBE reliant des points tous situés dans l'entrée d'air et a priori, il serait difficile de prévoir le sens de l'écoulement de l'air dans les sections DC, CB et BE. En réalité, les deux entrées d'air AD et AE correspondent à des quartiers d'extension très inégale, le Levant étant beaucoup plus développé que le Couchant. On espérait donc, au moment où serait établie la communication BE, une amélioration de l'aéragé au Levant par la mise en parallèle du circuit ABE avec l'entrée d'air normale AE. L'étude analogique a confirmé cet espoir, mais a démontré le faible bénéfice pratique qui en résultait pour le quartier Levant et la nécessité de nouveaux ventilateurs fractionnaires. Un calcul direct n'aurait été possible qu'à condition de négliger le débit BC. Or, l'étude analogique a permis de prévoir que ce débit, qui initialement allait de B vers C, s'inversait très probablement, si bien que le circuit ADCB deviendrait une 3^e entrée d'air pour le quartier Levant ; ce phénomène qui aurait échappé au calcul simplifié, s'explique par la résistance assez élevée de la plate-cuve située sous A dans le puits d'entrée d'air.

Un autre exemple de connexion d'aéragé diagonale entre deux entrées d'air est celui de la liaison

souterraine de deux sièges initialement indépendants et pourvus d'un aéragé classique, cette interconnexion étant destinée à centraliser l'extraction des deux sièges. La figure 12 représente en perspective la situation de départ. On comprend aisément que le débit dans la diagonale supérieure est tributaire des dépressions respectives des deux ventilateurs de surface et des orifices équivalents des chantiers des deux sièges. De plus, de petites variations de ces 4 facteurs ont une influence relativement forte sur le débit dans cette diagonale, suivant une propriété qui est précisément mise à profit dans le pont de Wheatstone et les ponts du même genre. Ces variations de débit dans la liaison ont une grande importance pratique, puisque le transport des produits d'un siège à l'autre implique un trafic assez intense assuré par locotracteurs Diesel.

Le problème s'est compliqué lorsque l'extension du siège principal y a imposé l'installation d'un ventilateur plus puissant et surtout lorsque l'approfondissement des chantiers a requis l'établissement d'une nouvelle liaison entre les deux sièges, à un niveau inférieur. La situation future est représentée en pointillé à la figure 12. Il est inévitable

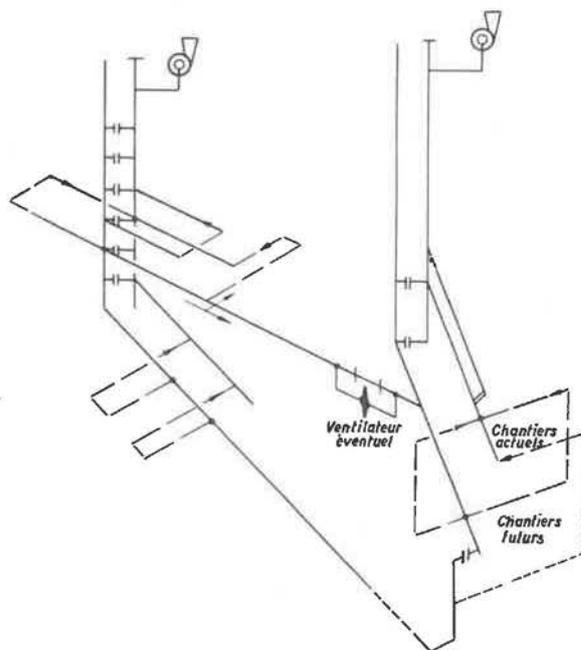


Fig. 12.

que pendant une période de transition, les deux liaisons requièrent des débits minima d'air adaptés à leurs trafics respectifs. Inutile de souligner que tout calcul basé sur un tel schéma devient pratiquement impossible. Par contre, l'étude par analogie électrique (fig. 13) a permis de préciser qu'au début de la mise en service de la nouvelle diagonale, le débit d'air y atteindrait une valeur suffisante, sans préjudice exagéré pour l'aéragé des chantiers du

siège principal, du moins avec le nouveau ventilateur de ce siège. Par contre, la liaison supérieure voit son débit dangereusement compromis et on a envisagé d'y installer un ventilateur auxiliaire. Dans un stade ultérieur, la diagonale inférieure pourrait ne plus être ventilée suffisamment. Pour éviter de devoir y installer à nouveau un ventilateur, nous avons examiné la possibilité de renverser à ce moment l'aérage dans la liaison supérieure, en inversant le sens de fonctionnement du ventilateur qui y sera placé.

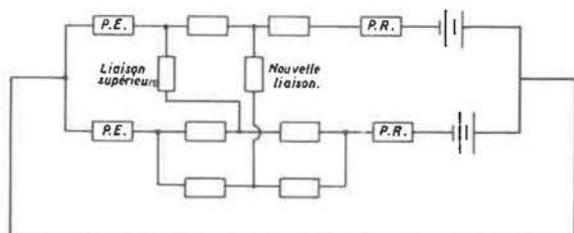


Fig. 15.

Nous pensons par ces deux exemples avoir expliqué suffisamment comment des conditions d'exploitation, somme toute, assez fréquentes peuvent entraîner des schémas d'aérage pour lesquels les prévisions de la répartition des débits deviennent très difficiles sinon impossibles ; c'est dans ce cas que l'analogie électrique s'avère le plus utile.

L'intérêt de cette méthode est encore prouvé par le fait que deux des sociétés qui nous ont consultés au cours des années précédentes, ont décidé d'acquiescer elles-mêmes un tableau d'analogie électrique. La construction de ces nouveaux tableaux a été supervisée par notre Service Technique. Certaines améliorations ont encore été apportées vis-à-vis du modèle initial de l'Institut, compte tenu de l'expérience acquise et en vue d'assurer une certaine interchangeabilité des parties essentielles des tableaux. Signalons entre autres l'emploi de résistances réglables par plots successifs au lieu de rhéostats à variation continue, moins reproductibles. Chaque résistance réglable est désormais constituée par 3 décades en série, comportant respectivement 10×1 ohm, 9×10 ohms et 9×100 ohms. Pour augmenter l'étendue du réglage possible, d'autres éléments de construction identique sont constitués de résistances 10 fois plus élevées. Les intensités maxima ont été réduites et l'on a pu par conséquent adopter du matériel d'utilisation courante en radio-technique ; on a pu aussi recourir à la stabilisation électronique des sources de tension qui représentent les ventilateurs. D'autre part, les connexions entre un élément quelconque et l'unité de réglage et de mesure sont réalisées au moyen non plus de clés téléphoniques, mais de commutateurs rotatifs dont chaque position est reliée par 5 fils à l'élément correspondant. Enfin, le schéma adopté pour l'unité

de réglage, reproduit de façon simplifiée à la figure 14, est quelque peu différent de ceux que nous avons décrits précédemment (38) (27). Soit R l'un quelconque des éléments à régler. Lorsque le galvanomètre G est à l'équilibre, on a nécessairement l'égalité des chutes de tension $R_0 I$ et $R' I'$. Or la résistance R' est proportionnelle à la résistance R, car les deux curseurs c et c' appartiennent en réalité à une même combinatoire à 2 galettes.

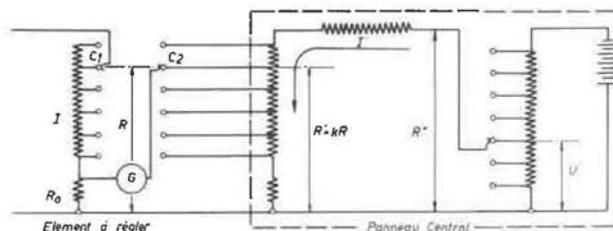


Fig. 14.

Enfin, le courant I' prélevé à la source de tension auxiliaire U' vaut évidemment $I' = U'/R''$. A l'équilibre, on a finalement

$$R_0 I = R' I' = k R I' = \frac{k R U'}{R''}$$

d'où

$$\frac{R}{I} = \frac{R'' R_0}{k U'}$$

Dans la pratique, la tension U' est d'abord ajustée à 0,1 - 1 - 10 ou 100 volts suivant l'échelle à obtenir ; la valeur exacte du rapport (R/I) , qui est l'analogie électrique du rapport $\Delta p/Q^2$ (c'est-à-dire la résistance aérodynamique du circuit) est introduite dans le tableau par le réglage adéquat de R'' (résistance à 3 décades) ; enfin, l'ajustage ultérieur de R permet d'amener G à l'équilibre ; à ce moment le rapport R/I possède la valeur voulue.

Une publication plus détaillée concernant ces nouveaux tableaux d'analogie électrique est en préparation.

B. Etudes des conditions climatiques du fond.

Le but de la recherche est de connaître de façon précise, grâce à l'enregistrement sur une longue période, les paramètres caractéristiques du climat minier et notamment la température sèche, la température humide, la vitesse de l'air. En même temps, nous procéderons à la mesure de certaines autres grandeurs ayant une influence déterminante sur le climat du fond de la mine (par exemple : la température de la roche profonde...). Nous désirons en effet non seulement obtenir une statistique convenable des conditions climatiques réelles dans nos chantiers, mais encore :

a) vérifier l'approximation de nos études théoriques concernant l'échauffement et l'humidification de l'air dans son parcours souterrain ;

b) connaître la valeur de certains paramètres intervenant dans ces études et qui sont encore mal connus (par exemple : le coefficient de transmission de chaleur à la paroi des galeries).

Au cours de l'année écoulée, nous nous sommes préoccupés seulement de la mise au point et du contrôle d'appareils indicateurs à distance et enregistreurs de la température sèche et de la température humide adaptés aux conditions du fond. L'enregistrement de la vitesse de l'air est également à l'étude : mais on se heurte ici à de plus grandes difficultés.

Des essais d'utilisation d'un hygromètre enregistreur à cheveux ont été négatifs : la reproductibilité de l'appareil est insuffisante (bien qu'il s'agisse d'appareil de construction soignée).

Tous les autres appareils étudiés sont des « psychrographes » c'est-à-dire enregistreurs des températures sèche et humide. Nous avons expérimenté successivement :

a) des psychrographes dont les éléments thermosensibles sont des lames « bimétalliques » dont la déformation, amplifiée par leviers, est transmise à une plume inscrivant l'évolution des températures sur un tambour ;

b) des psychrographes dont les éléments thermosensibles sont des bulbes métalliques remplis de mercure et reliés par capillaire à des spirales de Bourdon actionnant les plumes enregistreuses ;

c) un équipement d'enregistrement à distance des températures par voie électrique, dont les éléments sensibles sont des résistances à coefficient de température négatif (NTCR).

Les appareils des postes a) et b) sont disponibles dans le commerce ; quant à l'équipement c) il a été monté par nos soins à partir d'un millivoltmètre enregistreur et de NTCR disponibles sur le marché.

Les études entreprises jusqu'ici ont été menées en laboratoire. On s'est efforcé de répondre aux 3 questions suivantes :

a) Les températures des sondes sont-elles exactement les températures sèche et humide de l'air ?

b) Les enregistrements obtenus représentent-ils exactement les températures des sondes : quelles sont les erreurs systématiques et les erreurs accidentelles ?

c) Les appareils pourront-ils supporter les conditions du fond sans dommage ? Quelle sera l'influence de l'empoussiérement, de la présence de gaz et de sels corrosifs dans l'atmosphère ? Quel sera l'effet de chocs et de trépidations ?

En ce qui concerne ce dernier point, nous sommes d'avis, au stade actuel de nos recherches, que les appareils commerciaux expérimentés permettent d'obtenir sur la plume un couple suffisamment énergétique pour éliminer l'influence de légers chocs

ou vibrations, sans que l'erreur de reproductibilité dépasse $\pm 0,5^\circ \text{C}$. Mais nous croyons que ces appareils ne pourraient être utilisés avec succès dans leur présentation originale que dans des voies d'entrée d'air bien ventilées et peu poussiéreuses. Pour étendre leurs possibilités d'emploi, nous estimons nécessaire d'enfermer soit l'appareil enregistreur tout entier (appareils types a) et b), soit les éléments sensibles (appareils types b) et c)) dans un caisson mis sous dépression par un éjecteur à air comprimé et raccordé à une prise d'air à travers un filtre anti-poussières.

En ce qui concerne l'exactitude des températures sèche et humide détectées par les sondes, nos essais ont été assez décevants. Pour les appareils à bimétal disposés à l'air libre, nous avons constaté qu'en général la température de la sonde humide était légèrement supérieure à t_h , l'erreur pouvant atteindre 1°C lorsque $t_s - t_h = 10^\circ \text{C}$. Lorsque l'appareil est installé dans un caisson ventilé, il est possible d'assurer une circulation d'air telle que la température humide soit plus exacte, mais on constate alors réciproquement que la température de la sonde « sèche » est trop basse. En conclusion, il est très difficile d'obtenir à la fois une mesure correcte de t_s et t_h au moyen d'un appareil métallique compact dans lequel les échanges par convection et rayonnement entre sondes influencent leurs températures respectives, dans le sens d'une réduction de leur différence. Nous sommes cependant parvenus à modifier la construction des appareils reçus et à prévoir des caissons anti-poussières conçus de façon telle que ces erreurs systématiques soient inférieures à $0,5^\circ \text{C}$. On peut d'ailleurs éliminer les erreurs systématiques en construisant pour chaque appareil une carte d'étalonnage.

En ce qui concerne enfin les erreurs qui s'introduisent lors de l'enregistrement des températures des sondes, le dispositif électrique utilisant des NTCR et un millivoltmètre enregistreur est nettement supérieur aux autres, la reproductibilité atteignant $\pm 0,2^\circ \text{C}$ alors que les enregistreurs mécaniques donnent couramment des erreurs de $\pm 0,5^\circ \text{C}$. La méthode électrique est d'ailleurs la seule permettant la transmission des mesures à grande distance, ce qui permet de placer l'enregistreur à l'abri des chocs et déprédations.

A titre d'exemple, les photos de la figure 15 représentent un ensemble constructif permettant l'enregistrement de t_s et de t_h à $\pm 0,2^\circ \text{C}$ près. L'air aspiré par un éjecteur, traverse deux chenaux, contenant chacun une sonde (NTCR), isolés thermiquement et pourvus d'écrans anti-rayonnement. Le boîtier chromé sert également d'écran anti-rayonnement et de caisson étanche ; il possède des dispositifs de raccordement du câble électrique et de l'aspiration d'air. A la partie inférieure, on trouve un réservoir d'eau d'environ 1 litre destinée à mouiller la mèche de la sonde « humide ». Le réservoir est



Fig. 15.

isolé du boîtier par une pièce en bakélite. L'ensemble est de construction robuste ; le format équivaut à peu près à celui d'une lampe de mineur.

C. Etude des pertes de charge dans les puits.

Dans une communication récente de l'Institut d'Hygiène des Mines (39), nous avons fait le point des connaissances actuelles sur cette question. Dans cette publication, nous avons repris sous une forme générale les formules reliant aux coefficients de pertes de charge λ les mesures de différence de pression et de débit qu'on peut effectuer dans les puits.

Nous avons notamment attiré l'attention sur l'importance des pertes de charge localisées, notamment celles provoquées par un rétrécissement brusque de section. Nous avons proposé, pour estimer ces pertes la formule suivante :

$$\Delta p = \zeta \delta \frac{V^2}{2g}$$

Δp désignant la chute de pression en kg/m^2 (ou $\text{mm H}_2\text{O}$), δ le poids spécifique de l'air (kg/m^3), V sa vitesse moyenne dans la section rétrécie (m/s) et ζ un coefficient dont la valeur est donnée à la figure 16, en fonction du rapport m de la section rétrécie à la section normale.

En appliquant cette formule au cas particulier du puits n° 7 des Charbonnages de Gosson-Kessales, pour un débit de $45,7 \text{ m}^3/\text{s}$, nous avons prévu une perte de charge de $22,68 \text{ mm H}_2\text{O}$, uniquement due aux multiples rétrécissements créés par les tenues d'eau ou « creppes ». Une première mesure de pertes de charge effectuée en 1956 (1), nous avait en effet conduit à une résistance anormalement élevée du puits ($34,3 \text{ mm H}_2\text{O}$ pour $45,7 \text{ m}^3/\text{s}$ et 234 m de puits), résistance que nous avons attribuée essentiellement (pour 66 %) aux « creppes ». A la suite de ces mesures, la direction des charbonnages

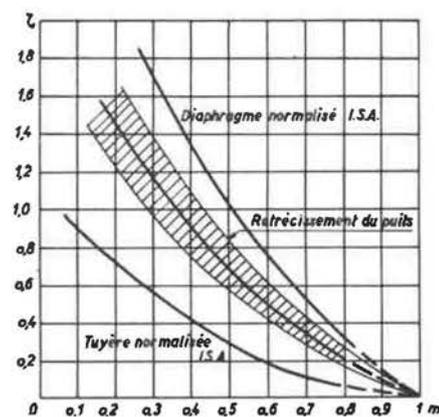


Fig. 16.

a fait supprimer les creppes et les a remplacées par des rigoles plus étroites. Après achèvement de ce travail, nous avons procédé à une nouvelle mesure des pertes de charge et avons trouvé pour la même longueur de puits une perte de charge de 20,4 mm H₂O correspondant à un débit de 55 m³/s. D'après ce résultat, la résistance du tronçon considéré a été réduite de 59 %, ce qui concorde très bien avec nos prévisions, compte tenu de l'influence des nouvelles rigoles.

Nous avons encore procédé à une large confrontation de diverses mesures de pertes de charge de puits de mines, dont nous disposons et qui ont été effectuées aux Charbonnages de Gosson-Kessales (40), aux Charbonnages du Bois-du-Cazier (41), au Charbonnage de Zwartberg (38) et enfin dans la mine de « City Deep Limited » en Afrique du Sud (4). Il résulte de notre étude que la formule empirique que nous avons proposée pour le calcul des coefficients de perte de charge peut être généralisée plus largement encore que nous ne l'avons exposé dans le précédent compte-rendu de nos travaux.

Rappelons encore que pour un puits à un seul compartiment, la chute de pression Δp (kg/m²) due à l'écoulement se calcule par les formules

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

en désignant par L la longueur (m), δ le poids spécifique de l'air (kg/m³), P le périmètre (m), S la section (m²), Q le débit (m³/s) et g l'accélération gravifique. Les grandeurs non accentuées se rapportent aux dimensions brutes (puits dégarni) tandis que P' et S' correspondent à la section la plus encombrée par l'équipement. Seul le coefficient λ' ne dépend que de la rugosité et non de l'encombrement du puits.

Lorsque le puits est divisé par son équipement en plusieurs compartiment α, β ... μ, qui, mesurés dans la section la plus encombrée, ont des périmètres P_α, P_β ... P_μ et des sections S_α, S_β ... S_μ, on peut calculer encore la perte de charge par la formule [1], mais le coefficient λ est cette fois lié au coefficient λ' par la relation

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

De nouveau le coefficient λ' ne dépend ni de l'encombrement du puits ni de la disposition des traverses. Ce coefficient peut être déterminé en fonction de la nature et de la rugosité des parois qui constituent le périmètre global de l'ensemble des compartiments, les alignements de traverses

étant considérés comme des parois. On écrira en toute généralité

$$\lambda' = \sum \lambda'_i \frac{P'_i}{P'_{tot}}$$

P'_i désignant la contribution de la i^{me} paroi au périmètre global P'_{tot} et λ'_i étant un coefficient caractéristique de sa rugosité. Pour les parois extérieures des puits, λ'_i varie de 0,02 pour une paroi parfaitement lisse à 0,09 environ pour une paroi très rugueuse constituée de cintres métalliques rapprochés ou d'un cuvelage à nervures internes. L'alignement des bords de paliers ayant une largeur de l'ordre de 1/4 du diamètre du puits et espacés de 5 à 10 fois cette largeur, constitue une paroi de rugosité maximum pour laquelle λ'_i est de l'ordre de 0,24 ; cette valeur peut être réduite si les bords sont joints par un cloisonnage plus ou moins parfait. Enfin, les alignements de traverses ont une résistance qui dépend de leur profil et de leur espacement. Pour un espacement égal ou inférieur à 10 fois la largeur de la traverse, λ'_i varie de 0,05 à 0,21, valeurs correspondant d'une part à un profil aérodynamique approché et d'autre part à une traverse carrée à angles vifs. Des travaux sont en cours en vue de préciser les valeurs numériques des λ'_i.

3. Travaux divers.

A. Contrôle de l'époussiérage de l'air dans un triage lavoir.

Bien que ce travail sorte du cadre habituel de nos préoccupations, nous l'avons entrepris non pour déterminer ou vérifier l'efficacité d'une installation de dépoussiérage, mais plutôt pour examiner la salubrité de l'air, lorsque toutes les installations sont en fonctionnement continu.

La capacité du triage lavoir contrôlé est de :

340 tonnes/heure pour le culbutage-triage du tout-venant,

37 tonnes/heure pour le lavage du 6 - 12 (jigs),

150 tonnes/heure pour le lavage du 12 - 120 (liqueur dense),

la catégorie 0 - 6 étant momentanément dirigée vers un ancien lavoir.

Installation de captage des poussières.

Les principaux appareils producteurs de poussières : le crible primaire, les deux cribles de 0 - 120 bruts et leurs tamis vibrants parachevant le criblage des 6 - 12, sont enfermés dans deux chambres en

maçonnerie mises sous dépression. En plus des deux prises de captation de poussières installées dans ces chambres, 17 hottes d'aspiration sont prévues sur les appareils traitant ou transportant des produits secs aux endroits où un dégagement de poussières était à prévoir : culbuteurs à charbon et à pierres, concasseur à gailleteries, alimentations et jetées des transporteurs à courroies.

Les différentes hottes d'aspiration sont, par un réseau de tuyauteries en tôle de section rectangulaire, réunies à un dépoussiéreur Tubix, composé de 124 tubes cyclônes capables de filtrer 12 m³ de gaz poussiéreux par seconde. La dépression dans le réseau de tuyauteries est créée par un ventilateur d'un débit de 12 m³/s à 20° C, capable d'assurer une pression de 320 mm H₂O en tournant à 1.355 tours/minute et absorbant une puissance de 82,5 CV. Ce ventilateur, commandé par un moteur de 95 CV tournant à 1.500 tours/minute et par une transmission à courroies trapézoïdales, est conçu de façon à pouvoir assurer un débit supplémentaire de 10 % par simple augmentation de sa vitesse de rotation.

La poussière captée par l'appareil Tubix, environ 120 kg par heure, est évacuée automatiquement au moyen de 5 clapets Gasticht et réincorporée dans une raclette transportant du 0 - 6 brut. La poussière ténue, non retenue par les cyclônes, est captée par un finisseur humide du type Airmix placé dans la cheminée de refoulement à l'air libre du ventilateur. L'airmix dont la consommation est d'environ 0,5 m³ d'eau à l'heure, est alimenté en eau claire. Les schlamms provenant de cet appareil sont introduits dans les eaux de lavage des 6 - 12.

Le but poursuivi était de comparer les empoussiérages d'une part au droit des hottes d'aspiration et d'autre part au voisinage immédiat des entrées d'air du bâtiment. Nous avons choisi les stations de mesures aux 5 entrées d'air principales du bâtiment ainsi qu'au voisinage immédiat des 5 hottes d'aspirations près desquelles des ouvriers pouvaient être appelés à séjourner un certain temps.

Appareils de mesure et modalités d'essais.

Les poussières en suspension dans l'air ont été prélevées au précipitateur thermique, chaque prise d'échantillon durant 7 minutes environ ; elles ont été comptées microscopiquement sur fond clair, au grossissement 1.000 X, au moyen d'un microprojecteur dont le pouvoir de résolution est égal à 0,2 μ. La répartition granulométrique adoptée au comptage est la suivante : 0,2 - 0,5 μ, 0,5 - 1 μ, 1 - 3 μ, 3 - 5 μ, > 5 μ.

En ce qui concerne l'interprétation des mesures, il avait été décidé qu'on ne prendrait en considération que la moyenne des résultats trouvés sans tenir compte des quantités d'air aspiré dans les canalisations ou pénétrant dans le bâtiment par les diffé-

rents orifices d'entrées (moyenne arithmétique pure et simple et non pas moyenne pondérée des résultats). Cette façon de faire a été jugée suffisante pour apprécier la concentration en poussières respirables qui sont en suspension dans l'air du triage-lavoir.

Il avait en outre été stipulé que l'empoussiérage dans le triage-lavoir, exprimé en nombre de particules de 5 à 0,5 μ, par cm³ d'air ne dépasserait pas de plus de 300 le nombre de particules normalement en suspension dans l'air extérieur du bâtiment. Nous avons constaté que les moyennes arithmétiques des résultats trouvés définissant les empoussiérages d'une part à l'intérieur (330) et d'autre part à l'extérieur (320) ne différaient pas significativement. Si l'on admettait que l'air provienne du point le moins empoussiéré et qu'on veuille faire la comparaison avec l'air au point le plus empoussiéré à l'intérieur du bâtiment, on trouvait une différence de l'ordre de 265 particules/cm³ de 5 à 0,5 μ.

Nous avons conclu que l'air à l'intérieur du bâtiment n'était pas plus empoussiéré en moyenne que l'air extérieur et présentait des garanties suffisantes de salubrité.

B. Epuration des gaz d'échappement d'un moteur Diesel.

But poursuivi.

Le but de ce travail était d'examiner les possibilités d'éliminer l'oxyde de carbone et de réduire les émanations et fumées dégagées par les locotracteurs du fond en utilisant l'épurateur Oxycat-Houdry (fourni par les Ateliers de Construction Mécanique de Tirlemont). Cet essai d'orientation n'a donc pas la prétention de servir à l'étude de la combustion dans un moteur Diesel.

Matériel utilisé.

Les Charbonnages de Ressaix, Leval, Péronnes, Sainte Aldegonde et Genck à Ressaix ont mis à notre disposition une locomotive Moes montée sur bâti spécialement aménagé pour permettre l'entraînement d'une génératrice à courant continu dont on pouvait faire varier la charge entre certaines limites, par insertion de résistances électriques.

a) Les caractéristiques principales de ces machines sont les suivantes :

— moteur Moes : puissance 28 CV ; cycle 4 temps ; vitesse de rotation 1.000 tours/minute ; nombre de cylindres 2 ; alésage 120 mm ; course 160 mm ; injection latérale par injecteur à 1 trou ;

— génératrice type Shunt : voltage 130 V ; ampérage 270 A ; vitesse de rotation 750 tours/minute.

b) L'épurateur expérimenté est un catalyseur d'oxydation dont chaque élément (10 X 10 X

20 cm) comprend deux plaques de base en céramique entre lesquelles sont placés des bâtonnets recouverts d'une fine pellicule de 7,6/100 de millimètre d'un mélange d'alumine et de platine. Cette pellicule est l'agent catalytique qui provoque la combustion des imbrûlés et produit de ce fait une élévation de température. Le modèle essayé, Oxycat D 5, ne contient que 4 éléments ; ce type a été choisi par le représentant comme devant convenir à un moteur de cette puissance. Son encombrement est de l'ordre de $12 \times 20 \times 40$ cm.

Mesures effectuées.

Le croquis de la figure 17 montre la disposition schématique des différents organes ; les points de mesure y sont indiqués. Pour différentes conditions de charge prise par la machine avec ou sans « oxycat », avec ruissellement d'eau dans le pot à cailloux ou avec ruissellement d'une solution de permanganate à 5 % $K_2Mn_2O_8$ + 1 % Na_2CO_3 $(H_2O)_{10}$, nous avons déterminé les grandeurs ci-après :

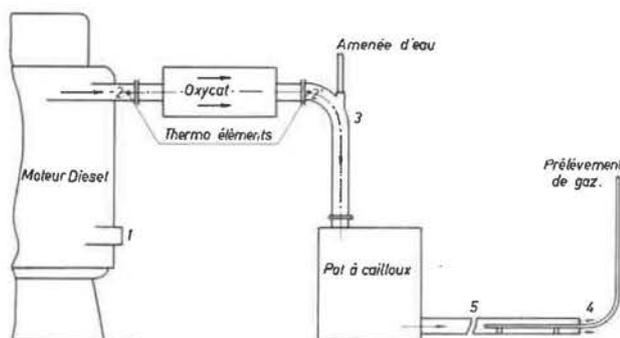


Fig. 17.

a) Etat de l'air à l'aspiration du moteur (au point 1) au moyen d'un psychromètre à aspiration.

b) Température des gaz à la sortie du moteur, éventuellement à la sortie de l'oxycat (aux points 2 et 2') au moyen de thermo-éléments fer-constantan.

c) Quantité d'eau de ruissellement dans le pot à cailloux, ou solution de permanganate (au point 3), par la mesure de la baisse de niveau dans le réservoir d'alimentation.

d) Température et débit de gaz d'échappement, au point 4, au moyen d'un psychromètre à aspiration et d'un anémomètre étalonné spécialement pour la mesure dans une canalisation de même diamètre. (La conduite de refoulement a été prolongée pour permettre un certain refroidissement des gaz).

e) Charge prise par la machine, par le relevé des appareils indicateurs donnant la force électromotrice (V) et l'intensité du courant (A) débité sur les résistances de charge (rendement supposé de la génératrice : environ 0,8).

f) Teneurs des gaz en CO , CO_2 , O_2 au refoulement, au point 5, dans l'axe de la tuyauterie, à 1,45 m de la sortie à l'air libre. On a procédé d'une part à une série de dosages de CO sur place au moyen d'indicateurs colorimétriques, et d'autre part au prélèvement de plusieurs échantillons de gaz en vue de leur étude ultérieure au laboratoire à l'aide d'un appareil Orsat industriel (teneurs en CO_2 et O_2).

Le détecteur de CO utilisé, de marque M.S.A., a été étudié à l'Institut d'Hygiène des Mines où il s'est avéré fidèle et juste vis-à-vis des mélanges d'air et d'oxyde de carbone pur. Son emploi repose sur la mesure du changement de coloration d'un réactif à base de sel de palladium lorsqu'il est mis en contact avec le gaz inconnu dans des conditions déterminées. Néanmoins, de par son principe même, le réactif est susceptible d'être influencé par des gaz oxydo-réducteurs tels que les oxydes d'azote et l'anhydride sulfureux dont la présence est possible dans les fumées de combustion de mazout. Il faut y ajouter divers produits organiques plus ou moins oxydés formés au cours de la combustion incomplète des hydrocarbures. Afin de mettre en évidence et d'éliminer dans la mesure du possible l'action parasite de ces impuretés, tous les tests de CO ont été effectués en double : les uns avec l'appareil seul, les autres après interposition d'un tube filtrant rempli de chaux sodée en granulés ; les composés acides sont ainsi retenus.

Les flacons pour analyse ultérieure ont été remplis entièrement par déplacement d'eau sans barbotage du gaz dans le liquide. Cette façon de faire évite la perte de CO_2 par dissolution pendant le prélèvement et le transport des bouteilles. Il faut remarquer toutefois que cette précaution ne permet que la comparaison des gaz à la sortie de la tuyauterie et non pas à la sortie du moteur, car les fumées subissent entretemps un lavage par ruissellement d'eau dans le pot à cailloux.

Nous avons constaté que le dispositif catalytique étudié possédait un rendement nul pendant le fonctionnement du moteur à très faible charge donnant une température d'échappement des gaz pour laquelle l'appareil n'est d'ailleurs pas prévu, mais par contre à $450^\circ C$, nous avons trouvé un rendement de la suppression de l'oxyde de carbone de l'ordre de 90 % d'après les mesures faites sur CO purifié. Il importe cependant de faire remarquer ici que sans oxycat et pour un fonctionnement à mi-charge, la teneur en CO mesurée dans les gaz d'échappement purs est à la limite des concentrations donnant des effets physiologiques perceptibles et que, dans les galeries du fond, ces gaz, dont le débit est de l'ordre de 2 ... 4 m^3 /minute sont normalement dilués dans un courant d'air de plusieurs m^3 par seconde.

C. Le tarage des anémomètres.

Au cours de l'année écoulée, nous avons été amenés à effectuer à différentes reprises des mesures de débit d'air très précises. Toutes ces déterminations ont eu lieu en planimétrant la carte des vitesses dans la section de mesure, vitesses déterminées par points successifs au moyen d'anémomètres. La précision de ces déterminations dépend notamment de la stabilité du débit (que l'on peut vérifier par des mesures répétées au même point), de l'exactitude du tracé des courbes des vitesses et du planimétrage de celles-ci, mais surtout de l'exactitude et de la reproductibilité de l'anémomètre. Comme les anémomètres sont tarés dans nos laboratoires, la précision de nos déterminations de débit est finalement liée à celle du tarage, dont nous allons discuter brièvement.

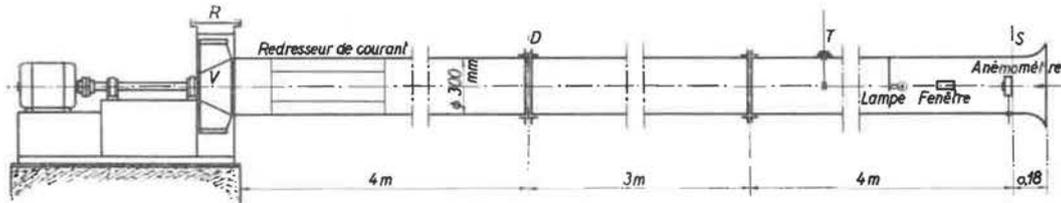


Fig. 18.

Supposons l'anémomètre placé loin des parois dans un courant d'air uniforme de vitesse v_a ; la courbe de tarage idéale est celle donnant v_a en fonction du nombre N de révolutions de l'anémomètre en un temps donné (généralement 1 minute). En réalité, l'installation de tarage est construite suivant le schéma de la figure 18. L'anémomètre est placé à l'entrée d'un conduit, dans une section où l'écoulement de l'air est presque parfaitement uniforme : en même temps que le nombre de tours N de l'anémomètre, on détermine au moyen d'un diaphragme normalisé ISA la vitesse moyenne dans le conduit par la formule

$$v_D = m \varepsilon \alpha \sqrt{\frac{2g \Delta H}{\delta_a}}$$

Dans cette formule, m désigne le rapport s/S de la section s au col du diaphragme à la section S du conduit, ε est un coefficient de compressibilité très voisin de 1, fonction quasi linéaire du rapport (p_2/p_1) des pressions p_2 au col et p_1 en amont du diaphragme et δ_a le poids spécifique de l'air (kg/m^3). Le coefficient de débit α n'est en général fonction que du rapport m . Malheureusement, notre installation n'a pas des dimensions suffisantes pour qu'il en soit ainsi et le coefficient dépend légèrement du nombre de Reynolds, donc du débit.

Un calcul par approximations successives a cependant permis de construire une fois pour toutes

une table des valeurs du produit $m \varepsilon \alpha \sqrt{2g}$ en fonction des lectures ΔH .

Il n'existe pas de relation directe entre la vitesse moyenne v_D calculée à partir des mesures au diaphragme et la vitesse v_a définie ci-dessus. En fait, il est possible d'établir cette relation par étapes successives (voir figure 19). On peut d'abord déterminer le rapport r_1 entre la vitesse v_P déterminée au tube de Pitot dans la zone d'uniformité de la vitesse, en l'absence d'anémomètre, et la vitesse v_D . Nous avons trouvé en moyenne $v_P/v_D = 1,065$. Ce rapport assez différent de 1 ne se justifie pas entièrement par la diminution de vitesse près des parois dans la section de mesures ; il résulte aussi d'erreurs instrumentales. Nous avons tout lieu de penser que dans nos conditions (petits nombres de Reynolds), les valeurs de α normalisées interna-

tionnellement donnent un résultat trop faible de quelques %.

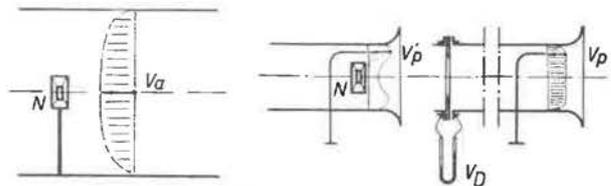


Fig. 19.

On peut étudier ensuite le rapport $r_2 = v'_P/v_P$ des vitesses mesurées au tube de Pitot dans la zone d'uniformité, avec et sans anémomètre. Ce rapport est essentiellement fonction de l'encombrement de la section de mesure par l'anémomètre et sa tige-support. On en obtient une estimation par le rapport de la surface totale et la section de mesure S à la surface nette $S - s$, c'est-à-dire la totale moins la projection des parties fixes de l'anémomètre sur le plan de mesure. L'étude en cours montre cependant que d'autres facteurs interviennent, notamment le jeu entre les pales et l'anneau de protection, le nombre et la dimension des pales, etc.

En troisième lieu, il faut étudier le rapport r_3 entre la vitesse v_a uniforme de l'air mesurée à quelque distance de l'anémomètre placé dans une canalisation de grandes dimensions et la vitesse v_P mesurée de façon homologue dans l'installation de tarage. Les premières recherches que nous avons

TABLEAU X.

Moyens de prévention normalement mis à la disposition du personnel dans les travaux préparatoires au cours des opérations de foration.
 Situation provisoire au début de 1958 comparée à la situation au 1^{er} janvier 1957.
 (Nouveaux, bacnures, chassages, burquins, approfondissements de puits...).

| Bassins administratifs | Campine | | Liège | | Charleroi | | Centre | | Mons | | Ensemble | |
|--|---------|------|-------|------|-----------|------|--------|------|------|------|-------------------|---------------------|
| | 1957 | 1958 | 1957 | 1958 | 1957 | 1958 | 1957 | 1958 | 1957 | 1958 | 1957 | 1958 |
| Années de référence | | | | | | | | | | | | |
| Nombre de fronts en creusement | 127 | 143 | 92 | 96 | 147 | 131 | 36 | 41 | 69 | 51 | 471 | 462 |
| Fronts équipés de : | | | | | | | | | | | | |
| 1. Capteurs pour foration à sec | 13 | 18 | 19 | 18 | 45 | 23 | 16 | 13 | — | — | 93 | 72 |
| 2. Perforateurs à adduction latérale d'eau | 55 | 26 | 19 | 10 | — | 1 | 2 | — | 3 | 2 | 77 | 39 |
| 3. Perforateurs à injection centrale d'eau | 61 | 87 | 36 | 61 | 69 | 91 | 10 | 21 | 36 | 43 | 212 | 303 |
| Fronts avec prévention | 127 | 131 | 74 | 89 | 114 | 115 | 28 | 34 | 39 | 45 | 382 ou 81 % | 414 ou 89,5 % |

TABLEAU XI.

Développement des tailles auxquelles sont appliqués régulièrement des traitements humides.
 Situation provisoire au début de 1958 comparée à la situation au 1^{er} janvier 1957.

| Bassins administratifs | Campine | | Liège | | Charleroi | | Centre | | Mons | | Ensemble | |
|---|---------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------|
| | 1957 | 1958 | 1957 | 1958 | 1957 | 1958 | 1957 | 1958 | 1957 | 1958 | 1957 | 1958 |
| Années de référence | | | | | | | | | | | | |
| Longueur des fronts déhouillés (m) | 19.976 | 19.705 | 22.654 | 23.885 | 32.536 | 33.137 | 12.420 | 12.114 | 12.619 | 12.933 | 100.205 | 101.774 |
| I. Traitements appliqués au point de formation des poussières | | | | | | | | | | | | |
| 1. Arrosage des fronts | 5.840 | 5.047 | 300 | 100 | 2.545 | 2.460 | 150 | — | 135 | 90 | 8.970 | 7.697 |
| 2. Injection d'eau en veine | 9.853 | 9.659 | 1.105 | 835 | 3.427 | 7.345 | 2.035 | 2.358 | 1.284 | 1.651 | 17.704 | 21.848 |
| 3. Havage humide | 3.396 | 3.422 | 470 | 620 | 200 | 290 | — | — | — | — | 4.066 | 4.332 |
| 4. Emploi de piqueurs à pulvérisation d'eau | 6.205 | 4.826 | 4.947 | 4.883 | 5.654 | 6.276 | 718 | 785 | 120 | 170 | 17.644 | 16.940 |
| Longueur totale traitée | 25.294 | 22.954 | 6.822 | 6.438 | 11.826 | 16.371 | 2.903 | 3.143 | 1.539 | 1.911 | 48.384 | 50.817 |
| II. Longueur des fronts traités par plusieurs de ces procédés à la fois | 8.084 | 7.351 | 470 | 465 | — | 1.125 | — | — | — | — | 8.554 | 8.941 |
| III. Longueur des fronts traités par un de ces procédés combiné à la pulvérisation d'eau dans la taille | 4.173 | 5.697 | — | 635 | — | 3.770 | — | — | — | — | 4.173 | 10.102 |
| IV. Longueur des fronts traités par pulvérisation d'eau au dessus des engins d'évacuation en taille | 4.808 | 7.292 | 3.417 | 4.752 | 8.320 | 9.181 | 2.932 | 2.677 | 3.284 | 3.351 | 22.761 | 27.253 |
| V. Longueurs des fronts naturellement humides ou considérés comme peu poussiéreux | 2.994 | 1.851 | 4.799 | 7.771 | 4.750 | 4.884 | 1.215 | 1.185 | 4.164 | 4.237 | 17.922 | 19.926 |

entreprises à ce sujet semblent indiquer que dans les limites de précision atteintes le rapport $r_3 = 1$, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'effet d'échelle de l'installation de tarage et que la vitesse de rotation du moulinet est essentiellement liée à celle des filets d'air dans son voisinage immédiat.

Finalement, on a

$$v_a = \frac{v_a}{v'_P} \cdot \frac{v'_P}{v_P} \cdot \frac{v_P}{v_D} \cdot v_D = r_3 \cdot r_2 \cdot r_1 \cdot v_D$$

ou encore, en tenant compte des résultats ci-dessus

$$v_a = 1,065 \frac{S}{S-s} v_D.$$

C'est cette valeur que nous comparons à la vitesse indiquée par l'appareil pour calculer sa correction.

Cependant, vu l'incertitude qui plane sur la valeur du rapport r_2 , nous procédons au cours du tarage au contrôle direct de la vitesse v'_P au moyen d'un tube de Pitot. Si $r_3 = 1$ cette mesure donne une estimation directe de v_a et nous permettra à la longue d'améliorer notre connaissance du rapport $r_2 = v'_P/v_P$, c'est-à-dire du coefficient d'encombrement de la section de mesure par des anémomètres de divers modèles.

Au terme de cet exposé concernant le tarage des anémomètres, rappelons qu'aucune courbe de tarage ne possède un caractère absolu, mais doit être affectée d'une tolérance due aux erreurs de mesure et au manque de reproductibilité de l'appareil. Suivant notre expérience actuelle, pour un anémomètre en *bon état*, la tolérance doit être considérée comme limitée aux basses vitesses à $\pm 0,10$ m/s et aux vitesses élevées à ± 2 % de l'indication. Ces tolérances devraient être doublées pour des appareils en mauvais état. Rappelons encore que le tarage n'est strictement valable qu'en air sec et propre. Les poussières et gouttes d'eau affectent d'une façon difficile à estimer la précision des mesures; dans un cas particulier, nous avons pu vérifier qu'une pluie très dense, comme il s'en présente dans des puits de retour d'air et que nous avons reconstituée « qualitativement » en laboratoire, réduirait les indications de l'anémomètre de 4 à 5 %.

4. — Enquête.

Comme chaque année, l'Institut a publié les résultats de son enquête sur l'étendue des moyens de prévention mis en œuvre dans les charbonnages belges pour lutter contre les poussières (42).

Nous sommes à même de donner en plus les résultats provisoires de la situation telle qu'elle se présente au début de l'année 1958. On trouvera au tableau IX le développement des tailles auxquelles sont appliqués des traitements humides : arrosage des fronts, injection d'eau en veine, havage humide et emploi de marteaux-piqueurs à pulvérisation

d'eau. Pour faciliter la comparaison, nous avons fait la distinction en indiquant, d'une part, la longueur des fronts traités par plusieurs de ces procédés à la fois et, d'autre part, la longueur des fronts traités par une seule de ces méthodes combinée à la pulvérisation d'eau en taille. Nous avons également ajouté la longueur des fronts traités par pulvérisation d'eau au-dessus des engins d'évacuation en taille et celle des fronts naturellement humides ou peu poussiéreux.

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

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

BIBLIOGRAPHIE.

- (1) HOUBERECHTS, A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1956. — Annales des Mines de Belgique, 1957, 5, 372-406.
- (2) FLEISCH, A. — Nouvelles méthodes d'étude des échanges gazeux et de la fonction pulmonaire. — Bâle, Schwabe, 1954.
- (3) LAVENNE, F. et PATIGNY J. — Comparaison de la radiographie et de la radiophotographie sur formats 10×12 et 7×7 cm pour le diagnostic de la pneumoconiose simple. — in Comptes rendus du XII^e Congrès International de Médecine du Travail, Helsinki, 1957, vol. III, 350-354.
- (4) HOUBERECHTS, A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1955. — Annales des Mines de Belgique, 1956, 3 et 4, 375-402 et 599-629.
- (5) COCHRANE A.L., DAVIES I. et FLETCHER C.M. — « Entente radiologique » Brit. J. Indust. Med., 1951, 8, 244-255.
- (6) VAN MECHELEN V. — Quelques données sur l'état actuel du problème de l'anthraco-silicose. — Ann. Méd. Chir. du Centre, 1950, 6, 25-46.
- (7) BARIETY M., COURRY C. et CHOUBRAC P. — Valeur comparée de la radiophotographie et de la radiographie. Le coefficient subjectif de lecture. — in Rapport du II^e Congrès International de Radiophotographie médicale, Paris, Masson, 1956, 237-256.
- (8) BELAYEW D., PRIGNOT J. et LAVENNE F. — La topographie des lésions confluentes dans la pneumoconiose des houilleurs. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1956, n^o 136, 41.
- (9) BONTE G., FOUBERT P. et NADIRAS P. — Application de la caméra à miroir au radio-dépistage de la silicose. — Journal de Radiologie et d'Electrologie, 1954, 35, 85-89.
- (10) JARRY J.J. — Le dépistage précoce de la silicose. — Journées scientifiques de Médecine préventive et sociale. Vichy, septembre 1955.
- (11) AÛPETIT J. et FLOUQUET M. — Etude comparative radiophotographique et radiographique des pneumoconioses. — Arch. Mal. Profess., 1956, 17, 516-519.
- (12) FLETCHER C.M. — Le diagnostic de la pneumoconiose des mineurs. — Bruxelles Médical, 1952, 32, 755-761.
- (13) FLETCHER C.M. — Pneumoconiosis of coalminers. — Brit. Med. J., 1948, 1, 1.015-1.024 et 1.065-1.076.
- (14) FLETCHER C.M. — Coal workers' pneumoconiosis, so called anthraco-silicosis. — Beiträge zur Silikose-Forschung « Bericht über die Medizinische Wissenschaftliche Arbeitstagung über Silikose », Bochum, 1951, 119-138.

- (15) FLETCHER C.M. — Classification of roentgenograms in pneumoconiosis. — Arch. Indust. Health, 1955, 11, 17-28.
- (16) DAVIES I., FLETCHER C.M., MANN K.J. et STEWART A. — Radiological progression in coalminers' pneumoconiosis. — in « Proceeding of the 9th International Congress of Industrial Medicine », Londres, 1949, 773-778.
- (17) COCHRANE A.L., FLETCHER C.M. GILSON J.C. et HUGH-JONES P. — The role of periodic examination in the prevention of coalworkers' pneumoconiosis. — Brit. J. Indust. Med., 1951, 8, 53-61.
- (18) VAN MECHELEN V. — De anthraco-silicose in België. — Verhand. van de Kon. VI. Academie voor Geneeskunde van België, 1951, 13, 579-580.
- (19) FLETCHER C.M. et OLDHAM P.D. — The problem of consistent radiological diagnosis in coalminers' pneumoconiosis. — An experimental study. — Brit. J. Indust., Med., 1949, 6, 168-175.
- (20) BELAYEW D., PRIGNOT J. et LAVENNE F. — Les aspects tomographiques des images confluentes dans la pneumoconiose des houilleurs. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1957, n° 148, 35.
- (21) BALGAIRIES E., AUPETIT J., DECLERCQ G., FOUBERT P., JARRY J.J. et NADIRAS P. — Présentation d'une classification des pneumoconioses. — Rev. Méd. Min., 1952, n° 17, 13-35.
- (22) MOREL R. — La tomographie pulmonaire dans la silicose. — Thèse, Lyon, 1951.
- (23) WORTH G. — Klinik und Röntgenologie. — in Worth en Schiller. Die Pneumokoniosen. Staufen, 1954, 898.
- (24) PENDERGRASS E.P. — Some considerations concerning the roentgen in anthraco-silicosis. — Annals Int. Med., 1954, 48, 571-594.
- (25) BALESTRA G. — Il quadro radiologico delle pneumoconiosi. — Atti. XV Congr. naz. della Societa italiana Rad. med., 1948.
- (26) SADOUL P., McILHANY M.L., AUBERTIN N. et DURAND D. — Les différentes variables respiratoires au cours de l'exercice de vingt minutes chez l'adulte sain. — Rev. Méd. Nancy, 1957, 82, 773-785.
- (27) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1954. — Annales des Mines de Belgique, 1955, 5, 373-410.
- (28) LAVENNE E. et BELAYEW D. — Problèmes médicaux soulevés par le travail aux températures élevées. 3^e partie: Entraînement des sauveteurs aux hautes températures. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1954, n° 123, 35.
- (29) EICHNA L.W., BEAN W.B., ASHE W.F. et NELSON N. — Performance in relation to environmental temperature. — Bull. of the J. Hopkins Hospital, (Baltimore), 1945, 76, 25-58.
- (30) LEYH P. — Problèmes médicaux soulevés par le travail aux températures élevées. 4^e partie: Le maintien de l'accoutumance aux hautes températures. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1957, n° 149, 38.
- (31) BELDING H.S. et HATCH T.F. — Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strains. — Heating, Piping and Air Conditioning, 1955, 27, 129-136.
- (32) CROSMONN G. — Determination of free silica by dispersion straining microscopical methods. — Am. Ind. Hyg. Assoc. Quart., 1951, 12, 117-120.
- (33) DODGE N.B. — The dark-field color immersion method. — Amer. Mineral, 1958, 33, 541.
- (34) THAER A. — Ein Beitrag zur Lichtmikroskopischen Mineralbestimmung in Feinstäuben insbesondere des Kohlenbergbaues. Staub, 1954, H. 38, 555-570. Analysé dans le Bulletin de Documentation Technique de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1955, n° 24, 9.
- (35) CARTIGNY S. — Dosage de la silice dans les poussières de roches. 1^{re} partie: Détermination de la silice totale par voie chimique. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1956, n° 138, 51.
- (36) PATIGNY J. et CARTIGNY S. — Etude du midget scrubber D. 18. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1953, n° 113, 54.
- (37) HOUBERECHTS A., CARTIGNY S. et DE-GUELDRE G. — Etude comparative de solutions tensio-actives destinées à la lutte contre les poussières dans les mines. Critères concernant leur efficacité. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1955, n° 133, 36.
- (38) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1952. — Annales des Mines de Belgique, 1953, LII, 3^e livraison, 325-360.
- (39) HOUBERECHTS A. et PATIGNY J. — Etude théorique et expérimentale des pertes de charge dans les puits. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1957, n° 146, 47.
- (40) BIDLOT R. et LEDENT P. — Etude expérimentale de l'influence de l'équipement d'un puits sur les pertes de charge subies par le courant de ventilation. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1950, n° 69, 31.
- (41) HOUBERECHTS A. et LEDENT P. — Détermination des pertes de charge dans un puits aux Charbonnages du Bois-du-Cazier, à Jumet. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1951, n° 78, 27.
- (42) DE-GUELDRE G. — La lutte contre les poussières dans les charbonnages belges. — Situation au début de l'année 1957. — Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1957, n° 142, 21.