

L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1963

par A. HOUBERECHTS,

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

SAMENVATTING

Dit artikel over de activiteit van het Instituut voor Mijnhygiëne is het vervolg van een reeks jaarverslagen die sinds 1948 in de Annalen der Mijnen verschijnen.

De Medische Afdeling heeft haar systematische onderzoeken van de mijnwerkers en haar opzoekingswerk voortgezet.

De studie van de longfunctie bij de mijnarbeiders werd uitgebreid door het onderzoek van de bloedgaswaarden bij 65 mijnarbeiders met pneumoconiose die het werk hebben stopgezet en bij 6 invaliede patiënten met pseudotumorale pneumoconiose en die het eindstadium van hun evolutie hebben bereikt.

Hartcatherisaties werden uitgevoerd om de fysiologische diagnose van het chronisch « cor pulmonale » in de pneumoconiose van de mijnarbeiders op punt te stellen. De hemodynamische gegevens werden vergeleken met de electrocardiografische tekens van rechter ventrikel hypertrofie. Deze opzoeking heeft sommige conclusies toegelaten betreffende de pathogenie van het chronisch « cor pulmonale » in de pneumoconiose.

De studie van de bronchitis bij mijnwerkers, doorgevoerd door Dr. A. Minette in het Medisch Instituut Ste-Barbara te Lanaken, beoogde voornamelijk de vergelijking tussen verschillende bronchodilatatorische medicaties. Deze studie gaf zeer bevredigende resultaten.

Op gebied van stofonderzoek en van konimetrie, heeft de Technische Afdeling de studie voortgezet van de stofferigheid van de atmosfeer in verband met de professionele bedrijvigheid en de medische anamnese van de arbeiders van de Kolenmijn van Houthalen. Om de progressieve verbetering van de arbeidsvoorwaarden beter te doen uitkomen, citeert men eerst de gemiddelde schadelijkheidsindexen voor de diverse arbeidsgroepen en daarna de spreiding van de bekomen resultaten ; als voorbeeld geeft

RESUME

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

En dehors des examens systématiques de houilleurs, la Section Médicale a poursuivi ses travaux de recherches.

L'étude de la fonction pulmonaire d'ouvriers mineurs encore au travail, a été complétée par l'examen des gaz du sang de 65 mineurs pneumoconiotiques ambulants ayant cessé le travail et de 6 pneumoconiotiques pseudotumoraux invalides au stade ultime de leur évolution.

Des cathétérismes cardiaques ont été pratiqués pour préciser le diagnostic physiologique du cœur pulmonaire chronique dans la pneumoconiose des houilleurs. Les données hémodynamiques ont été comparées aux signes électrocardiographiques d'hypertrophie ventriculaire droite. Cette recherche a d'autre part permis certaines conclusions concernant la pathogénie du cœur pulmonaire chronique dans la pneumoconiose.

Dans l'étude sur la bronchite des houilleurs entreprise par le Docteur A. Minette à l'Institut Médical Ste-Barbe de Lanaken, l'attention a surtout été portée sur la comparaison de divers médicaments bronchodilatateurs. Cette étude a donné des résultats extrêmement encourageants.

Dans le domaine de l'analyse des poussières et de la conimétrie proprement dite, la Section Technique a poursuivi son étude des empoussiérages en relation avec l'activité professionnelle et l'anamnèse médicale des ouvriers des Charbonnages de Houthalen. Pour faire apparaître mieux encore l'amélioration progressive des conditions de travail, en plus des indices de nocivité moyens communiqués

men de verdeling van de « index » van de ingedemde lucht per kolenhouwer van 1958 tot 1962 (geometrische gemiddelde index en standaarddeviatie).

Het belang van een goede regeling van de aerosolgeneratoren, aangewend voor medische doeleinden, werd in het licht gesteld door de granulometrische verspreiding van de aerosols te vergelijken wanneer men de druk van de perslucht van een bepaald toestel laat variëren.

Een vergelijkende studie van stofopnamen toont aan dat in de kolenpijlers, de klassifikatie van de stofgrenzen, gebaseerd hetzij op het totaal gewicht van de stofdeeltjes en hun asgehalte, hetzij op het aantal stofdeeltjes van 5 tot 0,5 μ en hun kwartsgehalte, in de meeste gevallen equivalent zijn.

Wat betreft de methoden en het materieel voor de stofbestrijding, geeft men de resultaten bekomen door toepassing van waterinjectie in een laag met plotse gasdoorbraak en in een pijler met vetkolen waar de pré-télé-injectie werd toegepast (op afstand geïnjecteerd alvorens systematisch met de uitbating te beginnen).

De studie van bepaalde chemische produkten die de waterverdamping moeten tegengaan, heeft aanleiding gegeven tot een publikatie. Steunend op theoretische beschouwingen, heeft men een algemene vergelijkingsregel opgesteld die toelaat, voor om het even welk klimaat, de eigenschappen van een oplosbaar produkt te voorzien, geëxperimenteerd in één enkele klimatische omgeving. Voor de meest interessante inhibitors heeft men een diagram opgesteld waarop men de concentratie afleest om de meest geschikte uitwerking bij een bepaald klimaat te bekomen. Het economisch aspect wordt eveneens behandeld.

Eindelijk geeft men een beknopte samenvatting van de eerste stofbestrijdingsproeven uitgevoerd tijdens het mechanisch delven van een galerij in schiefer-zandsteenachtige en psammietische formaties met hoog kwartsgehalte.

De werken, door de Technische Afdeling uitgevoerd in het kader van de rationalisatie van de ventilatie, worden voortgezet. Drie kolenmijnen hebben ons gekontakteerd, voornamelijk wat betreft de installatie van de hulpventilators; deze problemen werden door elektrische analogie opgelost en de voorgestelde oplossingen worden beschreven. Men is eveneens begonnen met de studie van deze problemen bij middel van elektronische ordinator.

In het domein van de weerstandsbepaling, te wijten aan de luchtstroming, bestudeert het Instituut het vraagstuk van de lokale ladingsverliezen, veroorzaakt door laadplaatsen, stuitvloeren en andere hindernissen, die normaal aanwezig zijn in de schachten. Men heeft eveneens de studie van de weerstand bij de lijning van de dwarsbalken van verschillende typen, voortgezet.

pour différentes catégories d'ouvriers, on a déterminé la dispersion des résultats obtenus et on donne, à titre d'exemple, la répartition des « indices » de l'air inhalé par les abatteurs de 1958 à 1962 (indice géométrique moyen et déviation standard).

L'importance du réglage adéquat des générateurs d'aérosols utilisés à des fins médicales est mise en évidence en comparant la répartition granulométrique des aérosols produits lorsqu'on fait varier la pression de l'air comprimé alimentant un appareil donné.

L'étude comparative de prélèvements de poussières montre que dans les chantiers miniers, les classifications des empoussiérages basées soit sur le poids total des particules et leur teneur en cendres, soit sur le nombre de particules de 5 à 0,5 μ et leur teneur en quartz, sont équivalentes dans la majorité des cas.

En ce qui concerne les procédés et matériels de lutte contre les poussières, on rend compte des résultats obtenus par application du procédé d'injection d'eau en veine dans une couche à dégagements instantanés de grisou et dans un chantier pré-télé-injecté dans un gisement à charbon gras (injecté à distance avant sa mise en exploitation systématique).

L'étude des retardateurs d'évaporation en nappe libre a donné lieu à une publication. A partir de considérations théoriques, on a établi une relation générale qui permet de prévoir pour un climat quelconque, les propriétés d'un produit soluble expérimenté dans une seule ambiance climatique. Pour les inhibiteurs les plus intéressants, on a tracé un diagramme permettant de lire la teneur à réaliser pour obtenir une efficacité donnée dans un climat donné. L'aspect économique a été envisagé.

On relate enfin très succinctement les premiers essais de prévention des poussières exécutés lors du bosseyement mécanique d'une voie de chantier dans des formations schisto-gréseuses et psammétiques à teneur élevée en quartz.

Les travaux effectués par la Section technique dans le cadre de la rationalisation de la ventilation se sont poursuivis. Trois sociétés nous ont consultés principalement au sujet de l'installation de ventilateurs auxiliaires; ces problèmes ont été résolus par l'analogie électrique; les solutions préconisées sont décrites. L'étude des mêmes problèmes sur ordinateur électronique a été également abordée.

Dans le domaine de la détermination de la résistance due à l'écoulement de l'air, l'Institut a abordé la question des pertes de charge locales dues aux envoies, planchers de choc et autres obstacles normalement présents dans les puits. On a également poursuivi la détermination de la résistance d'alignement de traverses de différents types.

INHALTSANGABE

Der vorliegende Abriss über die Tätigkeit des Institut d'Hygiène des Mines ist die übliche Folge der seit 1948 in den Annales des Mines de Belgique veröffentlichten Berichte.

Neben den planmässigen Untersuchungen von Steinkohlenbergarbeitern hat die Aertzliche Abteilung ihre Forschungsarbeiten weitergeführt.

Das Studium der Lungenfunktionen von noch arbeitenden Bergleuten erweiterte sich durch Untersuchung der Blutgase von 65 pneumokoniotischen, nicht arbeitenden, ambulanten Leuten und 6 pneumokoniotischen, pseudotumoren, im letzten Entwicklungsstadium stehenden Invaliden.

Herzkatheterisierungen wurden angewandt, um die physiologische Diagnose des chronischen Lungenherzens bei der Pneumokoniose im Steinkohlenbergbau zu präzisieren. Die blutdynamischen Daten verglich man mit den Angaben der Elektrokardiogramme bei Hypertrophie der rechten Herzkammer. Diese Untersuchung ermöglichte auch gewisse Rückschlüsse auf die Pathogenie des chronischen Staublungenherzens.

Bei Untersuchungen über die Bronchitis der Steinkohlenbergarbeiter durch Dr. A. Minette am Medizinischen Institut Sankt Barbara von Lanaken wurde besonders dem Vergleich verschiedener Medikamente mit bronchienerweiternden Wirkungen Beachtung gewidmet und damit ein recht ermutigender Fortschritt für diese Fälle erreicht.

Auf dem Gebiete der Staubanalysen und der eigentlichen Konimetrie setzte die Technische Abteilung ihre Arbeiten über Staubaufnahme im Zusammenhang mit der Berufsarbeit und der ärztlichen Anamnese an Arbeitern der Steinkohlenbergwerke Houthalen fort. Um die allmähliche Verbesserung der Arbeitsbedingungen noch mehr sichtbar zu machen, besonders an den für verschiedene Arbeiterkategorien bekannten mittleren Schädlichkeitsindizes, bestimmten wir die Streuung der vorliegenden Resultate und gaben als Beispiele Verteilungsbilder der « Indizes » von Atemluft für Hauer von 1958 bis 1962 (Geometrischen Mittelwert und Standardabweichung des Indizes).

Da gleichmässige Regelung von Geräten zur Aerosolherstellung für medizinische Zwecke wichtig ist, wurden die Korngrößenverteilungen der damit erzeugten Aerosole im Verhältnis zu Dichteschwankungen der erzeugenden Druckluft verglichen und aufgezeichnet.

An Staubprobenahmen zeigte die vergleichende Untersuchung, dass in den Abbau- und Arbeits-

SUMMARY

The present report on the activity of the Institut d'Hygiène des Mines constitutes the traditional continuation of reports published in the Annales des Mines since 1948.

In addition to the systematic examination of miners, the Medical Section has continued its research work.

The research on the pulmonary function of miners still at work was completed by the examination of blood gases of 65 ambulant pneumoconiotic miners who were no longer working and 6 pseudotumoral pneumoconiotic invalids in the last stages of the disease.

Heart catheterizations were performed to obtain an accurate physiological diagnosis of the cor pulmonale in miners' pneumoconiosis. The hemodynamic data were compared with the electrocardiographic changes of right ventricular hypertrophy. This research also enabled to draw certain conclusions concerning the pathogenesis of the cor pulmonale in pneumoconiosis.

In the research on miners' bronchitis undertaken by Dr. A. Minette at the Institut Medical Ste Barbe in Lanaken, attention was drawn particularly to the comparison between various bronchodilating drugs. This research has given extremely stimulating results.

In the field of dust analysis and dust sampling, the Technical Section continued its study on dust concentrations in relation to professional activity and the medical anamnesis of workers in the Houthalen collieries. In order to point out still more clearly the progressive improvement in working conditions, in addition to the average statistics of noxiousness supplied for different categories of workers, an assessment was made of how the results obtained were distributed; an example quoted was the distribution of the « coniotic » indexes of the air inhaled by the coal getters from 1958 to 1962 (geometric mean and standard deviation).

The importance of satisfactory regulation of the aerosol generators used for medical purposes is revealed by comparing the size distribution of the particles of the aerosols produced when the pressure of the compressed air supplying a given apparatus is varied.

The comparative study of dust samples shows that, for working places in the mines, the classi-

räumen unter Tage die Einteilung nach dem Gesamtpartikelgewicht und dessen Aschengehalt oder nach der Partikelzahl von 5 bis 0,5 Mikron und deren Quarzgehalt in den meisten Fällen äquivalente Tafelwerte der Staubbefreiung erbringt.

Was Verfahren und Gerät von Staubbekämpfungsmitteln betrifft, so gewann man Aufschluss über die Ergebnisse der Stosstränkung mit Wasser in einem schlagwetterausbruchgefährdeten Flöz und in einem Fettkohlenflöz mit ferngesteuerter Tränkung (diese wird dem Abbaubeginn voraus-eilend über grössere Entfernungen vorgenommen).

Verdampfungsverzögernde Mittel in Anwendung auf freiliegende Flächen waren Gegenstand einer Veröffentlichung. Stützend auf theoretischen Überlegungen gelangte man zu generellen Rechnungswerten der Abdampfung in beliebigem Klima mit löslichen Erzeugnissen und zur Voraussetzung ihrer Eigenschaften, bei experimentellen Versuch in nur eine bestimmten Klima. Für die wichtigsten Inhibitoren dieser Art zeichneten wir ein Diagramm aus dem die zur Herstellung einer bestimmten Wirkung in einem bestimmten Klima erforderliche Beimischung abgelesen werden kann. Die Wirtschaftlichkeit wurde dabei berücksichtigt.

Beim mechanischen Nachreissen einer Abbau-strecke im sandschieferigen und psammitischen Gebirge mit hohem Quarzanteil wurden die ersten Versuche zur Verhütung von Staubbildung und Staub begonnen.

Die Technische Abteilung arbeitete weiter an Rationalisierungsaufgaben in der Wetterführung. Drei Bergwerksgesellschaften boten uns bei der grundsätzlichen Ausführung von Sonderbewetterungen. Dabei wurden die elektrischen Uebereinstimmungen zur Lösung herangezogen und mit Untersuchung der elektronischen Ordinatoren für die Wetterverteilung begonnen.

Die Strömungsforschung an Wetterwegen hat das Institut zu Widerstands- und Druckverlustmessungen in Schächten an örtlichen Verengungen, Einbauten, Bühnen und Hindernissen in Schächten veranlasst. Die lineare Ausrichtung von Schachteinstrichen verschiedenen Typs wurde als Widerstandswert rechnermässig verfolgt.

fication of dust concentrations based either on the total weight of the particles and their ash content, or on the number of particles from 5 to 0.5 μ and their quartz content, are equivalent in the majority of cases.

With regard to the dust-suppression processes and materials, an account is given of the results obtained by applying the process of water infusion into the coal in a seam subject to outbursts of gas and in a pre-tele-infused working-place in a deposit of high volatile bituminous coal (infused by remote control before working began systematically).

The study of evaporation inhibitors in a free water-level resulted in a publication. On the basis of theoretical considerations, a general relation was established, whereby it is possible to determine for any climate the properties of a soluble product tested in a single climatic environment. For the most interesting inhibitors, a diagram has been drawn showing the concentration needed to obtain a given effect in a given climate. The economic aspect has been considered.

Lastly, a succinct account is given of the first dust prevention tests carried out during the mechanical ripping of a road in psammitic shaly-sandstone formations containing a high proportion of quartz.

The work carried out by the Technical Section within the framework of mine ventilation has been continued. Three companies consulted us, mainly concerning the installation of booster fans; these problems were solved by electrical analogy; the proposed solutions are described. The study of the same problems by electronic ordinator has also begun.

In the field of the determination of the resistance to air flow of mine shafts and galleries, the Institute started the study of local head losses due to haulage stations, safety platforms and other obstacles normally present in the shafts. Work was also continued on the determination of the resistance of a row of equidistant buttons in function of their shape.

SOMMAIRE

Introduction

I. — Travaux de la Section Médicale.

1. *Examens systématiques.*
2. *Exploration fonctionnelle pulmonaire chez les houilleurs.*
3. *Étude hémodynamique dans la pneumoconiose.*
4. *Bronchite chez les houilleurs.*

II. — Travaux de la Section Technique.

1. *Lutte contre les poussières.*
 - A. Analyse des poussières. Conimétrie.
 - B. Procédés et matériel de lutte contre les poussières.

2. *Ventilation - Climat.*

- A. Étude de la ventilation par analogie électrique.
- B. Étude de la ventilation sur ordinateur électronique.
- C. Détermination des pertes de charge dans les puits.
- D. Amélioration du climat souterrain.
- E. Tarage d'instruments de mesure.

3. *Enquête.**Bibliographie.*

INTRODUCTION

Le présent article sur l'Activité de l'Institut d'Hygiène des Mines constitue la suite traditionnelle des rapports publiés dans les Annales des Mines de Belgique depuis 1948. Les résultats des études entreprises à l'Institut d'Hygiène des Mines

sont régulièrement publiés dans la revue que nous éditons depuis 1960. Nous donnerons donc dans ce rapport un résumé des principaux travaux, ainsi que les résultats d'expériences qui n'ont pas encore été publiés.

I. — TRAVAUX DE LA SECTION MEDICALE

1. EXAMENS SYSTEMATIQUES

Pour l'année 1963, nous totalisons 733 examens médicaux effectués à l'Institut d'Hygiène des Mines. Ce nombre se situe à quelque distance du plafond de 1076, maximum d'examens atteint en 1962. La très grande majorité des explorations furent pratiquées à la demande de médecins de charbonnages ou d'organismes charbonniers. Tous les ouvriers en question ont subi un examen radiologique et clinique complet. Presque tous (692) ont été soumis à un examen électrocardiographique et 667 ont subi des épreuves fonctionnelles pulmonaires. Des examens planigraphiques complémentaires ou des agrandissements ont été effectués chez 180 sujets.

2. EXPLORATION FONCTIONNELLE PULMONAIRE CHEZ LES HOUILLEURS

L. Brasseur a terminé ses recherches consacrées à l'exploration fonctionnelle pulmonaire dans la pneumoconiose des houilleurs. Celles-ci ont d'ailleurs fait l'objet d'un travail d'ensemble [1].

Dans le rapport de l'année dernière [2], nous avons donné un aperçu de la fonction pulmonaire chez des houilleurs pneumoconiotiques à divers stades, encore au travail du fond et n'ayant guère de plaintes de dyspnée ou de bronchite. Cette fois, nous résumerons brièvement les données fonctionnelles obtenues dans un groupe non sélectionné de houilleurs ayant des plaintes pulmonaires et ayant cessé le travail, et enfin chez des pseudotumoraux invalides aux divers stades de leur évolution jusqu'à la décompensation droite terminale.

A. Étude des gaz du sang chez les houilleurs pneumoconiotiques ambulants, ayant cessé le travail.

L'investigation [3] a porté sur 65 houilleurs, d'un âge moyen de 44 ans ; la plupart avaient des plaintes pulmonaires et désiraient obtenir leur pension.

Ces 65 houilleurs ont été classés en fonction du degré d'emphysème, d'après la valeur du VEMS obtenue après inhalation d'un aérosol d'aleudrine.

Les prélèvements de sang artériel, pour détermination de la saturation oxyhémoglobinée (S_{a,O_2}) et de la pression partielle de CO_2 (p_{a,CO_2}), ont été faits au repos, puis durant la 7^e min d'un effort d'intensité variable et adapté aux possibilités du sujet, effectué sur un cycloergomètre.

La figure 1 compare les résultats de la S_{a,O_2} au repos, à ceux de la p_{a,CO_2} . Tous les sujets sont groupés dans 3 des quadrants.

de la p_{a,CO_2} à 42,2 et 42,4 mm Hg). Parmi ces 14 houilleurs, 8 ont une pneumoconiose micronodulaire (n° 44, 58, 62, 64, 54, 65, 61 et 63) avec un VEMS satisfaisant (de 2050 à 3330 cm^3); leur saturation oxyhémoglobinée se normalisant à l'effort, la désaturation observée au repos répond vraisemblablement à des troubles du rapport ventilation/perfusion des alvéoles pulmonaires se corrigeant à l'effort. Chez 5 autres, on note une pneu-

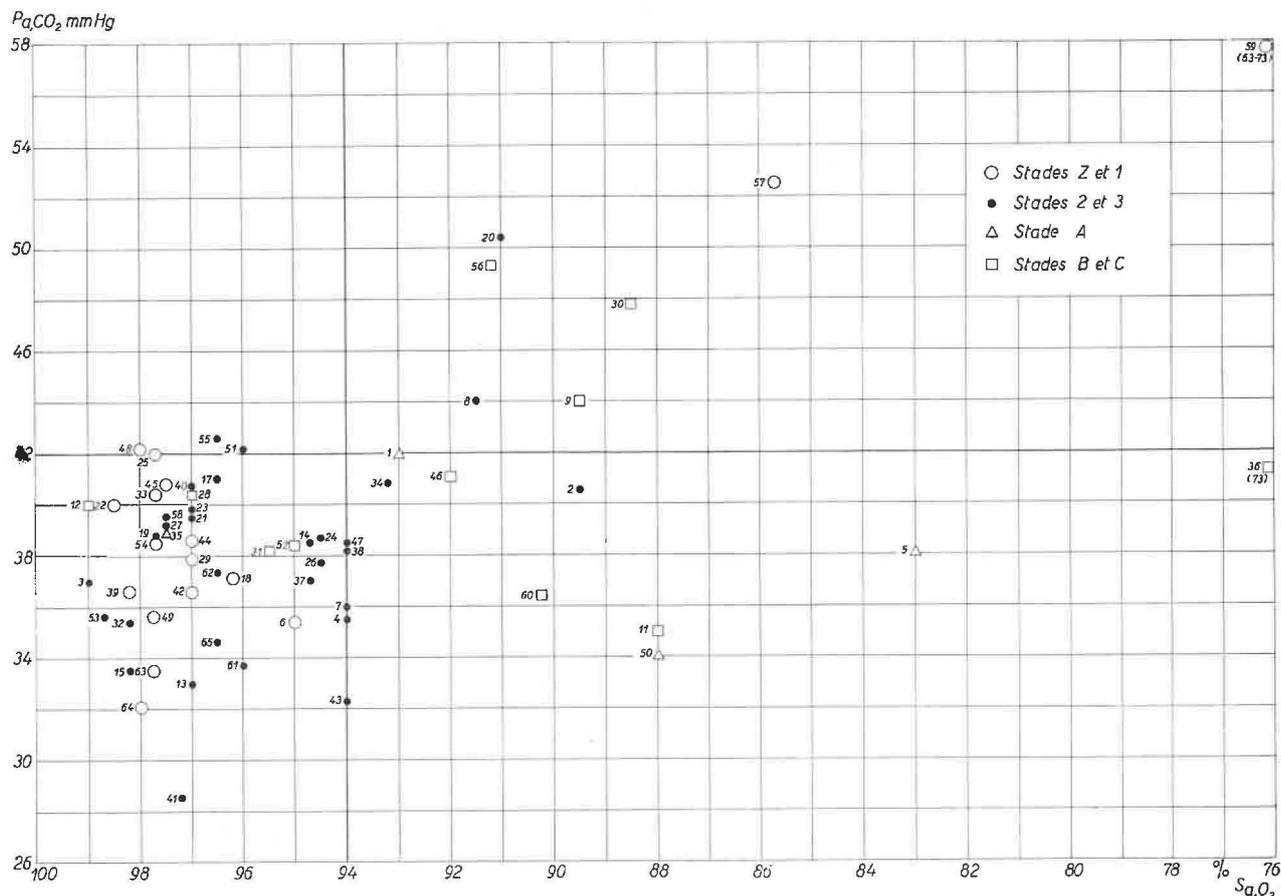


Fig. 1. — Comparaison entre la S_{a,O_2} et la p_{a,CO_2} au repos, chez 65 houilleurs pneumoconiotiques.

Le quadrant inférieur gauche comprend les sujets ayant des résultats considérés comme normaux ($S_{a,O_2} > 94\%$ et $p_{a,CO_2} < 42$ mm Hg). Le quadrant inférieur droit groupe les sujets ayant une désaturation artérielle sans hypercapnie. Le quadrant supérieur droit rassemble les sujets ayant à la fois une hypoxémie artérielle et une hypercapnie. Ce dernier comportement, caractéristique d'une hypoventilation alvéolaire, se voit chez 4 sujets (n° 10, 20, 56 et 57), qui sont tous de grands emphyémateux, avec des VEMS inférieurs à 1200 cm^3 (de 670 à 950 cm^3).

Le quadrant inférieur droit est le plus intéressant. Il groupe 14 sujets ayant une désaturation artérielle sans hypercapnie (on y a inclus en effet les n° 46 et 58, qui ont une augmentation non significative

moconiose avancée, avec condensations ou pseudotumeurs (n° 46, 50, 1, 36 et 16), sans emphyème important (VEMS variant de 1480 à 2700 cm^3). Enfin, le dernier patient, n° 2, est un micronodulaire avec emphyème avancé (VEMS de 1130 cm^3). Au repos, il n'est donc pas rare (13 fois sur 55 cas) de trouver des désaturations oxyhémoglobinées avec des VEMS supérieurs à 1200 cm^3 et ce comportement des gaz du sang paraît assez indépendant du degré de la pneumoconiose.

La figure 2 fait la même comparaison que la figure 1, mais cette fois à l'effort.

On trouve chez 7 sujets (quadrant supérieur droit) une hypoventilation alvéolaire nette à l'effort, avec une p_{a,CO_2} allant de 44 à 63 mm Hg (n° 59, 57, 20, 56, 30, 8 et 9); ce sont tous de grands em-

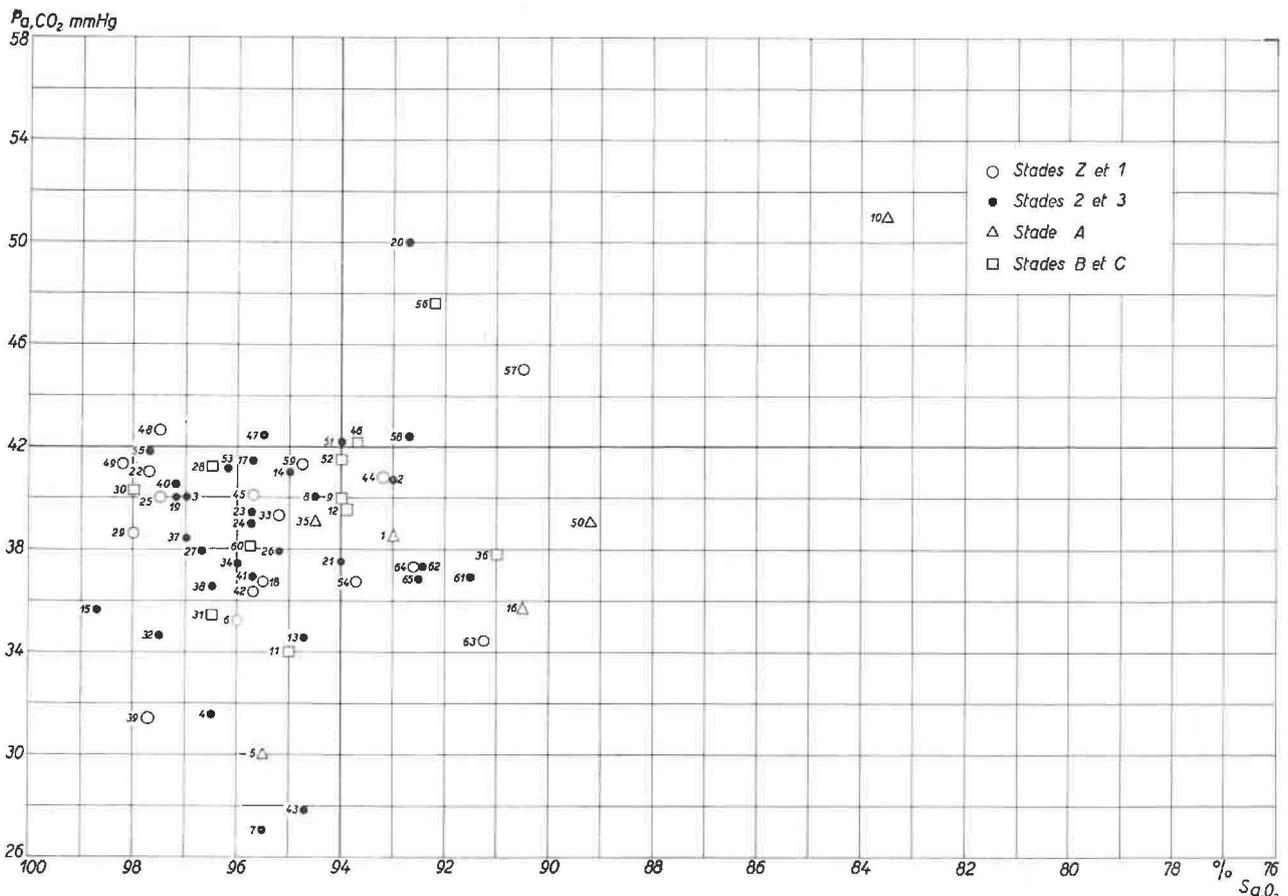


Fig. 2. — Comparaison entre la S_{a,O_2} et la p_{a,CO_2} à l'effort, chez 65 houilleurs pneumoconiotiques.

physémateux avec des VEMS inférieurs à 1200 cm³ (de 760 à 980 cm³).

Dans 9 autres cas (quadrant inférieur droit), il existe, à l'effort, une désaturation artérielle sans hypercapnie (n° 1, 34, 46, 2, 36, 5, 60, 11 et 50). Un seul d'entre eux (n° 2) est un emphysémateux grave avec un VEMS de 1130 cm³. Un autre est un pneumoconiotique micronodulaire (n° 34) avec un VEMS de 2060 cm³, qui ne désature que légèrement à l'effort (93,20 %). Les 7 derniers ont une pneumoconiose avancée (condensations ou pseudotumeurs) avec VEMS encore satisfaisant, de 1500 à 2000 cm³. C'est parmi ces 7 sujets que se rencontrent certaines des saturations artérielles les plus basses observées pour l'ensemble des 65 mineurs étudiés : 88 %, 88 %, 83 % et 73 %. La pathogénie des désaturations sans hypercapnie, apparaissant ou persistant à l'effort dans la pneumoconiose pseudotumorale, est complexe : à côté de troubles de la distribution, on peut invoquer, dans les cas avancés, des troubles de la diffusion par réduction du lit vasculaire pulmonaire.

B. Fonction pulmonaire de houilleurs pneumoconiotiques invalides et au stade terminal de leur évolution.

Entre le moment où le houilleur atteint de pneumoconiose pseudotumorale quitte son travail et

celui où il meurt de décompensation ventriculaire droite, il se produit une détérioration progressive de sa fonction respiratoire, au cours d'une période qui peut dépasser 10 ans. Pour illustrer cette évolution, L. Brasseur [4] a comparé 6 pseudotumeurs invalides, à des stades de plus en plus avancés.

Progressivement, les phénomènes de rétraction au niveau des pseudotumeurs entraînent des déformations bronchiques et de l'emphysème bulleux et sont une cause de diminution du VEMS, d'augmentation du volume résiduel, d'hypoventilation alvéolaire avec hypercapnie, d'abord à l'effort puis au repos, et d'hypertension de plus en plus nette dans l'artère pulmonaire. Les cas de pneumoconiose pseudotumorale en insuffisance ventriculaire droite irréductible, arrivés au terme de leur longue évolution, sont en hypoventilation alvéolaire marquée et sont donc très différents des cas de pneumoconiose condensée encore au travail.

3. ETUDE HEMODYNAMIQUE DANS LA PNEUMOCONIOSE

L'étude de l'hémodynamique dans la pneumoconiose exige une connaissance précise de l'hémodynamique pulmonaire normale.

La circulation pulmonaire est constituée d'un système de canalisations non rigides de faible résistance et de capacité élevée, doué de vasomotricité et parcouru par un flot sanguin pulsatile. Le concept de résistance pulmonaire selon la loi de Poiseuille doit être interprété avec prudence : cette résistance n'est pas le reflet du tonus vasculaire. En outre, les courbes débit-pression pulmonaire ne sont pas linéaires, pour deux raisons :

- l'existence d'une pression critique de fermeture liée à la vasomotricité ;
- à des débits élevés, la présence d'une distension vasculaire et la mise en circulation de vaisseaux restés non fonctionnels à faible débit.

Cette complexité de la circulation pulmonaire en rend l'étude assez malaisée. D'autres difficultés proviennent :

- du repérage imprécis du point zéro dans ce système à basse pression ;
- des variations de la pression systolique liées aux courbures et aux irrégularités de calibre, en différents points de l'arbre artériel pulmonaire ;
- de l'influence considérable de la respiration sur les courbes de pression pulmonaire ;
- de la présence d'anastomoses et de shunts artério-veineux pulmonaires qui peuvent fausser dans une certaine mesure le calcul du débit ventriculaire droit par la méthode de Fick ;
- des perturbations hémodynamiques produites par l'anxiété ou par la prémédication.

A l'effort, l'hémodynamique pulmonaire peut en outre être faussée par la flexion des cuisses, qui entraîne un déplacement du sang des membres inférieurs vers le thorax.

L'hémodynamique pulmonaire normale est encore imparfaitement connue. En 1963, un comité d'experts a fixé la limite supérieure des valeurs normales au repos :

- pour la pression artérielle pulmonaire 25/12, moyenne 15 mm Hg ;
- pour la résistance pulmonaire entre 150 et 300 dynes.s.cm⁻⁵. Ce comité ne s'est pas prononcé sur l'hémodynamique à l'effort.

D'une revue de la littérature et de notre propre expérience, il semble qu'on puisse tirer les conclusions suivantes.

Chez les adultes jeunes, des efforts même importants s'accompagnent d'une élévation modérée de la pression pulmonaire moyenne (toujours inférieure à 30 mm Hg) et d'une baisse notable de la résistance vasculaire pulmonaire (toujours inférieure à 200 dynes.s.cm⁻⁵). La pression pulmonaire n'a pas tendance à augmenter lors d'efforts plus importants ou plus prolongés.

Le comportement des sujets normaux âgés est mal connu, parce que les études hémodynamiques sont rares et parce que les efforts réalisés sont généralement assez légers. Nous n'avons trouvé dans la littérature qu'un seul patient de plus de 50 ans chez lequel un effort considérable a été obtenu : la pression pulmonaire moyenne s'est élevée à 52 mm Hg [5]. Dans notre série de sujets normaux, des efforts assez importants ont été accomplis par deux sujets âgés de 48 et 49 ans : les pressions pulmonaires moyennes sont passées respectivement de 14,5 à 28,5 et de 9 à 20,5 mm Hg, tandis que les résistances pulmonaires passaient de 216 à 151 et de 100 à 154 dynes.s.cm⁻⁵. Faute de données suffisantes, il faudra donc interpréter avec prudence les résultats hémodynamiques pulmonaires des sujets âgés.

A. Sujets examinés.

Notre étude, dont les résultats détaillés seront publiés ultérieurement, porte actuellement sur 127 patients, qui se répartissent comme suit :

- 11 sujets normaux ;
- 86 pneumoconiotiques, dont 42 avec fonction pulmonaire dans les limites de la normale, 29 atteints d'emphysème modéré et 15 d'emphysème grave ; au point de vue de la pneumoconiose, ces sujets se répartissent comme suit : 25 cas de micronodulation 1, 40 de micronodulation 2 ou 3, 21 d'image pseudotumorale ;
- 30 bronchitiques emphysémateux sans pneumoconiose.

Tous ces sujets ont subi un cathétérisme cardiaque droit avec mesure de la pression artérielle pulmonaire et du débit cardiaque par la méthode de Fick. Chez 101 patients, ces mesures ont été répétées au cours d'un effort sur la bicyclette ergométrique ; en outre, dans 26 cas, deux efforts d'intensité croissante ont été obtenus.

Les données hémodynamiques obtenues au repos et à l'effort ont été mises en corrélation avec l'importance des lésions pneumoconiotiques et avec l'électrocardiogramme et la fonction respiratoire.

B. Difficulté du diagnostic hémodynamique précoce du cœur pulmonaire chronique:

Le comportement des pressions à l'effort ne permet pas toujours le diagnostic : il importe de tenir compte de l'intensité de l'effort et du débit cardiaque. Ceci est illustré par les deux cas du tableau I. Les deux patients ont des pressions pulmonaires moyennes identiques à l'effort (29 mm Hg). Chez le premier, cette pression est atteinte au cours d'un effort léger (30 W) et correspond à une augmenta-

TABLEAU I.

Hémodynamique, au repos et à l'effort, dans deux cas de pneumoconiose de houilleurs.

	Cas n° 1 Pneumoconiose pseudotumorale B		Cas n° 2 Pneumoconiose micronodulaire 3 m	
	Repos	Effort (30 W)	Repos	Effort (100 W)
Pression artérielle pulmonaire moyenne (mm Hg)	15	29	18	29
Débit cardiaque (litres/min)	3,9	5,4	6,4	12,6
Résistance pulmonaire totale (dynes.s.cm ⁻⁵)	302	429	226	183

TABLEAU II.

Hémodynamique, au repos et au cours de deux efforts successifs, dans deux cas de pneumoconiose.

	Cas n° 1			Cas n° 2		
	Repos	Effort 65 W	Effort 105 W	Repos	Effort 65 W	Effort 90 W
Pression artérielle pulmonaire moyenne (mm Hg)	15	20	25	17	22	22
V _{O2} (cm ³ /min)	270	1105	1900	275	1050	1330
Débit cardiaque (litres/min)	4,5	10,8	16,9	5,2	11,9	13,7
Résistance pulmonaire totale (dynes.s.cm ⁻⁵)	266	148	118	261	152	128

tion discrète du débit cardiaque (de 3,9 à 5,4 litres/min) et à une élévation considérable de la résistance pulmonaire (de 302 à 429 dynes.s.cm⁻⁵). Il s'agit d'un cœur pulmonaire chronique. Chez le second, au contraire, l'effort est important (100 W), le débit cardiaque s'accroît considérablement (de 6,4 à 12,6 litres/min) et la résistance pulmonaire reste dans des limites normales (226 et 183 dynes.s.cm⁻⁵, respectivement au repos et à l'effort). Il n'y a pas d'évidence de cœur pulmonaire chronique.

Deux efforts d'intensité croissante sont parfois nécessaires pour préciser le diagnostic hémodyna-

mique. Dans les deux cas rapportés dans le tableau II, le second effort a permis d'infirmer le diagnostic de cœur pulmonaire chronique.

**C. Comparaison
entre les données hémodynamiques
et électrocardiographiques.**

Le manque de sensibilité de l'électrocardiogramme dans le diagnostic du cœur pulmonaire chronique, surtout dans la pneumoconiose, est illustré par le tableau III.

TABLEAU III.

Comparaison entre les données hémodynamiques et électrocardiographiques dans le cœur pulmonaire chronique.

	Cœur pulmonaire prouvé par l'hémodynamique Nombre de cas	Electrocardiogramme		
		Hypertrophie droite certaine	Hypertrophie droite douteuse	Tracé normal
Pneumoconiose	32	13	3	16
Emphysème pur	39	30	1	8

Sur 32 cas de cœur pulmonaire chronique hémodynamiquement prouvé dans la pneumoconiose des houilleurs, 16 avaient un tracé électrocardiographique normal ; dans 3 cas, en fonction des critères de Lavenne [6], on pouvait suspecter une hypertrophie ventriculaire droite et, dans 13 cas, celle-ci était certaine en fonction des mêmes critères. La proportion d'électrocardiogrammes normaux est moindre dans le cœur pulmonaire des emphysemateux.

Lorsque l'hypertension artérielle pulmonaire n'apparaît qu'à l'effort, l'électrocardiogramme est presque toujours normal tant dans la pneumoconiose que dans l'emphysème : parmi les électrocardiogrammes de 23 patients dont le cœur pulmonaire chronique n'est mis en évidence qu'à l'effort, nous n'avons qu'un seul tracé typique d'hypertrophie ventriculaire droite.

D. Pathogénie du cœur pulmonaire chronique dans la pneumoconiose.

Le rôle important joué par l'emphysème dans la genèse du cœur pulmonaire chronique à tous les stades de la pneumoconiose est illustré par la fi-

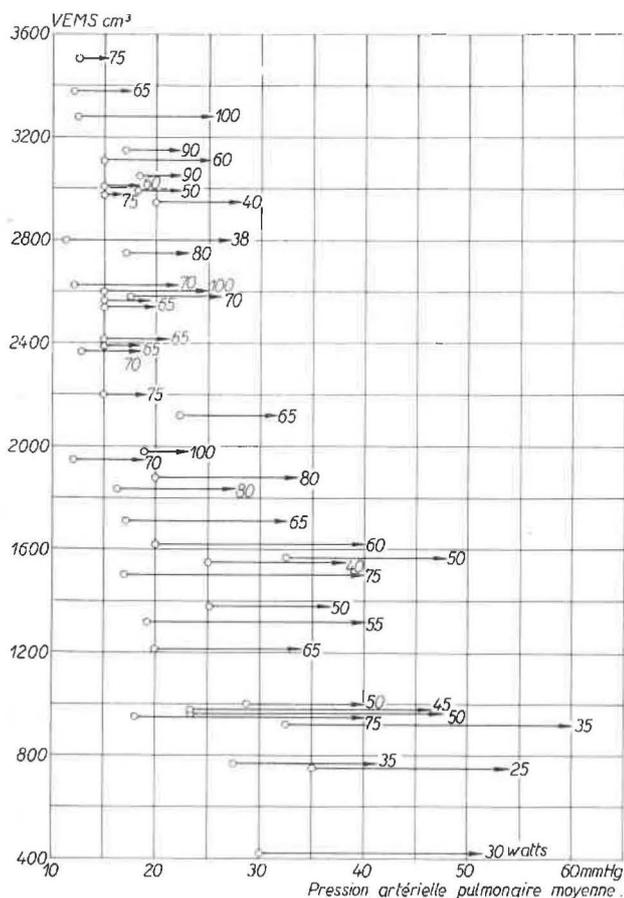


Fig. 3. — Comparaison entre le VEMS et la pression artérielle pulmonaire moyenne au repos et à l'effort, chez des houilleurs pneumoconiotiques. Les chiffres à l'extrémité des flèches indiquent l'intensité de l'effort exprimée en watts.

gure 3, qui groupe des sujets pneumoconiotiques. Sont indiqués, en ordonnées le VEMS en cm^3 et en abscisses la pression artérielle pulmonaire moyenne en mm Hg. Les flèches indiquent l'évolution de cette dernière chez les divers patients, au cours d'une épreuve d'effort. Les chiffres inscrits à l'extrémité des flèches correspondent à l'intensité de l'effort mesurée en watts. On voit que chez les sujets dont le VEMS est supérieur à 2000 cm^3 , les pressions pulmonaires sont normales au repos et ne s'élèvent que très modérément au cours d'efforts généralement importants. Chez les patients dont le VEMS est inférieur à 1500 cm^3 , le comportement des pressions est toujours anormal au cours d'efforts modérés.

La figure 4 montre le comportement très différent de la relation entre la pression artérielle pulmonaire et le débit cardiaque, qui représente la résistance pulmonaire totale, chez des pneumoconiotiques avec et sans emphysème. On trouve en ordonnées la pression artérielle pulmonaire moyenne en mm Hg, et en abscisses le débit cardiaque en litres par minute. Les flèches correspondent au comportement individuel au cours d'un effort, dont l'importance est indiquée par un chiffre qui représente le nombre de watts. Les lignes discontinues correspondent aux sujets pneumoconiotiques à divers stades avec rapport de Tiffeneau inférieur à 55 % ; les lignes continues correspondent aux pneumoconiotiques avec rapport de Tiffeneau supérieur à 55 %. On voit que les résistances pulmonaires les plus élevées sont observées chez les pneumoconiotiques ayant un VEMS inférieur à 55 %. Or, Lavenne et collaborateurs [7] ainsi que Brasseur [1] ont montré que cela ne survient chez les houilleurs pneumoconiotiques qu'en présence d'une complication de bronchite et d'emphysème.

L'existence d'autres facteurs que l'emphysème dans la genèse du cœur pulmonaire chronique au moins au stade pseudotumoral est toutefois mise en évidence par la figure 5 qui indique le comportement de la pression artérielle pulmonaire en fonction du VEMS au repos et à l'effort, chez les emphysemateux purs (lignes discontinues) et chez les pseudotumoraux (lignes continues). On notera que, pour des VEMS comparables, les pseudotumoraux ont des pressions plus élevées que les emphysemateux purs.

4. BRONCHITE CHEZ LES HOUILLEURS

La bronchite est fréquente chez les houilleurs. Les recherches effectuées par A. Minette à l'Institut Médical Sainte-Barbe sur ce sujet montrent qu'on peut estimer à environ 15 % la proportion de houilleurs présentant des signes de cette affection.

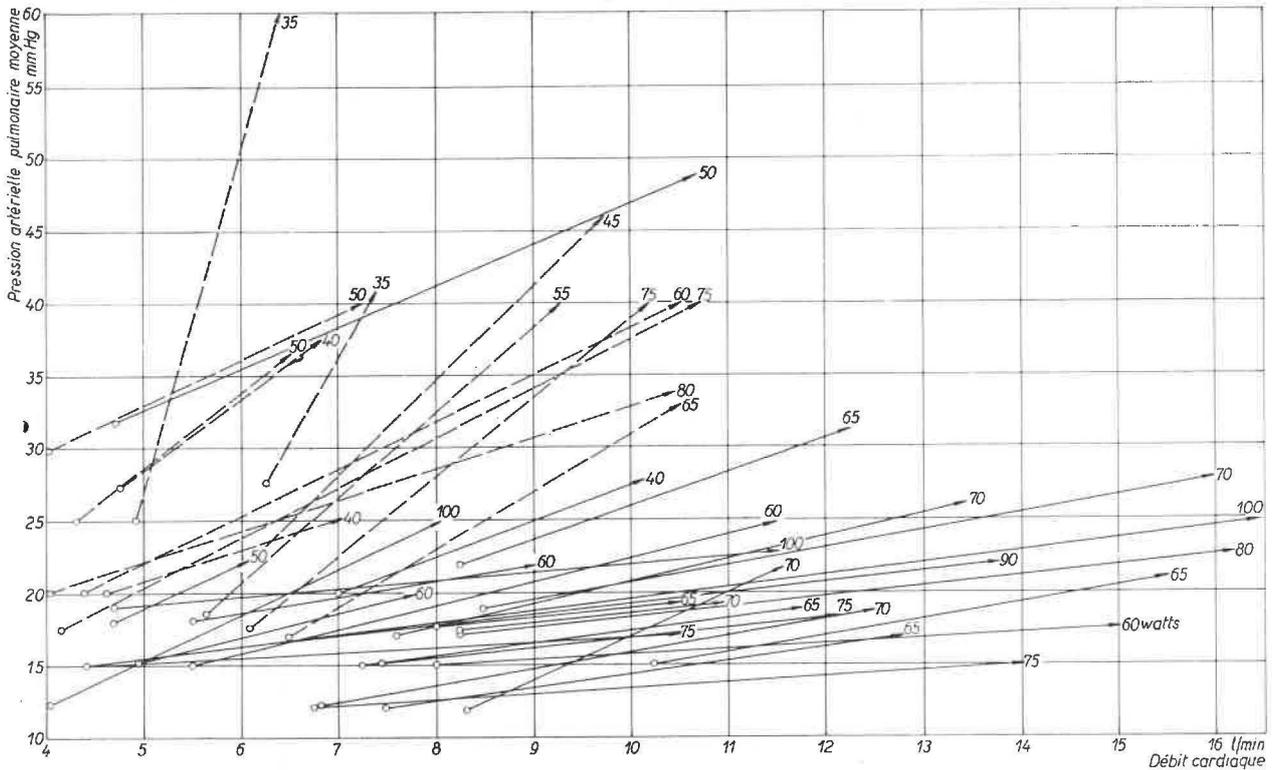


Fig. 4. — Comparaison entre la pression artérielle pulmonaire moyenne et le débit cardiaque chez des pneumoconiotiques à rapport de Tiffeneau supérieur (—) et inférieur (---) à 55 %. Les chiffres à l'extrémité des flèches indiquent l'intensité de l'effort exprimé en watts.

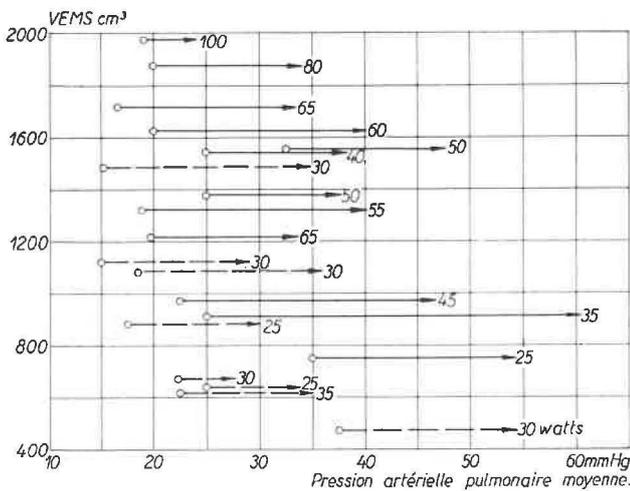


Fig. 5. — Comparaison entre la pression artérielle pulmonaire et le VEMS, d'une part chez des pneumoconiotiques pseudotumoraux (—) et d'autre part chez des bronchitiques emphysémateux (---). Les chiffres à l'extrémité des flèches indiquent l'intensité de l'effort exprimée en watts.

Un problème particulièrement important dans la thérapeutique de cette maladie est celui du traitement des spasmes bronchiques. Ceux-ci ont en effet pour conséquence une diminution du calibre des bronches, compromettant l'oxygénation de l'air alvéolaire au contact des vaisseaux sanguins.

De nombreux médicaments peuvent être prescrits en vue de dilater les bronches. Certains d'entre eux

ont cependant des effets accessoires défavorables. D'autres ne donnent leur maximum d'activité que sous des formes peu commodes (injections, suppositoires). Les traitements bronchodilatateurs classiques peuvent d'autre part entraîner des frais importants, lorsqu'ils doivent être utilisés pendant un temps assez long.

Chez les houilleurs atteints de troubles chroniques, il s'agit évidemment de rechercher des préparations associant un maximum d'activité à un minimum d'effets secondaires et d'autre part des modes d'administration pratiques et peu coûteux.

Ces problèmes ont fait l'objet ces dernières années d'investigations approfondies à l'Institut de Lanaken. Des publications préliminaires [8] [9] ont attiré l'attention sur le grand progrès que représente l'introduction sur le marché pharmaceutique de petits flacons aérosoliseurs délivrant à la demande, par une simple pression du doigt, des doses exactement mesurées d'aérosols.

Les résultats de cette recherche sont indiqués à la figure 6. On y compare les effets sur le VEMS d'un flacon doseur à base d'orciprénaline (dérivé de l'adrénaline) à ceux d'autres traitements bronchodilatateurs classiques puissants: l'adrénaline (substance-type) en injection sous-cutanée (1 mg), le thiozinamium en injection intra-musculaire (50 mg), l'orciprénaline et l'isoprénaline en aérosolisation classique. La figure 6 montre que la forme

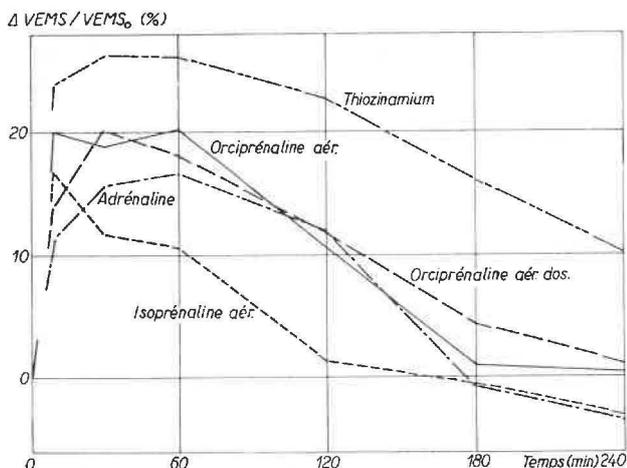


Fig. 6. — Evolution de la variation du VEMS (en pourcentage de la valeur initiale) sous l'action des bronchodilatateurs. Moyennes pour les 21 premiers sujets.

flacon doseur a des effets comparables à ceux de l'adrénaline. Elle n'en a par ailleurs pas les effets secondaires défavorables. Elle a une action moins intense que celle du thiozinamium, mais cette dernière substance a des effets accessoires très importants et d'autre part elle n'est utilisable qu'en injection. De plus, en comparant l'orciprénaline en aérosols classiques et en flacon doseur, on constate que cette dernière forme assure, dans un certain nombre de cas, des effets bronchodilatateurs de plus longue durée.

Cette recherche a été depuis lors étendue à 41 sujets et les résultats obtenus confirment entièrement les données initiales. Ils sont schématisés dans la figure 7. Une étude statistique approfondie basée sur l'analyse des variances a été appliquée aux résultats obtenus et corrobore totalement les considérations résumées ci-dessus [10].

En dépit de la bonne tolérance habituelle vis-à-vis de l'orciprénaline en flacon doseur, on a constaté

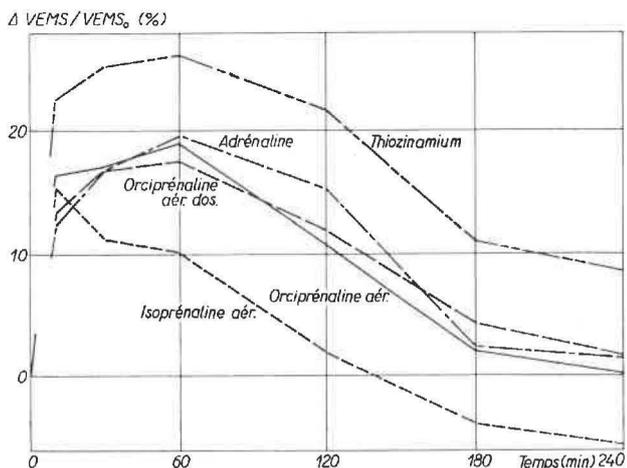


Fig. 7. — Evolution de la variation du VEMS (en pourcentage de la valeur initiale) sous l'action des bronchodilatateurs. Moyennes pour l'ensemble des 41 sujets.

dans certains cas des phénomènes secondaires rendant difficile la poursuite du traitement. Les troubles observés consistaient essentiellement, comme pour l'adrénaline, en tremblements et en accélération du pouls.

Il était donc intéressant d'étendre les recherches comparatives à d'autres préparations bronchodilatoires.

Conformément aux résultats de certaines recherches britanniques récentes, il a paru utile de tester, dans cet ordre d'idées, l'efficacité de divers mélanges dans lesquels les médicaments sympathicomimétiques étaient associés à des substances, notamment un dérivé de l'atropine, n'en ayant pas les effets secondaires. Cette dernière substance possède d'autre part la propriété d'assécher les bronches, ce qui pourrait être avantageux chez de nombreux bronchitiques.

A cette fin, on a comparé dans la figure 8, aux effets de l'adrénaline en injection sous-cutanée (courbe 4), ceux observés chez 26 sujets avec 3 solutions ayant les compositions suivantes :

- méthylnitrate d'atropine à 0,075 % et chlorhydrate d'isoprénaline à 0,3 % (courbe 1) ;
- méthylnitrate d'atropine à 0,075 % et bitartrate d'isoprénaline à 0,3 % (courbe 2) ;
- méthylnitrate d'atropine à 0,05 %, chlorhydrate d'isoprénaline à 0,3 % et bromhydrate de scopolamine à 0,03 % (courbe 3).

Les résultats de la comparaison en ce qui concerne l'effet sur le VEMS montrent l'analogie d'action entre les trois solutions testées et l'adrénaline. Les premiers résultats paraissent indiquer d'autre part que les effets secondaires des trois mélanges testés sont moins importants que ceux de l'adrénaline.

Des études sont en cours en vue de permettre le conditionnement de tels mélanges sous forme de flacon doseur.

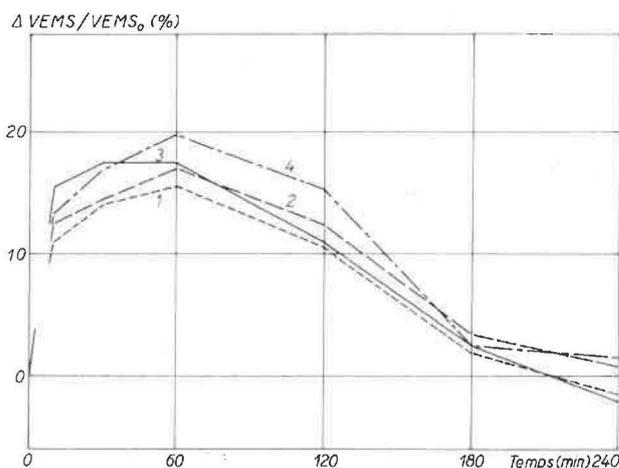


Fig. 8. — Evolution de la variation du VEMS (en pourcentage de la valeur initiale) sous l'action de l'adrénaline (courbe 4) et de divers autres mélanges bronchodilatateurs (courbes 1 à 3, voir texte).

II. — TRAVAUX DE LA SECTION TECHNIQUE

1. LUTTE CONTRE LES POUSSIÈRES

A. Analyse des poussières. — Conimétrie.

α. Etude des empoussiérages en relation avec l'activité professionnelle et l'anamnèse médicale d'un groupe d'ouvriers mineurs.

Comme les années précédentes, les mesureurs du Service Sécurité et Hygiène des Charbonnages de Houthalen ont poursuivi leurs prélèvements de poussières au précipitateur thermique, systématiquement, chaque quinzaine, à tous les postes et dans tous les chantiers de la mine. Les résultats des examens et analyses — effectués dans les laboratoires de l'Institut d'Hygiène des Mines — sont régulièrement reportés, par les soins du charbonnage, sur les cartes d'anamnèse des ouvriers du fond (fiches mécanographiques). Les autres modalités de cette recherche ont été rappelées plusieurs fois déjà dans ces mêmes colonnes [2] [11].

Durant l'année écoulée, nous avons continué l'étude de la répartition des empoussiérages par chantier et par poste pour l'ensemble des travaux effectués en 1962 et calculé les « indices de nocivité » correspondant aux empoussiérages moyens subis en 1962 par les ouvriers du fond ; nous avons également fait le classement par chantier, par poste, éventuellement par phase de travail, des concentrations en poussières et des teneurs en quartz mesurées en 1963.

Nous constatons que les indices de nocivité moyens, obtenus durant l'exécution des phases de

travail les plus importantes, définissent tous des empoussiérages acceptables ($i < 5$), sauf pendant les 10 ... 15 minutes que dure le passage du bouchon de fumées et poussières de tir dans les travaux préparatoires au rocher. Nous donnons au tableau IV les indices moyens mesurés durant les quatre dernières années dans les galeries au rocher et dans la voie de retour d'air des chantiers d'abattage (nombre total de mesures : 8500).

L'amélioration des conditions de travail apparaît encore mieux lorsqu'on examine les valeurs moyennes de l'indice de nocivité de l'air inhalé, dans les chantiers d'abattage, par les ouvriers des différentes catégories. Les valeurs figurant au tableau V ont été calculées en tenant compte du nombre d'ouvriers présents dans chacun des chantiers, mais ne sont en fait que des moyennes arithmétiques. Pour apprécier à sa juste valeur l'importance des empoussiérages subis par les ouvriers et connaître la dispersion des résultats, nous avons recherché l'indice géométrique moyen et la déviation σ_g relative à cette moyenne. Le diagramme de la figure 9 donne à titre d'exemple la répartition des « indices de nocivité » de l'air inhalé par les abatteurs de 1958 à 1962. On voit ainsi qu'il est possible, grâce à l'application des techniques de prévention : injection, télé-injection et pré-télé-injection, de maintenir des empoussiérages acceptables pour 99 % des ouvriers à veine, dans les conditions de gisement et pour les méthodes d'exploitation adoptées aux Charbonnages de Houthalen.

TABLEAU IV.

Répartition par phase de travail des indices de nocivité moyens mesurés dans les travaux préparatoires et dans les voies de retour d'air des chantiers d'abattage, durant les quatre dernières années (nombre total de mesures : 8500).

	1959	1960	1961	1962
Forage des mines	5,5	5,4	4,8	4,2
Mise à feu des explosifs	7,3	8,3	7,4	7,0
Chargement des déblais	5,6	5,6	5,3	4,4
Boisage avant claveautage	5,3	5,4	4,6	3,7
Claveautage proprement dit	4,8	4,6	4,0	3,5
Cadrage (y compris rectification des parois)	5,3	5,4	4,7	3,8
Abattage	4,5	4,5	4,3	3,9 (*)
Nettoyage des chantiers	4,9	4,6	3,9	3,4 (*)
Foudroyage — Remblayage (**)	5,0	5,1	4,5	3,3 (*)

(*) Pour autant que la distinction entre les 3 phases soit encore possible.

(**) Les mesures effectuées pendant le remblayage pneumatique ne représentant pas 10 % du nombre des déterminations faites pendant les postes de foudroyage-remblayage.

TABLEAU V.

Valeurs moyennes de l'indice de nocivité de l'air inhalé par les ouvriers de différentes catégories (chantiers d'abattage).

	1958	1959	1960	1961	1962
Surveillants	4.59	4.65	4.47	4.13	3.67
Abatteurs	4.43	4.69	4.34	4.17	3.80
Apprentis-abatteurs	4.18	4.62	4.32	4.24	3.92
Pelleteurs	4.62	4.66	4.36	4.08	3.87
Remblayeurs	5.92	5.05	4.70	4.40	3.87
Foudroyeurs	5.53	4.91	4.36	4.27	3.78
Boiseurs	5.63	4.30	4.42	4.20	4.01
Haveurs	4.60	4.58	4.32	4.08	3.60
Injecteurs	5.79	4.83	4.67	4.20	3.19
Ajusteurs - Electriciens	4.41	4.98	4.48	4.20	3.63
Coupeurs de voies	—	4.85	4.47	4.18	3.61

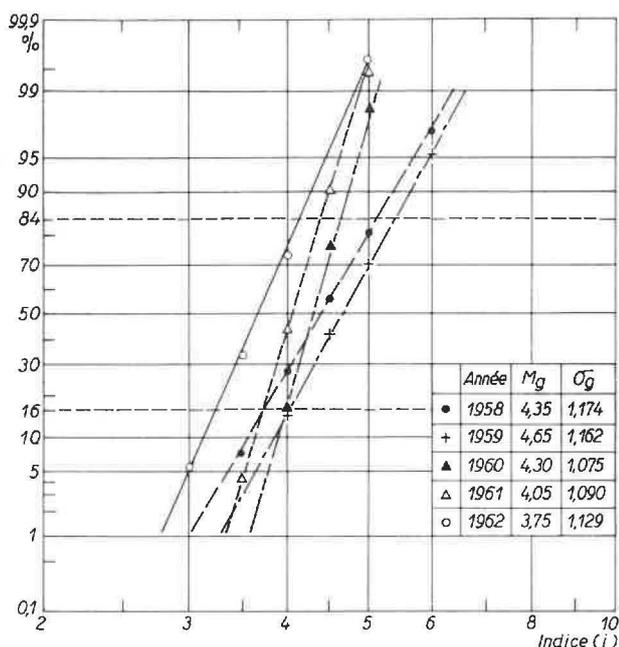


Fig. 9. — Répartition des « indices de nocivité » de l'air inhalé par les ouvriers abatteurs (Charbonnages de Houthalen).

b. Etude d'appareils générateurs d'aérosols médicamenteux.

La Section Technique s'est préoccupée du problème du prélèvement et de l'analyse granulométrique d'aérosols produits à partir de solutions médicamenteuses. Différentes techniques de captation et de numération ont été essayées et comparées. Bien que ces travaux ne constituent qu'une étude préliminaire du problème, notre choix s'est finalement porté sur le précipitateur thermique et le comptage microscopique sur fond clair (objectif d'ouverture numérique 1,3). Diverses questions, discutées d'ailleurs au sein d'un groupe de travail de la C.E.C.A., restent en suspens et notamment la « fixation » des

propriétés essentielles d'un liquide standard qui serait destiné aux essais comparatifs des générateurs d'aérosols (tension superficielle, tension de vapeur, viscosité, densité, indice de réfraction, ...).

Au cours de nos essais, nous avons pu mettre en évidence l'influence énorme de la pression d'alimentation d'un générateur sur la granulométrie de l'aérosol dispersé (du moins pour un appareil donné). Après avoir vérifié que la répartition granulométrique des aérosols produits obéit à une loi de distribution logarithmique normale, nous avons recherché ce que représentaient la surface et le volume des aérosols, de diamètre inférieur à une dimension donnée, par rapport à la surface totale et au volume total des aérosols émis, lorsque la pression d'alimentation varie. Les diagrammes de la figure 10 montrent la répartition granulométrique d'un aérosol A lorsque la pression à l'entrée d'un générateur X est 0,5 ou 1 kg/cm². On constate que les particules de diamètre inférieur à 5 μ représentent environ 18 % ou 88 % du volume total, celles de diamètre inférieur à 1 μ représentent environ 1 % ou 12 % du volume total suivant que la pression est 0,5 ou 1 kg/cm², ce qui démontre l'importance capitale du réglage des générateurs d'aérosols utilisés à des fins médicales.

c. Comparaison des techniques de prélèvement et d'examen des poussières.

Poursuivant l'étude du classement des atmosphères poussiéreuses, nous signalons l'an dernier qu'il existait un parallélisme entre la classification proposée par le Stofinstituut des Pays-Bas et celle présentée par l'Institut d'Hygiène des Mines [12]. Rappelons que les concentrations-limites hollandaises sont basées sur la détermination des concentrations globales (charbon + roches, particules de toutes granulométries) et sur la mesure des teneurs en cendres des poussières prélevées.

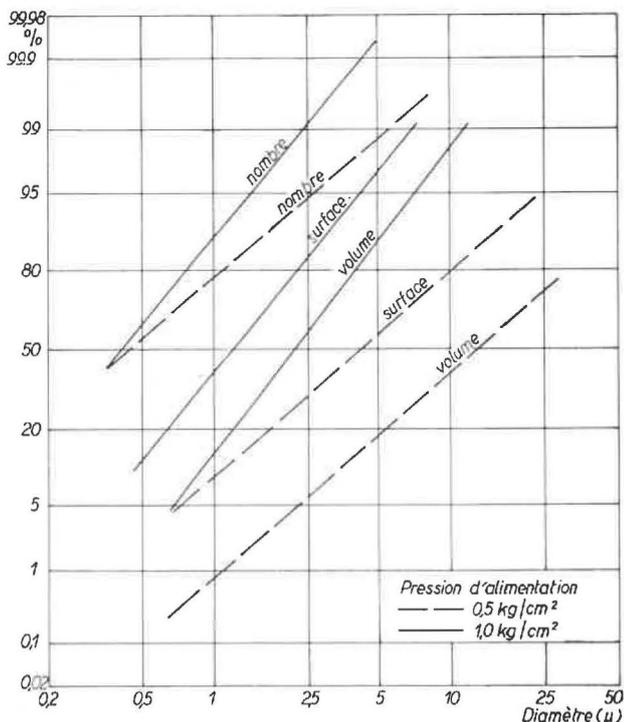


Fig. 10. — Répartition granulométrique d'un aérosol médicamenteux en fonction de la pression d'alimentation du générateur.

L'indice de nocivité défini par l'Institut d'Hygiène des Mines se calcule par contre par application d'une formule dans laquelle interviennent la concentration en nombre de particules de 5 à 0,5 μ, la teneur en quartz et des constantes, fonction des modes de prélèvement et d'examen des poussières. Pour les faibles teneurs en quartz, cet indice de nocivité est cependant différent de l'indice coniotique français, car il fixe une limite à la « masse » de poussières charbonneuses qu'il conviendrait de ne pas inhaler.

L'étude comparative de prélèvements simultanés effectués au précipitateur thermique (méthode Institut d'Hygiène des Mines) et au dé de Soxhlet (méthode hollandaise) dans de nombreux chantiers des charbonnages belges durant 144 postes de travail, montre que les classifications des empoussiérages basées sur le poids total des poussières et leur teneur en cendres ou sur le nombre de particules de 5 à 0,5 μ et leur teneur en quartz, sont équivalentes dans la majorité des cas.

En effet, quelle que soit la teneur en cendres (de 5 à 75 %), les empoussiérages considérés comme acceptables ou inacceptables par le Stofinstituut, sont, dans 85 % des cas, également acceptables ou inacceptables par l'Institut d'Hygiène des Mines, c'est-à-dire qu'ils ont un indice de nocivité inférieur ou supérieur à 5 (indice de seuil $i = 5$).

Les critères d'appréciation se valent dans plus de 90 % des cas lorsque les poussières charbonneuses

renferment moins de 30 % de cendres et dans 94 % des cas si la teneur en cendres est comprise entre 10 et 40 %.

d. Etude et analyse de produits divers.

Comme d'habitude, le laboratoire de chimie a pratiqué l'analyse des divers échantillons de poussières aériennes ou de roches en place prélevés dans la mine (humidité, teneur en cendres, silice libre, etc). En dehors de ces dosages routiniers, on a mesuré les propriétés physiques essentielles (masse volumique, tension superficielle, viscosité, indice de réfraction) de deux produits huileux proposés pour comparer les caractéristiques des générateurs d'aérosols médicamenteux.

Dans le cadre de l'abattage des poussières par pulvérisation d'eau de mine, additionnée ou non de produits tensio-actifs (voir les essais de bosseyement à Beringen), on a étudié la régularité de la concentration en agent mouillant dans le liquide débité par la machine. A cette fin, on a mesuré deux propriétés différentes des solutions tensio-actives, à savoir leur tension superficielle et la vitesse d'immersion de poussières charbonneuses. On a tout d'abord tracé des courbes d'étalonnage à partir de mélanges connus de l'eau utilisée et du surfactant choisi, le Tensophène I.10. Après avoir mis en évidence la zone de sensibilité de chaque méthode, on a alors étudié dans les mêmes conditions les échantillons d'eau rapportés de la mine et dilués convenablement avant les mesures. Les résultats obtenus par les deux méthodes sont en très bon accord.

B. Procédés et matériel de lutte contre les poussières.

α. Lutte contre les poussières dans les chantiers d'abattage par application du procédé d'injection d'eau en veine.

Les recherches entreprises avec l'aide financière de la Haute Autorité de la C.E.C.A. par les Charbonnages du Centre et de Houthalen se sont poursuivies.

α. Nous avons signalé l'an dernier que, grâce à la technique des longs sondages de détente combinés aux tirs d'abattage, on mettait deux fois moins de poussières en suspension dans l'air, à production égale, que lors de l'abattage après tirs d'ébranlement classiques (dans les couches à dégagements instantanés des Charbonnages du Centre). La suppression des tirs d'ébranlement dans ces couches et leur remplacement par de longs sondages de détente (longueur 15 m, diamètre 115 mm) rendaient d'autre part l'injection possible, en principe, moyennant de multiples précautions.

Les Charbonnages du Centre ont procédé à de nouvelles expériences dans une taille où le rabotage avait remplacé le tir d'abattage. Il s'était en effet avéré extrêmement difficile d'exécuter en un poste les sondages de détente, les forages pour l'injection et l'injection de même que les forages pour le tir et le tir d'abattage proprement dit, en l'absence du personnel. Nous avons entretemps constaté que le rabotage (après sondages de détente) mettait également environ deux fois moins de poussières en suspension que l'abattage après les tirs d'ébranlement habituels. Après de nombreux essais, effectués sous la direction du Service Sécurité-Hygiène des charbonnages, concernant la profondeur du forage, la pression d'injection, la position du joint dans le forage, l'humidification résultante, ... on a adopté le forage équidistant de 3 m, réalisé à mi-distance entre toit et mur, jusqu'à la profondeur de 2,50 m. En maintenant une chambre d'injection de 0,50 à 0,70 m de longueur (c'est-à-dire joint placé à 1,80 ... 2,00 m de profondeur), la pression d'injection est restée voisine de 60 kg/cm² (75 au maximum) pour un débit d'eau compris entre 10 et 20 litres/minute (cette pression d'injection est nettement moindre que celle constatée lors des premiers essais, avant rabotage). En procédant de la sorte, après exécution des sondages de détente, l'injection d'une quantité d'eau représentant 0,85 % du poids de charbon net abattu, a provoqué une réduction de 70 % du poids des poussières en suspension dans l'air et de 25 à 30 % du nombre de particules de 5 à 0,5 μ produites en taille. Pour un même tonnage réalisé après tirs d'ébranlement classiques, l'amélioration se chiffre par une réduction de l'ordre de 60 % des particules de 5 à 0,5 μ .

β . Les multiples expériences réalisées par les Charbonnages de Houthalen dans le domaine de la pré-télé-injection d'eau en veine ont abouti en 1963 à des résultats directement chiffrables. Rappelons que cette méthode de prévention consiste à injecter un panneau avant sa mise en exploitation, en opérant à partir de voies préexistantes. Bien que les premières constatations en la matière aient été faites en 1953 déjà, à propos de la pré-télé-injection naturelle, les résultats des essais pratiques, entamés à l'échelle industrielle depuis 1958, n'étaient connus qu'indirectement. Il est en effet très difficile de trouver des tailles comparables à tous égards pour mesurer des empoussiérages de référence et apprécier ainsi l'amélioration obtenue grâce à la pré-télé-injection (même couche, même niveau, même recoupe, même position par rapport aux couches exploitées antérieurement, ...). Nous ne pouvons juger l'amélioration que globalement en suivant l'évolution de l'indice de nocivité moyen de l'air inhalé par les abatteurs et en constatant que l'indice moyen était plus petit que 5 (voir point A) alors que dans un ensemble de formations similaires, on obtient, sans

prévention, des indices de 5 à 6, si pas supérieurs à 6.

Cette année, nous avons contrôlé pendant 7 mois une taille qui a été pré-télé-injectée après avoir chassé une cinquantaine de mètres à partir du montage initial; nous avons pu déterminer, pour une méthode d'exploitation donnée, les « empoussiérages spécifiques » avant l'injection et suivre l'évolution des concentrations une fois l'injection terminée (taille 81/31 Est).

L'introduction dans la couche (avant sa remise en exploitation systématique) d'une quantité d'eau représentant un peu moins de 0,5 % du tonnage net, a provoqué une amélioration des conditions de travail en tête de taille qui se chiffre par une réduction de 55 à 60 % du poids des poussières en suspension dans l'air et de 25 à 30 % du nombre de particules comprises entre 5 et 0,5 μ . La diminution du nombre de particules réellement produites en taille a été de 65 % au moins, malgré un accroissement de près de 30 % du tonnage réalisé au premier poste. L'amélioration chiffrée en tête de taille n'est pas plus marquante par suite de la suppression volontaire de la prévention dans la galerie d'entrée d'air où les concentrations en poussières augmentaient avec l'allongement de la voie. Les diagrammes de la figure 11 montrent les variations de la production au premier poste (pendant lequel s'effectuaient les contrôles) ainsi que les concentrations en particules de 5 à 0,5 μ , mesurées au pied et en tête de taille. Il est permis de dire qu'au moment de l'arrêt du chantier, on aurait obtenu en tête de taille un indice de nocivité de l'air supérieur à 5,2, sans pré-télé-injection, alors qu'en fait on n'a mesuré que des indices compris entre 3,7 et 4,2. Le rendement du procédé de pré-télé-injection a donc été de 60 à 65 % au moins. Les mesures faites par le Service Sécurité-Hygiène des charbonnages ont de plus montré que la libération de CH₄ pendant

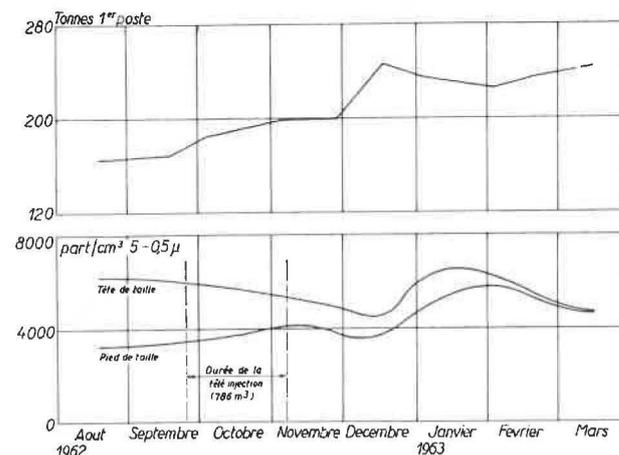


Fig. 11. — Variation de la production et des concentrations en poussière mesurées au pied et en tête d'un chantier pré-télé-injecté (taille 81/31 E des Charbonnages de Houthalen).

l'abattage a été de 0,11 litre CH_4 /seconde par berline avant l'injection et 0,06 litre CH_4 /seconde par berline après la pré-télé-injection.

Une publication spéciale sur ces essais est en préparation ; elle décrira les techniques inédites mises au point par M. Lavallée et expérimentées par les Charbonnages de Houthalen.

b. Etudes de produits retardateurs d'évaporation.

Le climat des voies et des chantiers d'une mine peut être détérioré par l'évaporation d'eau provenant de l'infiltration naturelle ou des techniques de lutte contre les poussières. Nous avons déjà rapporté ici même [11] divers essais ayant pour but de sélectionner des produits susceptibles de diminuer les quantités d'eau évaporée. Ces travaux ont donné lieu à une publication [13] que nous résumons ci-après.

On a étudié une quarantaine de substances se distinguant par leur nature chimique et présentant l'une des propriétés physiques suivantes : hygroscopicité, hydrophobie, solubilité, tensio-activité, viscosité. Les expériences comparatives ont été effectuées dans une étuve hygrostatique dans laquelle on a fixé conventionnellement la température sèche aux valeurs : 25, 30 et 40 °C et l'humidité relative à 0,35, 0,60 et 0,85. Pour pallier les hétérogénéités de l'appareil, on a d'une part exposé simultanément et côte à côte les bacs de solutions et d'eau de référence et, d'autre part, on a procédé à une permutation circulaire des récipients.

L'efficacité d'une liqueur donnée est définie par rapport à l'eau par le paramètre $e = \dot{q}_i/\dot{q}_w$, appelé *coefficient d'évaporabilité* et dans lequel \dot{q}_i et \dot{q}_w représentent respectivement le débit d'évaporation de l'eau additionnée de la substance i et celui de l'eau pure dans les mêmes conditions. La considération de ce coefficient e permet d'exprimer les résultats de façon indépendante de la vitesse de l'air et de la pression atmosphérique. L'inhibition plus ou moins complète de l'évaporation de l'eau peut être obtenue, soit en interposant entre l'eau et l'air une couche formant écran (hydrocarbures liquides, alcools gras), soit en incorporant à l'eau des produits solubles (sels, produits organiques) capables d'abaisser fortement sa tension de vapeur. L'efficacité des produits insolubles exposés en nappes libres n'est guère influencée par les conditions climatiques et varie peu au-delà d'une certaine concentration superficielle : ainsi, on obtient une évaporabilité e de l'ordre de 0,75 avec ... 10 g ... d'alcool cétylique par m^2 ou encore $e \cong 0,25$ avec plus de 6 g d'huile de graissage par m^2 . Dans le cas de produits solubles exposés en nappes libres, on a pu vérifier la prévision théorique de l'influence négligeable de la température sèche et de l'action primordiale de l'hu-

midité relative φ sur le coefficient d'évaporabilité ; si on admet que la nappe d'eau possède la même température que l'air ambiant, on peut démontrer en effet que

$$e = \frac{\alpha - \varphi}{1 - \varphi} \quad (\text{a})$$

où $\alpha \equiv p_i/p_w$ est le coefficient de réduction de la tension de vapeur de l'eau par le fait de la présence de soluté. En pratique, l'évaporation progressive des liqueurs rend possible l'exploration d'un large domaine de concentrations en quelques essais et à partir d'un petit nombre de solutions différentes. L'évolution des propriétés des solutions dans ces conditions dynamiques d'évaporation permet de tracer des courbes $e = f_1(\tau)$ représentant la variation de l'évaporabilité en fonction de la teneur τ (g de soluté par 100 g de solution) pour les produits choisis et les valeurs adoptées pour l'humidité relative. La valeur que doit prendre τ pour obtenir $e = 0,5$ est appelée *teneur de demi-évaporation* ($\tau_{0,5}$) ; elle permet de procéder au classement éliminatoire des produits essayés. On constate ainsi que les substances tensio-actives et celles dont la solution est particulièrement visqueuse, ne sont pas de bons inhibiteurs d'évaporation. Par contre, divers produits organiques solubles ainsi que de nombreux sels tels que sulfates, nitrates et surtout les halogénures alcalins et alcalino-terreux possèdent une efficacité satisfaisante, certains au prix d'une teneur élevée.

Il est possible de prévoir pour tout produit soluble la teneur qu'il faut utiliser pour obtenir une efficacité donnée dans un climat quelconque que les circonstances peuvent imposer.

Quand la littérature fournit les tensions de vapeurs p_i de solutions de teneurs τ , il est possible de calculer les valeurs de e correspondantes en remplaçant $\alpha \equiv p_i/p_w$ par sa valeur numérique dans l'expression (a) et ce pour différentes valeurs de φ . On peut alors tracer une série de courbes $e = f_1(\tau)$ qu'on peut convertir sous la forme $\tau = f_2(\varphi)$ pour diverses valeurs de e , ce qui constitue la réponse demandée.

Lorsque les données numériques publiées étaient insuffisantes ou les produits de composition mal connue, le problème a été résolu de la façon suivante :

Si on suppose que toutes les particules de matière formant une solution ont le même diamètre et sont sans action les unes sur les autres, on peut expliquer la réduction de tension de vapeur par la diminution du nombre de molécules d'eau par unité de surface liquide au profit des particules (molécules ou ions) de la substance dissoute. Dans ce cas idéal, le coefficient α est égal à la fraction particulière π_w de l'eau dans la solution (rapport du nombre de molécules d'eau au nombre total de particules) ; cette fraction vaut $(1 - \pi_s)$ si on représente par π_s la fraction particulière du soluté. Si on

remplace α par sa valeur dans la relation (a), on en tire :

$$\pi_s = (1 - e) (1 - \varphi). \quad (b)$$

Cette expression simple permet donc en principe de calculer la concentration en soluté donnant lieu à la réduction d'évaporation souhaitée dans une atmosphère donnée ; on peut d'ailleurs convertir facilement π_s en teneur massique τ_s , unité plus comode, au moyen de la relation :

$$\tau_s = 100 \frac{\mu_s \pi_s}{\mu_s \pi_s + n_s \mu_{10} (1 - \pi_s)}$$

qui les relie et où μ_{10} et μ_s représentent respectivement les masses moléculaires de l'eau et du soluté ;

n est égal au nombre maximum de particules que pourrait engendrer une molécule de soluté.

Dans le cas du problème qui nous occupe, on ne peut cependant pas appliquer sans correction la relation (b) établie ci-dessus car les hypothèses simplificatrices adoptées ne sont pas respectées (ions différents, concentrations trop élevées). Les expériences d'évaporation faites pour sélectionner les produits permettent néanmoins d'établir une courbe de correspondance entre les teneurs expérimentales τ_{exp} et les teneurs théoriques ($\tau_{th} \equiv \tau_s$) calculées pour les mêmes conditions climatiques. Disposant alors pour chaque produit d'une fonction de correction :

$$\tau_{exp} = f(\tau_{th}),$$

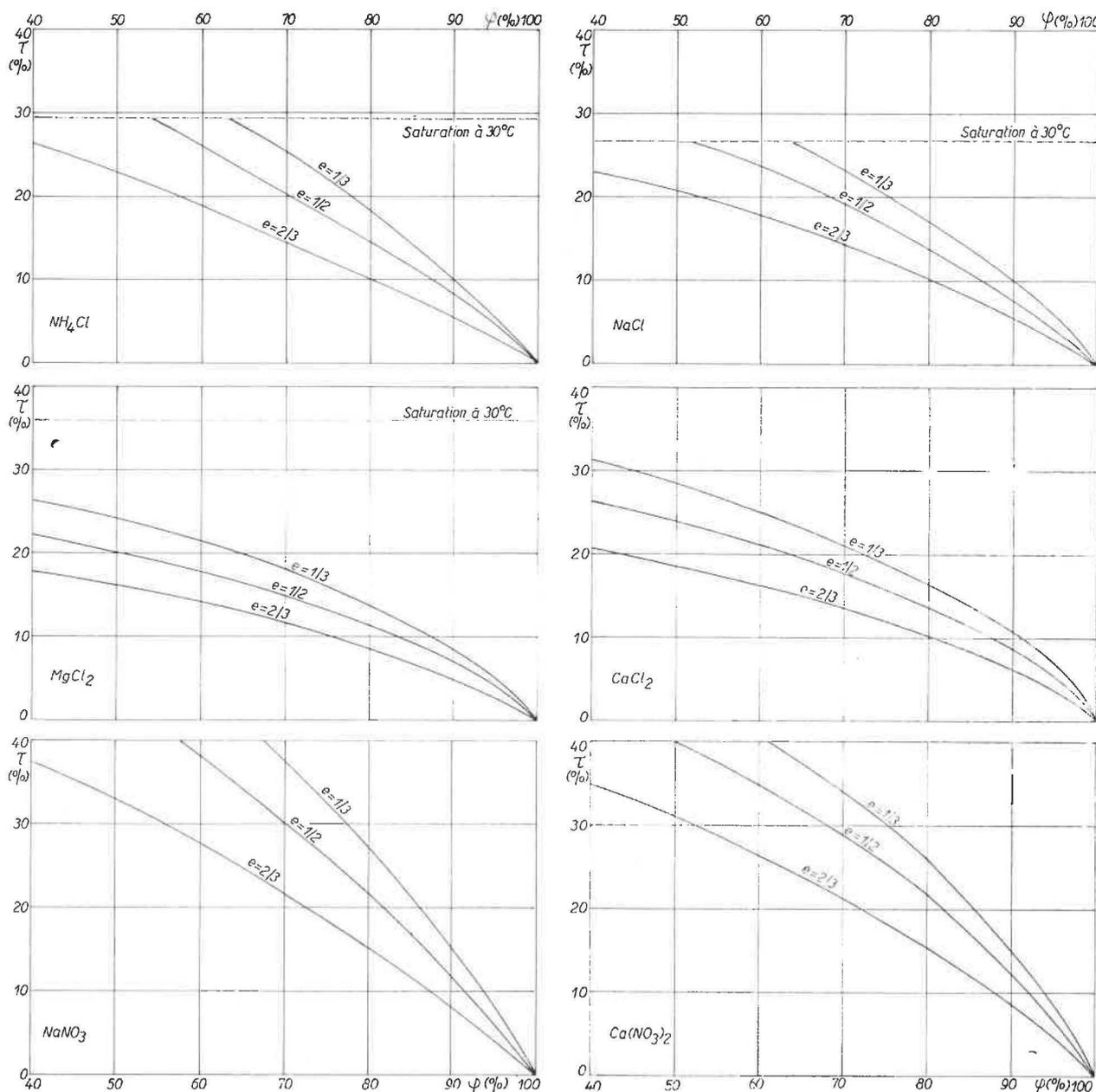


Fig. 12. — Relation entre l'humidité relative de l'atmosphère et la teneur nécessaire à obtenir une évaporabilité e donnée, pour différents produits solubles.

on peut prévoir la concentration vraie à réaliser pour différentes valeurs de e et de φ . On remarquera que la méthode suivie est d'application générale et convient tout aussi bien aux produits organiques qu'aux substances impures dont on ne peut fixer exactement le coefficient d'ionisation et le poids moléculaire.

Les diagrammes $\tau = f_2(\varphi)$ ont été établis pour 14 produits solubles sélectionnés et 3 valeurs du coefficient e . A titre d'exemple, nous donnons aux figures 12 a, b, c, d, e, f les courbes relatives à 6 substances intéressantes : NH_4Cl , NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 , NaNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. On peut vérifier que plusieurs sels permettent de réduire de moitié ($e = 0,5$) l'évaporation de l'eau moyennant des teneurs de 7 à 10 % ou de 11 à 15 % pour des humidités relatives respectivement égales à 0,9 ou 0,8.

Au point de vue économique, il est intéressant de classer les divers produits utilisables en fonction du prix de revient de 1 m³ de leur solution préparée pour obtenir une même efficacité. Dans ce but, nous proposons de considérer un *indice d'intérêt économique* I_E défini comme suit :

$$I_E = \frac{10\tau\rho I_p}{I_r}$$

où τ est la teneur massique (g de produit actif/100 g de solution) nécessaire pour obtenir l'efficacité envisagée,

ρ est la masse volumique de la solution (t/m³),

I_r ou indice de richesse est la teneur en matière active du produit commercial qui contient toujours une certaine quantité d'eau d'imprégnation ou de constitution,

I_p ou indice de prix est le rapport entre le prix d'un produit commercial quelconque et celui d'une même quantité de NaCl brut.

Si on admet le prix de 1 kg de produit comme unité, l'indice I_E représente le coût du sel pour 1 m³ de solution. Le calcul de cet indice permettra ainsi à tout utilisateur d'effectuer un classement des produits d'après son contexte économique propre.

c. Etude du bosseyement mécanique des voies de chantier.

En collaboration avec l'Institut National de l'Industrie Charbonnière, nous avons entrepris l'étude du bosseyement mécanique des voies de chantier (envisagée sous l'angle de la prévention), au moyen de la machine Joy-Sullivan RR 227 à trois tambours (Mark II). Cette machine est prévue pour le bosseyement en toit, en arrière de la taille ; elle est constituée en principe d'un bras mobile (autour d'un axe horizontal) formant tête coupante armée de 3 tambours d'abattage. Cette bosseyeuse a été mise à l'essai aux Charbonnages de Beeringen dans des

formations schisto-gréseuses et psammitiques à 30 ... 45 % de silice libre, comprenant un banc quartzitique à 50 ... 55 % de silice libre, où elle permet de creuser, en 2 heures, 6 passes successives de 30 cm dans une voie dont les dimensions sont : largeur : 4 m, hauteur : 3,60 m.

Dans de telles formations géologiques, le creusement à sec d'une passe de 30 cm de profondeur produit environ 46.10^{12} particules de 5 à 0,5 μ . Le taux de suppression des poussières que procure la pulvérisation de 45 litres d'eau à la minute est de l'ordre de 20 à 25 %. L'état d'avancement actuel de nos travaux ne nous permet pas de dire avec certitude si le « rendement » de la prévention est moindre lorsqu'on n'utilise que 30 litres d'eau à la minute ou s'il est meilleur lorsqu'on fait usage d'une solution tensio-active. La dispersion des mesures est très grande car, suivant l'état de fissuration du banc du toit, la quantité de poussières produites par « cutting time » même avec pulvérisation de 45 litres/min varie de 15 à 70.10^{12} particules de 5 à 0,5 μ , ce qui correspond, dans un courant d'air de 7 m³/s à une majoration de concentration de 5.000 à 25.000 part/cm³ de 5 à 0,5 μ (méthode Institut d'Hygiène des Mines).

De nouveaux essais sont prévus, au cours desquels on contrôlera l'efficacité d'autres dispositifs et techniques de prévention.

2. VENTILATION - CLIMAT

A. Etude de la ventilation par analogie électrique.

a. Les *Charbonnages André Dumont* nous ont posé tout au long de l'année une série de questions qui ont nécessité une représentation d'ensemble du siège sur notre modèle.

La première question se rapportait à la meilleure façon d'accroître le débit dans un quartier éloigné des puits. La figure 13 représente très sommairement cette partie de la mine.

Le ventilateur auxiliaire V_1 qui dessert cet étage fonctionnant déjà au voisinage de sa puissance maximum, l'ajoute d'un ventilateur V_2 favorisant le quartier I le plus éloigné paraît judicieuse. En effet, cette solution facilite un partage correct du débit total entre les quartiers I, II, III et permet une économie de puissance en réduisant la perte énergétique aux portes régulatrices P.R. Elle ne permet cependant d'augmenter le débit des chantiers les plus éloignés que de façon limitée, en grande partie au détriment des autres chantiers.

L'insertion de V_2 entraîne en outre un accroissement de l'orifice équivalent de l'étage desservi par

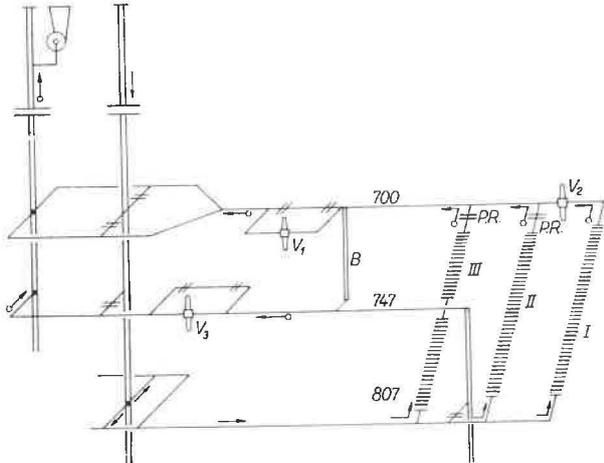


Fig. 13. — Schéma simplifié des exploitations faisant l'objet du premier problème étudié pour les Charbonnages André Dumont.

V_1 , dont le rendement est déjà médiocre et qui sera dès lors de plus en plus mal utilisé. La solution que nous avons proposée à cette difficulté consiste en la mise en parallèle du ventilateur V_1 avec celui V_3 identique ; ce dernier, installé à un niveau inférieur, aspire un débit relativement faible sur un circuit fort résistant. La mise en œuvre de cette solution nécessite le creusement du burquin B et un nouveau réglage du ventilateur V_3 (modification de l'angle des pales). La figure 14 indique le changement de régime envisagé, qui ramène le rendement des deux appareils au voisinage de sa valeur optimum ; par ailleurs, le débit total aspiré pourra encore être accru de quelque 30 % à l'avenir. Cette étude s'est achevée par la considération de la stabilité de la marche en parallèle des deux ventilateurs.

Les questions suivantes ont été posées à l'occasion de certains incidents survenus aux ventilateurs en surface et au fond. Il s'agit de limiter les conséquences de la mise hors service d'un ventilateur par suite d'ennui mécanique. En particulier, il apparaît

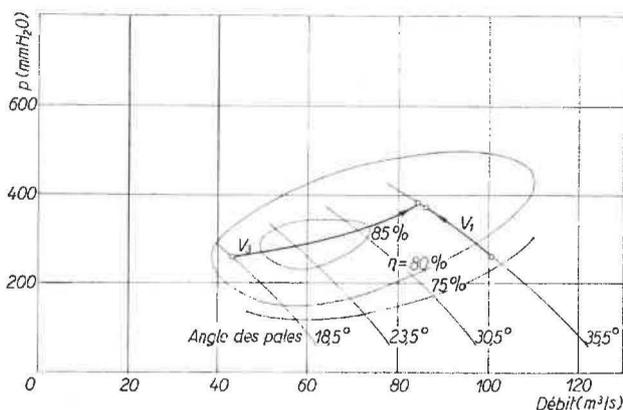


Fig. 14. — Changement de régime des ventilateurs V_1 et V_3 consécutif à leur mise en parallèle par le burquin B (cf. fig. 13).

que le simple verrouillage électrique de tous les ventilateurs du fond n'est bien souvent pas nécessaire ; toutefois, avant la remise en marche des ventilateurs non défectueux, il est souvent souhaitable d'en modifier le réglage. L'étude par analogie électrique permet de déterminer, lors de l'arrêt prolongé d'un ventilateur auxiliaire, le régime optimum à adopter pour les autres appareils de façon à partager au mieux la réduction inéluctable de débit due à cet incident.

La troisième série de questions se rapporte aux possibilités d'accroissement de débit de l'étage le plus profond. Le ventilateur installé possède une réserve de puissance et une marge de réglage permettant d'accroître considérablement ce débit, mais la difficulté provient de ce que le puits de retour passe rapidement en surpression par rapport au puits d'entrée.

On a cru que la partie inférieure du puits de retour d'air, nettement plus résistante, était la cause de cette difficulté. Après les mesures directes relatives ci-après, on a vérifié que le risque de surpression du puits de retour n'est pas essentiellement imputable à ce fait mais bien à la trop grande résistance de la partie supérieure des deux puits par où passe le débit total d'aérage. En dehors de l'accroissement de puissance (d'ailleurs peu efficace) du ventilateur de surface, les remèdes (actuellement à l'étude) sont :

- accroissement de l'écartement entre traverses ;
- choix d'un profil plus favorable.

b. Les Charbonnages du Borinage nous ont posé un problème très semblable à celui exposé en tête de ce paragraphe. La figure 15 décrit schématiquement les exploitations à étudier. Alors que les quartiers proches des puits (retour d'air en E) sont surabondamment ventilés et munis tous de portes régulatrices, le quartier IV le plus éloigné a un aérage insuffisant et on y prévoit l'installation d'un ventilateur auxiliaire. On

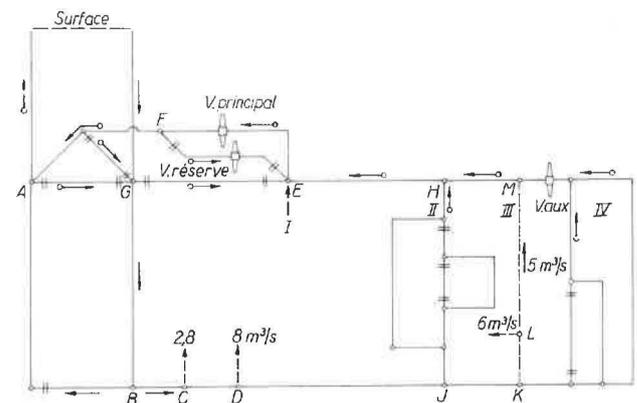


Fig. 15. — Schéma simplifié des exploitations faisant l'objet du problème de ventilation étudié pour les Charbonnages du Borinage. Les circuits en pointillé sont munis de portes régulatrices maintenant les débits aux valeurs indiquées.

nous a demandé la dépression (p) à prévoir pour celui-ci et éventuellement l'adaptation souhaitable de l'angle des pales (α) du ventilateur principal. Comme on dispose ainsi de 2 degrés de liberté, le problème ne devient déterminé que si l'on impose 2 conditions. Afin de laisser toute liberté aux charbonnages quant au choix de ces 2 conditions, nous avons exploré toute une série de combinaisons des 2 paramètres p et α et présenté les résultats sous forme graphique, comme indiqué à la figure 16. Comme il s'agit de situations peu différentes, on passe rapidement de l'une à l'autre sur le modèle ; par ailleurs, l'interpolation n'est pas difficile, car dans le domaine exploré, les graphiques prennent l'allure d'un faisceau de quasi droites presque parallèles.

Montrons à présent comment ce diagramme permet de résoudre divers problèmes.

— On impose un débit donné (par exemple $45 \text{ m}^3/\text{s}$) dans le quartier le plus éloigné et on propose l'utilisation d'un ventilateur auxiliaire déterminé dont la caractéristique est connue (courbe C au volet D de la figure 16). Le point X représente le régime imposé ; le diagramme D indique que l'angle des pales du ventilateur principal doit être porté à 20° ; une ligne de rappel permet de trouver le débit du ventilateur principal et la différence de pression entre certains nœuds importants. En consultant ensuite la caractéristique du ventilateur principal, on trouve pour celui-ci une pression de $325 \text{ mm H}_2\text{O}$ et un débit de $98 \text{ m}^3/\text{s}$, tandis qu'on aura $\Delta p = 254 \text{ mm H}_2\text{O}$ entre E et C, $\Delta p = 51 \text{ mm H}_2\text{O}$ entre M et L. Le régime obtenu est possible mais n'est guère économique, car la dépression aux bornes des quartiers I et III à débit imposé a augmenté et il faudra laminer davantage.

— Admettons qu'on puisse modifier la vitesse du ventilateur auxiliaire envisagé, ce qui nous rend un degré de liberté ; nous imposons cette fois le débit dans le quartier IV et la dépression aux bornes du quartier III qui est devenu le plus critique. Soit par exemple $\Delta p = 20 \text{ mm H}_2\text{O}$ entre M et L, $Q = 48 \text{ m}^3/\text{s}$ au quartier IV. Le volet B de la figure 16 donne le point Z caractérisant le régime ; on peut y lire l'angle des pales du ventilateur principal (20°). Le volet D indique que la dépression du ventilateur auxiliaire doit être de $123 \text{ mm H}_2\text{O}$. La vitesse de rotation à attribuer à ce dernier peut être aisément déterminée. En effet, la parabole $\Delta p = KQ^2$ passant par le point Z recoupe la caractéristique c au point Z' pour lequel on a $Q' = 44,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Suivant les lois de similitude de Rateau, le nombre de tours

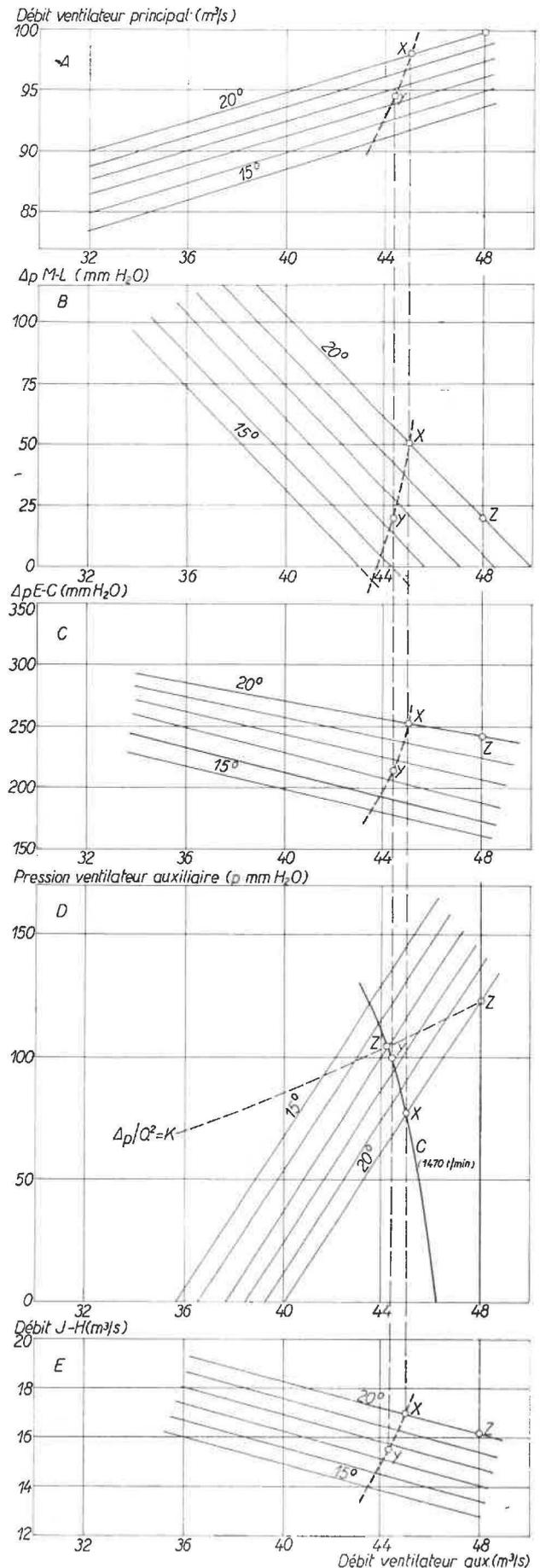


Fig. 16. — Représentation graphique des résultats de l'étude pour les Charbonnages du Borinage. Cette présentation permet de répondre à diverses questions sans refaire l'étude sur modèle.

nouveau à adopter sera $n' = n \frac{48}{44,2}$ tours/minute,
 n étant la vitesse qui correspond à la caractéristique c .

D'autres problèmes peuvent être résolus semblablement.

c. Les Houillères d'Anderlues nous ont également soumis un problème relatif à l'exploitation d'un quartier éloigné des puits, dont l'extension ultérieure sera considérable. Il s'agit d'utiliser au mieux les divers ventilateurs auxiliaires et les divers circuits dont on dispose pour l'aérage de ce quartier. Cette étude est toujours en cours.

B. Etude de la ventilation sur ordinateur électronique.

Certains problèmes exigent une représentation détaillée du réseau de ventilation (par exemple l'étude des fuites d'aérage au voisinage des puits). Pour les grands charbonnages (par exemple ceux de Campine), le modèle électrique devient alors important et l'étude relativement lente.

Pour ces cas spéciaux, l'emploi d'ordinateurs électroniques offre un intérêt certain. C'est pourquoi l'Institut d'Hygiène des Mines a établi des contacts avec l'International Business Machines of Belgium (IBM) et obtenu en prêt un programme pour l'étude de la ventilation des mines sur ordinateur IBM 1620.

Deux étudiants ingénieurs de la spécialité Mines ont entrepris comme travail de fin d'études l'établissement d'un schéma d'aérage détaillé à partir duquel ils reprennent une étude faite par l'Institut d'Hygiène des Mines avec un modèle plus sommaire. Ils se serviront d'une part d'un modèle électrique, d'autre part d'un ordinateur électronique.

Ceci permettra de comparer les deux méthodes et éventuellement d'améliorer la technique du calcul sur ordinateur.

C. Détermination des pertes de charge dans les puits.

a. A l'occasion de l'étude de la ventilation des Charbonnages André Dumont, nous avons abordé la question des pertes de charge locales qui se produisent dans les puits par suite de la présence d'obstacles tels que planchers de protection au-dessus des points de chargement, de treuils, etc., planchers de chargement aux niveaux d'encagement, planchers de choc, etc.

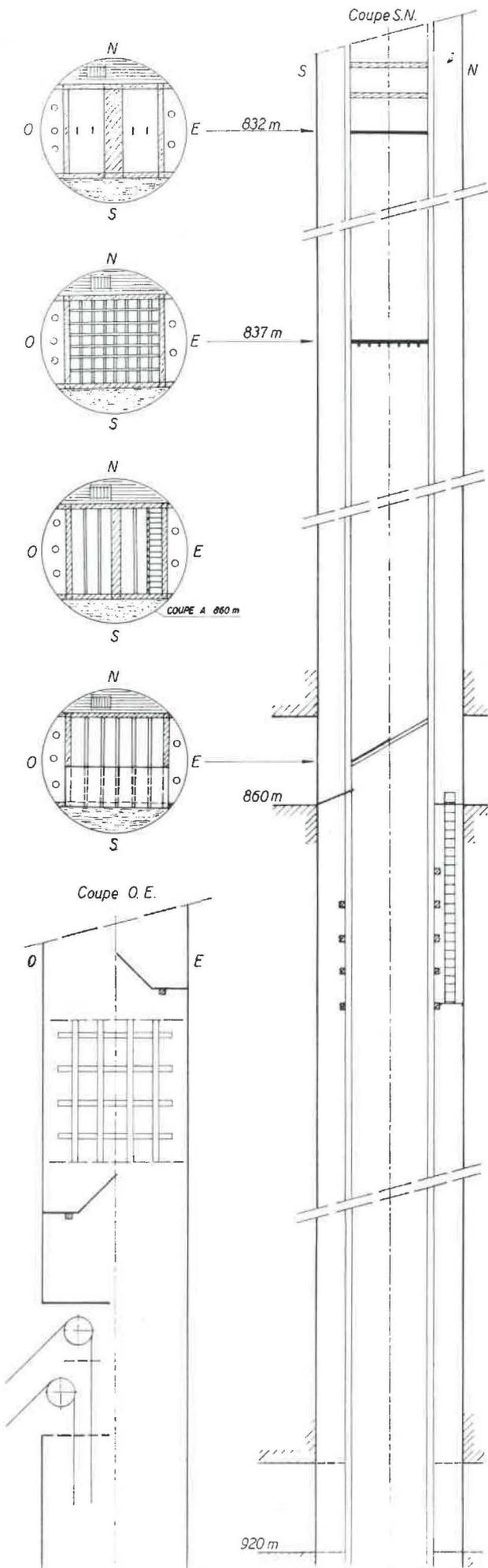


Fig. 17. — Equipement de la partie inférieure du puits de retour d'air des Charbonnages André Dumont comportant divers obstacles dont la résistance a fait l'objet de mesures.

Dans le cas particulier des Charbonnages André Dumont, la partie inférieure du puits de retour d'air présente un certain nombre de tels obstacles (cf. fig. 17). Cette disposition s'explique par le fait que, dans ce puits, l'extraction principale est effectuée entre le jour et le niveau de 807, tandis qu'un treuil assure la liaison entre les étages inférieurs.

En vue d'accroître le débit de l'étage de 1040 sans provoquer de surpression du puits de retour par rapport au puits d'entrée, le charbonnage avait envisagé de doubler par un burquin la partie la plus résistante du puits de retour, notamment de 807 à 920. Cette solution n'est évidemment intéressante que si le plancher de choc et les planchers de protection apportent une entrave importante à la circulation de l'air, ce que nous avons voulu vérifier.

Dans ce but, on a déterminé les débits d'air d'une part entre 860 et 920, d'autre part entre 860 et 807. Le premier débit a été mesuré dans une section horizontale du puits spécialement aménagée ; le débit entre 860 et 807 est la somme du précédent et de celui refoulé par le ventilateur auxiliaire de 860, mesuré à quelque distance en aval de celui-ci dans le bouveau. Par ailleurs, au moyen de flexibles et d'un micromanomètre, on a mesuré directement la perte de charge de 920 à 860, de 860 à 807 et de 860 à 837 environ (aval du plancher de choc). On a ainsi obtenu les résultats suivants :

— de 807 à 860 :

$$Q = 118 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta p = 10,25 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$\text{résistance } K = \Delta p/Q^2 = 0,000733 \text{ kmurgue,}$$

$$\text{résistance hectométrique } k_{100} = 0,00138 \text{ kmurgue/100 m.}$$

Cette mesure inclut les pertes de charge dans un rétrécissement de l'envoyage de 807 et au mélange des deux débits de 860, ainsi que celles provoquées par les obstacles mentionnés à la figure 17.

— de 860 à 920 :

$$Q = 52,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta p = 3,03 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$K = 0,00111 \text{ kmurgue,}$$

$$k_{100} = 0,00186 \text{ kmurgue/100 m.}$$

Cette mesure inclut la perte de charge due au rétrécissement de l'envoyage de 920 et celles provoquées par les obstacles mentionnés à la figure ; cependant la perte due au plancher de mesure aménagé à 860 a été défalquée.

A titre de comparaison, signalons que pour l'ensemble des puits, du jour à 700 m, la plus grande partie étant pourvue d'un cuvelage à nervures internes, on a estimé la résistance hectométrique à 0,00032 kmurgue/100 m. La partie mesurée est donc 5 fois plus résistante. Toutefois, les obstacles disposés dans le puits n'en sont pas les seuls responsables. En effet, la prise de pression supplémentaire

de 837 permet de calculer séparément la perte de charge du tronçon 807-837, qui est peu encombré. On trouve :

$$\Delta p = 3,84 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$k_{100} = 0,00083 \text{ kmurgue/100 m,}$$

cette valeur dépasse déjà le double de la résistance normale des puits.

Il nous paraît justifié de conclure que, lorsque la continuité de l'équipement est rompue par des envoyages souvent rapprochés (des distances de l'ordre de 10 diamètres ne sont pas rares), la résistance linéaire apparente des puits est accrue considérablement et peut dépasser le double de la valeur normale. Il est en tout cas dangereux d'extrapoler proportionnellement des mesures de résistance obtenues dans la partie supérieure des puits. Nous avons eu l'occasion de le vérifier plusieurs fois en établissant les modèles électriques de réseaux de ventilation minière.

b. A l'occasion d'une étude de la ventilation par l'analogie électrique, des mesures directes de perte de charge ont été effectuées sur les deux puits du siège de Tertre et les deux puits du siège de l'Espérance des Charbonnages du Borinage. Nous donnerons ci-après l'analyse détaillée des mesures relatives au siège de Tertre.

Les puits de ce siège ont un équipement pratiquement identique, schématisé à la figure 18 ; seuls diffèrent les emplacement de quelques tuyauteries. La maçonnerie est constituée de gros claveaux sur toute la hauteur des puits. Le débit d'air a été déterminé par points successifs dans le plan d'un ancien accrochage à l'étage de 375 m. La perte de charge

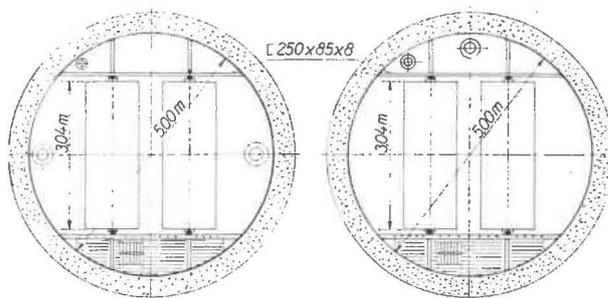


Fig. 18. — Schéma de l'équipement des puits du siège de Tertre des Charbonnages du Borinage.

a été mesurée du jour jusqu'au premier étage de retour, par la méthode des deux puits. Nous avons obtenu les résultats suivants :

- débit mesuré dans le puits de retour d'air : 61,43 m³/s ($\delta = 1,212 \text{ kg/m}^3$),
- débit moyen dans le puits de retour d'air : 62,30 m³/s ($\delta_m = 1,195 \text{ kg/m}^3$),
- débit moyen dans le puits d'entrée d'air : 57,86 m³/s ($\delta_m = 1,226 \text{ kg/m}^3$).

(la différence de débit entre les deux puits provient d'une part de la différence de poids spécifique et d'autre part de l'apport d'air comprimé dans les travaux).

Si on admet en première approximation que la résistance spécifique des deux puits est la même, cette perte de charge globale peut être répartie entre ceux-ci proportionnellement à la valeur du produit δLQ^2 pour chacun. On trouve ainsi :

- $\Delta p = 10,51$ mm H₂O pour le puits d'entrée, 11,65 mm H₂O pour le puits de retour,
- résistance des puits : $K = 0,00308$ kg s²/m⁸ pour le puits d'entrée et 0,00300 pour le puits de retour,
- résistance hectométrique : $k_{100} = 0,000680$ kg s²/m⁸ pour le puits d'entrée et 0,000663 pour le puits de retour,
- coefficient de perte de charge brut, calculé pour $D = 5$ m et $S = 19,62$ m² : $\lambda = 0,211$ pour les deux puits,
- coefficient de perte de charge rapporté à la section la plus encombrée : $\lambda' = \dots 0,522 \dots \lambda = \dots 0,110 \dots$; les différences d'équipement, dont il n'a pas été tenu compte dans la répartition de la perte de charge totale, donnent lieu à une légère variation du rapport λ'/λ .

En ce qui concerne la différence de signification des coefficients λ et λ' , on se référera utilement à nos publications antérieures [14] [15]. Rappelons que le coefficient ne dépend en principe que de la rugosité de l'ensemble des parois délimitant les divers compartiments.

La valeur de λ' est relativement élevée, ce qui s'explique par le faible écartement des traverses et leur profil défavorable au point de vue aérodynamique. D'ailleurs, si on admet que les surfaces de friction délimitant les différentes veines d'air ne sont que de deux types, à savoir les claveaux de béton et les alignements de traverses à 1,50 m d'intervalle, on peut poser :

$$\lambda' = \lambda_{\text{béton}} \cdot \frac{P_{\text{béton}}}{P_{\text{tot}}} + \lambda_{\text{trav}} \frac{P_{\text{trav}}}{P_{\text{tot}}}$$

En résolvant cette formule par rapport à λ_{trav} , après avoir remplacé λ' par 0,110, $\lambda_{\text{béton}}$ par 0,02 (paroi assez lisse avec $Re = 10^6$) et $P_{\text{béton}}/P_{\text{tot}}$ par 0,447, on trouve :

$$\lambda_{\text{trav}} = \frac{0,110 - 0,447 \times 0,020}{1 - 0,447} = 0,182.$$

Cette valeur est parmi les plus élevées que nous ayons obtenues, elle n'est cependant pas contradictoire avec les données de la littérature, en particulier avec celles reprises à la figure 16 de notre rap-

port annuel d'activité publié dans cette revue en 1962 [2]. Par ailleurs, il est clair que la précision d'une mesure isolée de pertes de charge n'est pas très élevée, compte tenu des tolérances cumulées sur les mesures de débit et de pertes de charge ainsi que sur les différents facteurs intervenant dans le calcul de λ et λ' . L'incertitude sur les coefficients λ_{trav} est a fortiori assez grande. Toutefois, l'accumulation et la confrontation de renseignements d'origines diverses permettra à la longue de dégager des valeurs plus sûres.

D. Amélioration du climat souterrain.

La concentration de l'exploitation en un petit nombre de chantiers très fortement mécanisés peut provoquer l'apparition de difficultés climatiques, même à profondeur modérée et à faible distance des puits. Nous avons été amenés à établir le bilan thermique et le bilan d'eau d'un chantier d'abattage situé à une profondeur de 700 m. Ces bilans ont prouvé que le climat était influencé défavorablement non seulement par l'emploi généreux de l'eau comme moyen de lutte contre les poussières, mais aussi par le grand nombre de moteurs électriques accumulés sur le parcours de l'air. Les remèdes suivants ont été proposés et un pronostic a été établi quant à leur efficacité :

- accroissement du débit d'air de ventilation ;
- utilisation de moyens de lutte contre les poussières plus économiques en eau (injection plus profonde, moins de pulvérisateurs) ;
- expérimentation de retardateurs d'évaporation à ajouter à l'eau d'injection ;
- comme palliatif ultime, remplacement d'un ou deux moteurs électriques par des engins à air comprimé.

La vérification de l'amélioration obtenue par ces mesures se fera de façon approfondie au cours de l'année prochaine.

E. Tarage d'instruments de mesure.

Nous avons poursuivi notre activité courante dans ce domaine en tarant 16 anémomètres et 5 baromètres, ces derniers à deux températures différentes.

Nous avons par ailleurs expérimenté un nouvel anémomètre électrique indicateur et enregistreur dont le fonctionnement est basé sur la mesure de la fréquence des interruptions d'un faisceau lumineux par les bras du moulinet.

3. ENQUETE

Nous sommes à même de donner les résultats provisoires de l'enquête que l'Institut effectue chaque

année sur l'étendue des moyens de prévention mis en œuvre dans les charbonnages belges pour lutter contre les poussières.

Nous trouvons au tableau VI (voir page 558), le développement des tailles auxquelles sont appliqués régulièrement des traitements humides : arrosage des fronts, injection d'eau en veine, havage humide et emploi de marteaux-piqueurs à pulvérisation d'eau. Nous avons fait la distinction en indiquant la longueur des fronts traités par une seule de ces méthodes combinée ou non à la pulvérisation d'eau en taille.

Au tableau VII (voir page 558), 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.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BRASSEUR L. — L'exploration fonctionnelle pulmonaire dans la pneumoconiose des houilleurs. — Bruxelles, Arcsia, Paris, Maloine, 1963, 343 p.
- [2] HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1962. — Ann. Mines Belgique, 1963, n° 5, 545/570.
- [3] BRASSEUR L. — Comparaison entre les troubles ventilatoires et les modifications des gaz du sang chez des houilleurs pneumoconiotiques en instance de pension. — Rev. Inst. Hyg. Mines, 1963, 18, 63/70.
- [4] BRASSEUR L. — Fonction pulmonaire des houilleurs pneumoconiotiques invalides et au stade terminal de leur évolution. — Rev. Inst. Hyg. Mines, 1963, 18, 71/79.
- [5] DONALD K., BISHOP J., CUMMINGS G. et WADE O. — The effects of exercise on the cardiac output and circulatory dynamics of normal subjects. — Clin. Sci, 1955, 14, 37/73.
- [6] LAVENNE F. — Le retentissement cardio-vasculaire de la silicose et de l'antraco-silicose. Contribution à l'étude du « cor pulmonale ». — Rev. belg. Path., 1951, 21, suppl. VI, 264 p.
- [7] LAVENNE F., BRASSEUR L., OELBRANDT L. et BELAYEW D. — Volumes pulmonaires et volume expiratoire maximum par seconde des pneumoconiotiques encore au travail. — Rev. Inst. Hyg. Mines, 1961, 16, 3/12.
- [8] MINETTE A. — Le traitement de la bronchite des houilleurs. Problèmes relatifs aux traitements anti-infectieux et bronchodilatateurs. — Rapport présenté à la réunion de la Commission « Thérapeutique » de la C.E.C.A. tenue à Lille les 28 et 29 mai 1963.
- [9] MINETTE A. — Contribution à la standardisation des épreuves pharmacodynamiques bronchodilatatrices. — Rapport présenté à la réunion de la Commission « Bronchite-Emphysème » de la C.E.C.A. tenue à Luxembourg le 25 juin 1963.
- [10] MINETTE A. et PATIGNY J. — Comparaison de divers bronchodilatateurs. Intérêt de l'orciprénaline en aérosols et en flacon doseur. — Rev. Inst. Hyg. Mines, 1964, 19, 67/88.
- [11] HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1960. — Ann. Mines Belgique, 1961, n° 5, 556/575.
- [12] HOUBERECHTS A. et DEGUELDRE G. — Evaluation de la nocivité et classement des empoussiérages miniers. 1962, 17, 251/258.
- [13] CARTIGNY S. — Les inhibiteurs d'évaporation de nappes d'eau, moyen d'améliorer le climat des mines. — Rev. Inst. Hyg. Mines, 1963, 18, 203/226.
- [14] HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1957. — Ann. Mines Belgique, 1958, 5, 387/420.
- [15] HOUBERECHTS A. et PATIGNY J. — Etude théorique et expérimentale des pertes de charge dans les puits. — Communication Inst. Hyg. Mines, 1957, 12, 146, 47 p.

(Prière de voir les tableaux en pages 558 et 559)

TABLEAU VI.
Développement des tailles (m) auxquelles sont
Situation au début des années 1963

Bassins administratifs	Campine		Liège	
	1963	1964	1963	1964
Années de référence				
Nombre de tailles actives	96	94	162	163
Longueur des fronts déhouillés (m)	17.642	17.129	14.757	14.535
I. Traitements appliqués au point de formation des poussières				
1. Développement total des tailles traitées (m) :				
— arrosage des fronts	—	1.217	514	400
— injection d'eau en veine	7.649	7.002	2.235	3.084
— havage humide	3.129	3.772	—	—
— piqueurs à pulvérisation d'eau	5.804	2.679	3.866	2.045
Longueur totale traitée	16.582	14.670	5.615	5.529
2. Longueur des fronts traités simultanément par plusieurs de ces procédés (m)				
	3.906	3.145	—	—
3. Longueur réelle traitée (m)				
	12.676	11.525	5.615	5.529
II. Traitement par pulvérisation d'eau en tailles.				
1. Développement total des fronts traités par pulvérisation d'eau (m)				
	9.398	9.337	4.523	5.962
2. Longueur des fronts traités par un des quatre procédés indiqués ci-avant, combiné à la pulvérisation en taille (m)				
	5.624	6.073	1.857	2.494
3. Longueur traitée uniquement par pulvérisation d'eau (m)				
	3.774	3.264	2.686	3.468
III. Longueur des fronts naturellement humides considérés comme peu poussiéreux (m)				
	1.326	1.521	2.726	2.462

* Dont 1080 m traités par infusion pulsée (minage sous eau). ** idem pour 2035 m.

TABLEAU VII.
Moyens de prévention normalement mis à la disposition du personnel dans les
Situation au début des années 1963 et 1964 (bouweaux,

Bassins administratifs	Campine		Liège	
	1963	1964	1963	1964
Années de référence				
Nombre de fronts en creusement	107	73	51	57
Fronts équipés de :				
1. Capteurs pour forage à sec	12 *	7 *	0	—
2. Perforateurs à adduction latérale d'eau	—	—	—	1
3. Perforateurs à injection centrale d'eau	89	64	51	55
Fronts avec prévention	101	71	51	56

* Dans les puits intérieurs principalement.

TABLEAU VI.
appliqués régulièrement des traitements humides.
et 1964 (résultats provisoires).

Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
1963	1964	1963	1964	1963	1964	1963	1964
176	148	19	21	25	21	478	447
18.753	17.314	2.390	2.985	4.041	3.835	57.585	55.798
706	750	—	—	—	—	1.220	2.367
6.981	8.816	1.220	840	2.486	3.577	20.571 *	23.319 **
677	—	—	—	—	—	3.806	3.772
2.850	1.761	—	—	—	—	11.520	6.485
11.214	11.327	1.220	840	2.486	3.577	37.117	35.943
10.489	10.296	—	—	—	—	4.631	4.176
725	1.031	1.220	840	2.486	3.577	32.486	31.767
8.544	8.460	293	1.540	2.452	2.385	25.210	27.684
3.244	3.879	—	840	1.195	2.385	11.900	15.671
5.300	4.581	293	700	1.257	—	13.310	12.013
1.385	2.056	393	516	298	565	6.128	7.120

TABLEAU VII.
travaux préparatoires au cours des opérations de foration (Résultats provisoires).
bancures, burquins, approfondissements de puits,...).

Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
1963	1964	1963	1964	1963	1964	1963	1964
68	85	5	8	2	8	233	231
3	2	1	—	—	—	16	9
—	—	—	—	—	—	—	1
58	78	4	8	2	8	204	213
61	80	5	8	2	8	220	223