

# L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1961

par A. HOUBERECHTS,

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

## SAMENVATTING

Onderhavig artikel over de activiteit van het Instituut voor Mijnhygiëne maakt deel uit van de reeks verslagen die sinds 1948 in de *Annalen der Mijnen* verschijnen.

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

Met betrekking tot de longfunctie heeft de vergelijkende studie van de ademhaling bij inspanning met open en met gesloten kringloop geleid tot een gezamenlijk onderzoek, door de medische en technische diensten van het Instituut, van de weerstand, bij het inademen en bij het uitademen, van zekere open kringlopen en van hun elementen. Dit werk vooral wordt in het artikel uitvoerig behandeld. Ook de technieken van het bepalen van de partiële druk van de zuurstof en het koolzuuranhydride in het slagaderlijk bloed worden kritisch bestudeerd. Deze verschillende methodes worden toegepast bij bovengrondse arbeiders van de mijnen, die zullen gebruikt worden als vergelijkingsgroep bij opzoekingswerk over de invloed van de pneumoconiose op de ademhalingsfunctie.

Proeven op dieren hebben toegelaten de letsels van silicose te doen ontstaan bij honden door inspuiting van silicium in de luchtpijp.

In samenwerking met het Coördinatiecentrum Reddingswezen van het Kempische Steenkolenbekken werden proefnemingen verricht met een nieuw ademhalingsstoestel met vloeibare lucht, van Engels fabrikaat.

Uitgaande van meer dan 1250 opnamen, heeft men berekend dat de « schadelijkheidsindex » van het stof in de mijnen in de meeste gevallen beneden 5 kan gehouden worden dank zij de toepassing van stofbestrijdingstechnieken. Uit een studie van het stofgehalte in verband met de beroepsbezigheden en de medische anamnese van mijnwerkers volgt dat er een verband bestaat tussen de eerste radiolo-

## 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 des travaux de recherches.

Au point de vue fonctionnel pulmonaire, la comparaison des méthodes en circuit ouvert et en circuit fermé pour l'étude des échanges respiratoires à l'effort a mené à une recherche commune des services médicaux et techniques de l'Institut sur les résistances inspiratoires et expiratoires de certains circuits ouverts et de leurs éléments. Ce travail est particulièrement développé dans cet article. Les techniques de mesure de la pression partielle d'oxygène et d'anhydride carbonique dans le sang artériel ont été également étudiées de façon critique. Ces diverses méthodes ont été appliquées à des ouvriers de surface des charbonnages, qui serviront de groupe témoin en vue d'une recherche sur l'influence de la pneumoconiose sur la fonction respiratoire.

L'expérimentation sur l'animal a permis de reproduire des lésions silicotiques par injection intratrachéale de silice chez le chien.

Des essais d'un nouvel appareil respiratoire à air liquide de fabrication britannique ont été effectués en collaboration avec le « Coördinatiecentrum Reddingswezen ».

Le calcul de l'« indice de nocivité » des empoussiérages miniers à partir des résultats de plus de 1.250 déterminations, montre que dans la majorité des cas, les indices sont ramenés à des valeurs inférieures à 5 grâce à la prévention technique des poussières. L'étude des empoussiérages en liaison avec l'activité professionnelle et l'anamnèse médicale

gische verschijnselen en de schadelijkheidsindex die voor de werkplaatsen werd voorgesteld. Het blijkt nu reeds mogelijk enerzijds grensgehalten vast te stellen die niet zouden mogen overschreden worden en anderzijds de stofhoudende atmosferen in vier klassen onder te brengen.

Op het domein van de conimetrie in de enge zin van het woord stelt men vast dat de telfout tengevolge van de bevuilding van de platen in de thermische precipitator voor en tijdens het opnemen van het stof begrepen zijn tussen 0,3 en 0,8 %. Een andere studie toont aan dat bij het doorlopend opnemen van stof gedurende een uur door middel van een thermische precipitator van een nieuw type (L.R.T.P.) de resultaten niet merkkelijk verschillen van de gemiddelde waarden bekomen met de gewone precipitator met deeltjes van 5 tot 1  $\mu$ , wanneer de deeltjes waaruit de kolenstofwolken zijn samengesteld een gemiddelde doormeter van 1,2  $\mu$  vertonen.

Wat het doseren van het vrije silicium aangaat stelt men vast dat de variëteiten agaat en calcedoon dezelfde oplosbaarheid vertonen in functie van hun fijnheidsgraad als de fijne poeders van zand, kwarts, kwartsiet en silex, terwijl dit echter niet het geval is voor opaal (amorfe gehydrateerde variëteit).

Vervolgens wordt melding gemaakt van de nog onvolledige resultaten van verscheidene onderzoeken met betrekking tot de stofbestrijding in Belgische mijnen. Het aantal der stofdeeltjes begrepen tussen 5 en 0,5  $\mu$  kon met 55 % verminderd worden in steile lagen en zelfs tot 70 % in zeer gestoorde pijlers, dank zij de inspuiting van water onder hoge druk. De teleïnjectie achter de macro-spletzone liet in een bepaald geval toe de index één punt lager te brengen dan met de klassieke methode het geval was.

De studie van de produkten die de verdamping vertragen werd voortgezet, en wel door de bepaling op experimentele schaal van de verdampingscoëfficiënt van bepaalde oplossingen en door menging van deze vloeistoffen met kolen die min of meer fijn verdeeld zijn. De resultaten bekomen in een atmosfeer met tamelijk hoge vochtigheidsgraad ( $\varphi = 0,85$ ) worden onder de vorm van diagrammen voorgesteld.

Op het gebied van de luchtverversing hadden de belangrijkste problemen, die door middel van de elektrische analoge voorstelling werden opgelost, betrekking op de verdeling van de luchtstroom in onderling verbonden zetels, waar de verbindingen tussen de netten diagonaal zijn aangebracht. Verschillende varianten die als zoveel type-problemen kunnen gelden, worden in bijzonderheden behandeld. In verband met het voorafbepalen van de luchtweerstand in de schachten kon aan de hand van de vermelde proefnemingen een betrekking opgesteld worden tussen de coëfficiënt die door het

d'ouvriers mineurs conduit à admettre une relation entre l'apparition du premier stade radiologique et l'indice de nocivité qu'on propose pour les chantiers. On entrevoit ainsi la possibilité de fixer d'une part les limites de l'empoussiérage de l'air qu'il conviendrait de ne pas dépasser et de classer d'autre part les atmosphères poussiéreuses en quatre catégories.

Dans le domaine de la conimétrie proprement dite, on constate que l'erreur de comptage due à la pollution des plaques du précipitateur thermique avant et pendant le prélèvement des poussières reste comprise entre 0,3 et 0,8 %. Une autre étude montre que le prélèvement continu des poussières pendant une heure au moyen d'un nouveau type de précipitateur thermique (L.R.T.P.) fournit des résultats qui ne diffèrent pas significativement des valeurs moyennes obtenues entre 5 et 1  $\mu$  au précipitateur standard, dans des nuages de poussières carbonneuses de diamètre médian voisin de 1,2  $\mu$ .

En ce qui concerne le dosage de la silice libre, on trouve que les variétés agate et calcédoine suivent la même loi de solubilité en fonction du degré de finesse que les poudres fines de sable, quartz, quartzite et silex mais qu'il n'en est pas de même pour l'opale (variété hydratée amorphe).

On fait ensuite état des résultats partiels obtenus au cours des différentes recherches entreprises dans les charbonnages belges, en matière de lutte contre les poussières. Les taux de réduction du nombre de particules de 5 à 0,5  $\mu$  ont atteint 55 % en dressant et jusque 70 % dans des tailles d'allure tourmentée, grâce à l'injection d'eau sous forte pression. L'injection profonde au-delà de la zone macrofissurée a fait gagner, dans un cas particulier, un point d'indice par rapport à l'injection classique.

L'étude des produits retardateurs d'évaporation s'est poursuivie, en recherchant les coefficients d'évaporabilité de certaines solutions dans des conditions expérimentales données et en mélangeant ces liqueurs à du charbon plus ou moins divisé. Les résultats effectués en atmosphère à degré hygrométrique assez élevé ( $\varphi = 0,85$ ) sont illustrés sous forme de diagrammes.

Dans le domaine de la ventilation, les problèmes les plus intéressants résolus par l'analogie électrique consistent à étudier la répartition des courants d'air entre sièges interconnectés, les variantes, constituant des problèmes-types, sont examinées en détail. En ce qui concerne la prévision des résistances opposées à l'écoulement de l'air dans les puits, les expériences relatées conduisent à l'établissement d'une relation

Instituut voor Mijnhygiëne gebruikt wordt om de weerstand van op een rij geplaatste dwarsbalken aan te duiden en de « sleepcoëfficiënt » die door sommige Engelse deskundigen bij hun proeven wordt gebezigd.

### INHALTSANGABE

Der vorliegende Bericht über die Tätigkeit des Belgischen Instituts für Bergbauhygiene setzt die traditionelle Folge der in den Annales des Mines seit 1948 veröffentlichten Berichte fort.

Neben den planmässigen Untersuchungen von Kohlenbergleuten führte die Medizinische Abteilung ihre Forschungsarbeiten weiter. Sie und der technische Dienst des Instituts leisteten gemeinsame Arbeit zur Klärung der Atemwiderstände bei Ein- und Ausatmung in offenen Kreisläufen und deren Einzelabschnitten. Diese Klärung ist vom Standpunkt der funktionellen Lungentätigkeit bei Anstrengungen im offenen und geschlossenen Kreislauf wichtig und wird im vorliegenden Bericht besonders gewürdigt. Dabei werden auch die einzelnen Messverfahren des Sauerstoff- und Kohlendioxidpartialdrucks im arteriellen Blut kritisch beleuchtet. Sie fanden Anwendung bei Tagesarbeitern der Bergwerke und sollen als Beleg für den Einfluss der Pneumokoniose auf die Atmungsfunktionen dienen. Tierversuche an Hunden machten es möglich silikotische Schädigungen durch intratracheale Injektion von Kieselsäure künstlich zu erzeugen. Zusammen mit dem Koordinationzentrum der Grubenrettungsstellen des Campinebezirks wurde ein neuesritisches Atemgerät ausprobiert, welches mit flüssiger Luft arbeitet.

Bei der Errechnung des Schädlichkeitsindex aus den Verstaubungsgraden unter Tage zeigte es sich auf Grund von 1.250 Bestimmungen, dass der Index in den meisten Fällen unter 5 lag als Folge der technischen Massnahmen der Staubverhütung. Das Zusammenstellen von Verstaubungsgraden, Tätigkeitsarten und ärztlichen Befunden liefert eine Beziehung zwischen Auftreten des ersten radiologischen Stadiums und dem für die einzelnen Arbeitspunkte vorzuschlagenden Schädlichkeitsindex. Die zulässigen Höchstgehalte der Atemluft an Staub lassen sich so je nach Arbeitsart gegeneinander abgrenzen und in vier Kategorien unterteilen.

Auf konimetrischem Gebiete bestätigte sich der Fehlerspielraum von 0,3 bis 0,8 % beim thermischen Niederschlagen der Staubartikel. Dabei verschmutzen die Plättchen vor und während der Probe, wodurch dann Zählfehler entstehen. Die neue Bauart eines thermischen Präzipitators (L.R.T.P.) vermeidet dies und liefert eine Stunde lang brauchbare Ergebnisse. Sie weichen nicht zu stark von den an Stäuben zwischen 5 und 1 Mikron erhaltenen Mittelwerten ab, welche mit dem Stan-

entre le coefficient par lequel on caractérise à l'Institut d'Hygiène des Mines la résistance d'un alignement de traverses et le « coefficient de traînée » adopté par certains expérimentateurs britanniques.

### SUMMARY

The present article on the activity of the Institute of Mining Hygiene is the latest in the traditional series of reports published in the Annals of the Mines since 1948.

In addition to the systematic medical examination of miners, the Medical Section has carried out research work.

From the pulmonary functional point of view, the comparison between open-circuit and closed-circuit methods for the study of respiratory exchanges during effort led to combined research by the medical and technical departments on the inspiratory and expiratory resistances of certain open circuits and their elements. The work is related in detail in this article. The techniques for measuring the partial pressure of oxygen and carbon dioxide in arterial blood have also been examined critically. These various methods have been applied to men working at the surface of the coal mines which will serve as test groups for the purpose of research into the influence of pneumoconiosis on the respiratory function.

By experimenting with animals, it was possible to reproduce silicotic lesions by intratracheal injection of silica in the dog.

Tests with a new liquid air respirator of British manufacture were carried out in collaboration with the Centre of Coordination of the Rescue Centres of the Campine Basin.

The calculation of the « index of noxiousness » of air dustiness from results of over 1.250 assessments shows that, in the majority of cases, the indices are reduced to values lower than 5, thanks to the technical prevention of dust. The study of air dustiness in connection with professional activity and the medical anamnesis of mineworkers leads to the conclusion that there is a relation between the appearance of the first radiological stage and the index of noxiousness proposed for the working places. One can thus foresee the possibility of fixing, on the one hand, the limits of air dustiness not to be exceeded, and on the other hand, the classification of dusty atmospheres into four categories.

In the realm of konimetry proper, it is observed that the error in calculation due to the pollution of the plaques of the thermic precipitator before and during the sampling of the dust remains between 0.3 and 0.8 %. Another study shows that the continual sampling of dust for one hour by means of a new

ardkonimeter an Kohlenstäuben von 1,2 Mikron mittlerem Durchmesser anfallen.

Bezüglich der Dosierung an freier Kieselsäure ergibt sich für die Varietäten Achat und Chalzedon das gleiche Löslichkeitsgesetz in Funktion des Feinheitsgrades wie für die feinen Sande, Quarze, Quarzite und Feuersteine. Dagegen verhält sich die wasserhaltige amorphe Varietät Opal abweichend.

Der Bericht gibt einen Ueberblick über den Stand der Teilergebnisse, welche im Kampfe gegen den Staub in belgischen Kohlengruben bis jetzt erreicht wurden. Die Partikelzahl in der Raumeinheit an 5 bis 0,5 Mikron grossen Teilchen wurde um 55 % in steiler Lagerung, um 70 % in gestörten Streben vermindert, beides durch Stosstränkung mit Wasser unter hohem Druck. Tränkung über die makroskopische Rissbildung des Kohlenstosses hinaus ergab in einem besonderen Falle eine so niedrige Partikelzahl wie bei der klassischen Injektion.

Weiter betrieben wurde auch die Erforschung der Verdampfbarkeit von flüssigen Zusätzen und Lösungen zu fein verteilter Kohle, um mit ihnen eine längere Bindung von Feststoff und Flüssigkeit zu erreichen. Diagramme der Verdampfbarkeit unter Bedingungen eines genügend hohen hygrometrischen Gehaltes der Lufteinströmung ( $\varphi = 0,85$ ) wurden gezeichnet.

Auf dem Gebiete der Lüftung bot sich als wichtiges Problem die Wetterführung und Wetterverteilung nach Analogie des elektrischen Strommodells. Sie wurde besonders zwischen Verbundschächten und durch Diagonale des Wetternetzes untersucht. Das Institut bearbeitete dabei Einzelfragen, wie sie typisch auftreten. Der Wetterfluss in Schächten wurde weiter geprüft; dabei zeigten sich Wege zur Verbindung der vom Institut zur Widerstandsbestimmung benutzten Formel nach der linearen Ausrichtung der Schachteinbauten und des aus britischen Versuchen bekannten « Streifenkoeffizienten ».

type of thermic precipitator (L.R.T.P.) gives results which do not differ much from the average values obtained between 5 and 1  $\mu$  with the standard precipitator, in clouds of coal dust with a median diameter of about 1.2  $\mu$ .

With regard to the measurement of free silica, it is found that the agate and chalcedony varieties follow the same law of solubility in function of the degree of fineness as fine powdered sand, quartz, quartzite and silex, but this is not so in the case of opal (hydrated amorphous variety).

Then follows an account of the partial results obtained from various kinds of research work undertaken in Belgian coal mines in connection with dust suppression. The rates of reduction of the number of particles from 5 to 0.5  $\mu$  reached 55 % in steep seams and as much as 70 % in faulted seams, thanks to the injection of water under strong pressure. Deep injection beyond the macrofissured zone in one case resulted in a gain of one index point as compared with the orthodox injection.

The study of products which delay evaporation is being pursued; the coefficients of the evaporability of certain solutions are being investigated in given experimental conditions and by mixing these liquids with more or less divided coal. The results obtained in an atmosphere with a fairly high hygrometric degree ( $\varphi = 0.85$ ) are illustrated in diagrams.

With regard to ventilation, the most interesting problems are the study of the distribution of air flow between interconnected collieries, in which the links form diagonals in the ventilation system. Several variations, constituting typical problems are examined in detail. Concerning the predetermination of resistances to the outflow of air into the shafts, the experiments related result in the establishment of a relation between the coefficient whereby the Institute of Mining Hygiene characterizes the resistance of an alignment of traverses and the « air lag coefficient » adopted by certain British experimenters.

## SOMMAIRE

### Introduction.

#### I. — Travaux de la Section Médicale.

1. Examens médicaux systématiques.
2. Mise au point de techniques au laboratoire d'exploration fonctionnelle cardiopulmonaire.
  - A. Comparaison des méthodes en circuit ouvert et en circuit fermé pour l'étude de la fonction respiratoire à l'effort chez les houilleurs.
  - B. Mise au point d'un circuit ouvert peu résistant pour le prélèvement des gaz expirés.
3. Etude de la fonction pulmonaire chez des ouvriers de surface des charbonnages.
4. Silicose expérimentale chez le chien.
5. Entraînement des sauveteurs aux hautes températures.
- C. Etude critique des techniques de mesure de la pression partielle d'oxygène ( $p_a, O_2$ ) et de la pression partielle d'anhydride carbonique ( $p_a, CO_2$ ) dans le sang.

## 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. Etude de la ventilation des mines par l'analyse électrique.
- B. Prévision des résistances opposées pour les ouvrages miniers à l'écoulement de l'air.

### 3. Enquête.

## INTRODUCTION

Nos lecteurs constateront que cette année notre rapport d'activité est sensiblement plus condensé que celui des dernières années. Nous rappelons à ce propos que depuis 1960 l'Institut d'Hygiène des Mines édite un périodique qui paraît trimestriellement, la « Revue de l'Institut d'Hygiène des Mines ». Cette publication remplace nos anciennes Communications polycopiées et donne un compte

rendu détaillé des diverses recherches effectuées par les Sections Médicale et Technique.

C'est pourquoi nous nous sommes contentés cette année de citer en grandes lignes les travaux effectués en nous référant à la Revue de l'Institut d'Hygiène des Mines et de ne nous arrêter qu'à certains points que nous n'avons pas encore eu l'occasion de diffuser dans notre publication.

## I — TRAVAUX DE LA SECTION MEDICALE

### 1. Examens médicaux systématiques.

Pour l'année 1961, nous totalisons 1211 examens médicaux effectués à l'Institut d'Hygiène des Mines, contre 861 en 1960. Les différents charbonnages nous ont envoyé 391 ouvriers pour mise au point d'un diagnostic difficile, tandis que 322 malades nous étaient adressés par les caisses de pension et 498 patients par les mutuelles, les dispensaires et les médecins traitants. Tous ont subi les examens spéciaux approfondis que réclamait leur état. Notons cependant que, parmi ces 1211 examens, il y avait 93 ouvriers encore au travail qui avaient été invités à se présenter à l'Institut dans un but de recherche.

### 2. Mise au point de techniques au laboratoire d'exploration fonctionnelle cardiopulmonaire.

#### A. Comparaison des méthodes en circuit ouvert et en circuit fermé pour l'étude de la fonction respiratoire à l'effort chez les houilleurs.

Le travail entrepris en 1959 par le Dr. J.D. Moreau sur la comparaison des données ventilatoires enregistrées chez 60 houilleurs, pour un même effort, d'une part avec respiration en circuit ouvert et d'autre part avec respiration en circuit fermé (dans le metabographe de Fleisch) a été terminé et publié (1). Alors que la consommation d'oxygène et l'excrétion de CO<sub>2</sub> obtenues par l'une et l'autre méthode sont identiques à 1 % près, le débit ventilatoire, la fréquence respiratoire et les équivalents respiratoires pour l'oxygène et le CO<sub>2</sub> sont statistiquement plus faibles par la technique en circuit ouvert.

Un travail entrepris par le Dr. L. Brasseur (2) sur la comparaison des gaz du sang à l'effort chez un même sujet respirant d'une part en circuit ouvert et d'autre part en circuit fermé a permis d'attribuer

les différences constatées par J. D. Moreau à la résistance du circuit ouvert employé. Le passage du circuit fermé à un circuit ouvert, dont les résistances ne sont pourtant que modérées, entraîne une réduction de la ventilation avec bradypnée et diminution de la ventilation alvéolaire, amenant une désaturation du sang artériel et une rétention de CO<sub>2</sub>. Ces modifications de la ventilation et des gaz du sang sont analogues à celles qu'ont observées les auteurs qui ont étudié le comportement de ces données biologiques sous l'effet des résistances inspiratoires et expiratoires accrues.

#### B. Mise au point d'un circuit ouvert peu résistant pour le prélèvement des gaz expirés.

Si l'on veut étudier les gaz du sang à l'effort, il est donc essentiel que le circuit employé soit aussi peu résistant que possible. Cette condition est plus facilement remplie pour les circuits fermés, où la respiration est aidée par une pompe, que pour les circuits ouverts. Les circuits fermés ont par contre un inconvénient : la difficulté de maintenir constant le taux d'oxygène de l'air inspiré, ce qui peut influencer la pression partielle d'oxygène dans le sang et rend impossible le calcul du gradient alvéolo-artériel pour l'oxygène. D'où la nécessité d'avoir à sa disposition un circuit ouvert ayant une résistance minimum surtout à l'expiration.

L. Brasseur, G. Degueldre, J.D. Moreau et J. Tremouroux ont testé la résistance de divers types de valves, de tuyauteries, de robinets et de sacs en caoutchouc et en matière plastique de manière à obtenir un montage ayant un minimum de résistance, sans que la valve comporte un espace mort trop considérable (3).

En ce qui concerne les soupapes, de nombreux modèles ont été décrits, les inventeurs essayant de combiner les avantages d'un espace mort réduit et d'une faible résistance (4) (5) (6) (7) (8). On s'est cependant borné aux soupapes les plus utilisées en physio-pathologie respiratoire, auxquelles ont été joints quelques prototypes qui paraissaient intéressants. Le tableau I rassemble les indications relatives à la provenance des diverses soupapes étudiées, ainsi qu'à leur espace mort.

TABLEAU I.

Nomenclature des soupapes respiratoires étudiées.

N <sup>o</sup>	Dénomination	Espace mort (cm <sup>3</sup> )
1	Siebe Gorman	30
2	Collins Plastic « J » valve (two-way)	82
3	Hans Rudolph high velocity valve	80
4	Otis-McKerrow valve	170
5	Soupape de Dejours	52
6	Soupape de Billiet (*)	— (**)
7	Prototype « P »	65

(\*) Valve construite à la clinique universitaire Sainte-Barbe, à Pellenberg, par L. Billiet et J. Naedts.  
(\*\*) Espace mort théoriquement nul.

Les caractéristiques des flexibles étudiés sont mentionnées au tableau II.

Quant aux robinets à 3 voies, ils sont au nombre de 3 ; leurs dimensions et caractéristiques techniques principales sont décrites à la figure 1.

Enfin, on a expérimenté les sacs de prélèvement suivants.

n<sup>o</sup> 1 : sac de Douglas, en caoutchouc, sans soufflet, d'une contenance de 150 litres, à paroi d'environ 1 mm d'épaisseur ;

n<sup>o</sup> 2 : sac de Douglas, en caoutchouc, à soufflet, ayant pratiquement la même contenance et les mêmes caractéristiques ;

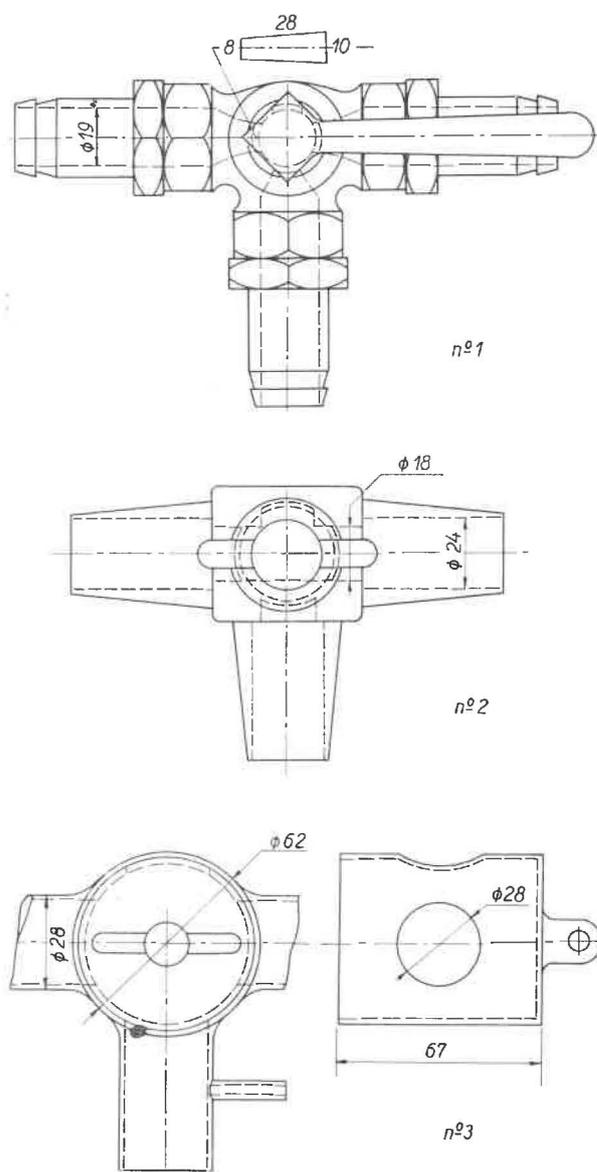


Fig. 1. — Croquis de 3 robinets à 3 voies utilisés dans des dispositifs de prélèvement de gaz expirés en circuit ouvert.

n<sup>o</sup> 3 : sac en néoprène latex (Collins meteorological balloon) d'une capacité nominale de 120 litres, très léger et à paroi fort mince ;

n<sup>o</sup> 4 : sac en matière plastique à soufflet, d'une contenance de 150 litres.

TABLEAU II.

Caractéristiques principales des flexibles étudiés.

N <sup>o</sup>	Type	Matière	Diamètre intérieur	Longueur (m)
1	chenille	caoutchouc	1 pouce	1,20
1'	chenille	caoutchouc	1 pouce	0,80
2	lisse	caoutchouc	32 mm	0,80
3	lisse	caoutchouc	35 mm	0,80
4	lisse	matière plastique	27 mm	0,80

En raison de la qualité et de la finesse de sa paroi, le sac en néoprène latex présentait un risque particulier de diffusion du CO<sub>2</sub> récolté ; on a vérifié que ce phénomène ne se produit pas si l'on prend soin de ne pas conserver les gaz expirés plus de 30 minutes dans le sac.

L'étude de la résistance offerte à la respiration par les divers éléments d'un circuit ouvert a montré qu'une part importante de la résistance expiratoire peut être étrangère à la valve : dans un circuit ouvert d'usage courant, celle-ci ne représentait que 30 % environ de la résistance expiratoire totale. Des éléments sont à rejeter d'office, comme certains tubes-chenilles, pourtant classiques, qui présentent une perte de charge de l'ordre de 20 mm H<sub>2</sub>O par mètre, pour un débit de 150 litres/minute. La construction du robinet à 3 voies joue également un rôle important, de même que le choix du sac, si le prélèvement dépasse 100 à 120 litres.

En ce qui concerne les valves, les moins résistantes sont l'Otis-McKerrow et la soupape de Dejours, cette dernière ayant en outre l'avantage d'un espace mort 3 fois moindre.

On a ainsi mis au point un circuit ouvert très peu résistant, qui, pour un débit d'air continu de 150 litres/minute, offre une résistance de 12,5 mm H<sub>2</sub>O à l'expiration (sac exclu) et de 8,5 mm H<sub>2</sub>O à l'inspiration, alors qu'un circuit ordinaire voit ces résistances s'élever respectivement à 70,5 et 17,5 mm H<sub>2</sub>O pour le même débit.

Les variations individuelles dans la morphologie des courbes pneumotachographiques et surtout dans le débit ventilatoire accentuent encore ces différences : c'est ainsi que chez un nombre non négligeable de sujets, la résistance maximum rencontrée à l'expiration à travers un circuit ouvert classique peut dépasser 100 mm H<sub>2</sub>O pour un effort de 120 watts effectué, en position couchée, sur un cyclo-ergomètre. Par contre, le circuit amélioré élaboré à l'Institut d'Hygiène des Mines a l'avantage non seulement d'offrir une résistance à l'expiration particulièrement basse (5 fois moindre que celle du circuit usuel), mais aussi de rendre négligeables les fluctuations individuelles de résistance expiratoire. En utilisant ce circuit, on réduit au maximum les causes d'erreur lors de la comparaison de divers sujets exécutant une même épreuve d'effort.

Enfin, les études effectuées en débit d'air alternatif ont montré qu'on peut prédire de façon précise la résistance respiratoire rencontrée par un sujet raccordé à un circuit ouvert quelconque à partir de courbes analogues à celles des figures 2 à 7 dérivant de mesures en débit continu, à condition de se référer au débit maximum instantané du cycle respiratoire. Si on tient compte de la dispersion élevée de ce débit chez divers sujets effectuant un même effort,

correspondant à une puissance de 120 à 150 W, le débit continu de référence doit atteindre 150, voire 200 litres/minute.

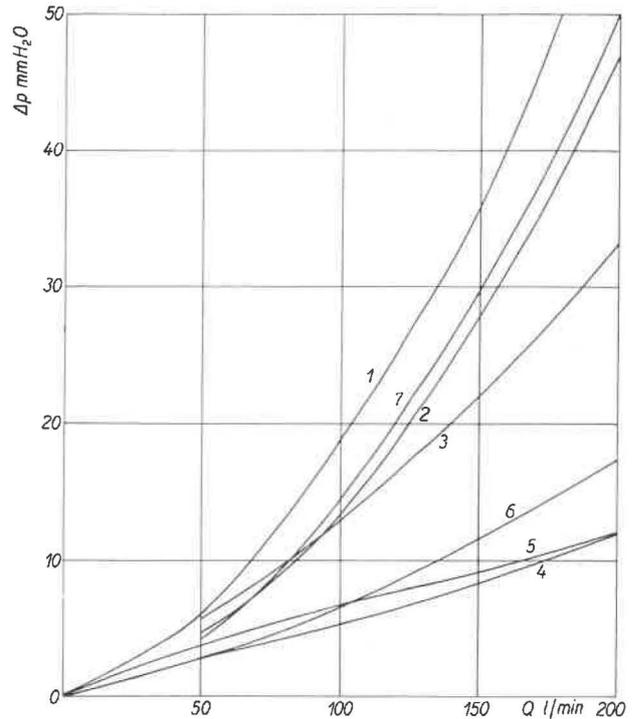


Fig. 2. — Relation entre le débit et la chute de pression à l'expiration des 7 soupapes étudiées, décrites au tableau I. Mesures effectuées en débit continu.

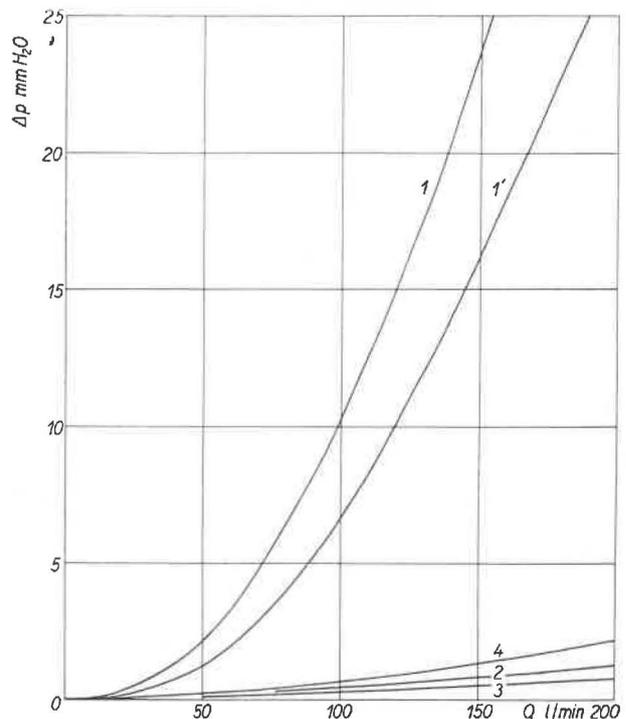


Fig. 3. — Relation entre le débit et la chute de pression à travers divers tuyaux ou flexibles décrits au tableau II. Mesures effectuées en débit continu.

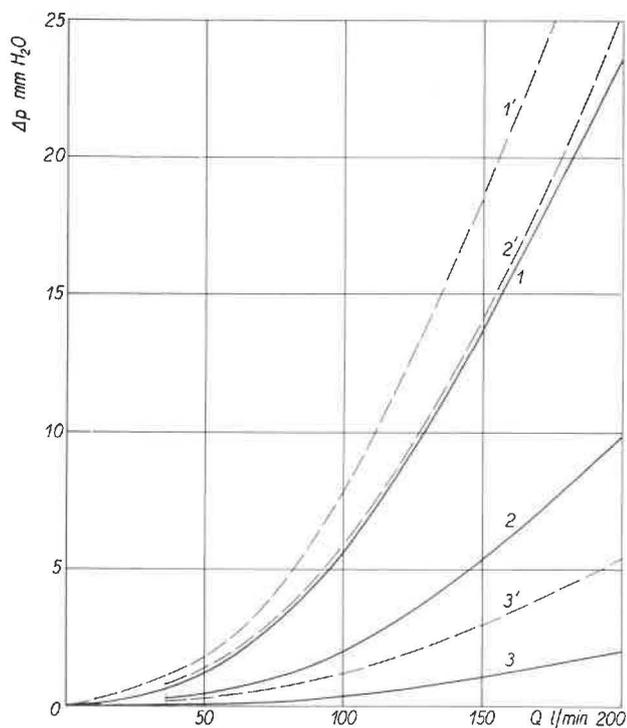


Fig. 4. — Relation entre le débit et la chute de pression à travers les robinets à 3 voies décrits à la figure 1. Mesures effectuées en débit continu.  
 — passage direct  
 - - - passage à angle droit

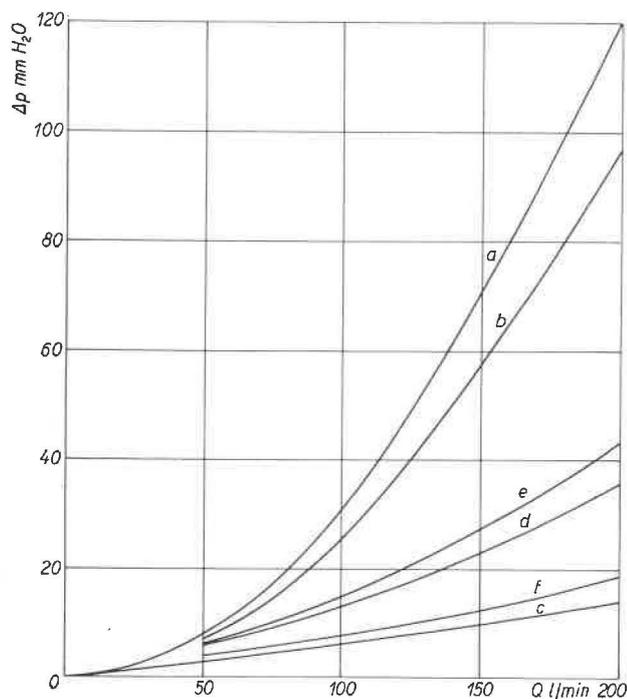


Fig. 5. — Relation entre le débit et la chute de pression à travers divers dispositifs de prélèvement des gaz expirés, sac exclu. Le circuit a, utilisé initialement, a été finalement remplacé par le circuit f; c a été rejeté à cause du trop grand espace mort de sa valve (n° 4 du tableau I).

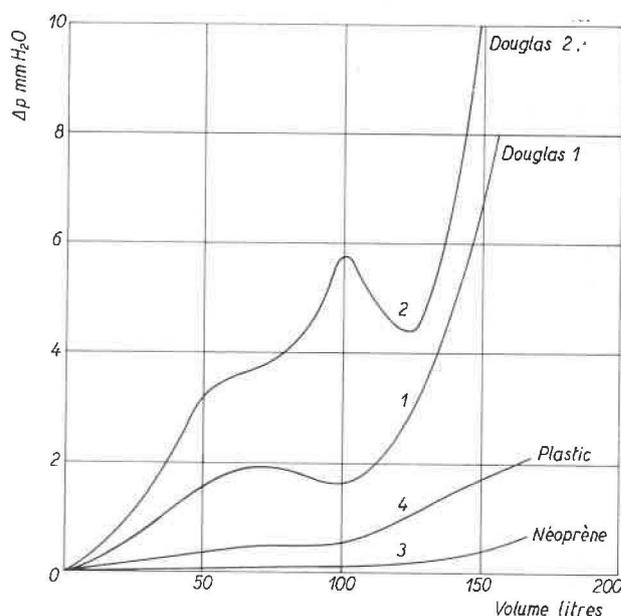


Fig. 6. — Surpression à l'intérieur des sacs de collection des gaz expirés en fonction du volume emmagasiné.

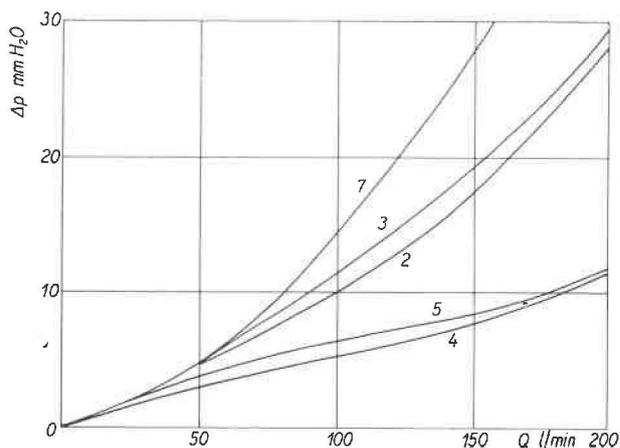


Fig. 7. — Relation entre le débit et la chute de pression à l'inspiration de quelques soupapes étudiées reprises au tableau I. Mesures effectuées en débit continu.

**C. Etude critique des techniques de mesure de la pression partielle d'oxygène ( $p_{aO_2}$ ) et de la pression partielle d'anhydride carbonique ( $p_a CO_2$ ) dans le sang.**

Le Dr. L. Brasseur a entrepris une étude critique des techniques employées pour mesurer les pressions partielles d'oxygène et de  $CO_2$  dans le sang artériel.

Pour la  $p_{a, O_2}$  il s'est servi de la technique à la bulle de Riley, après avoir établi des courbes empiriques de correction à partir du dosage de la  $p_{a, O_2}$  d'échantillons de sang équilibrés en tonomètre avec des mélanges gazeux de composition connue, déterminée par dosage à l'appareil de Scholander. La déviation standard trouvée par l'auteur pour deux déterminations successives de la  $p_{a, O_2}$  est de 2,31 mm Hg (9).

La  $p_{a,CO_2}$  a été calculée à partir du dosage du  $CO_2$  total du sang et du  $p_H$  du plasma par application de l'équation de Henderson-Hasselbach (10). La validité de la méthode a été testée par détermination de la  $p_{a,CO_2}$  d'échantillons de sang équilibrés en tonomètre avec des mélanges gazeux de composition connue. Cette étude a permis de retenir pour la  $p_K$ , de l'équation de Henderson-Hasselbach, la valeur de 6,091 proposée par Severinghaus. L'erreur standard d'une détermination de la  $p_{a,CO_2}$  par cette méthode est inférieure à 1 mm Hg (11).

### 3. Etude de la fonction pulmonaire chez des ouvriers de surface des charbonnages.

En vue d'une recherche sur les paramètres respiratoires et les gaz du sang, au repos et à l'effort, dans un groupe de houilleurs pneumoconiotiques encore au travail au fond, ces données ont été étudiées par L. Brasseur (12) dans un groupe de 16 ouvriers de surface d'un âge comparable (35 à 45 ans) et sans plaintes pulmonaires.

En dehors des examens de routine (interrogatoire, examens clinique, électrocardiographique, radiographique et spirométrique), ces 16 ouvriers ont subi les investigations suivantes : étude des gaz expirés et des gaz du sang, au repos et au cours d'un effort de 120 W durant 10 min en position couchée sur le cyclo-ergomètre de Fleisch, le sujet respirant en circuit ouvert ; ensuite enregistrement continu de la ventilation et des échanges respiratoires au cours d'un effort de 150 W durant 20 min sur un tapis roulant, avec respiration en circuit fermé.

Les techniques employées pour ces investigations ont été décrites et, pour chacun des points étudiés, les valeurs individuelles ont été indiquées avec leurs moyennes et leurs déviations standards.

Au repos, la  $p_{a,O_2}$  est en moyenne de  $91,2 \pm 6,6$  mm Hg et le gradient alvéolo-artériel pour l'oxygène de  $13,4 \pm 7,1$  mm Hg ; la dispersion affectant ces deux valeurs est assez grande. Ce gradient au repos est plus élevé que diverses valeurs publiées.

A l'effort, la  $p_{a,O_2}$  est en moyenne de  $93,8 \pm 4,5$  mm Hg et le gradient alvéolo-artériel pour l'oxygène de  $15,9 \pm 5$  mm Hg, la dispersion pour ces deux valeurs étant donc plus faible qu'au repos.

La comparaison des valeurs du  $p_H$  du  $CO_2$  total du plasma et de la  $p_{a,CO_2}$ , obtenues au repos et durant la 10<sup>e</sup> minute d'un effort de 120 W sur le cyclo-ergomètre de Fleisch, montre que ce type d'effort provoque une certaine acidose métabolique entraînant en moyenne une chute du  $p_H$  de 7,416 à 7,383.

L'effort sur tapis roulant, estimé à un minimum de 150 W (selon la formule de Margaria) et d'une durée de 20 min, est plus facilement exécuté et entraîne en moyenne une consommation d'oxygène moindre qu'un effort de 120 W en position couchée sur le cyclo-ergomètre de Fleisch. On doit donc être

prudent dans la comparaison des données recueillies au cours d'efforts exécutés sur des ergomètres différents. L'intensité de l'effort doit être exprimée en fonction de la quantité d'oxygène consommée plutôt qu'en fonction du travail mécanique estimé.

### 4. Silicose expérimentale chez le chien.

Le Dr. F. Meersseman a réalisé la partie anatomopathologique d'une recherche sur la silicose expérimentale du chien entreprise à l'Institut Bunge d'Anvers par le Dr. Van Bogaert et ses collaborateurs (13).

La recherche a porté sur 20 chiens, dont un a été suivi jusqu'à 40 mois après le début des injections. L'empoussièrement a été réalisé par des instillations intratrachéales répétées (8 à 15 fois par an) de 0,10 à 0,60 g de quartz en suspension dans de l'eau distillée. La granulométrie des particules de quartz a été déterminée : 94 % d'entre elles ont un diamètre inférieur à 5  $\mu$ .

A l'examen bronchoscopique, on a constaté, après les injections, des phénomènes congestifs et oedémateux au niveau de la muqueuse bronchique. Cette réaction disparaissait généralement au bout de 15 jours. Les bronchographies répétées tous les 6 mois n'ont montré aucune modification, même 40 mois après la première injection. D'ailleurs, les lésions histologiques des grosses bronches se sont montrées minimales.

Les premiers nodules radiologiquement décelables sont apparus après un an, chez un animal ayant reçu jusqu'alors une dose totale de 5,6 g de quartz, et les premières confluences se sont marquées sur la radiographie, 16 mois après le début de l'expérience, chez un chien ayant reçu à ce moment un total de 8 g de quartz.

Au point de vue anatomopathologique, les lésions trouvées sont comparables à celles décrites dans la silicose humaine : amas de phagocytes chargés de poussières, granulomes à poussières, amas fibroconiotiques, nodules silicotiques et pseudotumeurs. Celles-ci n'ont été trouvées que chez les animaux ayant reçu au moins 10 g de quartz. L'importance de ces lésions n'est pas strictement parallèle à la quantité de quartz reçue. On ne trouve pas non plus de corrélation entre la gravité des lésions et le produit (exprimé en grammes de quartz  $\times$  années) de la quantité de quartz reçue par le temps durant lequel chaque dose a pu exercer son action fibrogène. Des différences individuelles de réceptivité ont pu jouer un rôle, mais il est possible que la manière dont ont été réparties les doses annuelles de quartz ait influencé les résultats.

Il est donc facile de provoquer chez le chien, par des instillations intrabronchiques de suspensions de poussières de quartz, une silicose expérimentale allant jusqu'à la formation de condensations pseudotumorales. Cette conclusion va à l'encontre de l'opi-

nion généralement admise du peu de réceptivité du chien à la silicose. Il sera donc possible d'effectuer chez le chien des comparaisons anatomo-physiologiques qui pourront éclairer la pathogénie du retentissement cardiaque des pneumoconioses.

### 5. Entraînement des sauveteurs aux hautes températures.

L'entraînement progressif aux hautes températures de 401 sauveteurs de la Centrale de Sauvetage du Bassin de la Campine (Coördinatiecentrum Reddingswezen) s'est poursuivi sous la surveillance des Dr. P. Leyh et J. Weeckers, en augmentant chaque fois la température sèche et la température humide de 2 °C et en écartant les sujets qui à deux reprises présentaient une température interne, des réactions cardio-vasculaires ou des réactions digestives anormales pour le climat considéré. Parmi ces 401 sauveteurs, 123 ont été jusqu'ici éliminés. Nous nous proposons à la fin de l'entraînement de reprendre ces

dossiers et d'essayer de dégager les critères qui auraient permis de prévoir au moins certaines de ces réactions défavorables : âge, pouls, réaction à un effort à température normale, ...

D'autre part, la recherche sur la comparaison des appareils respiratoires employés au cours du sauvetage aux hautes températures a subi une nouvelle impulsion à la suite d'un exposé que le Dr. F. Lavenne a été invité à faire sur ce sujet à une réunion commune de l'« Ergonomics Research Society » et de la « British Occupational Hygiene Society » tenue à Porton (Grande-Bretagne) en juillet 1961 (14). On lui a proposé de faire des essais avec le prototype d'un nouvel appareil britannique à oxygène liquide, le Simbal. Des essais comparatifs de cet appareil, du Draeger 172, de l'Auer et d'un Fenzy amélioré par un dispositif de refroidissement à la neige carbonique ont été effectués à la Centrale de Sauvetage du Bassin de la Campine et feront l'objet de communications ultérieures.

## II. TRAVAUX DE LA SECTION TECHNIQUE

### 1. Lutte contre les poussières.

#### A. Analyse des poussières. Conimétrie.

##### a. Indice de nocivité des atmosphères poussiéreuses.

Au sujet du classement des ambiances minières, nous avons dit l'an dernier dans ces mêmes colonnes (15) pourquoi, après avoir complété nos études sur la validité des mesures effectuées au précipitateur thermique (utilisé comme appareil de semi-routine pour rechercher à la fois la concentration en particules et leur teneur en quartz), nous avons décidé de rapporter les empoussièrages à une « échelle de repérage » en calculant un indice de nocivité de l'air. Nous avons proposé une gamme de concentrations présumées peu ou pas dangereuses en recherchant une courbe « limite » sur un diagramme portant, en abscisses, les teneurs en quartz et, en ordonnées, les concentrations en particules de 5 à 0,5  $\mu$  par  $\text{cm}^3$  d'air. Cette courbe, déterminée tout en tenant compte des règles en usage dans d'autres pays, ne vaut évidemment qu'à la condition d'observer en tous points nos techniques de prélèvement et d'examen des poussières ; elle est un repère correspondant à un indice de seuil que nous avons pris égal à 5 pour qu'il reste comparable à l'indice coniotique français dont il est dérivé. Rappelons que l'indice de nocivité se calcule par application d'une formule dans laquelle interviennent la concentration en particules, la teneur en quartz et une constante, fonction des modes de prélèvement et d'examen adoptés (16).

Nous donnons dans le tableau III quelques valeurs moyennes des indices trouvés dans des chantiers souterrains lors de plusieurs campagnes de prélèvements. Il s'agit d'indices relatifs aux opérations minières les plus importantes, effectuées aux mêmes endroits, sans prévention ou après application de procédés classiques de lutte contre les poussières : forage humide, arrosage des déblais, utilisation de piqueurs à pulvérisation d'eau, injection d'eau en veine, ... suivant les cas. Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de déterminations. Ces expériences ont fourni des résultats à l'échelle industrielle ; elles ne constituent donc pas des essais mis au point, contrôlés, surveillés par des spécialistes en vue d'obtenir des performances exceptionnelles.

La prévention technique des poussières appliquée normalement ramène les indices à des valeurs inférieures à 5 dans la majorité des cas.

Nous poursuivons nos travaux dans ce domaine ; nous sommes d'ailleurs convaincus qu'il est possible, dès à présent, grâce à cet indice, de classer les atmosphères poussiéreuses en 4 catégories, comme le proposent certaines réglementations étrangères. Nous recherchons à l'heure actuelle la « relation » existant entre les limites de classes que nous avons provisoirement adoptées et celles qui sont présentées notamment par le Stofinstituut des Pays-Bas, lesquelles sont basées sur l'emploi de procédés de mesure facilement généralisables dans les mines de charbon (filtres de Soxhlet).

TABLEAU III.  
Résultats de la prévention exprimés en indices de nocivité.

Opérations	Sans prévention	Avec prévention
Foration au rocher	7,8 (51)	4,5 (146)
	5,5 (12)	4,0 (47)
	5,9 (50)	4,8 (19)
Tir des mines	7,8 (60)	7,2 (4) **
	9,5 (16)	8,0 (5) ***
Chargement des déblais	6,5 (177)	4,1 (152)
	6,2 (30)	4,7 (35)
	6,4 (19)	4,5 (8)
Soutènement des galeries, rectification des parois au marteau-piqueur	6,4 (80)	4,0 (200)
	5,5 (28)	3,5 (21)
Abattage + foudroyage (piqueurs après havage)	6,5 ... 7,0 *	4,7 (42) *
Abattage par rabot	... 6,5 ... *	4,1 (33) *
Abattage par piqueurs	... 6,5 ... *	4,4 (29) *

\* Mesures effectuées en tête de taille (dans le retour d'air).  
\*\* Arrosage.  
\*\*\* Arrosage + pulvérisation.

b. Etude du précipitateur thermique.

Si pour des mesures de routine, il semble que nous puissions en revenir à des prélèvements basés sur la filtration de l'air, l'appareil de recherche reste cependant pour nous le précipitateur thermique. C'est pourquoi nous avons estimé que son étude devait être poursuivie, soit pour éviter les causes d'erreur imputables au fonctionnement même de l'instrument ou aux manipulations que nécessite son utilisation, soit pour rechercher d'autres modèles de fonctionnement ou de conception plus simples.

α. Etude de la pollution des plaques avant et pendant le prélèvement.

Des porte-objets de précipitateur thermique (type standard) pris au hasard parmi un lot de lamelles nettoyées et préparées suivant notre mode habituel, ont été examinés au microscope pour apprécier l'apport de particules étrangères dû aux opérations de chargement des appareils en laboratoire.

Nous avons trouvé que, au palier de confiance de 95 %, le nombre moyen par champ de particules parasites de 5 à 0,5 μ était de 0,0819 ± 0,0297.

Des plaques identiques qui avaient servi au prélèvement de poussières en boueux et en tailles ont été examinées de la même façon. Nous avons constaté que le nombre de poussières parasites par champ était respectivement 0,1266 ± 0,0552 et 0,2003 ± 0,0392.

Compte tenu du nombre moyen de particules dénombrées par champ, l'erreur de comptage due à la pollution reste comprise entre 0,3 et 0,8 %.

β. Etude d'un nouvel appareil : le « Long running thermal precipitator ».

Nous avons longuement décrit ces dernières années les multiples précautions qu'il fallait prendre pour obtenir un prélèvement correct au moyen du précipitateur thermique. La seule difficulté qui subsiste est l'obligation de faire procéder à la numération des particules sur un grand nombre de plaques (puisque nous demandons des prélèvements discontinus, répétés à intervalles réguliers). Nous avons expérimenté un nouveau modèle effectuant le captage des poussières sur 1 plaque (et non plus sur 2) et séparant les grosses poussières au moment même du prélèvement pour éviter le phénomène de recouvrement des particules. Les essais de ce nouveau type L.R.T.P., fabriqué par Casella, sont en cours. Dans la gamme 5 à 1 μ, ce nouveau précipitateur est comparable aux anciens modèles, mais il présente l'avantage de ne nécessiter qu'une plaque au lieu de huit suivant notre ancienne méthode, lorsque le prélèvement dure une heure.

Les résultats sont reportés graphiquement au diagramme de la figure 8 ; on trouve qu'il n'y a pas de différence significative entre le nombre de particules/cm<sup>3</sup> > 1 μ fourni par le L.R.T.P. et la moyenne des concentrations en particules de 5 à 1 μ obtenues par 2 précipitateurs standards opérant simultanément dans des nuages de poussières charbonneuses de diamètre médian 1,2 μ.

De nouvelles expériences sont à faire pour juger la validité de l'appareil dans le cas où l'on désire faire la numération des particules de 5 à 0,5 μ, pour une durée de prélèvement de 2 heures au moins.

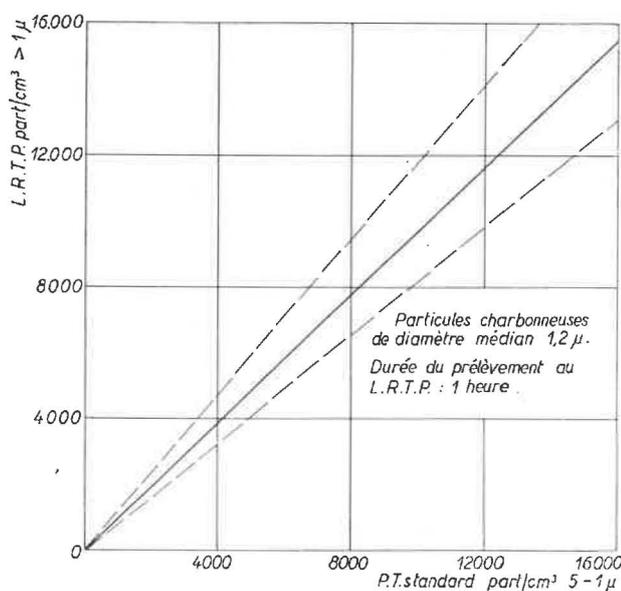


Fig. 8. — Comparaison des résultats obtenus au moyen du précipitateur thermique (P.T.) standard et du « long running thermal precipitator » (L.R.T.P.).

### c. Etude des empoussiérages en relation avec l'activité professionnelle et l'anamnèse médicale d'ouvriers mineurs.

Pour déterminer notamment l'incidence des pneumoconioses en comparant l'activité professionnelle et l'anamnèse médicale d'ouvriers mineurs, les mesuriers des Charbonnages de Houthalen prélèvent les poussières en suspension dans l'air au moyen du précipitateur thermique, chaque quinzaine, à tous les postes et dans chaque chantier de la mine. Les poussières d'environ 14.000 plaques prélevées depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1960, ont été comptées et analysées minéralogiquement à l'Institut d'Hygiène des Mines. Les résultats : nombres de particules de 5 à 0,5 μ par cm<sup>3</sup> d'air et teneurs en quartz, sont reportés chaque quinzaine sur des fiches mécanographiques qui contiennent également pour tous les ouvriers des renseignements de caractères technique et médical, indiqués au moyen de codes appropriés. Ce fichier, tenu à jour par les soins du charbonnage, renferme actuellement plus de 12.000 fiches. Cette recherche, avons-nous dit précédemment (10), est la poursuite d'un travail similaire entrepris depuis la fin de 1956.

Nous avons calculé les empoussiérages moyens subis par chaque ouvrier du fond depuis 1957 jusque et y compris 1960. C'est précisément pour apprécier la nocivité de ces empoussiérages que nous avons proposé notre « indice de nocivité », dérivé de l'indice coniotique français. Un seul chiffre (l'indice ainsi calculé) tenant compte à la fois de la concen-

tration, de la granulométrie et de la nature des particules, suffit à caractériser les ambiances minières et devrait permettre de classer les empoussiérages en catégories à condition que l'« exposition aux poussières » puisse s'exprimer au moyen de cet indice. C'est pourquoi une première exploitation de toutes les données contenues dans le fichier a été faite, en collaboration avec le Département « Relations Industrielles » des charbonnages, en recherchant la relation entre l'évolution des pneumoconioses et l'exposition aux poussières. Après avoir examiné les pourcentages d'ouvriers qui sont passés par les différents stades radiologiques depuis 1950, on en est arrivé à la conclusion que les résultats des mesures des poussières accumulés en 4 ans seulement ne permettent pas encore une étude statistique complète de l'évolution des pneumoconioses et que, pour entreprendre une recherche avec un nombre suffisant de sujets, il faut encore poursuivre les contrôles systématiques de l'empoussiérage de l'air pendant 6 ans au moins. Par contre, il existe une relation entre l'apparition du premier stade radiologique et l'indice de nocivité des chantiers que nous proposons.

Cette constatation nous laisse entrevoir la possibilité de fixer les limites de l'empoussiérage de l'air qu'il conviendrait de ne pas dépasser. Une publication sur cette question est actuellement en préparation.

### d. Dosage de la silice libre.

Le mode opératoire rapide mis au point à l'Institut d'Hygiène des Mines (10) a été appliqué à l'analyse routinière d'échantillons de charbon et de roche prélevés dans le massif ou à l'état de poussière aérienne. Par ailleurs, en supplément au dosage de silice totale et d'éléments divers, la silice libre a également été dosée au cours de quelques études particulières. Citons : une préparation antiretassure et le sable servant de base au mélange ; une poudre récoltée dans un atelier métallurgique ; une argile ; une poussière aérienne prélevée dans une région industrielle ; le contenu d'un masque filtrant ; une poussière aérienne et deux roches-mères provenant de mines portugaises.

Les échantillons de sable et de produit antiretassure signalés ci-dessus ont été fragmentés par tamisage et décantation afin de suivre la teneur en silice libre jusqu'aux « dimensions respirables ». Le tableau IV rend compte des résultats.

On voit que la teneur en silice libre des fractions fines est beaucoup plus faible que dans l'échantillon total. Nous avons déjà remarqué ce fait précédemment à propos de sables (10) et de poudres de schistes (15).

TABLEAU IV.  
Variation de la teneur en silice libre en fonction de la granulométrie des poussières.

Produit	Fraction	SiO <sub>2</sub> libre %	SiO <sub>2</sub> combiné %
Sable	Total	92,8	3,5
	Passé tamis 400 (38 $\mu$ )	39,0	21,7
	< 5 $\mu$	7,0	33,4
Mélange antiretassure	Total	57,6	10,6
	Passé tamis 400	22,5	26,3
	< 5 $\mu$	4,3	39,0

On sait qu'au cours de l'élaboration de notre technique de dosage de la silice libre par voie chimique, nous avons trouvé que des poudres fines de sable, quartz, quartzite et silex suivaient la même loi de solubilité en fonction du degré de finesse. Nous avons étendu ces comparaisons en étudiant des échantillons d'agate, de calcédoine et d'opale. Le comportement des deux premiers minéraux ne se distingue pas de celui des poudres déjà essayées. Par contre, l'opale (variété hydratée et amorphe) a montré une solubilité quasi totale alors que son degré de finesse faisait prévoir une perte de 14,5 %. Le fait semble donc confirmer que le mode opératoire adopté permet de doser les variétés de silice possédant, au moins à l'état cryptocristallin, la configuration cristallographique du quartz.

## B. Procédés et matériel de lutte contre les poussières.

### a. Lutte contre les poussières dans les chantiers d'abattage.

Des recherches entreprises par les Charbonnages du Centre, du Gouffre, de Houthalen et de Monceau-Fontaine, avec l'aide financière de la Haute Autorité de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, se sont déroulées dans le courant de l'année ; elles portent respectivement sur les points ci-après :

- Infusion d'eau éventuellement télécommandée dans les couches à dégagement instantané.
- Réduction des empoussiérages dans les chantiers à fort pendage ( $> 30^\circ$ ).
- Pré-télé-injection et infusion profonde au-delà de la zone macrofissurée.
- Infusion d'eau en veine à très forte pression dans des couches d'allure tourmentée.

Ces travaux se termineront vraisemblablement en 1962 ; les résultats partiels peuvent se résumer de la manière suivante.

L'infusion d'eau en veine classique dans les couches à dégagement instantané n'étant pas conciliable avec la pratique actuelle des tirs d'ébranle-

ment, la S.A. des Charbonnages du Centre a décidé d'essayer l'injection d'eau en veine suivant un mode opératoire qui tienne compte des impératifs de sécurité vis-à-vis du grisou : application de longs sondages de détente, réduction progressive des tirs d'ébranlement allant jusqu'à leur suppression et remplacement éventuel par des tirs d'abattage, finalement mise en œuvre des techniques d'injection d'eau en veine.

La première phase des essais a consisté à mettre au point le matériel et à adapter à un chantier complet le procédé des sondages de détente que la S.A. des Charbonnages du Centre applique avec succès depuis plusieurs années dans les voies de chantiers et dans les travaux préparatoires en charbon.

Ces expériences se sont déroulées dans une taille où le dégagement de CH<sub>4</sub> varie de 25 à 100 m<sup>3</sup> à la tonne produite ; on y a foré systématiquement pendant 8 mois, avec succès, des sondages de 115 mm de diamètre, profonds de 15 m et distants de 6 m et on y a organisé le travail de manière qu'une « couverture » d'au moins 5 m d'épaisseur soit respectée en tout point du chantier. Après une étude minutieuse de tous les phénomènes constatés, le Service « Sécurité et Hygiène » des charbonnages est passé à la seconde étape des essais. Il est arrivé à la suppression des tirs d'ébranlement en rapprochant les trous de détente à 4 m et même à 3 m de distance tout en maintenant la « couverture » à la même épaisseur (5 m).

Nous avons entretemps procédé à des mesures de l'empoussiérage de l'air dans un autre chantier, exploité dans la même couche suivant la méthode habituelle avec tirs d'ébranlement, et où on se propose d'appliquer la nouvelle technique des sondages de détente lorsque les conditions s'y prêteront. Sans aucune prévention, les écarts entre concentrations dans les différentes classes granulométriques inférieures à 5  $\mu$ , mesurées en tête et au pied de taille, sont peu importants. La friabilité naturelle ou artificielle du charbon (cette dernière due aux tirs d'ébranlement) et l'humidité faible (1,9 % sur la fraction 0/10) expliquent en partie les fortes teneurs en poussières trouvées dans la voie de base.

L'amélioration déjà obtenue dans les *dressants* est remarquable : dans un chantier produisant 250 tonnes nettes par jour, dont 170 t au poste du matin, on est arrivé à un taux de suppression en nombre de 80 % des particules de 5 à 1  $\mu$  et 55 % des particules de 5 à 0,5  $\mu$ , alors que le taux de réduction en poids atteignait 90 % des poussières de toutes catégories.

D'intéressantes constatations ont été faites qui méritent d'être signalées dès à présent : il s'agit de l'influence de l'humidité du charbon (mesurée sur la fraction 0/10) sur le soulèvement de poussières en voie et la production de poussières en taille.

Toutes autres conditions étant égales, on trouve, dans le cas particulier étudié, une production de poussières de 5 à 0,5  $\mu$  dans la voie, égale à :

- 3.090 particules/cm<sup>3</sup> pour une humidité de 3 %
- 4.145 particules/cm<sup>3</sup> pour une humidité de 2,6 %
- 6.310 particules/cm<sup>3</sup> pour une humidité de 1,6 %.

Si on ramène les concentrations produites en taille à une même production de 100 tonnes nettes/jour et à un même débit d'air de 1 m<sup>3</sup>/s, on obtient :

- environ 3.000 particules/cm<sup>3</sup> pour 4 % d'humidité,
- environ 4.000 particules/cm<sup>3</sup> pour 2,6 % d'humidité,
- environ 9.000 particules/cm<sup>3</sup> pour 1,6 % d'humidité,

ce qui permet, dans des conditions similaires, de doser les quantités d'eau à injecter en fonction du tonnage réalisé et de la ventilation des chantiers.

Les essais d'infusion d'eau en veine à très haute pression dans les couches d'allure tourmentée ont révélé aussi que la prévention appliquée en taille provoquait une réduction sensible (40 %) des poussières dégagées dans la voie d'entrée d'air. On a pu mettre en évidence un taux de suppression de 70 % de particules de 5 à 0,5  $\mu$  produites en taille lorsque l'humidité de la fraction 0/10 du charbon prélevé au pied de taille passe de 1,9 à 5,4 %. A l'occasion de ces essais, on a constaté que la pulvérisation d'eau bien conditionnée en taille provoque la suppression de 25 à 30 % du nombre de particules de 5 à 0,5  $\mu$  produites dans un chantier de 200 ... 210 tonnes nettes lorsque l'humidité du charbon (mesurée sur la fraction 0/10 au pied de taille) passe de 1,9 à 3,9 %.

En ce qui concerne les expériences d'infusion très profonde, les Charbonnages de Houthalen se sont surtout attachés à la résolution des problèmes techniques : étude de la répartition des contre-pressions, forage à grande profondeur, études des pertes de charge dans les sondes, relevé des courbes d'injectabilité, technique de sondages, scelllements, ... Les mesures d'empoussiérage faites montrent en tout cas qu'on arrivera à une réduction substantielle des quantités de poussières libérées par l'abattage, car après 6 mois d'essais d'injection en zone microfissu-

rée, on a finalement gagné 1 point d'indice de nocivité par rapport à l'injection classique.

#### b. Etude d'agents mouillants et de produits retardateurs d'évaporation.

Nous avons étudié les propriétés mouillantes du produit Coalcaso de la société Solvay. Il s'agit d'un produit prévu pour maintenir une certaine humidité dans les tas de charbon et à la surface des sols poussiéreux. Il est essentiellement constitué par du chlorure calcique, un inhibiteur de corrosion et un surfactant appelé « Mouillant Coalcaso ». La concentration recommandée par le fabricant est de 50 g de produit brut pour 100 g d'eau, soit sensiblement 25 g CaCl<sub>2</sub> pur par 100 g de solution. Il s'agissait donc ici du comportement d'un agent mouillant dans une eau de dureté artificiellement très élevée. En plus du produit proprement dit et à titre de comparaison, nous avons non seulement soumis le surfactant pur à notre norme AM 133, mais nous avons comparé en solution calcique de même concentration, le mouillant de base et le Dumacène NP 77, un des meilleurs produits que nous avons sélectionnés. On a donc effectué les mesures habituelles de tension superficielle, vitesses d'immersion de poussières charbonneuses et rocheuses, pouvoir moussant. Nous y avons ajouté pour la première fois une mesure dont le principe fut décrit lors de l'élaboration des autres critères (17) : la solution tensio-active étant mise en présence de grains de charbon dans des conditions standardisées, on apprécie la vitesse de pénétration de la liqueur en suivant l'avancement de l'extrémité opposée de la colonne liquide. Cette technique simple offre l'intérêt d'estimer le pouvoir

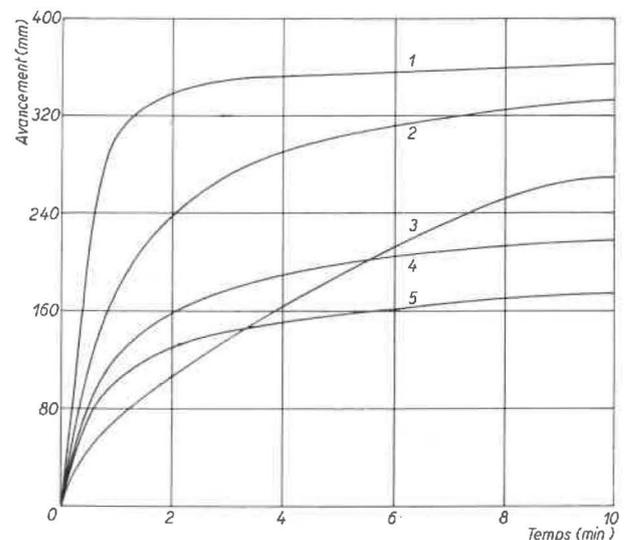


Fig. 9. — Diffusion capillaire de solutions mouillantes.

1. Dumacène NP 77 : 0,1 % dans l'eau distillée.
2. Produit Coalcaso : 50 g de produit dans 100 g d'eau.
3. Dumacène NP 77 : 0,1 % dans solution à 25 % en CaCl<sub>2</sub>.
4. Mouillant Coalcaso : 0,1 % dans solution à 25 % en CaCl<sub>2</sub>.
5. Mouillant Coalcaso : 0,1 % dans l'eau distillée.

de diffusion d'une solution mouillante dans une masse poreuse : aire de voie, tas de charbon ou de roches abattues, chargement d'une courroie transporteuse, etc. Perfectionnée dans ses détails, elle fera l'objet d'un article ultérieur. En ce qui concerne la présente application, nous faisons figurer au tableau V, en même temps que les caractéristiques usuelles, les avancements relevés à la première et à la dixième minute. La figure 9 décrit le phénomène en fonction du temps. Les mesures montrent que le mouillant Coalcaso est à tous points de vue de loin inférieur au produit de référence et est même à éliminer selon notre norme de sélection. On remarquera cependant qu'en présence d'une concentration élevée en chlorure calcique, les propriétés du Dumacène NP 77 sont fortement déprimées, tandis que le mouillant Coalcaso voit notamment sa tension superficielle et son pouvoir de diffusion améliorés tout en restant inférieur au Dumacène. On retrouve donc ici dans des conditions plus sévères l'influence du milieu sur les propriétés d'un produit, phénomène déjà signalé à propos d'eaux d'origines diverses (18).

Enfin, essayé à la concentration recommandée par le fournisseur, le produit Coalcaso accuse des performances analogues à celles du Dumacène en solution aqueuse à 0,1 %.

de l'eau seule dans une ambiance climatisée. Le rapport de ces quantités définit un coefficient d'évaporabilité  $e$ .

Si dans la mine les solutions peuvent éventuellement être exposées en nappes libres, elles sont normalement destinées à être incorporées au charbon (injection, pulvérisation). C'est pourquoi dans les travaux de cette année, on s'est attaché à vérifier dans quelle mesure les résultats obtenus précédemment avec les solutions seules, pouvaient être modifiés lorsque les liqueurs sont mélangées à du charbon plus ou moins divisé. Dans ce but, on a choisi comme support plusieurs fractions granulométriques obtenues par tamisage ; on a aussi fait varier la proportion des liqueurs dans leurs mélanges avec le charbon, ainsi que l'épaisseur du produit imprégné.

Des expériences réalisées en atmosphère sèche ( $\varphi = 0,35$ ) ont fourni des valeurs assez dispersées, mais les essais effectués dans l'air humide ( $\varphi = 0,85$ ) ont été plus concluants. A titre d'exemple, les figures 10 et 11 illustrent le cas de solutions de chlorure sodique. On remarquera la bonne concordance des résultats obtenus dans diverses conditions, tout au moins dans les limites de reproductibilité des expériences. Des constatations analogues ont été fai-

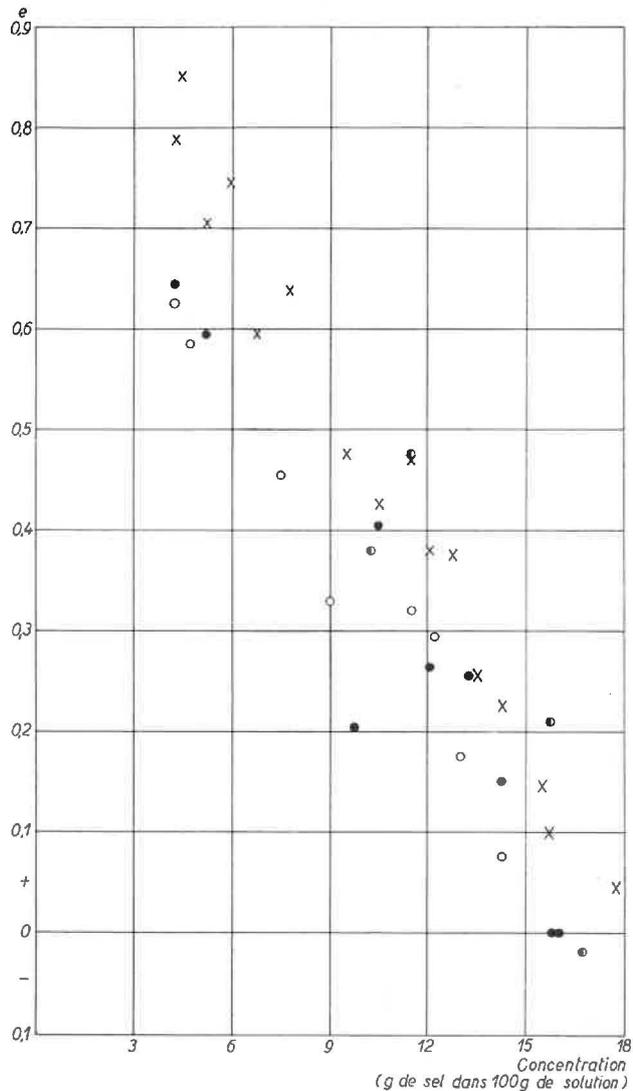
TABLEAU V.  
Comparaison des propriétés mouillantes de deux produits.

Produit	Tension superficielle dyn/cm	Vitesses d'immersion mg/s		Pouvoir moussant ml	Diffusion capillaire mm	
		V <sub>charbon</sub>	V <sub>roche</sub>		1 min	10 min
Dumacène NP 77 0,1 % dans l'eau	31,7	7,9	18,6	20	307	363
Mouillant Coalcaso 0,1 % dans l'eau	49,4	— (*)	10,3	0	104	175
Dumacène NP 77 0,1 % dans CaCl <sub>2</sub> 25 %	32,7	2,0	8,1	17	71	271
Mouillant Coalcaso 0,1 % dans CaCl <sub>2</sub> 25 %	42,7	— (*)	5,5	0	121	218
CaCl <sub>2</sub> 25 % Produit Coalcaso	81,0	— (*)	3,4	0	4	5
(à 25 % en CaCl <sub>2</sub> pur)	38,6	5,3	14,2	10	177	333

(\*) Mouillage incomplet.

Dans le compte rendu précédent (15), nous avons décrit assez largement les relations théoriques et les aménagements pratiques qui ont présidé aux recherches expérimentales de retardateurs d'évaporation. Rappelons simplement qu'il s'agit de déterminer les quantités d'eau évaporées par diverses solutions et

tes à partir d'autres sels : CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>. Le phénomène doit encore être vérifié en présence de schiste. Il sera alors utile de préciser la valeur du coefficient  $e$  pour les meilleurs produits dans une série de conditions climatiques susceptibles d'être rencontrées dans une mine.



- fraction comprise entre les tamis n° 4 et 8
- fraction comprise entre les tamis n° 30 et 50
- fraction passée au tamis n° 400
- X absence de charbon

Fig. 10. — Evaporabilité  $e$  de solutions de chlorure sodique en fonction de la concentration ( $t_s = 40\text{ °C}$ ,  $\varphi = 0,85$ ). Essais en présence de différentes granulométries et en l'absence de charbon.

### c. Etude des empoussiérages aux installations à fort dégagement de poussières (culbuteurs - concasseurs).

Plusieurs séries de mesures ont été faites au voisinage des installations de culbutage et de culbutage-concassage pour pierres destinées au remblayage pneumatique, ainsi qu'à une station souterraine d'alimentation des skips. Compte tenu de la disposition des lieux, on a dû choisir chaque fois trois stations de mesure pour déterminer simultanément les empoussiérages préexistants et les empoussiérages résultants (prélèvements sur filtres et au précipitateur thermique). Bien que les déterminations aient été simultanées on a également dû faire une permutation tournante des appareils de mesure après avoir effectué chaque fois une série de

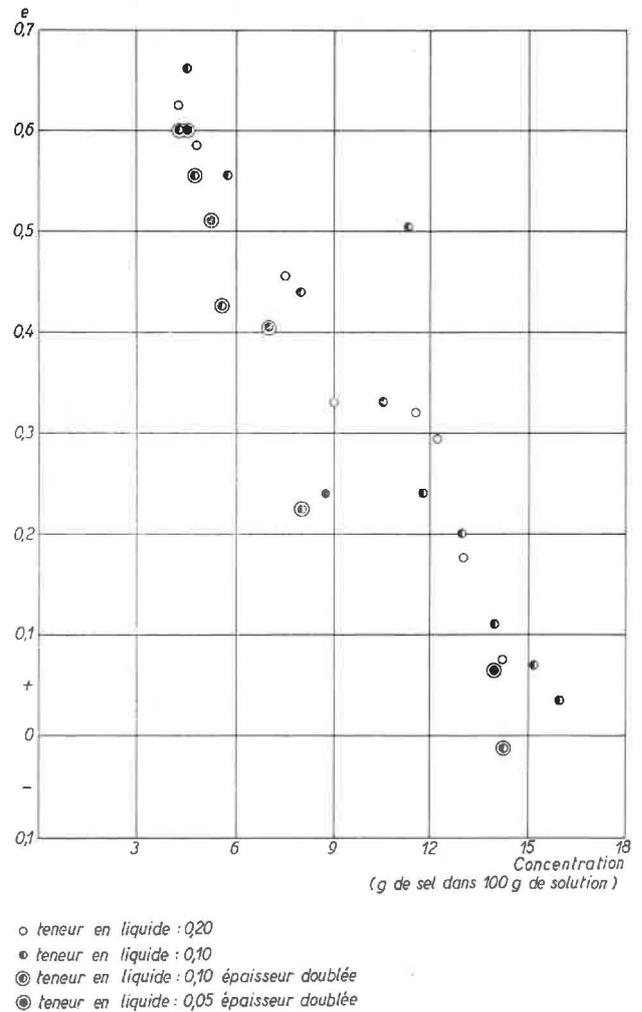


Fig. 11. — Evaporabilité  $e$  de solutions de chlorure sodique en fonction de la concentration ( $t_s = 40\text{ °C}$ ,  $\varphi = 0,85$ ). Essais de plusieurs taux d'humidification d'un charbon exposé en couches d'épaisseur variable.

prélèvements successifs en chacun des emplacements, ceci pour compenser les erreurs instrumentales éventuelles.

Les résultats de toutes ces mesures sont rassemblés au tableau VI et présentés de manière qu'il soit possible de calculer, pour un tonnage donné, le débit d'air nécessaire à l'obtention d'une bonne dilution des poussières libérées, lorsqu'on connaît l'humidité superficielle des matériaux traités. Il importe de remarquer que, dans le cas du broyage des pierres destinées au remblayage pneumatique, il n'est pas rare de trouver des poussières en suspension dans l'air qui ont une teneur en cendres de 80 ... 85 % et une teneur en silice (quartz) de l'ordre de 15 ... 20 %.

Les concentrations indiquées ont été ramenées à un tonnage traité de 100 t/h dans un courant d'air de 1 m<sup>3</sup> d'air/s. L'humidité superficielle a été déterminée sur la fraction (0 - 10) du produit brut, soit au pied des trémies des culbuteurs (éventuellement après les répartiteurs), soit à la sortie des concasseurs.

TABLEAU VI.

Quantités mises en suspension dans l'air au voisinage d'installations à fort dégagement de poussières.

Opération	Matériau	Humidité %	Poids de poussières toutes catégories mg/m <sup>3</sup>	Nombre de particules/cm <sup>3</sup> 5 à 0,5 μ
Culbutage	Charbon brut	5,5	65 ... 70	—
Culbutage	Charbon brut	4,8	—	... 1.500 ...
Culbutage	Charbon brut	6,0	—	... 1.000 ...
Culbutage	Pierres de bouveaux (tout venant)	8 ... 9	65 ... 60	... 4.200 ...
Concassage (sans dépoussiérage)	Pierres de bouveaux (tout venant)	6,5	135 ... 140	... 13.300 ...
Concassage (avec dépoussiérage)	idem	6,8	20 ... 25	... 1.650 ...

## d. Essais de masques antipoussières.

Vingt-sept masques ou filtres pour masques anti-poussières ont été contrôlés suivant les normes officiellement imposées en Belgique (19 Brison, 2 Auer, 5 Willson et 1 Super-Toucan 61). Six seulement pourraient être agréés : 3 prototypes Brison (modèle 2 P), 1 Auer (modèle Idéal, filtre n° 1651, pré-filtre n° 2214-917) à condition de remplacer le pré-filtre ouaté à chaque poste ; 1 Willson (n° 400 - BM 2103) et le Super-Toucan 61, moyennant certaines précautions à respecter au décolmatage.

## 2. Ventilation - Climat.

## A. Etude de la ventilation des mines par l'analogie électrique.

De nombreux charbonnages nous ont consultés au cours de l'année écoulée en vue de résoudre par la méthode de l'analogie électrique des problèmes d'aérage divers. Ces problèmes peuvent être rangés en deux grandes classes :

- cas de sièges interconnectés, les liaisons formant des diagonales dans le réseau d'aérage ;
- cas des exploitations comportant plusieurs ventilateurs auxiliaires.

Le problème posé par la S.A. des Charbonnages du Centre ressortit à la première catégorie ; il a déjà fait l'objet d'un exposé dans notre rapport d'activité précédent (15). Cette étude a été poursuivie.

La figure 12 représente en perspective une des situations envisagées pour l'exploitation ultérieure du gisement sous les anciennes concessions de Houssu et de La Louvière-Sars-Longchamps. Cette exploitation sera répartie sur 3 méridiennes principales reliées par des bouveaux en direction aux niveaux successifs de 1085, 1160, 1240 et 1320 m. La production sera ramenée par un puits intérieur au niveau de 800 m où elle sera transportée vers le siège Saint-Albert. La ventilation de ces travaux pourrait être assurée par les puits de La Louvière et par ceux

de Houssu ; il faut encore prévoir un débit stable de 10 m<sup>3</sup>/s minimum dans la liaison avec Saint-Albert.

A la demande des charbonnages, nous avons examiné trois variantes à ce problème. Le schéma d'aérage pourrait être d'abord celui repris à la figure, comportant un ventilateur de surface à Houssu et un autre à La Louvière, tandis qu'un ventilateur soufflant, installé au niveau de 935 à Houssu, assurerait le débit dans la liaison avec Saint-Albert en maintenant en tête du puits intérieur une surpression judicieusement choisie. Avec ce schéma, la méridienne intermédiaire est aérée en partie par Houssu et en partie par La Louvière.

Dans une deuxième variante, on a envisagé une ventilation diagonale : entrée d'air par les deux puits de Houssu, retour d'air par les deux puits de La Louvière en parallèle.

Enfin, dans la troisième variante impliquant le remblayage des puits de La Louvière, tout l'aérage était assuré à partir de Houssu. Les deux dernières solutions comportaient aussi le ventilateur soufflant destiné à stabiliser la ventilation de la liaison avec Saint-Albert.

La dernière variante était pratiquement la plus intéressante, mais offrait l'inconvénient d'une puissance de ventilation globale beaucoup supérieure aux deux autres et de différences de pression excessives entre l'entrée et le retour d'air. En vue de réduire ce désavantage, il a été proposé de diviser autant que possible l'aérage entre plusieurs voies en direction.

Moyennant un étalement judicieux des chantiers en profondeur et l'adaptation du programme des travaux au rocher, il sera par exemple possible d'utiliser comme retour d'air en parallèle les bouveaux en direction des niveaux 1085 et 1160 et comme entrées d'air en parallèle ceux des niveaux 1240 et 1320. On a en outre prévu le recarrage des bouveaux à 935 et le dégarnissage du puits de retour à Houssu.

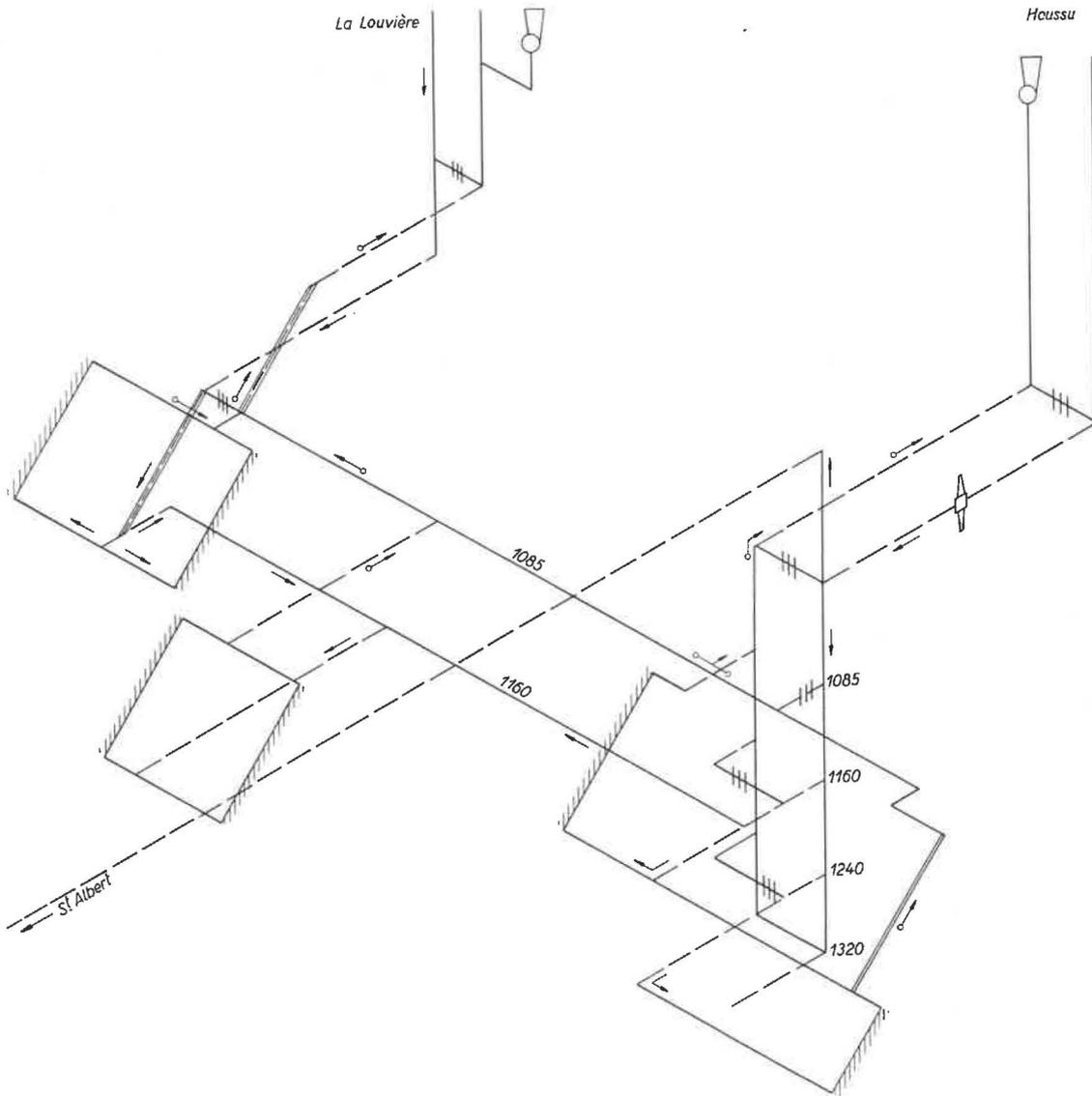
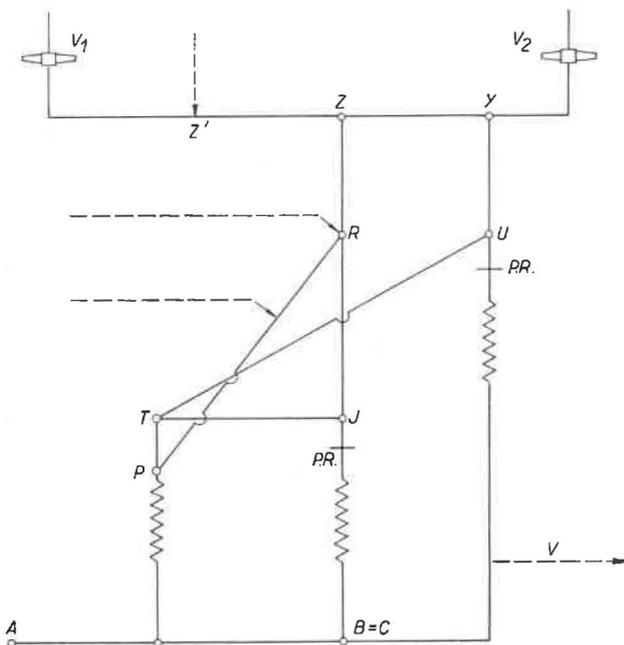


Fig. 12. — Schéma perspectif simplifié d'une partie des exploitations futures des Charbonnages du Centre.



Les Charbonnages de la Grande Bacnure nous ont posé une question complémentaire à une étude antérieure également relative à deux sièges interconnectés. L'étage profond du siège de Petite Bacnure possède deux retours d'air par des puits différents. Comme le schéma simplifié de la figure 13 le montre, la prévision du régime de chaque ventilateur est rendue impossible par les méthodes classiques, du fait des 3 connexions diagonales ZY, PR et TJ ; elle n'a demandé que quelques heures de travail par la méthode de l'analogie électrique.

Les Charbonnages de Bernissart assurent la ventilation de leurs travaux au moyen d'un ventilateur principal au fond, ainsi que plusieurs ventilateurs auxiliaires. L'extension de l'exploitation dans un

Fig. 13. — Exemple de schéma diagonal d'aérage non soluble par les calculs classiques de ventilation. En pointillé : circuits d'importance secondaire ; P.R. : porte régulatrice.

quartier a imposé une réorganisation générale de l'aérage impliquant, soit l'établissement de deux retours d'air généraux à des niveaux différents avec deux ventilateurs principaux en parallèle, soit le maintien d'un ventilateur principal unique au niveau supérieur et le déplacement des ventilateurs auxiliaires existants ainsi que quelques travaux miniers complémentaires. Notre étude a porté principalement sur la comparaison de ces deux solutions.

Les Charbonnages de Boubier et les Charbonnages de Limbourg-Meuse nous ont demandé d'établir les caractéristiques et l'emplacement optimal d'un ventilateur auxiliaire et d'examiner les répercussions possibles de sa mise en service sur les chantiers voisins. En particulier, il est apparu aux Charbonnages de Boubier qu'un autre quartier relativement éloigné verrait sa ventilation réduite sensiblement après la mise en service du nouveau ventilateur. A Limbourg-Meuse, où le schéma de la ventilation comporte de nombreuses mailles tant dans le niveau d'entrée que dans le niveau de retour d'air, la modification d'aérage projetée entraîne la formation d'une zone morte d'aérage dans un côté d'une maille. Des solutions ont été trouvées dans chaque cas à ces difficultés.

Enfin les Charbonnages André Dumont nous ont interrogés sur le régime d'aérage consécutif à l'arrêt du ventilateur principal, 5 ventilateurs auxiliaires puissants étant maintenus en service.

**B. Prévion des résistances opposées pour les ouvrages miniers à l'écoulement de l'air.**

Lors de ces études de ventilation par analogie électrique, il est apparu une fois de plus que la difficulté principale est l'obtention de renseignements numériques suffisamment précis quant aux résistances des différents branchements du réseau. L'expérience confirme par contre que certaines résistances peuvent être estimées de façon assez grossière sans qu'il en résulte d'erreurs inacceptables dans des recherches sur la répartition d'ensemble de l'aérage. Tel n'est jamais le cas pour les puits, les grands bouveaux et les caractéristiques des ventilateurs, où la précision la plus élevée possible doit être recherchée.

C'est pourquoi nous avons organisé des séances spéciales de mesures des pertes de charge des puits et des grands bouveaux, notamment aux Charbonnages de Roton-Farciennes et Oignies-Aiseau, au siège Héribus des Charbonnages du Borinage et aux Charbonnages de Limbourg-Meuse. Nous indiquons ci-après quelques-uns des résultats obtenus.

La partie supérieure du puits d'entrée d'air du siège des Aulniats, schématisée à la figure 14, est creusée en terres nues ; les parois sont cependant renforcées par boulonnage et par des treillis métalliques à mailles grossières maintenus par les boulons. Nous y avons obtenu les résultats suivants :

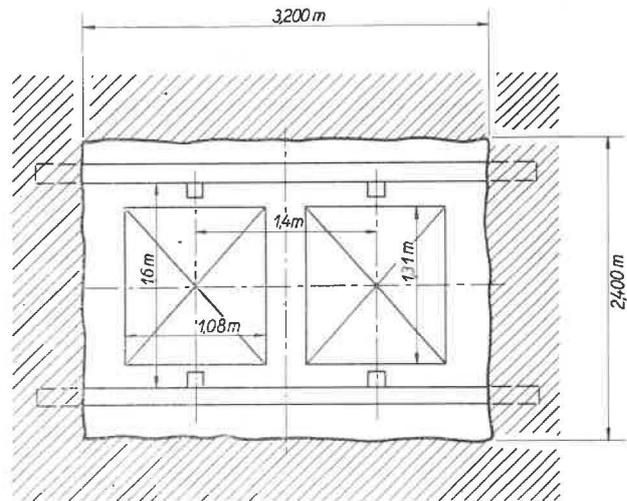


Fig. 14. — Coupe d'un puits rectangulaire sans revêtement, pour lequel le coefficient de pertes de charge mesuré vaut  $\lambda = 0,2175$ .

- débit  $Q$  : 39,6 m<sup>3</sup>/s ;
- perte de charge  $\Delta p$  : 10,32 mm H<sub>2</sub>O ;
- poids spécifique  $\delta_m$  : 1,258 kg/m<sup>3</sup> ;
- longueur : 76 m.

On peut déduire de ces mesures les paramètres suivants :

- résistance hectométrique :  $k_{100} = 0,0086 \text{ kgs}^2/\text{m}^8$  ;
- coefficient de pertes de charge brut :  $\lambda = 0,2175$  ;
- coefficient de pertes de charge  $\lambda'$ , tenant compte de l'encombrement de la section par les traverses :  $\lambda' = 0,0987$ .

En ce qui concerne la différence de signification des coefficients  $\lambda$  et  $\lambda'$ , on se référera utilement à nos publications antérieures (19) (20). Rappelons que le coefficient  $\lambda'$  ne dépend en principe que de la rugosité de l'ensemble des parois entourant le puits, en y incluant non seulement les parois latérales, mais aussi les alignements de traverses et les bords des paliers d'échelles éventuels.

Dans le cas présent, il n'y a que 2 types de parois : les roches nues (a) et les 2 alignements de traverses (b) ; leurs contributions respectives au périmètre total sont :  $P_a = 10,6 \text{ m}$  et  $P_b = 12,8 \text{ m}$ . On doit dès lors avoir :

$$\lambda' = \frac{10,6}{10,6 + 12,8} \lambda_a + \frac{12,8}{10,6 + 12,8} \lambda_b.$$

Si l'on admet la valeur  $\lambda_b = 0,110$  pour un alignement de traverses en bois de 15 cm de côté, distantes de 1,50 m et dont les arêtes sont usées par érosion, la relation précédente donne  $\lambda_a = 0,0850$ . Cette valeur est élevée ; elle correspond à une paroi de grande rugosité. Il faut toutefois tenir compte de ce que les dimensions utilisées dans le présent calcul sont les cotes nominales du puits ; en plusieurs endroits, des mouvements de terrain ont réduit no-

TABLEAU VII.  
Développement des tailles (m) auxquelles sont  
Situation au début des années 1961

Bassins administratifs	Campine		Liège	
	1961	1962	1961	1962
Années de référence				
Nombre de tailles actives	102	96	204	181
Longueur des fronts déhouillés (m)	17.324	16.756	15.635	14.490
<b>I. Traitements appliqués au point de formation des poussières</b>				
1. Développement total des tailles traitées (m) :				
— arrosage des fronts	236	—	—	120
— injection d'eau en veine	8.969	8.374	2.048	1.993
— lavage humide	2.006	2.070	145	—
— piqueurs à pulvérisation d'eau	4.872	4.246	3.110	2.982
Longueur totale traitée	16.083	14.690	5.303	5.095
2. Longueur des fronts traités simultanément par plusieurs de ces procédés (m)				
	3.785	3.518	—	—
3. Longueur réelle traitée (m)				
	12.298	11.172	5.303	5.095
<b>II. Traitement par pulvérisation d'eau en tailles.</b>				
1. Développement total des fronts traités par pulvérisation d'eau (m)				
	7.658	8.400	3.625	5.680
2. Longueur des fronts traités par un des quatre procédés indiqués ci-avant, combiné à la pulvérisation en taille (m)				
	4.416	4.927	2.110	2.695
3. Longueur traitée uniquement par pulvérisation d'eau (m)				
	3.242	3.473	1.515	2.985
<b>III. Longueur des fronts naturellement humides considérés comme peu poussiéreux (m)</b>				
	1.486	1.733	3.506	3.039

\* Dont 850 m traités par infusion pulsée.

TABLEAU VIII.  
Moyens de prévention normalement mis à la disposition du personnel dans les  
Situation au début des années 1961 et 1962 (bouvaux,

Bassins administratifs	Campine		Liège	
	1961	1962	1961	1962
Années de référence				
Nombre de fronts en creusement	99	88	53	43
Fronts équipés de :				
1. Capteurs pour forage à sec	16 *	13 *	3	2
2. Perforateurs à adduction latérale d'eau	3	1	3	—
3. Perforateurs à injection centrale d'eau	80	69	48	36
Fronts avec prévention	99	83	53	38

\* Dans les puits intérieurs principalement.

TABLEAU VII.

appliqués régulièrement des traitements humides.  
et 1962 (Résultats provisoires).

Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
1961	1962	1961	1962	1961	1962	1961	1962
194	188	44	28	40	23	584	516
20.458	19.679	5.769	3.407	5.446	4.063	64.632	58.395
280	508	—	—	—	—	516	628
8.008	7.071 *	1.585	1.467	2.553	2.752	23.163	21.657
241	—	—	—	—	—	2.392	2.070
4.842	5.389	—	—	—	—	12.824	12.617
13.371	12.968	1.585	1.467	2.553	2.752	38.895	36.972
855	2.160	—	—	—	—	4.640	5.678
12.516	10.808	1.585	1.467	2.553	2.752	34.255	31.294
8.519	9.092	1.507	789	1.981	730	23.290	24.691
5.650	5.079	125	—	390	400	12.691	13.101
2.869	4.013	1.382	789	1.591	330	10.599	11.590
2.872	2.747	1.315	782	1.053	155	10.232	8.456

TABLEAU VIII.

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

Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
1961	1962	1961	1962	1961	1962	1961	1962
87	78	28	13	12	8	279	230
4	2	2	1	—	—	25	18
1	—	—	—	—	—	6	1
76	72	17	10	12	7	233	194
81	74	19	11	12	7	264	213

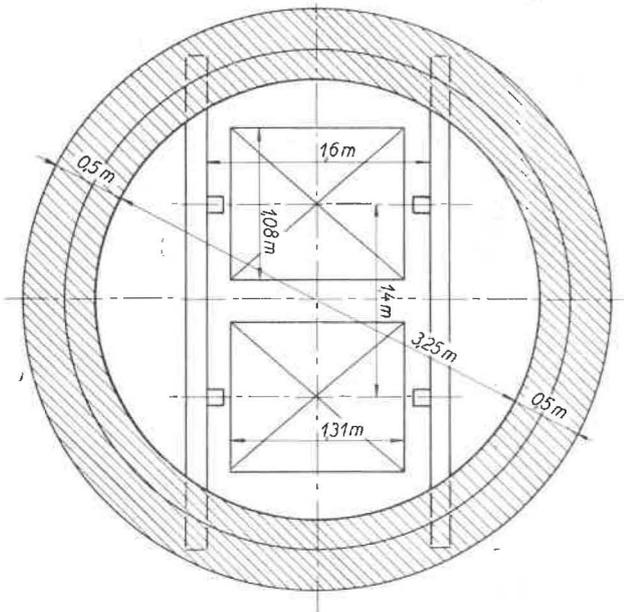


Fig. 15. — Coupe d'un puits circulaire maçonné pour lequel les mesures ont donné :  $\lambda = 0,160$ .

tablement l'espace libre derrière les traverses. On peut donc considérer que la valeur  $\lambda_a = 0,085$  tient compte à la fois de la rugosité et de l'encombrement de la section par les aspérités des parois.

La partie inférieure du puits d'entrée d'air du siège des Aulniats est conforme au schéma de la figure 15. Le tronçon qui a fait l'objet de nos mesures ne comporte pas d'échelles.

Les résultats des mesures ont été les suivants :

- débit :  $39,55 \text{ m}^3/\text{s}$  ;
- perte de charge :  $6,63 \text{ mm H}_2\text{O}$  ;
- poids spécifique moyen :  $1,265 \text{ kg}/\text{m}^3$  ;
- longueur :  $91 \text{ m}$ .

Nous avons calculé à partir de ces valeurs les données suivantes :

- résistance hectométrique :  $k_{100} = 0,0047 \text{ kgs}^2/\text{m}^8$  ;
- coefficient de pertes de charge brut :  $\lambda = 0,160$  ;
- coefficient de pertes de charge :  $\lambda' = 0,0684$ .

La section envisagée comporte 3 compartiments entourés de 2 types de parois : d'une part la maçonnerie du puits (c), d'autre part les deux alignements de traverses (b) ; leurs contributions respectives au périmètre total sont :  $P_c = 9,46 \text{ m}$  ;  $P_b = 10,86 \text{ m}$ . On doit dès lors avoir :

$$\lambda' = \frac{9,46}{9,46 + 10,86} \lambda_c + \frac{10,86}{9,46 + 10,86} \lambda_b$$

$$= 0,466 \lambda_c + 0,534 \lambda_b.$$

Nos essais antérieurs nous ont conduits à admettre pour une maçonnerie en bon état la valeur  $\lambda_c = 0,025$  et celle  $\lambda_b = 0,110$  pour l'alignement de traverses déjà décrit ci-dessus. Dans ces conditions, on devrait avoir :

$$\lambda' = 0,466 \cdot 0,025 + 0,534 \cdot 0,110 = 0,0695 ;$$

ce chiffre ne s'écarte pas de 2 % de la valeur expérimentale  $\lambda' = 0,0684$ , ce qui confirme une fois encore le bien-fondé de notre méthode de calcul des pertes de charge des puits.

Indépendamment de nos propres essais, nous avons continué à dépouiller les articles étrangers consacrés à l'étude de la résistance des puits de mine à l'écoulement de l'air.

Nous avons notamment examiné une méthode britannique (21) de prévision des pertes de charge des puits qui offre l'avantage de conduire à des calculs plus simples que les nôtres. Cette méthode se base sur les coefficients de traînée des divers types de traverses ; elle tient compte dans une certaine mesure de l'interaction entre traverses successives disposées en alignement, mais néglige entièrement l'influence de l'encombrement du puits par son équipement et la variation de la résistance offerte par les traverses suivant l'emplacement qu'elles occupent dans la section droite du puits.

Malgré la grande différence de conception de la méthode britannique et de la nôtre, il nous a été possible d'établir une relation entre le coefficient  $\lambda'$  par lequel nous caractérisons la résistance d'un alignement de traverses et le coefficient de traînée corrigé  $C'$  de la théorie britannique, par des calculs qu'il serait trop long d'aborder ici. Si les traverses

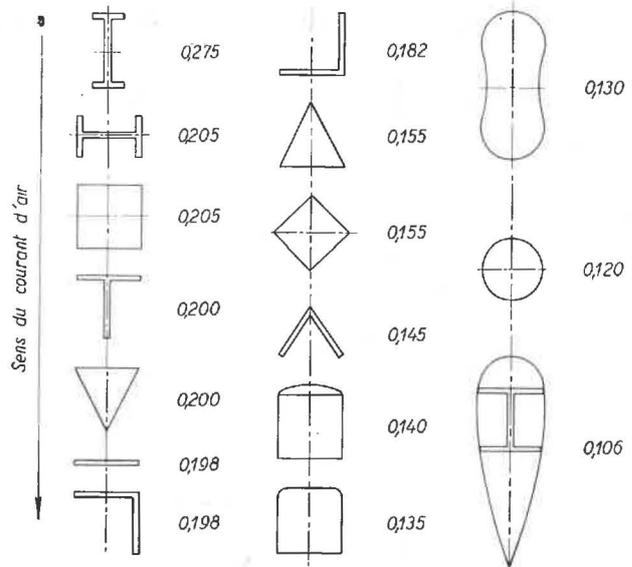


Fig. 16. — Valeur du coefficient  $\lambda'$  pour divers profils de traverses, d'après les données de la littérature technique spécialisée.

sont espacées de 10 fois leur largeur, on a simplement :  $\lambda' = 0,1 C'$ . Cette formule permet d'introduire dans les calculs effectués suivant notre méthode les valeurs de  $\lambda'$  d'une série de profils reproduits à la figure 16, au sujet desquels nous ne disposons pas de mesures ou tout au moins de renseignements insuffisants pour appliquer notre méthode.

### 3. Enquête.

Comme chaque année, l'Institut a publié les résultats de son enquête sur l'étendue des moyens de prévention mis en œuvre dans les charbonnages belges. Nous sommes à même de donner en plus les résultats provisoires sur la situation telle qu'elle se présente au début de l'année 1962. On trouvera au tableau VII le développement des tailles auxquelles sont appliqués régulièrement des traitements humides : arrosage des fronts, injection d'eau en veine, lavage humide et emploi de marteaux-piqueurs à pulvérisation d'eau.

Pour faciliter la comparaison, nous avons fait la distinction en indiquant, d'une part, la longueur des fronts traités par plusieurs de ces procédés à la fois et, d'autre part, la longueur des fronts traités par une seule de ces méthodes combinée à la pulvérisation d'eau dans la taille. Au tableau VIII, nous avons fait figurer le nombre de travaux préparatoires en creusement en donnant la répartition des moyens de prévention normalement mis à la disposition du personnel au cours des opérations de foration.

#### Erratum.

A la page 552 de « L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1960 » parue dans les Annales des Mines de Belgique (1961, 5, 529/575), il a été écrit par erreur : « l'appareil Dräger, d'un poids total de 22 kg fut porté sur le dos ». En réalité, le poids de 22 kg représentait la charge totale des sauveteurs comportant outre l'appareil Dräger d'un poids approximatif de 17 kg, le casque, la lampe-chapeau avec sa batterie et enfin les bottines.

#### BIBLIOGRAPHIE

- (1) MOREAU J.D. — Exploration fonctionnelle pulmonaire à l'effort. Comparaison des méthodes en circuit ouvert et en circuit fermé. — Rev. Inst. Hyg. Mines (Hasselt, Belgique), 1961, 16, 175/192.
- (2) BRASSEUR L. — Effets de la résistance du circuit de prélèvement de l'air expiré sur la ventilation et les gaz du sang, au cours de l'effort. — Rev. Inst. Hyg. Mines (Hasselt, Belgique), 1961, 16, 242/250.
- (3) BRASSEUR L., DEGUELDRE G., MOREAU J.D. et TREMOUROUX J. — Mise au point d'un circuit ouvert peu résistant pour le prélèvement des gaz expirés. — Rev. Inst. Hyg. Mines (Hasselt, Belgique), 1961, 16, 251/261.
- (4) BANNISTER R.G. et CORMACK R.S. — Two low resistance, low dead space respiratory valves. — J. Physiol. (Lond.), 1954, 124, 4P/5P.
- (5) BARTELS H., BUECHERL E., HERTZ C.W., RODEWALD G. et SCHWAB M. — Lungenfunktionsprüfungen. — Berlin, Springer-Verlag, 1959, 426 p.
- (6) ERIKSON H. et RAUSAND J. — A heat tolerant, low resistance breathing valve. — Scand. J. clin. lab. Invest., 1957, 9, 101/102.
- (7) McKERROW C.B. et OTIS A.B. — Low resistance valve for hyperventilation. — J. appl. Physiol., 1956, 9, 497/498.
- (8) VON DOEBELN W. — A respiratory valve with insignificant dead space. — Acta physiol. scand., 1949, 18, 34/35.
- (9) BRASSEUR L. — Détermination de la pression partielle d'oxygène dans le sang. Etude de la technique à la bulle selon Riley. — Rev. Inst. Hyg. Mines (Hasselt, Belgique), 1961, 16, 102/114.
- (10) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1959. — Ann. Mines Belgique, 1960, 5° livraison, 403/445.
- (11) BRASSEUR L. — Détermination de la pression partielle d'anhydride carbonique du sang à partir de l'équation de Henderson-Hasselbach. Contrôle par tonométrie de la validité de la méthode. — Rev. Inst. Hyg. Mines (Hasselt, Belgique), 1961, 16, 115/121.
- (12) BRASSEUR L. — Fonction respiratoire, au repos et à l'effort, de sujets « normaux » travaillant en surface dans les charbonnages. — Rev. Inst. Hyg. Mines (Hasselt, Belgique), 1961, 16, 262/280.
- (13) VAN BOGAERT A., VANDUFFEL J., MEERSSEMAN F., TVERDY G., VAN DE STEEN R., DEGUELDRE G. et CARTIGNY S. — Silicose expérimentale chez le chien. Etude clinique, radiographique et anatomopathologique. — Rev. Inst. Hyg. Mines (Hasselt, Belgique), 1961, 16, 75/95.
- (14) LAVENNE F. et LEYH P. — The influence of respirators on tolerance to heat in mine rescue operations. — Design and use of respirators. — Oxford, Pergamon Press, 1962, 105/118.
- (15) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1960. — Ann. Mines Belgique, 1961, 5° livraison, 529/575.
- (16) HOUBERECHTS A., DEGUELDRE G. et CARTIGNY S. — Essai de détermination de la nocivité des empoûssiérages miniers. Validité des mesures faites au précipitateur thermique. — Rev. Inst. Hyg. Mines (Hasselt, Belgique), 1960, 15, 3/22.
- (17) HOUBERECHTS A., CARTIGNY S. et DEGUELDRE G. — Etude comparative de solutions tensioactives destinées à la lutte contre les poussières dans les mines. Critères concernant leur efficacité. — Communication Inst. Hyg. Mines (Hasselt, Belgique), 1955, 10, 133, 36 p.
- (18) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1954. — Ann. Mines Belgique, 1955, 3° livraison, 373/410.
- (19) HOUBERECHTS A. et PATIGNY J. — Etude théorique et expérimentale des pertes de charge dans les puits. — Communication Inst. Hyg. Mines (Hasselt, Belgique), 1957, 12, 146, 47 p.
- (20) HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1957. — Ann. Mines Belgique, 1958, 5° livraison, 387/420.
- (21) BROMILOW J.G. — The estimation and the reduction of the aerodynamic resistance of mine shafts. — Trans. Inst. Min. Eng., 1959-60, 119, 449/474.