L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1964

par A. HOUBERECHTS,

Directeur de l'Institut d'Hygiène des Mines,

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

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.

La valeur de l'ergospirométrie pour la détermination de l'invalidité chez les houilleurs pneumoconiotiques a été discutée. Celle-ci n'a de valeur qu'associée à l'analyse du sang artériel.

L'étude des indices de Fowler et de Becklake a montré la fréquence des troubles de la mixique pulmonaire dès les stades Z et 1 de la pneumoconiose, chez des houilleurs volontaires. La fréquence des troubles de la mixique chez les ouvriers volontaires, n'ayant par ailleurs aucun trouble fonctionnel, enlève beaucoup de l'intérêt de cette recherche en vue de la détermination de l'invalidité chez les houilleurs.

La présence des différentes protéines plasmatiques a été recherchée dans les lésions silicotiques du rat, obtenues par instillation de silice cristalline dans la cavité péritonéale. Des méthodes immuno-histologiques ont démontré la présence de gamma-globulines, d'albumine et de fibrinogène dans les lésions du foie et de la rate. Un traitement à la chloroquine n'a pas influencé l'évolution scléro-hyaline dans ces lésions silicotiques.

Dans le domaine de la ventilation et du climat, la Section Technique de l'Institut d'Hygiène des Mines a résolu, par la méthode de l'analogie électrique, plusieurs problèmes dont celui de l'interconnexion des sièges de Helchteren-Zolder et Houthalen des Charbonnages de Zolder. Elle a amélioré

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 mijnwerkers en haar opzoekingswerk voortgezet.

De waarde van de ergospirometrie voor de bepaling van de werkonbekwaamheid bij pneumoconiotieke mijnwerkers werd besproken. Deze heeft slechts waarde, voor zover dat zij gepaard gaat met de bepaling van de bloedgaswaarden.

De studie van de indices van Fowler en van Becklake heeft de frekwentie van distributie-stoornissen vanaf de stadia Z en 1 van pneumoconiose aangetoond bij mijnwerkers die vrijwillig op onderzoek kwamen. Deze frekwentie van distributie-stoornissen bij vrijwilligers, die anderzijds géén funktionele stoornissen vertoonden, neemt veel van het belang weg van dit onderzoek, voor wat aangaat de bepaling van de werkonbekwaamheid bij mijnwerkers.

De aanwezigheid van de verschillende plasmaproteïnen werd opgezocht in silicotische letsels bekomen bij de rat door injectie van cristalijn silicium in het peritoneum. Immuno-histologische methoden hebben de aanwezigheid aangetoond van gammaglobuline, albumine en fibrinogeen in de letsels van lever en milt. Een chloroquine behandeling heeft de sclero-hyaline evolutie van deze silicotische letsels niet beïnvloed.

Op het gebied van ventilatie en klimaat heeft de Technische Afdeling van het Instituut voor Mijnhygiëne tal van problemen opgelost met behulp van een electrisch model van het verluchtingsnet, zo werd onder meer het probleem van de ondergrondse verbinding tussen de zetels Helchteren-Zolder en Houthalen van de Maatschappij Zolder behandeld.

les possibilités du calculateur analogique par l'introduction d'un voltmètre numérique de haute précision et par l'addition d'un certain nombre d'éléments transistorisés permettant une représentation plus exacte des caractéristiques des ventilateurs et des circuits d'aérage à courant constant. De nouvelles études ont été effectuées afin d'encourager la réduction des pertes de charge dans les circuits d'aérage, surtout dans les puits. Enfin, pour les Charbonnages de Hensies-Pommerœul, on a effectué pour une taille à forte production, le bilan thermique qui a mis en évidence les éléments sur lesquels un effort était à porter dans le but d'améliorer le climat.

Dans le domaine de la lutte contre les poussières, l'Institut a poursuivi l'étude de comparaison des empoussiérages, avec l'évolution médicale des ouvriers qui les ont subis. Le Service Technique a mis au point le contrôle systématique de l'empoussiérage dans tous les bassins du pays par une méthode gravimétrique ; il participe activement à l'exécution régulière de ces mesures. Des recherches se poursuivent dans le domaine de l'injection d'eau en veine profonde et de la pré-télé-injection, de même que sur les moyens de réduire l'empoussiérage produit par le fonctionnement des haveuses intégrales.

Au laboratoire de chimie, on a continué les travaux relatifs aux produits retardateurs d'évaporation, utilisés en présence de différents types de charbon et de schiste.

Les premiers résultats de l'enquête concernant l'empoussiérage, terminent le présent article.

De mogelijkheden van de analoge rekenmachine werden vergroot door het toevoegen van een aantal getransistoriseerde elementen met een constante stroom, die de karakteristieken van de ventilatoren en van de ventilatienetten exacter reproduceren. Nieuwe studies werden ondernomen om de ladingsverliezen in het verluchtingsnet te verminderen, in het bijzonder in de schachten. Tenslotte werd voor een pijler, van de Maatschappij Hensies-Pommerœul, die een zeer grote productie leverde, de thermische balans opgemaakt waarin de factoren op de voorgrond treden waarmede men een verbetering van het klimaat kan bereiken.

Op het gebied van de stofbestrijding heeft het Instituut het onderzoek voortgezet, naar het verband tussen de stofverhoudingen waarin de arbeiders gewerkt hebben, en hun gezondheidstoestand. De Technische Afdeling heeft een systematische controle in werking gezet om de stofgrenzen van de verschillende bekkens van het land bij middel van een gravimetrische methode na te gaan, zij werkt eveneens actief mee aan het regelmatig uitvoeren van deze metingen. De onderzoekingen van de diepte-injectie en van pre-tele-injectie werden voortgezet, alsook de studie van middelen om het stof te verminderen dat ontstaat bij de werking van de trommel ondersnijmachine.

In het scheikundig laboratorium gaat men verder met het onderzoek van de producten die het verdampen vertragen. dit wordt toegepast op verschillende soorten van kolen en gesteenten.

Dit artikel wordt beëindigd met de voorlopige resultaten van het onderzoek betreffende de stoffigheid.

ZUSAMMENFASSUNG

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

Neben den planmässigen Untersuchungen von Arbeitern des Steinkohlenbergbaus hat die Medizinische Abteilung ihre Forschungsarbeiten weitergeführt.

Es wurden die Werte der Ergospirometrie zur Bestimmung des Grades der Invalidität bei der Pneumokoniose der Bergleute besprochen. Diese hat nur dann einen Wert, wenn sie mit der Untersuchung des Sauerstoffgehalts des Blutes verbunden ist.

Die Untersuchung der Fowler und Becklake-Indices hat die Häufigkeit der Mischstörungen von Beginn der Stadien Z und 1 bei der Pneumokoniose der Freiwilliger ohne jegliche Funktionsstörung, verringert die Bedeutung der Bestimmung des Grades der Invalidität.

SUMMARY

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

In addition to the systematic examination of miners, the medical department has continued its research work.

The value of spirometry for the determination of the degree of disability in pneumoconiotic coalminers is discussed. In order to have some value, it has to be combined with analysis of arterial blood gases.

The study of Fowler and Becklake indices has shown the frequency of abnormal mixing in categories Z and 1 of pneumoconiosis in volunteer coalminers. The frequency of air distribution abnormalities in asymptomatic volunteer coalminers — who incidentally, did not suffer from any functional

Immuno-histologische Methoden haben in den silikotische Schädigungen der Leber bzw. der Milz, gamma-Globulin, Albumin und Fibrinogen nachgewiesen. Eine Chlorokinbehandlung hat keine Wirkung auf die sklero-hyaline Entwicklung der silikotischen Schädigungen.

Auf dem Gebiet der Grubenbewetterung und des Grubenklimas hat die technische Abteilung des Institut d'Hygiène des Mines mehrere Probleme mit Hilfe des Wetternetzmodells gelöst, darunter das Problem des Durchschlags der Gruben Helchteren-Zolder und Houthalen der Charbonnages de Zolder. Sie hat die Möglichkeit des Wetternetzmodells vergrössert durch Einbeziehung eines direkt anzeigenden Voltmeters mit grosser Genauigkeit und durch Einbau einer Reihe von Transistoren, (mit konstantem Strom) die eine genauere Darstellung der Kennwerte der Lüfter und der Wetterkreislaüfe ermöglichen. Es werden neue Untersuchungen in dem Bestreben durchgeführt, in den Wetterkreislaüfen, vor allem in den Schächten, eine Verminderung der Druckverluste zu erreichen. Schliesslich wurden in der Gesellschaft Charbonnages Hensies-Pommerœul in einem Hochleistungsstreb eine Wärmebilanz aufgestellt, die die Faktoren offenbart, über die sich eine Verbesserung des Grubenklimas erreichen lässt.

Auf dem Gebiet der Staubbekämpfung hat das Institut die Untersuchung des Vergleiches der Staubbelastung mit der Entwicklung des Gesundheitszustands der dieser Staubbelastung ausgesetzten Arbeiter fortgeführt. Die technische Abteilung hat die systematische Ueberwachung der Staubbelastung in allen belgischen Revieren mit Hilfe eines gravimetrischen Verfahrens entwickelt. Sie beteiligt sich aktiv an der regelmässigen Durchführung dieser Messungen. Die Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Kohlenstosstieftränkung und der Vortränkung sowie über die Möglichkeiten der Verringerung der Staubbelastung infolge des Einsatzes der Walzenschrämmaschinen werden fortgesetzt.

Im chemischen Laboratorium wurden die Arbeiten über die verdunstungsverzögernden Mittel weitergeführt, die bei Vorhandensein von verschiedenen Kohlenarten und Bergen eingesetzt werden.

Die ersten Ergebnisse der Erhebung über die Staubbelastung schliessen dieses Kapitel ab.

disturbances — obviously greatly reduces the value of using such mixing tests for the determination of the degree of disability in coalminers' pneumoconiosis.

The presence of different plasma proteins has been assessed in silicotic lesions experimentally induced by instilling crystalline silica into the peritoneal cavity of rats. Immuno-histochemical methods demonstrated the presence of gamma-globulin, albumin and fibrinogen in the liver and spleen. Chloroquine did not affect the hyaline development of these silicotic lesions.

In the field of ventilation and pit climate, the Technical Section of the Institute of Mine Hygiene has solved several problems by means of electric analogue models ; among those was the linking of the Helchteren-Zolder and Houthalen collieries. The Section improved the potentialities of analogue computers by introducing a high-precision numerical voltmeter and by adding some transistorized units which allowed a more precise representation of the characteristics of fans and steady-flow ventilation circuits. New studies have been undertaken with a view to reducing pressure losses in ventilation circuits, particularly in shafts. Finally, a thermal balance was established for a high-production face at Hensies-Pommerœul, and this has indicated the points at wich efforts should be concentrated to improve the pit climate.

In the field of dust suppression, the Institute has pursued comparative studies of dust levels and the medical history of the miners exposed to these dusts. The Technical Service has perfected the systematic monitoring of dust in all the country's coalfields by a gravimetric method ; it takes an active part in the regular measurement of dust. Research continues in the field of deep-hole water infusion and remote pre-infusion, and also on methods to reduce dust produced by cutter-loading machines.

In the chemical laboratory, work has continued on evaporation-retarding products employed with various types of coal and shale.

The present paper ends with the first results of the survey of dust levels.

SOMMAIRE

I. *Travaux de la Section Médicale.*

1. Examens systématiques.
2. Exploration fonctionnelle pulmonaire chez les houilleurs.
3. Silicose expérimentale.

II. *Travaux de la Section Technique.*

1. Ventilation - Climat.
2. Lutte contre les poussières.
3. Etude et analyse de produits divers.
4. 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 1964, nous totalisons 750 examens médicaux effectués à l'Institut d'Hygiène des Mines. La très grande majorité des explorations furent pratiquées à la demande de médecins de charbonnages ou d'organismes charbonniers. Un certain nombre d'examens demandés par les charbonnages concernaient des problèmes difficiles d'embauchage de main-d'œuvre étrangère. Tous les ouvriers ont subi un examen radiologique et clinique complet. Presque tous (689) ont été soumis à un examen électrocardiographique et 688 ont subi des épreuves fonctionnelles pulmonaires. Des examens planigraphiques complémentaires ou des agrandissements ont été effectués chez 176 sujets.

Cinquante sauveteurs du « Coördinatiecentrum Reddingswezen » des charbonnages de Campine ont subi à l'Institut d'Hygiène des Mines une épreuve cardio-plumonaire spéciale en vue de déterminer leur capacité aérobique maximum. Ce travail a pour but d'améliorer les critères de sélection des sauveteurs. Les sujets ont été choisis en fonction de leur comportement lors des exercices d'entraînement qu'ils effectuent à la centrale de sauvetage. Ils ont été soumis à un effort progressif sur la bicyclette ergométrique, la progressivité étant de 15 W toutes les 3 minutes. L'épreuve a été poursuivie jusqu'à l'obtention d'une fréquence cardiaque de 190 pulsations par minute. Durant toute l'expérience, la fréquence cardiaque est suivie sur tracés électrocardiographiques, tandis que la fonction pulmonaire est mesurée en circuit fermé sur le métabographe de Fleisch.

2. EXPLORATION FONCTIONNELLE PULMONAIRE CHEZ LES HOUILLEURS

A. Epreuves d'effort en vue de la détermination de l'invalidité.

F. Lavenne et L. Brasseur [1] ont discuté la valeur des critères généralement retenus pour apprécier l'invalidité d'origine respiratoire des houilleurs, à partir des épreuves d'effort.

a) *Régime stable ventilatoire à l'effort.*

L'absence de régime stable ventilatoire, conventionnellement définie par une augmentation du débit ventilé supérieur à 5 % entre les 10e et 20e minutes d'un effort constant [2], a été proposée comme test d'intolérance à l'effort chez des pneumoconiotiques, par l'école de Sadoul [3] [4].

En faisant de l'hyperventilation progressive un critère d'invalidité d'origine respiratoire, on oublie la complexité de la régulation de la ventilation à l'effort, sur laquelle Dejours [5] a insisté.

Les paramètres respiratoires enregistrés au cours d'un effort de 20 minutes, chez 16 ouvriers de surface et 87 houilleurs encore actifs, pneumoconiotiques aux divers stades (tableau I), ne montrent pas d'hyperventilation progressive, même chez les pseudotumoraux B et C, chez qui le *VEMS* et la $S_{a,O2}$ à l'effort étaient significativement réduits.

TABLEAU I.

Paramètres respiratoires, enregistrés au métabographe de Fleisch, au cours d'un effort de 120 watts, durant 20 minutes, sur le tapis roulant (moyennes obtenues chez 16 ouvriers de surface et 87 pneumoconiotiques aux divers stades, âgés de 35 à 45 ans, encore au travail).

Image radiologique	Nombre de sujets	$\dot{V}$ l/min		$\dot{V}_{O_2}$ cm³/min		ER_{O_2}		$ER_{O_2} > 30$ Nombre de cas	
		11-15 min	16-20 min	11-15 min	16-20 min	11-15 min	16-20 min	11-15 min	16-20 min
O	16	35,4	35,5	1551	1544	22,8	23,1	—	—
Z	5	36,0	36,9	1513	1477	23,8	24,4	—	—
1m	9	38,1	38,7	1470	1477	26,0	26,2	—	—
2p	8	41,8	42,4	1563	1608	27,1	26,4	—	2
2m	17	39,5	40,3	1431	1464	27,5	27,5	2	4
3p	8	39,1	38,8	1359	1361	28,7	28,5	—	2
3m	12	39,2	39,9	1474	1473	26,5	27,0	3	2
3n	3	42,1	43,0	1417	1399	28,7	30,3	1	1
A	12	37,9	38,7	1421	1429	26,6	27,1	2	1
B + C	13	38,8	39,2	1377	1371	28,3	28,8	5	3

Note : Les valeurs de ER_{O_2} en italiques sont celles différant au palier de confiance de 95 % de celles trouvées chez les ouvriers de surface non pneumoconiotiques (groupe O).

La corrélation entre bronchite-emphysème et hyperventilation progressive n'est pas meilleure. L'augmentation du taux d'acide lactique paraît être une cause importante d'hyperventilation progressive à l'effort [6].

Une absence de régime stable ventilatoire à l'effort ne peut donc pas être considérée, chez les houilleurs pneumoconiotiques, comme un critère d'invalidité d'origine respiratoire.

b) *Equivalent respiratoire pour l'oxygène (ER_{O_2}).*

L'ER_{O_2}, ou rapport $\dot{V}/\dot{V}_{O_2}$ entre les volumes d'air ventilé et d'oxygène consommé, est fréquemment élevé dans la pneumoconiose des houilleurs [7] [8] [9] [10]. Même chez les pneumoconiotiques encore actifs, l'ER_{O_2}, statistiquement augmenté dès le stade micronodulaire 1, croît avec l'aggravation de la pneumoconiose (tableau II).

La différence entre pseudotumoraux et sujets normaux est toutefois peu importante. La pneumoconiose des houilleurs n'entraîne pas, comme l'asbestose, une hyperventilation importante à l'effort. Des pseudotumoraux entraînés travaillent en désaturation artérielle nette, mais avec un ER_{O_2} normal [11].

La corrélation entre ER_{O_2} et bronchite-emphysème n'est pas meilleure. Au contraire, les emphysémateux à *VEMS* réduit peuvent donner à l'effort leur ventilation maximum avec un ER_{O_2} bas, mais en état d'hypoventilation alvéolaire.

TABLEAU II.

Répartition par classe radiologique des sujets ayant une $p_{a,O_2} < 85$ mm Hg à l'effort, chez 16 ouvriers de surface et 101 pneumoconiotiques aux divers stades, âgés de 35 à 45 ans, encore au travail.

Image radiologique	Nombre total de sujets examinés	$p_{a,O_2} < 85$ mm Hg à l'effort	
		Nombre de cas	%
O	16	0	0
Z + 1	18	1	5,5
2 (p et m)	27	7	25,9
3 (p, m et n)	26	13	50,0
A + B + C	30	26	86,6

Bien plus que par les troubles fonctionnels respiratoires, la ventilation à l'effort est influencée par de multiples facteurs neurogènes et humoraux [5]. Des facteurs psychologiques entraîneront une alcalose respiratoire, mais le plus souvent l'hyperventilation est due à une acidose métabolique par hyperlacticémie. Celle-ci peut être d'origine soit circulatoire, soit purement musculaire : perte d'entraînement, parfois simple inadaptation au pédalage.

Bien que la pneumoconiose des houilleurs entraîne statistiquement une élévation de l'ER_{O_2} à

l'effort, Lavenne et Brasseur [1] ne croient plus que ce paramètre soit très important dans l'appréciation de l'invalidité. En effet, il peut être normal en cas de troubles fonctionnels respiratoires indiscutables (pseudotumoraux désaturant à l'effort) et même d'insuffisance pulmonaire marquée (bronchitiques-emphysémateux en hypoventilation alvéolaire) et, d'autre part, il est influencé par trop de facteurs nerveux et humoraux indépendants de la fonction respiratoire. Un ER_{O2} augmenté à l'effort doit être interprété en fonction de l'examen clinique, du degré d'entraînement, de l'image radiologique, de la spirométrie et de l'analyse du sang artériel.

c) *Sang artériel à l'effort.*

Le plus grand apport de la ponction artérielle est la découverte de désaturations sans hypercapnie, chez des houilleurs encore au travail et sans plaintes respiratoires. La figure 1 illustre les $p_{a,O2}$ trouvées à la 10e minute d'un effort de 120 watts, chez 16 ouvriers de surface et 101 pneumoconiotiques de 35 à 45 ans, encore actifs, aux divers stades de la pneumoconiose [11].

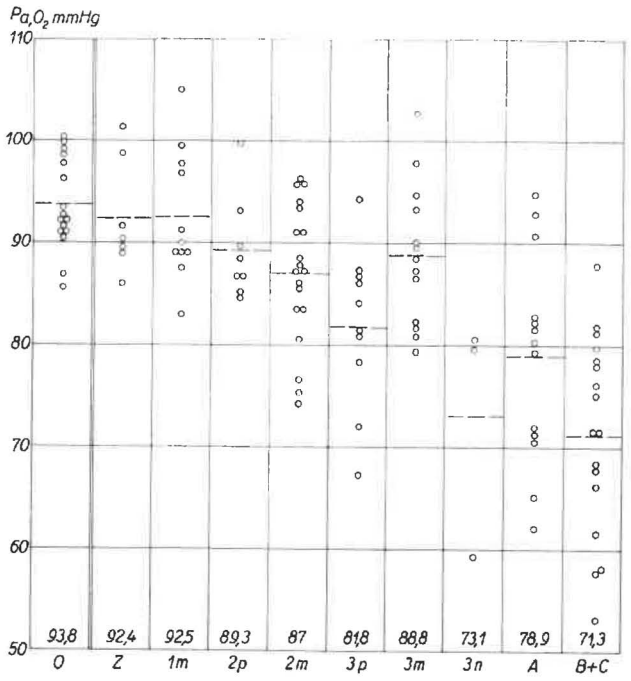

Fig. 1.
Pression partielle d'oxygène du sang artériel, à l'effort, chez 16 ouvriers de surface et chez 101 pneumoconiotiques (les chiffres au bas des colonnes représentent les valeurs moyennes aux divers stades radiologiques).

Les diminutions de la $pa,_{O2}$, significatives en moyenne dès le stade 2p, augmentent de fréquence avec l'aggravation de l'image radiologique. Le tableau II montre les pourcentages de $p_{a,O2} < 85$ mm Hg (limite inférieure de la normale à cet âge, avec la technique employée), aux divers stades de la pneumoconiose. Ces résultats justifient l'analyse des gaz du sang à l'effort, dans toute pneumoconiose atteignant le stade micronodulaire 3. Des $p_{a,O2} <$ 70 mm Hg (correspondant à des $Sa,_{O2} < 93$ %) ne sont toutefois fréquentes dans ce groupe d'ouvriers encore au travail que chez les pseudotumoraux.

Les désaturations sans hypercapnie, fréquemment rencontrées chez des pneumoconiotiques actifs et sans plaintes, ont un caractère invalidant discutable, qui dépend essentiellement de leur pathogénie.

Si, au stade micronodulaire, les légères désaturations ne traduisent que des troubles du rapport ventilation/perfusion ($\dot{V}_A/\dot{Q}_c$), elles ne doivent pas entraîner une augmentation importante du pourcentage d'invalidité résultant des autres données, notamment du *VEMS*. Nous faisons des réserves pour les $p_{a,O2} < 70$ mm Hg à l'effort. Ce sont sans doute les meilleures indications du cathétérisme cardiaque, afin d'exclure une hypertension artérielle pulmonaire.

Dans les pneumoconioses condensées, il est possible qu'à côté des troubles du rapport $\dot{V}_A/\dot{Q}_c$, la réduction du lit vasculaire pulmonaire joue un rôle, surtout pour les $p_{a,O2}$ inférieures à 70 mm Hg. Vu la gravité des altérations vasculaires pulmonaires pour le pronostic lointain [12], ces désaturations à l'effort doivent corriger largement l'estimation de l'invalidité faite à partir du *VEMS*. Pour les stades B et C, on peut considérer, avec Rossier [13], la désaturation artérielle à l'effort comme le principal critère d'invalidité.

d) *Conclusion.*

La place des épreuves d'effort dans l'évaluation de l'invalidité d'origine respiratoire chez les houilleurs augmente avec l'aggravation de l'image radiologique.

L'absence de régime stable ventilatoire ne peut être retenue comme critère d'incapacité d'origine pulmonaire.

Même l'élévation de l'ER_{O2}, trop peu spécifique, n'est que d'un faible secours. Elle doit en tout cas être interprétée en fonction d'autres données.

L'ergospirométrie n'a donc de valeur qu'associée à l'analyse du sang artériel, qui permet de découvrir des désaturations oxyhémoglobinées, spécifiques de troubles respiratoires. Ces désaturations à l'effort ne doivent pourtant être transposées sur le plan de l'invalidité qu'en fonction de la spirométrie et de l'image radiologique. On ne peut de l'avis des chercheurs de l'Institut adopter, pour la relation entre désaturation à l'effort et invalidité, les barèmes simples proposés par Rossier [13] et par Valentin [14].

B. Mixique pulmonaire chez les houilleurs.

Adoptant la méthode de Fowler, Cornish et Kety [15] reprise par Lundin [16], Oelbrandt et Lavenne [17] ont étudié la mixique de sujets normaux et de houilleurs aux divers stades radiologiques de la pneumoconiose. Leur appareillage et la justification des calculs conduisant à l'indice de Fowler ont fait l'objet d'une publication antérieure [18].

Ils ont parallèlement comparé l'indice de Fowler (exprimé en pourcentage par rapport à la valeur idéale) à celui de Becklake [19] modifié par Lundin [20] et Bouhuys [21] ainsi qu'à divers temps de rinçage de l'azote alvéolaire.

a) *Indice de Fowler et pneumoconioses.*

Les résultats obtenus chez des sujets normaux confirment ceux de Bouhuys [22]. Il doit être considéré comme normal en dessous de 70 % et comme pathologique au-dessus de 100 %, les valeurs comprises entre 70 % et 100 % étant considérées comme à la limite de la normale. L'indice de Fowler dépend du rapport *VR/CT* et de l'âge, mais cette influence n'explique pas le pourcentage important d'indices de Fowler pathologiques dès les stades micronodulaires débutants.

Alors qu'un indice de Fowler anormal n'a été trouvé que chez moins de 4 % des sujets normaux de 35 à 45 ans, le pourcentage d'indices anormaux s'élève considérablement (à 37,5 %) chez des pneumoconiotiques du même âge dès les stades Z et 1, pour atteindre 62,5 % aux stades de condensations (tableau III).

b) *Indice de Fowler et indice de Becklake.*

Les figures 2 et 3 montrent la relation entre les indices de Fowler et de Becklake pour les divers stades de pneumoconiose.

A un indice de Fowler de 100 %, correspondent en moyenne des indices de Becklake de 10 chez les non-pneumoconiotiques, de 11,5 aux stades Z, 1 et 2 et de 12,5 aux stades 3, A, B et C. L'indice de Becklake parait donc influencé par d'autres facteurs que ceux qui modifient l'indice de Fowler. Il n'est pas exclu que l'âge joue ici un certain rôle. L'indice de Becklake présente un certain intérêt, vu sa facilité de calcul. Il est apparu des résultats obtenus à l'Institut d'Hygiène des Mines que chez les pneumoconiotiques d'un âge voisin de 45 ans, il ne doit être considéré comme pathologique que pour des valeurs supérieures à 12.

Qu'on adopte pour limite supérieure de la normale une valeur de 10 ou une valeur de 12, on trouve une différence très significative ($P > 0{,}995$) entre les sujets normaux et les pneumoconiotiques dès les stades Z et 1. Une nouvelle augmentation

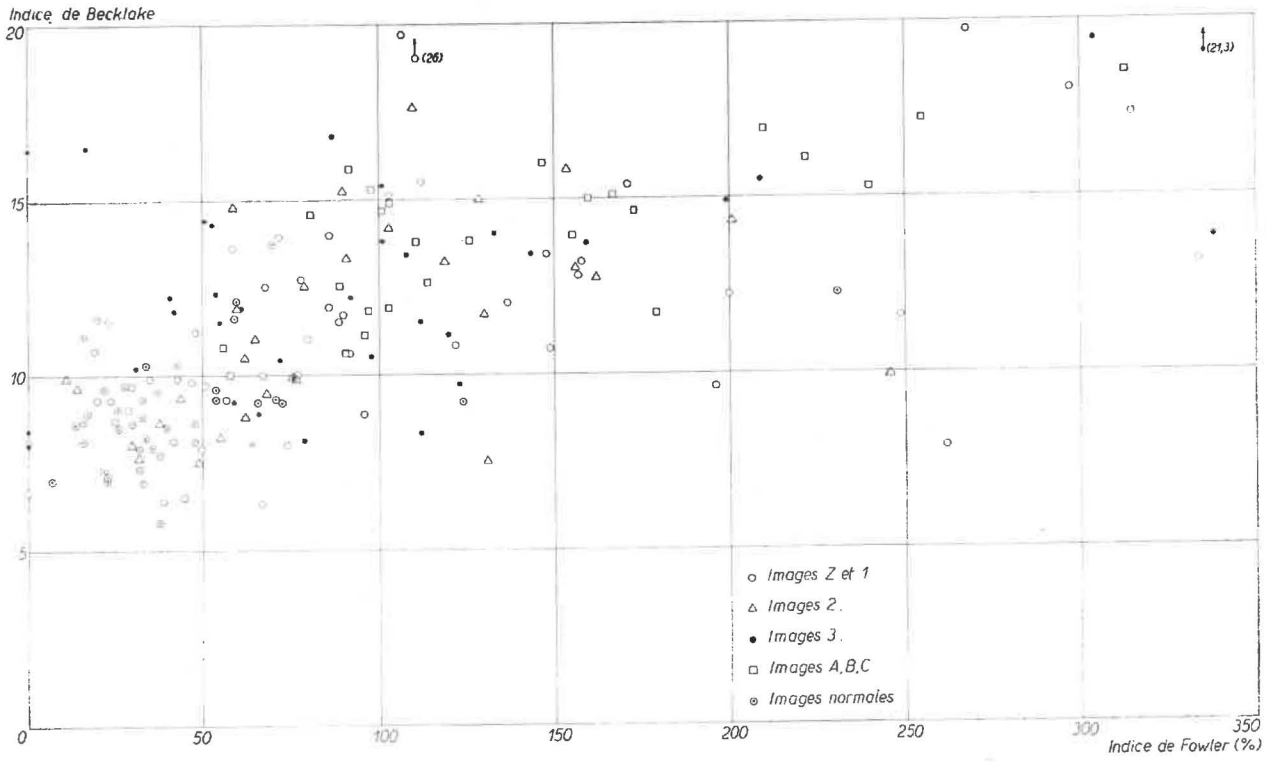

Fig. 2.
Recherche d'une corrélation entre l'indice de Becklake et l'indice de Fowler, pour les divers stades radiologiques de la pneumoconiose.

TABLEAU III.

Comparaison entre l'indice de Fowler et l'image radiologique chez des houilleurs pneumoconiotiques de 35 à 45 ans encore au travail.

Image radiologique	Nombre de cas	Indices de Fowler					
		normal		paranormal		anormal	
		Nombre de cas	%	Nombre de cas	%	Nombre de cas	%
Z et 1	16	2	(12,5)	8	(50,0)	6	(37,5)
2 (m, n)	10	3	(30,0)	2	(20,0)	5	(50,0)
3 (p, m, n)	22	6	(27,0)	5	(23,0)	11	(50,0)
A, B, C	40	4	(10,0)	11	(27,5)	25	(62,5)

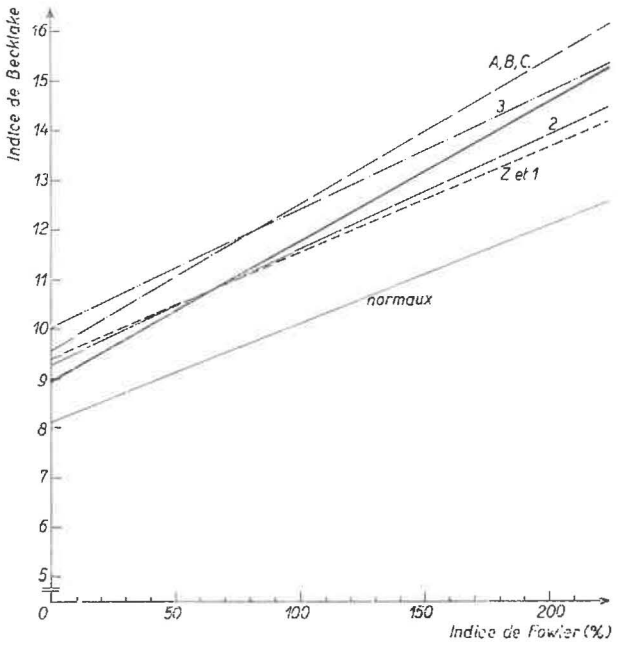

Fig. 3.

Droites de régression entre l'indice de Becklake et l'indice de Fowler pour les divers stades radiologiques de la pneumoconiose. Ces régressions sont calculées à partir des résultats de la figure 2. La droite en trait épais se rapporte à l'ensemble des sujets.

nette apparaît, comme pour l'indice de Fowler, au stade de condensation.

c) *Temps de mixique selon Cara.*

Cara a proposé à un groupe de travail de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier [23] d'exprimer la mixique en fonction des temps nécessaires pour rincer 50, 66,6 et 90 % de l'azote alvéolaire, ce qui correspond respectivement à un abaissement à 40, 26,6 et 7,2 % des taux d'azote alvéolaire. Ces temps ne montrent aucune corrélation ni avec les indices de Fowler et de Becklake, ni avec les stades radiologiques de la pneumoconiose. Ces mesures très simples paraissent donc malheureusement dépourvues d'intérêt.

d) *Conclusions.*

L'indice de Fowler est nettement influencé par l'âge et par l'augmentation du volume résiduel pulmonaire. Mais, même en tenant compte des facteurs âge et volume résiduel ainsi que des écarts importants trouvés parfois dans l'indice de Fowler chez le même sujet à des dates différentes, la comparaison de sujets normaux et de mineurs non-bronchitiques prouve toutefois l'existence de troubles nets de la mixique dès les premiers stades de la pneumoconiose des houilleurs.

L'indice de Becklake, modifié par Bouhuys, augmente également parallèlement à l'aggravation de l'image radiologique de la pneumoconiose. Tout au moins chez les pneumoconiotiques d'un âge voisin de 45 à 50 ans, il ne devrait être considéré comme anormal que lorsqu'il dépasse une valeur de 12.

Les résultats de Oelbrandt et Lavenne [17] ne confirment que partiellement ceux de Sartorelli et collaborateurs [24] qui ne trouvent des troubles de la mixique qu'à partir de stades plus avancés de la silicose. Ils sont par contre en parfait accord avec ceux de Gilson et Hugh-Jones [25] qui ont également mis en évidence des troubles de la mixique dès les stades débutants de la pneumoconiose des houilleurs. Ces inégalités de ventilation expliquent sans doute les augmentations statistiquement significatives du gradient alvéolaire-artériel pour l'oxygène trouvées par Brasseur [11] dès le stade micronodulaire 2p, chez des houilleurs volontaires encore au travail et âgés de 35 à 45 ans.

La fréquence de la mise en évidence de troubles de la mixique dès les stades Z et 1, chez des houilleurs encore au travail, n'ayant aucune autre anomalie fonctionnelle, enlève à cette méthode une grande partie de son intérêt en ce qui concerne l'ap-

préciation du taux d'invalidité dans la pneumoconiose des houilleurs.

3. SILICOSE EXPERIMENTALE

A. Influence de la chloroquine sur l'évolution de la silicose expérimentale chez le rat.

Beck et Schlipköter [26], étudiant l'effet du traitement à la chloroquine de la silicose pulmonaire expérimentale chez le rat, n'avaient observé aucun effet ni sur la distribution de la lésion pulmonaire, ni sur l'évolution scléro-fibreuse ultérieure. Malgré ces résultats négatifs, le succès thérapeutique des antimalariques de synthèse dans des processus inflammatoires à évolution chronique, tels que les collagénoses [27] [28], et l'absence quasi absolue de toxicité de la chloroquine [29] ont incité Carbonara et coll. [30] à essayer l'effet de ce composé sur l'évolution de la silicose péritonéale expérimentale.

D'autre part, ils ont envisagé une action préventive possible des antimalariques. En effet, ces médicaments ne présentent leur maximum d'efficacité qu'après une certaine période de latence, cette action étant attribuée à l'accumulation intratissulaire de l'antimalarique [31].

a) *Matériel et méthode.*

Trente rats femelles d'un poids moyen de 130 g ont reçu par voie intrapéritonéale une dose de 0,5 g (soit 4 g/kg de poids corporel) de silice cristalline (quartz) ayant une granulométrie inférieure à 20 μ.

Cette injection fut suivie de l'administration quotidienne parentérale de chloroquine à la dose de 5 mg/kg de poids corporel. Chez 30 autres rats ayant été traités de la même façon, on a procédé à l'injection préalable de la chloroquine pendant quinze jours.

Enfin, 30 rats ont reçu uniquement la même quantité de silice intrapéritonéale, à titre de contrôle. Deux animaux de chaque groupe ont été sacrifiés au 10^e, 20^e, 30^e, 42^e, 58^e et 114^e jour après l'injection de silice.

Après anesthésie à l'éther, les animaux furent saignés et autopsiés. On a étudié le degré et la distribution des lésions silicotiques dans la cavité péritonéale. Chaque organe a été pesé et fixé ensuite au Zenker-formol, pour l'étude histologique.

Les coupes histologiques ont été colorées à l'hématoxyline-éosine et suivant les méthodes de Mallory, Gomori et Unna-Pappenheim. Les sérums ont été soumis à l'électrophorèse sur papier et à l'immunoélectrophorèse sur agar contre un antisérum de lapin immunisé avec du sérum de rat.

b) *Résultats et conclusions.*

L'influence de la chloroquine sur la formation et sur l'évolution de la silicose expérimentale péritonéale chez le rat est apparue extrêmement réduite et limitée surtout à la première phase du processus. La réaction inflammatoire initiale après l'injection de quartz chez les animaux traités a été moins manifeste, se traduisant au point de vue macroscopique par une séreuse péritonéale moins hyperémiée et par des zones libres de tout processus inflammatoire.

L'évolution scléro-hyaline des lésions au niveau de la séreuse péritonéale et des organes abdominaux ne montre aucune différence dans les 3 séries de sujets. De même l'administration préventive de la chloroquine pendant les 15 jours précédant l'injection de silice est sans effet.

Les observations de Carbonara et coll. [30] concordent avec les travaux de Beck et Schlipköter [26] qui administrent des doses plus faibles de silice par voie trachéale et traitent les animaux par aérosols de chloroquine.

Cette absence d'effet de la chloroquine sur l'évolution scléro-fibreuse des lésions inflammatoires est confirmée par des observations au cours de la polyarthrite chronique évolutive. En effet, les meilleurs résultats sont enregistrés dans des cas débutants pour lesquels la composante inflammatoire est très franche, en opposition avec l'effet médiocre de la médication antimalarique lors des stades cliniques avancés [32].

Les modifications sériques au cours de la maladie silicotique concordent avec les résultats de Mosinger et collaborateurs [33], qui décrivent également une augmentation des α_2- et des γ-globulines, respectivement à la phase du début et au cours de la période terminale de la maladie silicotique.

Chez les animaux traités à la chloroquine dans les conditions expérimentales mentionnées ci-dessus, l'augmentation absolue et relative des γ-globulines est moindre par rapport aux groupes non traités.

Il est intéressant de rapprocher cette action de la chloroquine sur la production des γ-globulines, de l'effet bénéfique observé cliniquement dans les affections avec manifestations auto-immunitaires, telles que le lupus érythémateux disséminé, la polyarthrite chronique évolutive etc..

Il est d'autre part reconnu que la silicose clinique, comme la silicose expérimentale, s'accompagne d'une élévation du taux des globulines sériques et que le quartz agit sur les processus d'immunisation à la façon d'un adjuvant [34].

Ces faits incitent à croire qu'il y aurait lieu de reprendre l'étude des effets de la chloroquine, non en utilisant les doses massives de quartz employées jusqu'ici, mais en se plaçant dans des conditions plus proches de celles de la maladie clinique.

Dans ce but, des essais thérapeutiques à la chloroquine ont été entrepris sur des animaux recevant des instillations de silice par voie intra-trachéale.

B. Présence de différentes protéines plasmatiques dans le nodule silicotique expérimental du rat.

L'hypothèse de la pathogénie immunitaire de la silicose humaine repose en grande partie sur la démonstration de la présence sélective des γ-globulines dans les lésions de pneumoconiose [35] [36]. Quoiqu'on ne connaisse pas la composition exacte de la substance hyaline du nodule silicotique, il est indiscutable qu'un pourcentage important de la fraction protéique présente dans la lésion humaine est composée de γ-globulines.

La démonstration [37] de la fixation in vitro du complément de cobaye et du facteur rhumatoïde humain sur les lésions silicotiques humaines a renforcé l'hypothèse auto-immunitaire. Cependant, ces dernières données expérimentales permettraient tout aussi bien de croire que la substance hyaline du nodule contiendrait, non des complexes antigènes-anticorps, mais simplement des γ-globulines agrégées, lesquelles, on le sait, présentent également la propriété de fixer le complément et de réagir avec la macroglobuline du facteur rhumatoïde.

Chez le rat d'expérience, comme chez l'homme, bien que l'aspect anatomopathologique de la lésion silicotique expérimentale montre une réaction plasmocytaire incontestable, des études d'immunofluorescence [38] et des analyses microspectrophotométriques [39] entreprises par d'autres auteurs n'ont démontré la présence ni de γ-globulines, ni de protéines plasmatiques dans le nodule silicotique.

Ces données contradictoires ont amené de nombreux auteurs à penser que la pathogénie de l'affection silicotique dans le domaine humain pourrait être différente de celle observée dans la maladie expérimentale. Afin d'éclaircir quelque peu cette question, Carbonara, Rodhain et Heremans [40] ont voulu vérifier la présence ou l'absence de diverses protéines plasmatiques dans les lésions silicotiques obtenues chez le rat, par inoculation de silice cristalline par voie intrapéritonéale.

a) *Matériel et méthodes.*

Des rats de sexe femelle et d'un poids moyen de 120 g ont reçu par voie intrapéritonéale 300 mg de silice cristalline d'une granulométrie de 3 à 20 μ, en une injection. Chaque mois, deux animaux ont été sacrifiés et ce jusqu'au 4me mois.

Les organes et surtout le foie, la rate et les ganglions lombo-aortiques ont été immédiatement congelés et les coupes effectuées au cryostat. Les coupes, séchées rapidement sous courant d'air froid, ont été fixées au méthanol absolu pendant 3 minutes, à la température de la chambre, et soumises aux tests d'immunofluorescence. Les antisérums employés dans cette étude ont été obtenus en injectant tous les 10 jours, par voie intramusculaire, 10 mg d'antigène mélangé à de l'adjuvant complet de Freund.

— L'anti-γ-globuline de rat a été obtenue par injection de γ-globulines de rat immunologiquement pures, préparées sur colonne de DEAE-cellulose. A l'analyse immuno-électrophorétique, l'antisérum révèle une ligne de précipitation unique.

— L'anti-albumine a été obtenue par injection d'albumine de rat préparée par électrophorèse sur gel d'agar ; l'antisérum fut rendu spécifique par des absorptions succesives avec des fractions protéiques de sérum de rat à mobilité α_1 et α_2.

— L'anti-fibrinogène a été obtenu par injection de fibrine de rat et rendu spécifique par absorption avec du sérum de rat.

— L'antisérum anti-complément de cobaye a été obtenu par injection de différents complexes antigène-anticorps de lapin, préalablement incubés en présence de sérum frais de cobaye. L'antisérum testé en immunoélectrophorèse contre un sérum frais de cobaye a révélé la présence d'une ligne de précipitation à double courbure en position β et d'une faible ligne de précipitation en position γ, qui fut éliminée par absorption par des γ-globulines de cobaye immunologiquement pures.

— Le sérum anti-HeLa a été obtenu par injection répétée de cellules HeLa pendant plusieurs mois.

b) *Résultats et conclusions.*

Carbonara et collaborateurs [40] ont mis en évidence plusieurs espèces de protéines plasmatiques dans le nodule silicotique du rat.

Quoique la technique utilisée ne leur ait pas permis une évaluation quantitative des constituants protéiques, la présence de γ-globulines, de fibrinogène et d'albumine reste démontrée.

La positivité de la réaction d'Adams pour la recherche du tryptophane a toujours été positive dans les nodules silicotiques, ce qui confirme les résultats obtenus par la technique d'immunofluorescence.

La présence de protéines plasmatiques a surtout été démontrée dans les nodules silicotiques âgés de trois et quatre mois, époque pendant laquelle une substance amorphe éosinophile a progressivement remplacé la composante cellulaire.

Il paraît intéressant de comparer ces résultats à ceux obtenus en pathologie silicotique humaine, dans le but de trouver un point commun dans l'interprétation de la pathogénie de la silicose.

Dans le nodule silicotique humain, la composante protéique semble être constituée en majeure partie de γ-globulines ; le pourcentage des autres protéines plasmatiques, si elles sont présentes, doit être minime, étant donné que l'injection, chez le lapin, d'un extrait lavé de nodule silicotique humain, pro-

duit un antisérum anti-γ-humain spécifique [35] [36].

Ce résultat fondamental, à côté d'une série d'altérations sérologiques rencontrées chez des sujets silicotiques [39], a fourni la base de la récente théorie immunitaire de la silicose humaine.

Si, d'une part, la présence de γ-globulines dans le nodule silicotique expérimental chez le rat peut jouer en faveur d'une interprétation pathogénique identique, d'autre part la présence d'autres protéines, telles que l'albumine et le fibrinogène, limite une telle hypothèse. Les données exclusivement qualitatives fournies par la technique d'immunofluorescence ne fournissent que des indications sommaires quant au pourcentage des différents composants de la fraction protéique.

La présence de nombreux éléments de la série plasmocytaire en périphérie des lésions est en faveur d'une production locale de gamma-globulines, et dès lors d'une prévalence quantitative de cette fraction protéique dans le nodule silicotique.

L'albumine et le fibrinogène, présents en moindre quantité, pourraient refléter la présence dans la lésion, de liquide interstitiel, lequel, on le sait, contient en quantité variable toutes les protéines plasmatiques.

La présence de tryptophane dans les lésions confirme uniquement les résultats obtenus par la technique d'immunofluorescence et ne donne pas de renseignements supplémentaires sur la composante protéique de la lésion. En effet, le trytophane est présent en quantité variable dans toutes les protéines du sérum.

Carbonara et collaborateurs [40] n'ont pas retenu l'hypothèse selon laquelle la présence d'albumine et de fibrinogène dans le nodule silicotique hépatique serait due au fait que les lésions se forment dans un organe qui produit normalement ces protéines. La présence de fibrinogène et d'albumine dans les lésions silicotiques de la rate paraît suffisante pour rejeter cette hypothèse.

Une autre donnée qui ne concorde pas avec les faits observés en pathologie humaine est l'absence de fixation du complément de cobaye in vitro sur les lésions. Il est vraisemblable que les γ-globulines présentes n'avaient pas les caractéristiques physico-chimiques nécessaires pour une telle activité.

En définitive, il semble que ces résultats, bien qu'incomplets, réengagent la discussion au sujet d'une pathogénie commune probable entre la silicose humaine et la silicose expérimentale. Une analyse du nodule silicotique, effectuée avec des techniques de nature plus quantitative, pourra donner une signification exacte aux résultats de cette recherche.

II. — TRAVAUX DE LA SECTION TECHNIQUE

1. VENTILATION - CLIMAT

A. Etude de la ventilation par analogie électrique.

a) *Les Houillères d'Anderlues* nous ont soumis un problème relatif à l'exploitation d'un quartier éloigné des puits, devant assurer à bref délai une fraction importante de la production.

Comme le montre la figure 4, ce quartier (IV) appartient au plus bas des deux niveaux d'exploitation que comporte actuellement le charbonnage, il possède 3 retours d'air, dont 2 par un puits étroit et résistant d'un siège arrêté. Par ailleurs, on dispose de 4 ventilateurs auxiliaires, dont les débits nominaux varient de 15 à 30 m^3/s, et dont aucun ne couvre à lui seul les besoins en air du quartier IV.

Il s'agissait de disposer au mieux les ventilateurs auxiliaires, en vue de favoriser l'aérage du quartier le plus éloigné. On a également envisagé de supprimer le retour d'air par le siège arrêté et de remplacer les ventilateurs souterrains V_1 et V_2 par un seul plus puissant ; cette solution s'avérait la plus avantageuse au point de vue de la consommation d'énergie.

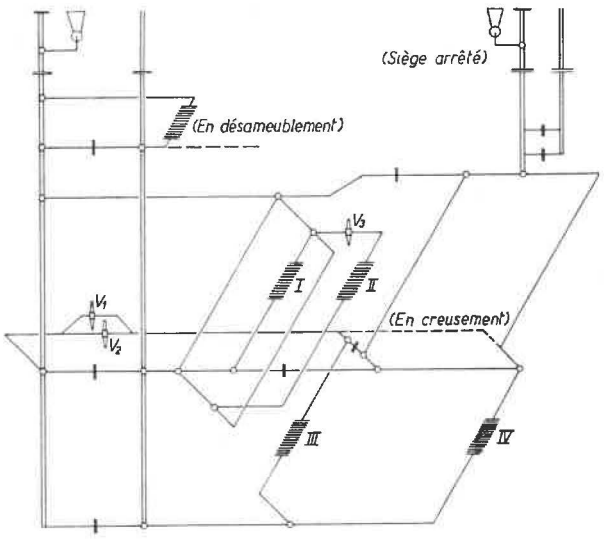

Fig. 4.
Schéma des exploitations souterraines des Houillères d'Anderlues.

Après la construction du modèle à partir des données fournies par le charbonnage, on a constaté une divergence notable dans la répartition des débits sur ce modèle, d'une part, dans la réalité, d'autre part.

Une des raisons de cette divergence résidait dans le fait que la résistance métrique des puits avait été déterminée d'après des mesures relevées dans la partie supérieure (0-600 m) et extrapolées à la partie inférieure. Cette extrapolation ne tenait pas compte de l'influence des envoyages successifs entre 600 et 1.000 m de profondeur, qui portait la résistance apparente des puits à $5{,}64.10^{-3}$ murgues/m, au lieu de $4{,}1.10^{-3}$ murgues/m au dessus de 600 m. Cette observation confirme une remarque déjà faite dans notre rapport précédent [41].

Par ailleurs, notre étude a bien mis en évidence la difficulté de maintenir tous les ventilateurs sur la partie utile de leur caractéristique, de façon qu'ils fonctionnent sans pompage et conservent un rendement raisonnable, au fur et à mesure de l'évolution des travaux souterrains.

b) *Les Charbonnages de Helchteren-Zolder et Houthalen* ont demandé à l'Institut une étude relative à l'interconnexion des deux sièges. Cette interconnexion constitue en réalité en une liaison diagonale entre retours d'air, devant permettre d'accroître le débit du siège de Zolder au détriment de celui de Houthalen, compte tenu de ce que le puits de retour d'air de Zolder est particulièrement résistant.

La figure 5 représente très sommairement l'ensemble des exploitations des deux sièges à interconnecter. On y constate que la liaison forme une maille nouvelle comprenant les deux puits de retour d'air et les deux ventilateurs principaux. Il est capital, en vue de la prévision du courant dans la liaison,

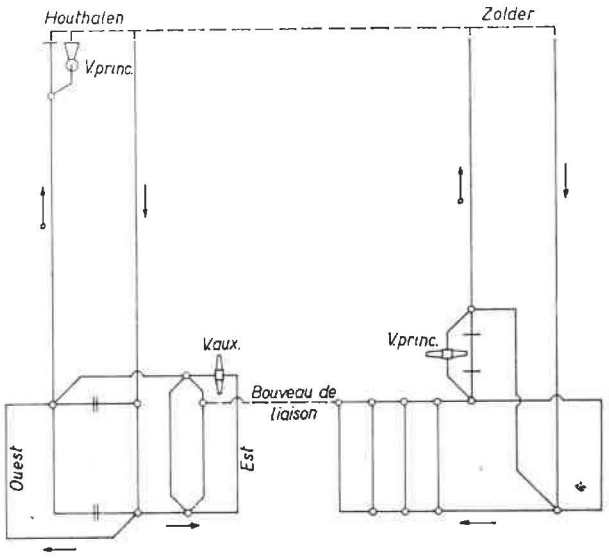

Fig. 5.
Schéma des exploitations souterraines des Charbonnages de Helchteren-Zolder et Houthalen.

que les pertes de charge et les résistances de toutes les branches de cette maille soient déterminées avec précision. En effet une erreur Δp, sur la dépression d'un ventilateur ou sur une perte de charge, erreur agissant dans le modèle comme un ventilateur fictif, y provoquerait la naissance d'un débit de circulation ΔQ valant, en première approximation :

$$\Delta Q = \frac{\Delta p}{2 \Sigma K_i \mid Q_i \mid}$$

Comme les résistances K_i des branches formant la maille nouvelle sont faibles, le débit dans la liaison pourrait ainsi être faussé de quelques m^3/s, ce qui représenterait une erreur inadmissible. C'est pourquoi on a procédé à la détermination aussi soignée que possible des pertes de charge dans la maille considérée, en appliquant en particulier la méthode du flexible dans le puits de retour d'air de Zolder et dans toute la partie des bouveaux de liaison où le débit d'air était suffisant. Une difficulté particulière est née du fait que les mesures avaient eu lieu à des jours différents dans les deux sièges et qu'il a fallu ramener les dépressions d'aérage naturel à un même jour.

Malgré toutes les précautions prises, la différence de pression existant de part et d'autre de la communication à créer n'a pu être estimée qu'à environ 10 mm H_2O près. C'est pourquoi cette différence a été contrôlée à travers un sondage entre les deux fronts, avant l'établissement de la liaison.

Quant aux autres parties des deux sièges, elles ont été fortement simplifiées sur le modèle : seuls les chantiers raccordés directement sur la maille nouvelle ont été représentés de façon détaillée.

Après construction du modèle, on a envisagé les problèmes suivants : qu'arrivera-t-il au moment de la jonction ? Un ventilateur est-il nécessaire dans la liaison ? Quelle doit en être la caractéristique manométrique en fonction du nombre de chantiers ventilés en diagonale entre Zolder et Houthalen ? Combien de tels chantiers pourraient-ils être ventilés en installant un ventilateur disponible au charbonnage ? Quelles sont les conséquences de l'arrêt d'un des ventilateurs principaux ?

Sans entrer dans les détails, on peut dire que cette étude a démontré une fois de plus la difficulté qu'il y a à éviter la formation de zones mortes d'aérage dans une longue diagonale comportant de nombreuses dérivations à faible débit.

B. Amélioration des moyens d'étude de la ventilation.

Un effort particulier a été consacré cette année à l'accroissement de nos possibilités d'étude. Notre simulateur d'aérage a été pourvu d'éléments nouveaux, transistorés, à travers lesquels le courant peut être maintenu indépendant de la tension aux bornes

dans les limites de 15 à 100 volts. Ils représentent des circuits où le débit d'air est maintenu constant, soit par des portes régulatrices, soit par des ventilateurs réglables.

Ils permettent en outre une représentation plus exacte de la caractéristique de pression des ventilateurs. En effet, on peut proposer pour celle-ci l'équation :

$$p_r = p_0 - K_v (Q - Q_0)^2.$$

Cette équation, contenant trois paramètres : p_0, K_v et Q_0, représente une parabole que l'on peut assujettir à passer par 3 points de la caractéristique expérimentale, ce qui entraîne une excellente approximation.

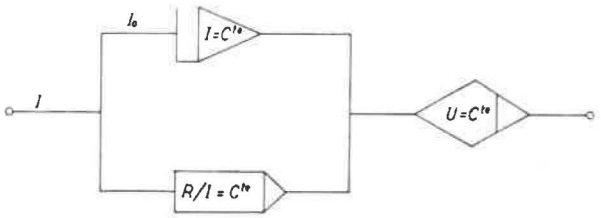

Fig. 6.
Représentation d'un ventilateur sur le simulateur d'aérage au moyen d'un élément à tension constante (U), d'un élément à courant constant (I) et d'un élément à caractéristique parabolique (R/I).

L'équation précédente est aussi celle du montage de la figure 6 ; celui-ci comporte en série avec la source U correspondant à la pression p_0, l'élément à courant continu, figurant le débit Q_0, et la branche à caractéristique parabolique parcourue par le courant $I - I_0$, qui provoque la chute de tension

$$R (I - I_0) = K (I - I_0)^2$$

équivalant de la chute de pression $K_v (Q - Q_0)^2$.

Au point de vue constructif, les éléments à courant constant sont réalisés sous forme d'un montage « emitter-follower », comportant 2 transistors en cascade (fig. 7). Le but de ce montage est de stabiliser la tension $V_2 = RI$ en l'asservissant à une tension de référence V_1, fournie par une batterie de piles sèches. La différence $\varepsilon = V_1 - V_2$ est la tension d'entrée d'un amplificateur comportant les 2 transistors Tr_1 et Tr_2. Toute modification du courant I provoquée par la variation de la tension aux bornes U provoque une variation de V_2 et par suite de ε :

$$\Delta \varepsilon = -R \Delta I.$$

La variation de $\Delta \varepsilon$, amplifiée par les transistors, provoque une variation du courant I en sens opposé, qui compense de façon presque complète l'influence de la tension aux bornes. En définitive, la tension d'entrée ε est peu variable et le courant est stabilisé

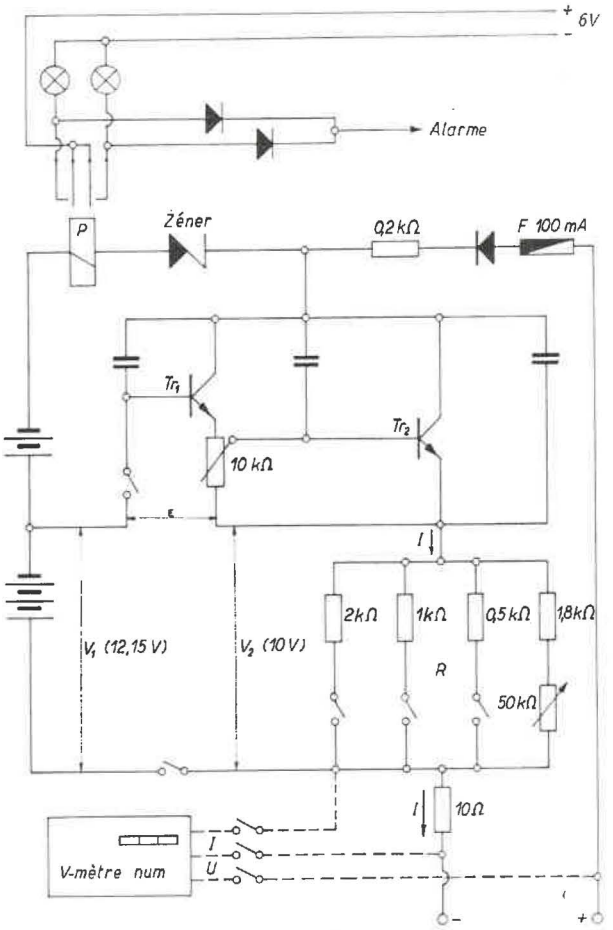

Fig. 7.
Schéma électrique simplifié des éléments dits « à courant constant » du simulateur d'aérage de l'Institut d'Hygiène des Mines. Le réglage grossier de R s'obtient en enclenchant si nécessaire l'une des résistances de 2, 1 ou 0,5 kΩ en parallèle avec le potentiomètre de 50 kΩ. Le potentiomètre de 10 kΩ sert à ajuster la tension V_2 à la valeur exacte de 10 V. La résistance de 0,2 kΩ sert à protéger la diode Zéner et le relais polarisé P contre les surintensités.

à la valeur $(V_1 - \varepsilon)/R$, modifiable par variation de R. En dehors d'un dispositif de réglage grossier et fin de cette résistance, le montage comporte encore un système d'alarme indiquant que la tension est supérieure à la limite admise par les transistors ou inférieure à la valeur permettant de maintenir le courant imposé ; cette alarme comporte essentiellement une diode Zener et un relais polarisé.

Une autre amélioration de notre tableau consiste dans la substitution aux appareils à aiguille mesurant les courants et potentiels, d'un millivoltmètre numérique ; cet appareil possède une résolution de 100 microvolts et accélérera considérablement les lectures.

En même temps que se poursuivaient ces améliorations du matériel d'étude, les méthodes faisaient l'objet de mises au point. On s'est en particulier demandé dans quelle mesure les conclusions de nos études étaient affectées par la simplification, parfois considérable, du réseau minier au moment de sa

représentation électrique. Cette question s'est posée en particulier à propos du problème d'aérage qui avait été résolu pour les charbonnages A. Dumont au cours de l'année précédente [41].

Comme nous l'avions annoncé, le même problème a été repris comme travail de fin d'études par deux étudiants-ingénieurs de la section Mines avec un réseau plus complet (80 branches environ), dont toutes les données ont été soigneusement vérifiées.

Par la même occasion, ils ont procédé à la comparaison des méthodes analogique et numérique, en les appliquant toutes deux pour résoudre le même problème. En ce qui concerne la méthode numérique, le programme appliqué a été fourni par IBM et les calculs effectués sur l'ordinateur IBM 1620 de l'Université de Louvain. Il a cependant fallu au préalable dépister diverses erreurs contenues dans ce programme.

En définitive, nos conclusions initiales sont maintenues dans les grandes lignes. Bien que les possibilités d'accroissement de débit à l'étage inférieur soient un peu plus grandes que nous ne le pensions, la réduction de la résistance des puits s'avère très souhaitable ; nous y reviendrons plus loin. Quant à la méthode numérique, les étudiants la trouvent supérieure à la méthode analogique, surtout en rapidité, mais ils n'ont pas eu à s'occuper de la mise au point du programme. De plus, au moment de leurs essais, notre tableau d'analogie ne comportait pas encore les éléments à courant constant, ni le millivoltmètre numérique.

C. Pertes de charge des circuits de ventilation.

a) Dans ce domaine, nos efforts ont été concentrés sur la réduction des *pertes de charge des puits aux Charbonnages André Dumont*, dont l'intérêt a été mis en évidence par l'étude rapportée ci-dessus.

Dans un premier stade, on s'est enquis des mesures prises à l'étranger. Une mission d'ingénieurs des Charbonnages André Dumont et de l'Institut a visité deux mines allemandes où l'on avait appliqué, d'une part, le profilage des traverses, disposées à intervalles importants, d'autre part, l'apposition d'un revêtement lisse en tissu plastifié le long du guidonnage. Cette dernière méthode s'avère la plus économique, mais d'une mise en œuvre assez difficile, à cause de la grande vitesse du courant d'air dans les puits. C'est pourquoi on s'est orienté plutôt vers l'emploi de treillis à mailles fines.

Avant de passer à l'exécution, on a estimé devoir fixer au préalable la diminution possible de résistance par l'application d'un tel revêtement le long du guidonnage. Dans ce but, on a déterminé avec le maximum de précision possible la perte de charge de deux longueurs-témoins de 100 m, situées, l'une dans la partie cuvelée et l'autre dans la partie maçonnée (fig. 8). Ces longueurs ont été délimitées

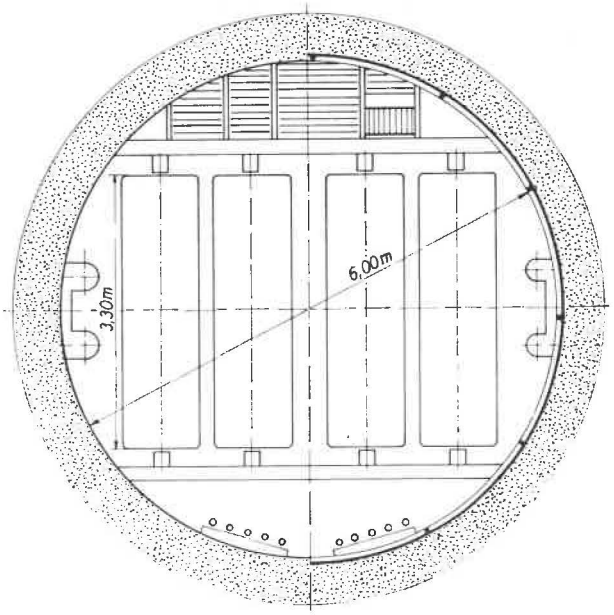

Fig. 8.
Schéma de l'équipement du puits de retour d'air des Charbonnages André Dumont.

par des prises de pression statique fixées à demeure sur le guidonnage et reliées à des micromanomètres par des flexibles. Les vitesses d'air aux niveaux considérés étant pratiquement identiques, les appareils donnent directement les pertes de charge.

Quant au débit, la cause habituelle d'erreur est l'imprécision sur la section de mesure. Pour la réduire, nous avons adopté une section quasi rectangulaire, délimitée par une tenue d'eau qui avait été aménagée spécialement pour permettre à deux opérateurs d'effectuer les mesures par points successifs (52 points en tout). Le débit a ensuite été déterminé par double intégration : 246,3 m^3/s.

Cette valeur a paru anormalement basse, les mesures routinières du charbonnage donnent l'ordre de grandeur de 290 m^3/s. Une des raisons de cette divergence réside dans le fait que le puits est très humide et que les gouttes de pluie entraînées par l'air ont perturbé sérieusement la mesure à l'anémomètre. Par divers recoupements, nous avons estimé cette erreur à 6 à 7 % par défaut et adopté dès lors pour le débit la valeur $Q = 263\ m^3/s$.

Quant aux pertes de charge, elles atteignent respectivement 18,3 mm H_2O pour 102,42 m de partie maçonnée et 31,2 mm H_2O pour 99,76 m de partie cuvelée. La grande différence entre ces 2 valeurs appelle quelques commentaires. Elle est imputable non seulement à la grande rugosité du cuvelage, mais aussi à une venue d'eau importante à la partie supérieure du puits. En estimant cette venue d'eau à 10 m^3/h et en calculant la perte de charge correspondante par la formule proposée par van der Lingen [42], on trouve la valeur 2,8 mm H_2O par 100 m de puits.

A partir des résultats précédents, on peut poursuivre l'analyse des pertes de charge suivant une méthode que nous avons maintes fois exposée. On trouve successivement :

— résistance $K = \Delta p/Q^2$:
partie cuvelée : 0,0003624 kmurgue pour $L = 99{,}76$ m,
partie maçonnée : 0,0002714 kmurgue pour $L = 102{,}42$ m,

— coefficient de pertes de charge $\lambda = 8\,gKS^3/L\delta\pi D$:
partie cuvelée : $\lambda = 0{,}2975$,
partie maçonnée : $\lambda = 0{,}1974$,

— coefficient λ' relatif à la section la plus encombrée du puits :
partie cuvelée : $\lambda' = 0{,}469\ \lambda = 0{,}1395$,
partie maçonnée : $\lambda' = 0{,}09258$.

En ce qui concerne la signification des coefficients λ et λ', on se référera utilement à nos publications antérieures [43] [44].

Pour le calcul de λ', on n'a tenu compte que des compartiments α et β (fig. 9) ; on admet que le débit d'air du compartiment des échelles est négligeable. Le coefficient λ' est la moyenne pondérée des coefficients λ'_i caractéristiques des divers types de parois entourant la veine d'air :

$$\lambda' = \Sigma \lambda'_i \frac{P'_i}{P_{tot}}.$$

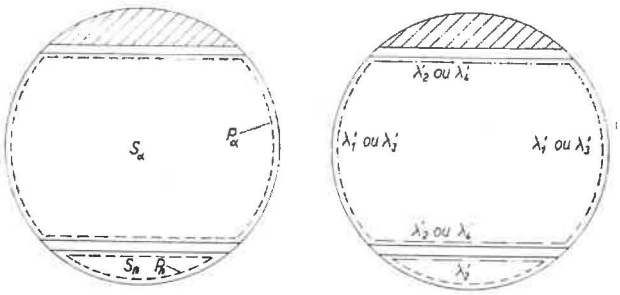

Fig. 9.
A gauche : délimitation des sections S_α, S_β et des périmètres P_α et P_β intervenant dans le calcul de λ'. A droite : délimitation des 3 types de parois dont la rugosité intervient dans la formule $\lambda' = \Sigma \lambda'_i P'_i/P_{tot}$. Le passage de λ'_2 à λ'_4 correspond à l'installation d'un treillis à mailles fines entre les traverses.

Dans le cas présent, nous avons 3 types de parois : maçonnerie (λ'_1), guidonnage (λ'_2), cuvelage (λ'_3). Ne disposant que de deux mesures, nous devons estimer un des coefficients λ'_i, nous avons en cette occurrence posé $\lambda'_1 = 0{,}02$. On en déduit ensuite aisément, compte tenu du développement des 3 types de parois :

$\lambda'_2 = 0{,}166$ (guidonnage),
$\lambda'_3 = 0{,}114$ (cuvelage).

C'est la première fois que nous aboutissons à chiffrer la résistance d'un cuvelage à nervures internes. Cette estimation est plus élevée que celle proposée par le National Coal Board [45], mais elle coïncide avec celle trouvée lors d'essais sud-africains [46] sur maquette avec des traverses en bois disposées *contre* une paroi lisse. Quant à la résistance des traverses, elle est également fort élevée, mais bien compatible avec d'autres déterminations expérimentales. Dans notre communication n° 146 [44], nous avions proposé la valeur $\lambda = 0{,}150$ pour des traverses carrées espacées de 10 fois leur largeur, arrondies sur leur face supérieure par l'érosion et les poussières et abordées par l'air du côté non arrondi. Dans le cas présent, l'espacement est de l'ordre de 7 fois la largeur et il est normal qu'on trouve une valeur encore plus élevée.

La conséquence pratique de ces calculs est qu'on a de très sérieux espoirs de réduire notablement la résistance du puits en réalisant le long des traverses un revêtement plus ou moins lisse. Admettons qu'on parvienne à une rugosité correspondant à $\lambda'_4 = 0{,}05$, c'est-à-dire encore 2,5 fois plus que pour une paroi vraiment lisse. Le coefficient λ' pour le puits dans sa partie maçonnée deviendrait (fig. 9) :

$$\lambda' = \lambda'_1 \frac{P'_1}{P'_{tot}} + \lambda'_2 \frac{P'_2}{P'_{tot}} + \lambda'_4 \frac{P'_4}{P'_{tot}}$$

$$= 0{,}02 \frac{13{,}14}{26{,}24} + 0{,}166 \frac{4{,}10}{26{,}24} + 0{,}05 \frac{9{,}00}{26{,}24}$$

$$= 0{,}05310 \text{ au lieu de } 0{,}09258,$$

ce qui correspond à une réduction de résistance de 43 %. Pour la partie cuvelée, on aurait semblablement :

$$\lambda' = \lambda'_3 \frac{P'_3}{P'_{tot}} + \lambda'_2 \frac{P'_2}{P'_{tot}} + \lambda'_4 \frac{P'_4}{P'_{tot}}$$

$$= 0{,}144 \frac{13{,}14}{26{,}24} + 0{,}166 \frac{4{,}10}{26{,}24} + 0{,}05 \frac{9{,}00}{26{,}24}$$

$$= 0{,}10020 \text{ au lieu de } 0{,}1395,$$

soit une réduction de 28 %. La diminution probable de résistance de l'ensemble des puits se situe donc au-delà de 30 %.

A la suite de cette étude, le charbonnage a décidé de placer entre les guides un treillis joignant les traverses et formant une paroi semi-transparente et semi-lisse. La vérification du gain qui en résulte dans les deux longueurs-témoins de 100 m aura lieu au cours de l'année 1965.

b. Lors d'une étude de ventilation effectuée par les *Charbonnages du Borinage* [41], des mesures

directes de *perte de charge des puits* ont été effectuées au siège de l'Espérance.

Les 2 puits de ce siège ont un équipement pratiquement identique (guidonnage Briart), schématisé à la figure 10. Sur les 874 m ayant fait l'objet des essais, 180 m sont pourvus d'un cuvelage ; le reste est en maçonnerie. Le débit d'air a été mesuré par points successifs dans un envoyage désaffecté du puits d'entrée. La perte de charge a été déterminée, d'une part, par la méthode des 2 puits, d'autre part, au moyen d'une colonne d'air comprimé désaffectée,

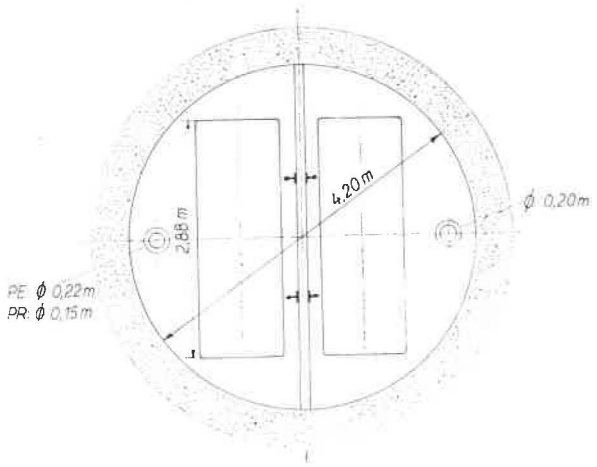

Fig. 10.
Schéma de l'équipement des puits du siège de l'Espérance des Charbonnages du Borinage.

dans le puits d'entrée. Bien que la précision ne soit pas très grande, par suite du débit relativement faible, nous avons effectué l'analyse complète de cet essai ; en voici les résultats :

— débit mesuré dans le puits d'entrée : 33,185 m^3/s (δ = 1,227 kg/m^3) ;
— débit moyen du puits d'entrée : 33,253 m^3/s (δ_m = 1,2245 kg/m^3) ;
— débit moyen du puits de retour : 34,017 m^3/s (δ_m = 1,197 kg/m^3) ;
— perte de charge du puits d'entrée : 6,147 mm H_2O ;
— perte de charge du puits de retour : 6,313 mm H_2O ;
— résistance des puits : K = 0,00555 kg s^2/m^8 pour le puits d'entrée et 0,00546 kg s^2/m^8 pour le puits de retour ;
— résistance hectométrique k_{100} = 0,00128 kg s^2/m^8 pour le puits d'entrée et 0,00124 kg s^2/m^8 pour le puits de retour ;
— coeffficient de perte de charge brut, calculé pour D = 4,20 m et S = 13,84 m^2 : λ = 0,164 pour les 2 puits ;
— coefficient λ' rapporté à la section la plus encombrée : λ' = 0,0543 λ = 0,0891.

Le coefficient λ' peut à nouveau être décomposé en 2 termes, corerspondant respectivement à la paroi et à la traverse médiane. Comme la paroi comprend 180 m de cuvelage (λ' = 0,11) et 694 m de maçonnerie (λ' = 0,022), nous admettons que l'on a :

$$\lambda'_{paroi} = \frac{694}{874} \cdot 0{,}022 + \frac{180}{874} \cdot 0{,}11 = 0{,}4012.$$

La relation

$$\lambda' = \frac{P_{paroi}}{P_{tot}} \lambda'_{paroi} + \frac{P_{trav}}{P_{tot}} \lambda'_{trav}$$

devient ainsi, avec P_{paroi} = 12,96 m et P_{trav} = 8,4 m :

$$0{,}0891 = 0{,}6068 \cdot 0{,}4012 + 0{,}3932\ \lambda'_{trav}.$$

On en déduit finalement λ'_{trav} = 0,165.

L'incertitude sur cette valeur est toutefois assez grande car nous avons dû estimer λ'_{paroi} de façon assez arbitraire.

c. A l'occasion du problème posé par les *Charbonnages de Helchteren-Zolder et Houthalen*, nous avons récolté quelques mesures relativement précises de *pertes de charge en galeries* revêtues de claveaux. Pour des bouveaux en parfait état, le coefficient de pertes de charge λ résultant de ces mesures est remarquablement constant et compris entre 0,050 et 0,055. Cette valeur, qui est supérieure au double de celle d'une paroi lisse, est explicable entre autres par l'influence défavorable des tuyauteries souvent disposés côte à côte horizontalement, dans une zone où la vitesse de l'air est élevée. En outre, là où les sections sont devenues irrégulières ou renforcées par des cadres ou par un boisage, le coefficient λ atteint parfois ... 0,09 ..., c'est-à-dire autant que pour les galeries à cadres en bon état.

D. Bilan thermique de tailles à forte production.

Nous avons signalé dans notre rapport précédent que des difficultés climatiques pourraient apparaître dans des chantiers à forte production, surtout s'ils sont mécanisés de façon intensive : tel a été le cas d'un chantier exploité à la profondeur de 700 m par les Charbonnages d'Hensies-Pommerœul. Nous avions également indiqué les moyens susceptibles en principe d'améliorer la situation : accroissement du débit d'air, emploi de moyens de lutte contre les poussières plus économes en eau (moins de pulvérisation, plus d'injection), emploi de retardateurs d'évaporation...

En vue de mettre au point ces procédés d'amélioration du climat et d'en vérifier l'efficacité, nous

avons effectué de façon répétée des mesures climatiques dans la taille considérée et établi un bilan thermique détaillé. Le tableau IV rassemble quelque-uns des résultats obtenus. L'interprétation de ceux-ci est assez difficile, car en dehors des facteurs contrôlables il existe entre ces essais de nombreuses différences qui exercent une influence de nature plus ou moins aléatoire. Cependant, si l'on s'en tient aux grandes lignes, quelques constatations intéressantes peuvent être faites.

a. Les essais permettent de vérifier l'influence du débit d'air sur le climat ; en effet, pour des raisons en partie fortuites, les mesures ont pu être relevées dans des conditions d'aérage extrêmes ; elles donnent 4 points sur un diagramme (Q, P_a) reliant le dégagement calorifique horaire global (Q) et le débit (P_a) (kg/seconde d'air sec). Un point supplémentaire est fourni par la considération de la fraction du dégagement calorifique qui est indépendante de l'aérage et qui se produirait même à débit nul ; cette fraction comporte au minimum l'équivalent calorifique de l'énergie électrique consommée. Sur la figure 11, nous avons indiqué l'allure de la courbe qui en résulte ; le tracé tient compte qualitativement du fait que le dégagement calorifique dépend aussi de la production et de la longueur totale du circuit, qui ont varié sensiblement d'un essai à l'autre. Comme on le voit, la loi représentant la relation entre Q et P_a est du type

$$Q = Q_0 + k P_a^{\alpha} ;$$

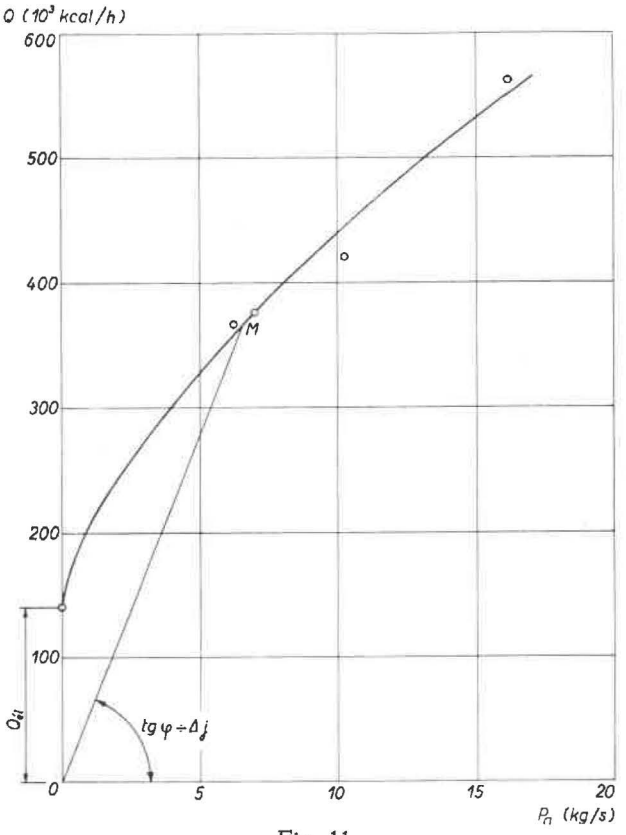

Fig. 11.
Relation entre le débit d'air P_a et le dégagement calorifique total Q. La partie de ce dégagement indépendante du débit est essentiellement constitué par Q_{ei}, équivalent calorifique de la puissance électrique consommée.

TABLEAU IV.

Bilan thermique d'une taille à forte production.

Essai n°	1	2	3	4
A. *Du point de chargement en bouveau à la tête de taille*				
Longueur totale (m)	568	935	737	1.095
Production (berlines/h)	—	45	34	65
Débit d'air (kg/s air sec)	10,22	6,23	6,96	16,13
Apport calorifique global (kcal/h)	420.000	366.000	375.000	562.000
Evaporation totale (kcal/h)	286.000 (68 %)	280.000 (76 %)	280.000 (75 %)	423.000 (75 %)
Equivalent de la puissance électrique (kcal/h)	132.000	146.000	146.000	146.000
B. *Taille seule (moteur pied de taille exclu)*				
Longueur (m)	140	200	200	200
Apport calorifique global (kcal/h)	193.500	109.000	146.000	238.300
Evaporation totale (kcal/h)	132.000 (68 %)	98.700 (91 %)	133.000 (91 %)	177.400 (71 %)
Equivalent de la puissance électrique (kcal/h)	43.000	43.000	43.000	43.000

l'exposant x, que nous avions pris égal à 0,5, dans nos calculs prévisionnels, semblerait plus proche de 0,7. Sur la même figure, la pente de la radiante OM représente la variation d'enthalpie de l'air $\Delta j = Q/P_a$ le long de son parcours souterrain ; on vérifie aisément que cette pente diminue à débit croissant, d'abord de façon rapide, ensuite de plus en plus lentement. L'accroissement du débit d'air au-delà d'une certaine limite ne permet plus d'exercer une influence notable sur le climat à la sortie de la taille.

b. Les chiffres du tableau IV mettent également en évidence le rôle considérable joué par l'humidité du charbon : en général, 75 % de la chaleur dégagée servent à vaporiser de l'eau. Comme les terrains encaissants ne révèlent aucune infiltration d'eau et paraissent secs, cette vapeur d'eau provient essentiellement du charbon abattu.

Une anomalie mérite cependant d'être signalée : bien que les essais n° 2 et 3 ne diffèrent que par la mise en ou hors service des pulvérisateurs, l'évaporation d'eau est pratiquement la même pour les deux essais.

En examinant dans le détail l'évolution de l'air (fig. 12), on s'aperçoit cependant que dans la voie d'entrée, l'évaporation est fortement réduite lorsqu'on arrête les pulvérisateurs (188 kg/h au lieu de 254 kg/h). Il en résulte que, pour l'essai n° 3, l'air est arrivé beaucoup plus sec au pied de taille que pour l'essai n° 2 (φ = 0,6 au lieu de 0,75). L'évaporation en taille a de ce fait été accrue (218 kg/h au lieu de 162), l'état final de l'air étant en définitive peu différent pour les 2 essais.

On vérifie ainsi un principe général qui gouverne le climat souterrain : toute action favorable locale,

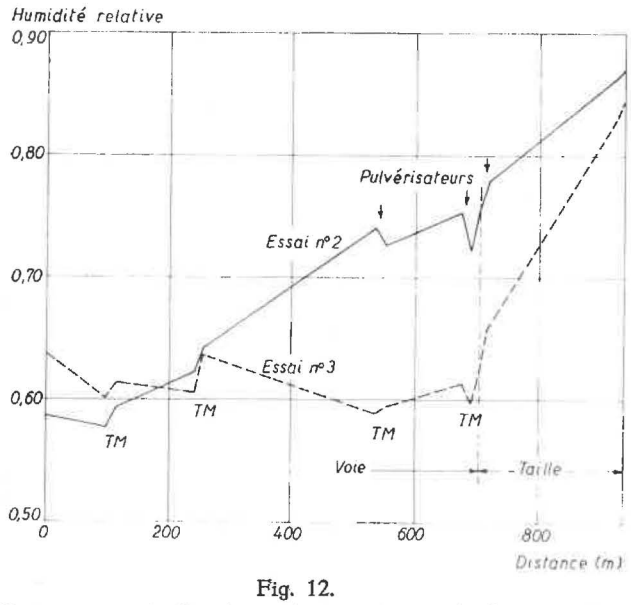

Fig. 12.
Comparaison de l'évolution hygrométrique de l'air depuis le point de chargement jusqu'en tête de taille, suivant que les pulvérisateurs sont en service (essai n° 2) ou hors service (essai n° 3). T.M. = tête motrice.

soit assèchement, soit refroidissement, est progressivement annihilée en aval par une exaspération de l'évaporation ou des échanges calorifiques. Par conséquent, les actions possibles doivent de préférence être entreprises assez près des points à assainir. Notons cependant que la valeur relativement faible du débit a favorisé le phénomène ici décrit ; avec un débit plus élevé, la suppression des pulvérisateurs aurait fait sentir son effet plus loin en aval.

Il faut d'ailleurs souligner que la longueur de front où les conditions climatiques sont sévères, était nettement moindre lors de l'essai n° 3 : le point où l'on atteint t_h = 28 °C est remonté de 75 m vers la tête de taille par rapport à l'essai n° 2.

Ces constatations justifient le fait que la suite de nos efforts s'est portée sur la mise au point de l'injection d'eau en veine, de façon à permettre la suppression des pulvérisateurs.

2. LUTTE CONTRE LES POUSSIERES

A. Analyse des poussières - Conimétrie.

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

L'enquête sur les conditions d'empoussiérage existant dans les travaux souterrains du siège de Houthalen des Charbonnages de Zolder s'est poursuivie systématiquement suivant les modalités rappelées maintes fois déjà dans ces colonnes. Les mesureurs de la mine ont effectué cette année 3.425 prélèvements de poussières au précipitateur thermique, ce qui porte à plus de 17.000 le nombre de prises d'échantillons faites depuis 5 ans.

Tous les résultats des examens, exprimés en nombre de particules par cm³ d'air (particules comprises entre 5 et 0,5 μ) avec mention du pourcentage en quartz, ont été reportés quinzaine par quinzaine, sur les cartes d'anamnèse de chaque ouvrier occupé dans les chantiers contrôlés. En ce qui concerne les travaux préparatoires, une moyenne pondérée est faite qui tient compte de l'importance de chacune des phases de travail dans le cycle complet du creusement.

Comme précédemment, nous avons procédé à la répartition des valeurs trouvées pour les différents postes de travail et calculé les indices de nocivité correspondant aux empoussiérages subis par tous les ouvriers.

Les moyennes arithmétiques pondérées des indices de nocivité de l'air mesurés dans les chantiers sont rassemblées au tableau V.

TABLEAU V.

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 cinq dernières années.

	1959	1960	1961	1962	1963
Forage des mines	5,5	5,4	4,8	4,2	3,8
Minage (mise à feu des explosifs)	7,3	8,3	7,4	7,0	6,5
Chargement des déblais	5,6	5,6	5,3	4,4	3,7
Boisage avant claveautage	5,3	5,4	4,6	3,7	3,1
Claveautage	4,8	4,6	4,0	3,5	—
Cadrage et rectification des parois	5,3	5,4	4,7	3,8	—
Abattage du charbon	4,5	4,5	4,3	3,9 (*)	3,2 (*)
Nettoyage des chantiers	4,9	4,6	3,9	3,4 (*)	3,1 (*)
Contrôle du toit (**)	5,0	5,1	4,5	3,3 (*)	2,4 (*)

(*) Pour autant que la distinction entre les trois phases soit encore possible.
(**) Les mesures effectuées pendant le remblayage pneumatique ne représentent pas 10 % du nombre de déterminations faites ; en 1962 : suppression progressive du remblayage pneumatique, en 1963 : aucune mesure faite pendant ce travail.

Ces valeurs montrent que, dans des formations houillères similaires, moyennant une politique de prévention rationnelle, les empoussiérages inéluctables peuvent être considérés comme acceptables en moyenne puisque les indices de nocivité sont inférieurs à la valeur admise comme seuil : $i = 5$ [47]. *Cette conclusion n'est toutefois valable* que si la mécanisation des chantiers reste limitée à l'utilisation du rabot, car il ressort de nos plus récentes mesures faites en 1964 que la prévention lors du havage intégral des couches n'est pas encore tout à fait au point.

Pour mieux apprécier l'efficacité des moyens de prévention et caractériser de façon plus correcte les empoussiérages subis par le personnel, nous avons repris toutes les valeurs des indices par catégorie de travailleurs — comme nous l'avons fait l'année dernière pour les abatteurs — et calculé les moyennes géométriques et la dispersion de ces déterminations, lesquelles suivent une loi de distribution pratiquement logarithmique normale. Ces moyennes géométriques M_g et les déviations standards correspondantes σ_g pour les années allant de 1958 à 1962, sont indiquées au tableau VI.

On constate que le pourcentage d'ouvriers ayant séjourné en moyenne dans des empoussièrages acceptables ($i < 5$), est passé de 65 % environ à 95 % de 1959 à 1962. Le dépouillement en cours des résultats des deux dernières années montre que la situation s'est encore améliorée en 1963, mais qu'un léger recul est à craindre pour 1964 par suite, notamment, de la mécanisation plus poussée des chantiers d'abattage (haveuses à tambour).

Du point de vue médical, une *étude complète de l'évolution* des pneumoconioses en relation avec les empoussiérages subis n'est pas encore possible parce que les mesures de poussières ne s'étendent pas sur un nombre d'années suffisamment élevé. Le temps écoulé est encore trop court également pour confirmer l'exactitude de l'empoussiérage limite proposé provisoirement en 1962 ($i = 5$). Néanmoins les ouvriers abatteurs présentant une image radiographique m_1 après 8 années de travail sont, en 1963, proportionnellement 5 fois moins nombreux que les ouvriers abatteurs présentant la même image radiographique en 1958 après 8 ans de travail également dans les mêmes formations houillères, exploitées alors avec une prévention de poussières déjà convenable mais moins efficace qu'actuellement.

b. *Contrôle systématique de l'empoussiérage de l'air. Mesures gravimétriques de routine.*

Nous avons précédemment montré [41] qu'il existait un parallélisme entre la classification des empoussiérages miniers proposée par le Stofinstituut des Pays-Bas [48] et celle présentée par l'Institut d'Hygiène des Mines.

Les concentrations limites hollandaises sont basées sur la détermination des teneurs gravimétriques en poussières de toutes catégories (mg/m^3) et de leur pourcentage en stériles (cendres), tandis que l'indice de nocivité défini par l'Institut d'Hygiène des Mines se calcule par application d'une formule dans laquelle interviennent la concentration en nombre de particules de 5 à 0,5 μm, la teneur en quartz et des constantes, fonction des modes de

TABLEAU VI.

Moyennes géométriques M_g et déviations standards σ_g des indices de nocivité de l'air inhalé par les plus importantes catégories d'ouvriers.

Catégories	1958		1959		1960		1961		1962	
	M_g	σ_g	M_g	σ_g	M_g	σ_g	M_g	σ_g	M_g	σ_g
Surveillants à l'abattage	4,82	1,136	4,74	1,184	4,40	1,106	4,04	1,093	3,56	1,154
Ouvriers moniteurs	4,38	1,104	4,50	1,135	4,32	1,104				
Abatteurs	4,35	1,174	4,65	1,162	4,30	1,075	4,05	1,090	3,65	1,129
Apprentis-abatteurs	4,10	1,216	4,55	1,151	4,22	1,116	4,18	1,103	3,85	1,143
Pelleteurs	4,74	1,220	4,52	1,159	4,36	1,102	4,00	1,106	3,82	1,176
Moniteurs + abatteurs + apprentis + pelleteurs	4,35	1,190	4,60	1,140	4,26	1,091	4,10	1,100	3,72	1,142
Remblayeurs foudroyeurs	5,48	1,121	4,90	1,209	4,37	1,123	4,15	1,116	3,61	1,187
Changeurs d'installation - nettoyeurs	4,06	1,149	4,72	1,179	4,90	1,118	4,36	1,162	3,98	1,131
Travaux divers en taille	4,28	1,198	4,71	1,183	4,40	1,107	4,10	1,120	3,54	1,155
Tous ouvriers en taille	4,60	1,194	4,65	1,162	4,35	1,104	4,13	1,106	3,63	1,147
Ouvriers des préparatoires										
— bouveaux à cadres	—	—	5,30	1,075	5,40	1,061	5,08	1,128	4,43	1,140
— bouveaux à claveaux	—	—	5,48	1,094	5,40	1,064	5,15	1,052	4,10	1,114
— puits intérieurs	—	—	5,40	1,162	5,30	1,071	5,00	1,122	5,21	1,082
Ensemble des ouvriers	—	—	4,68	1,159	4,54	1,118	4,21	1,145	3,75	1,194

prélèvement et d'examen des poussières. Cet indice de nocivité est cependant différent de l'indice koniotique français car, pour les faibles teneurs en quartz, il fixe une limite à la « masse » de poussières charbonneuses qu'il conviendrait de ne pas inhaler.

C'est pourquoi, *pour des mesures de routine*, nous avons préconisé le prélèvement gravimétrique des poussières, en effectuant la prise de l'échantillon dans un dé de Soxhlet, le porte-filtre étant muni d'ajutages de diamètres différents qui permettent de respecter un isocinétisme approché du courant d'air. Après avoir procédé à de nombreux étalonnages du prototype d'appareil proposé (appareil du Stofinstituut légèrement modifié), étudié la reproductibilité des mesures en examinant spécialement l'influence de la variation de résistance des filtres et mis au point une méthode de récupération des poussières captées sur filtres peu chargés, nous avons entamé une vaste campagne de prélèvements dans les différents bassins du pays. Au total, près de 600 postes de travail ont été contrôlés en 1964 (matin, midi, soir). Une première équipe spéciale de mesureurs (rattachée aux Centres Médicaux de Charleroi) a prospecté systématiquement les chantiers des Bassins de Charleroi, Basse-Sambre et du Centre. Une étude de la distribution et de la dispersion des résultats obtenus a été faite ; elle montre notamment que, durant l'abattage, la concentration moyenne est égale à 45 mg/m³ et que la teneur en cendres des poussières en suspension dans l'air est de 20 %. *Ces valeurs définissent un empoussiérage moyen de la classe II, c'est-à-dire très accep-*

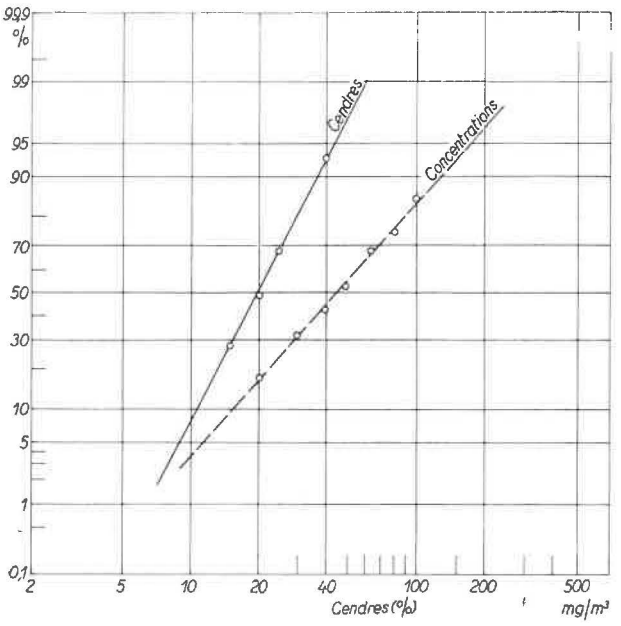

Fig. 13.
Répartition des concentrations gravimétriques et des teneurs en cendres (186 postes d'abattage).

TABLEAU VII.

Moyennes géométriques et déviations standards correspondantes des résultats des mesures gravimétriques de poussières.

		M_g	σ_g
Postes d'abattage	Concentration (mg/m³)	45	2,29
	Teneur en cendres (%)	20	1,62
Postes faisant suite à l'abattage	Concentration (mg/m³)	18,5	3,4 (!)
	Teneur en cendres (%)	26,5	1,35

table, et elles apportent la preuve qu'un réel effort a été réalisé dans le domaine de la prévention. La figure 13 représente, sous forme de courbes cumulatives, la répartition des concentrations gravimétriques et des teneurs en cendres pour 186 postes d'abattage. Nous donnons au tableau VII les moyennes géométriques trouvées et les déviations standards correspondantes.

c. *Mesures comparatives de l'empoussiérage de l'air.*

Dans le cadre d'une recherche communautaire de la C.E.C.A., différents essais ont eu lieu en vue de comparer les résultats des mesures de l'empoussiérage de l'air faites par les instituts de la Communauté et de Grande-Bretagne. A cette occasion, 32 prélèvements de poussières effectués au précipitateur thermique par les représentants de l'Institut d'Hygiène des Mines ont été comptés dans les laboratoires du N.C.B., puis à l'Institut d'Hygiène des Mines, chaque laboratoire utilisant son propre mode opératoire. Quelques-uns des échantillons ont été réexaminés une seconde fois en adoptant le principe de la non dissociation des agrégats au comptage. Les résultats trouvés ont confirmé nos constatations antérieures. Il subsiste un écart systématique lorsqu'on compare les méthodes propres à chaque organisme, le mode opératoire préconisé par l'Institut d'Hygiène des Mines pour le prélèvement et la numération des poussières donnant un nombre plus élevé de particules dans une tranche granulométrique donnée. Les 32 prélèvements qui définissaient en principe 8 atmosphères empoussiérées (4 × 8 prises d'échantillons) ont en effet donné les valeurs reprises au tableau VIII (valeurs moyennes et limites au palier de confiance de 95 %).

Par contre, lorsque les prélèvements au précipitateur thermique sont examinés sans dissociation des agrégats, dans la tranche granulométrique 5 - 1 μm, les écarts sont de l'ordre de grandeur des erreurs de mesure ; on a trouvé dans le cas présent, pour les plaques soumises à un second examen : 1.242 part/cm³ (s_M = 170) au N.C.B. et 1.342 part/cm³ (s_M = 203) à l'Institut d'Hygiène des Mines. Ceci démontre une fois de plus que, compte tenu de la dispersion normale des mesures et des fluctuations de l'empoussiérage, nous n'avons pas d'écart *en moyenne* si nous adoptons la même façon de compter les agrégats, pour autant cependant qu'on prélève suffisamment d'échantillons afin d'éviter un « overlapping » exagéré.

TABLEAU VIII.

Résultats des mesures comparatives.

Essais	Nombre de particules de 5 à 1 μm	
	Résultats I.H.M.	Résultats N.C.B.
I	986 ± 53	686 ± 142
II	702 ± 546	587 ± 250
III	1.909 ± 732	1.176 ± 426
IV	2.164 ± 805	1.454 ± 200
V	1.530 ± 242	1.032 ± 264
VI	1.314 ± 340	1.026 ± 267
VII	690 ± 321	498 ± 158
VIII	811 ± 88	672 ± 84

B. Procédés et matériel de lutte contre les poussières.

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

α. Essais de pré-télé-injection au siège de Houthalen.

Nous avons signalé l'année dernière que, grâce à la pré-télé-injection, l'introduction de 0,3 à 0,4 % d'eau (par rapport au tonnage net) avait entraîné

dans la taille 81/31 Est une réduction de 55 à 60 % du poids des poussières et de 25 à 30 % du nombre de particules de 5 à 0,5 μm en suspension dans l'air, en tête de taille, provoquant *en fait une diminution de 65 % au moins du nombre de particules produites en taille.* Cette pré-télé-injection, avait été réalisée par un trou d'adduction visant le « centre » de gravité du panneau à exploiter.

Une pré-télé-injection du même genre, faite cette année dans la taille 81/31 Ouest, a procuré un « taux de réduction » de 50 % du nombre de particules de 5 à 0,5 μm *produites* en taille, grâce à l'apport d'une quantité d'eau représentant 0,3 à 0,5 % de la production nette. A cette occasion, nous avons constaté que la migration de l'eau — radiale en gros à partir du centre de gravité du panneau — semble néanmoins se faire préférentiellement vers les burquins qui recoupent la couche, près des bouveaux, et surtout vers le montage. Lorsque le front de la taille a atteint et dépassé le point d'impact du trou d'adduction, l'humidité du charbon est moins régulière même si on avait prévu un trou « exutoire » dans cette partie du panneau. Pour que le front reste humide, il paraît donc indiqué dans certains cas de fournir de l'eau d'appoint. S'il s'agit de chantiers mécanisés, à abattage par haveuse à tambour, nous croyons que c'est même une nécessité de le faire pour esayer d'obtenir une humidité supérieure à 3 % au « cœur du charbon ».

La réalisation de cet apport d'eau supplémentaire est possible en profitant des fissurations dues à l'exploitation d'une couche préalablement exploitée à l'aplomb qui ont provoqué une perméabilité activée. Il s'agit de la pré-télé-injection « accélérée », suivant la terminologie proposée par M. H. Lavallée [49]. On s'est servi de cette perméabilité activée en forant, à partir d'une ancienne voie demeurée accessible, un trou vertical, vers le bas, jusque et y compris la veine à traiter. La détente des terrains créée par cette ancienne voie autour d'elle-même, suivant un cylindre plus ou moins régulier, a affecté la couche sous-jacente en y découpant une sorte de chenal de plus grande perméabilité sur toute la longueur de la voie. L'eau chemine plus rapidement par ce canal qu'elle ne le ferait radialement autour d'un trou d'adduction aboutissant au centre de gravité du panneau. Cette eau progresse donc plus vite vers le front de taille ; elle y rencontre la (ou les) série(s) de bandes parallèles au front, plus fortement détendues, et s'y répand préférentiellement. Ces phénomènes ont été vérifiés, notamment dans la taille 912/10 exploitée au moyen d'une haveuse AB 16 produisant 400 t/jour. A partir d'un point d'une ancienne voie sus-jacente, située 35 m plus haut et à 160 m du montage, on a introduit 146 m^3 d'eau en 6 jours, à la pression de 65 à 80 kg/cm^2. Le charbon « in situ » ayant une humidité naturelle de 2,8 %, nous avons relevé, 22 jours par après, une humidité de 3,8 % dans la niche supérieure et de 3,8 à 3,4 % dans le tiers inférieur de la taille, dans la laie supérieure non entamée par le tambour de la haveuse. Onze jours ensuite, après avoir réinjecté de 4 à 5 m^3 d'eau par 24 h, depuis 5 jours, nous avons retrouvé des humidités du même ordre de grandeur. On est en droit d'admettre que l'eau a bien progressé comme indiqué plus haut, car la quantité injectée ne représentait pas même 0,1 % du tonnage à extraire en considérant un panneau de même surface que le champ d'exploitation de la taille sus-jacente.

Nos constatations relatives aux empoussiérages sont très difficiles à interpréter à cause de l'irrégularité de fonctionnement du Shearer. Nous sommes néanmoins convaincus que l'apport de 4 à 5 m^3 d'eau supplémentaire (réalisé en continu à partir d'un point extérieur au chantier) a provoqué un traux de réduction de l'ordre de 50 % du poids des poussières en suspension dans l'air en tête de taille.

Cette façon de procéder à l'injection n'est malheureusement pas applicable si on doit désameubler la galerie sus-jacente.

β. Influence de la profondeur d'injection sur le dégagement de poussières en taille.

Nous avons à maintes reprises recommandé des sondages plus profonds pour accroître le « rendement » de l'injection d'eau en veine. En effet, par suite de la présence de macrofissures, l'eau injectée à proximité immédiate du front est généralement utilisée en pure perte. A cet égard, nous avons suivi pendant plus de 6 mois, l'évolution des conditions d'empoussiérage dans un important chantier du Bassin du Borinage ayant progressé de près de 300 m (siège Sartis des Charbonnages d'Hensies-Pommerœul). Cette taille équipée d'un rabot-panzer, produisant 500 tonnes nettes en deux postes, était considérée comme étant encore trop poussiéreuse malgré l'injection de 7 m^3 d'eau chaque jour (1,35 %) et l'utilisation au pied de taille de 2,5 m^3 d'eau de pulvérisation par poste. Après avoir doublé la ventilation, le débit d'air étant finalement porté à 12 ... 13 m^3 par seconde, on a augmenté la production jusque 700 ... 750 tonnes nettes par jour. Cette production s'est d'ailleurs maintenue durant 4 mois avec des pointes de 800 ... 850 tonnes nettes. A ce moment, l'humidité naturelle du charbon était comprise entre 1,6 et 1,8 % ; l'injection de 1,0 à 1,1 % d'eau (par rapport au tonnage net) et la pulvérisation au pied de taille (au point de transbordement panzer taille, panzer de chargement) de 3 à 3,5 m^3 d'eau par poste n'ont pas sensiblement amélioré les conditions d'empoussiérage.

Après mises au point successives du matériel (cannes, raccords, pompes, ...) au lieu de forer à 2,50 - 2,70 m de profondeur et de placer la canne d'injection à 1,50 ... 1,60 m de l'orifice des trous,

on a exécuté les sondages à 4 m de profondeur en réservant une « chambre d'infusion » de 1 m à 1,20 m.

Dans ces conditions, l'injection de 1,4 % d'eau et la pulvérisation au pied de taille de 3 m^3 d'eau en moyenne par poste, ont procuré un taux de réduction, en poids, de 45 % des poussières en suspension dans l'air en tête de taille, par rapport à la situation existant lors des essais à plus faible profondeur.

Pour améliorer les conditions climatiques en tête de taille durant la période d'été, on a supprimé l'arrosage des produits dans la voie d'entrée d'air et injecté à 4 m de profondeur, une quantité d'eau représentant de 2,0 à 2,2 % du tonnage net. On a du coup supprimé 50 % du poids des poussières en suspension dans l'air, en tête de taille (par rapport à la même situation de référence) et obtenu ainsi des conditions de travail plus que satisfaisantes. On a gagné de plus, près d'un degré de température effective malgré un allongement de 280 m des voies de chassage. Cette amélioration du climat s'explique par le fait que la fraction 0/10 du charbon, au départ du pied de taille, n'avait plus qu'une humidité superficielle de ... 3,7 % ... au lieu de 4,2 à 4,4 %. Les résultats atteints démontrent la supériorité manifeste de l'injection réalisée à plus grande profondeur.

Des constatations analogues ont d'ailleurs été faites dans une autre taille, a priori plus difficile, exploitée au siège L. Lambert de la même société. D'une ouverture de 1,85 à 2,15 m et d'une puissance de 1,60 ... 1,70 m, la couche, inclinée à 38 ... 42°, est exploitée au marteau-piqueur. Initialement, l'injection se faisait au moyen de l'appareil Jerusel, placé à 1,40 m de profondeur dans des trous forés jusque 1,60 m, le volume d'eau « injectable » en toute sécurité ne représentant que 0,4 % du tonnage net. En doublant la quantité d'eau (ce qui n'est nullement exagéré et s'est avéré sans grand danger) et en plaçant la sonde d'injection à 2,50 m dans des trous profonds de 4 m, on a supprimé 65 % des poussières par rapport aux empoussiérages mesurés lors de l'application du procédé Jerusel.

b. *Considérations relatives à la mécanisation intégrale des chantiers d'abattage.*

Les résultats des mesures effectuées dans les chantiers équipés de haveuses à tambour du type Shearer ne sont pas encore suffisants pour qu'on puisse les considérer comme une étude systématique de ce procédé d'abattage. Trop de paramètres ont une influence sur le dégagement de poussières et devraient être examinés séparément : vitesse d'avancement, longueur du tambour, vitesse et sens de rotation, nombre et emplacement des pics, nature et état de fissuration du charbon, puissance de la couche, ... Nous croyons cependant, dans l'état actuel de la question, que pour obtenir des empoussiérages ne dépassant pas la cote d'alerte, l'humidité des produits 0/10 bruts abattus devait être de l'ordre de : 4,0 à 4,5 % si la teneur en eau du charbon « in situ » est de 3 à 3,5 % ; 4,5 à 5,5 % si la teneur en eau du charbon « in situ » est de 2,5 à 3 % et même supérieure à 6 % si la teneur en eau du charbon « in situ » est inférieure à 2,5 %.

Il est vraisemblable que, dans les cas extrêmes, on devra en arriver à faire modifier les machines pour qu'on y place des pulvérisateurs débitant jusque 60 à 80 litres/minute sur le tambour ou par le tambour.

c. *Etude de produits retardateurs d'évaporation.*

Dans le rapport précédent [41], nous avons eu l'occasion de résumer nos travaux [51] sur la possibilité de diminuer l'évaporation de l'eau exposée en nappes libres. On a ensuite recherché dans quelle mesure les propriétés établies se conservaient lorsque le liquide est en contact intime avec des produits houillers. Comme support, on a essayé un charbon maigre, un charbon gras et un schiste, chaque variété étant préparée sous trois formes granulométriques différentes. Le chlorure de sodium, le chlorure de calcium et l'huile de vidange ont été choisis comme inhibiteurs pour leurs propriétés intéressantes. On a tout d'abord utilisé la technique d'évaporation progressive par plusieurs séjours à l'étuve à partir d'un taux d'humidification élevé. Un ancien essai effectué en climat humide (φ = 0,85) sur du schiste granulé avait montré [50] que les solutions salines se comportent sensiblement comme des nappes libres avec toutefois tendance à fournir des résultats quelque peu meilleurs ; d'autre part, les émulsions d'huile montraient un effet moins spectaculaire quoiqu'encore notable. De nouvelles expériences sur supports granulés faites dans un climat plus sec (φ = 0,60) ont confirmé les résultats précédents. Les essais sur support fin ($< 74\ \mu m$) ont donné des résultats différents : d'une part, l'émulsion d'huile a eu un effet dérisoire, probablement à cause de l'importante augmentation de la surface granulaire ; avec les solutions salines, d'autre part, le coefficient d'évaporabilité commence par s'améliorer nettement par rapport aux nappes libres, puis réaugmente avec la prolongation de l'expérience jusqu'à dépasser la valeur de référence. Lorsqu'on enrichit les mélanges témoins au départ de telle façon que les taux d'humidification restent voisins en moyenne au cours d'un essai, l'anomalie ne se produit plus. Cette expérience permet d'expliquer l'aggravation constatée lors de l'évaporation progressive. En effet, la valeur absolue des débits d'évaporation diminue au fur et à mesure de l'assèchement des produits. Comme en vertu de l'action du sel, cette diminution est relativement plus marquée pour l'eau seule, il arrive un moment où la variation du rapport $e = q_i/q_w$ du débit d'évapo-

ration de la solution étudiée au débit d'évaporation de l'eau pure, augmente à nouveau par le simple effet d'une diminution plus importante de son dénominateur. Les mêmes taux d'humidification moyens permettent encore de mieux mettre en évidence le comportement propre au sel : dans la zone du mélange où se produit l'évaporation, la solution se concentre rapidement, d'où l'obtention de résultats meilleurs qu'avec les nappes libres.

On a ensuite étudié d'un point de vue plus pratique le comportement des inhibiteurs en vue de leur application dans la mine. Il s'agit en fait de comparer les quantités d'eau évaporée par les produits abattus au cours de leur cheminement lorsqu'ils ont reçu, lors de la prévention (injection, pulvérisation), une même quantité de liquide (eau seule ou traitée). Les expériences consistent à suivre au cours du temps l'évolution du coefficient réel d'évaporabilité et de le comparer à la valeur théorique qu'on devrait obtenir si les réactifs se comportaient comme des nappes libres. La figure 14 illustre le genre de résultats obtenus ; l'allure en U de la courbe réelle s'explique bien par le jeu des deux phénomènes antagonistes mis en évidence précédemment ; pour conférer un caractère plus général au graphique obtenu, on a exprimé en abscisse la quantité d'eau perdue par le support témoin, dont la surface projetée est de 1 dm^2.

Du point de vue de la lutte contre les poussières, il est intéressant de voir comment leur production serait modifiée si on remplace l'eau seule par une solution d'inhibiteur d'évaporation. A cette fin, nous avons construit un dispositif simple permettant la comparaison : il consiste en un cylindre vertical

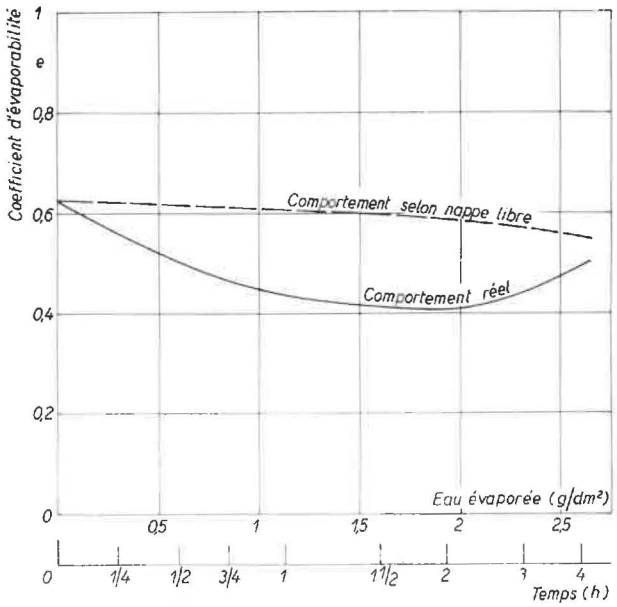

Fig. 14.

Activité d'une solution saline sur produits houillers.
— charbon maigre en granulométrie moyenne,
— solution de NaCl à 15 %,
— taux d'humidification : 2,5 % (volume),
— conditions climatiques : t_s = 32° C, γ = 0,71.

sur le fond duquel on laisse tomber en une fois un volume donné de support humide. Après le temps théoriquement nécessaire à la décantation des particules plus grosses que 10 μm en dessous d'un niveau donné, on introduit l'extrémité d'une hand-pump par une ouverture latérale pratiquée dans le cylindre et on fait un prélèvement. La standardisation des conditions opératoires permet de comparer les quantités de fines poussières soulevées, grâce à la mesure du noircissement des papiers-filtres. Dans le cas de l'expérience présentée ci-dessus, on a trouvé que l'empoussiérage dû à l'eau seule augmente en fonction de l'assèchement progressif, tandis que la poussière soulevée en présence de solutions à 15 % en NaCl ou $CaCl_2$ augmente à peine.

3. ETUDE ET ANALYSE DE PRODUITS DIVERS

L'analyse routinière (humidité, cendres, silice libre, etc.) d'échantillons de poussières aériennes ou de roches en place a été plus importante en raison du développement des nouvelles méthodes de contrôle des empoussiérages. On a également mesuré la concentration et la teneur en silice libre des poussières aériennes soulevées dans un atelier de broyage de produits siliceux. Le laboratoire a également préparé 40 g de poussières de silice inférieures à 5 microns destinées à des recherches médicales.

Enfin, on s'est intéressé aux gaz dégagés par la combustion d'un câble électrique à base de chlorure de polyvinyle (PVC). Etant bien entendu qu'il peut se former de l'oxyde de carbone et de l'anhydride carbonique en quantité variable avec les conditions de combustion, ce travail a porté essentiellement sur les composés agressifs chlorés susceptibles de se dégager. Le câble étudié, du type 500 V, est constitué par une enveloppe, quatre conducteurs gainés, une masse de remplissage de consistance molle à base de néoprène et un lacet souple axial de nature caoutchouteuse.

L'appareillage utilisé, représenté à la figure 15, comprend un tube de combustion en verre dur, un train de cinq barboteurs à plaque frittée, un débitmètre et une pompe. Les absorbeurs contiennent une quantité connue de soude caustique et de l'eau ; l'expérience a montré que l'absorption de l'acide chlorhydrique dégagé est complète pour un débit

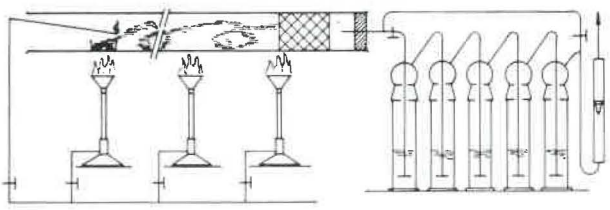

Fig. 15.

Appareillage employé pour étudier les gaz de combustion d'un câble en PVC.

d'air de l'ordre de 2 litres/min. L'inflammation du plastique étant difficile par chauffage extérieur, on s'est aidé d'une petite flamme de gaz entretenue à l'intérieur du tube ; un système by-pass permet de maintenir la ventilation nécessaire en dehors de l'expérience proprement dite.

De fines lanières sont découpées dans les différentes parties du câble ; des longueurs pesant environ un gramme sont morcelées et disposées dans des nacelles allongées en porcelaine. Celles-ci sont introduites successivement dans le tube chauffé par becs papillons ; l'inflammation de chaque éprouvette est provoquée et entretenue par la veilleuse. Les produits brûlent en émettant d'abondants fumerons qui se déposent en partie le long du tube ou sont arrêtés par un bouchon de laine de verre placé à son extrémité. A la fin de l'expérience, les produits charbonneux sont entièrement consumés en promenant une flamme de gaz le long du tube. Les liqueurs de barbotage sont alors réunies et amenées à volume connu. Par titrimétrie, on dose la soude consommée (titrage en retour), les ions chlorures (méthode de Mohr) ainsi que le chlore éventuellement retenu sous forme oxydante (iodométrie). Un essai à blanc a été prévu. Les mesures n'ont pas décélé de chlore ; si on suppose qu'il ne se forme pas de phosgène, on peut attribuer les chlorures à de l'acide chlorhydrique dégagé comme tel. Cette façon de voir est appuyée sur le fait qu'on n'a pas décelé de phosgène lors de la combustion en galeries de plaques de PVC à l'Institut National des Mines à Pâturages [52]. Les moyennes des résultats très concordants obtenus sont groupées au tableau IX. Au total, on obtient un dégagement de 3,3 g HCl, soit sensiblement 2 litres normaux HCl par centimètre de câble. En cas d'incendie dans une galerie équipée d'un tel câble, on peut prévoir la concentration maximale atteinte au moyen de la relation

$$C_{HCl} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot L}{Q_a \cdot t}$$

où C_{HCl} est la concentration volumique en gaz chlorhydrique (parties par million), L la longueur de câble brûlé (cm), Q_a le débit d'air (m^3/min) et t la durée (min) de la combustion. Remarquons que le seuil de toxicité pour HCl est de 5 parties par million pour 8 heures de travail et que des concentrations de 50 à 100 parties par million sont réputées tolérables pendant une heure. La vitesse de combustion du câble en PVC dépend évidemment des conditions locales mais elle est faible en raison même de sa composition ; dans le cas d'un incendie limité provoqué par un arc électrique par exemple, il paraît difficile de dépasser des concentrations de 5 à 10 parties par million (HCl) dans l'air pour des conditions de ventilation habituelles. Pour atteindre des concentrations dangereuses, il faudrait que le feu intéresse d'emblée et non progressivement une longueur de câble de l'ordre du mètre ou que la dilution des gaz soit mal réalisée.

TABLEAU IX.

Acide chlorhydrique dégagé par la combustion des divers éléments d'un câble en PVC.

Matière	Masse par unité de longueur g/cm	Acide chlorhydrique dégagé	
		g par g de matière	g par cm de matière
Enveloppe grise	5,15	0,334	1,720
Gaine rouge	1,40	0,334	0,468
jaune	1,35	0,334	0,451
bleue	1,42	0,334	0,474
noire	0,36	0,336	0,121
Lacet noir	0,17	0,013	0,002
Masse molle	8,14	0,004	0,032

4. ENQUETE

Nous donnons à titre provisoire les résultats 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 X 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 XI, 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.

TABLEAU X.

Développement des tailles (m) auxquelles sont

Situation au début des années 1964

Bassins administratifs	Campine		Liège	
Années de référence	1964	1965	1964	1965
Nombre de tailles actives	94	97	163	135
Longueur des fronts déhouillés (m)	17.129	18.028	14.535	13.684
I. *Traitements appliqués au point de formation des poussières*				
1. Développement total des tailles traitées (m) :				
— arrosage des fronts	1.217	1.332	400	80
— injection d'eau en veine	7.002	7.720	3.084	2.860
— havage humide	3.772	3.431	—	510
— piqueurs à pulvérisation d'eau	2.679	3.123	2.045	2.129
Longueur totale traitée	14.670	15.606	5.529	5.579
2. Longueur des fronts traités simultanément par plusieurs de ces procédés (m)	3.145	3.785	—	510
3. Longueur réelle traitée (m)	11.525	11.821	5.529	5.069
II. *Traitement par pulvérisation d'eau en tailles.*				
1. Développement total des fronts traités par pulvérisation d'eau (m)	9.337	8.629	5.962	6.426
2. Longueur des fronts traités par un des quatre procédés indiqués ci-avant, combiné à la pulvérisation en taille (m)	6.073	4.561	2.494	2.941
3. Longueur traitée uniquement par pulvérisation d'eau (m)	3.264	4.068	3.468	3.485
III. *Longueur des fronts naturellement humides considérés comme peu poussiéreux* (m)	1.521	1.321	2.462	2.560

TABLEAU XI.

Moyens de prévention normalement mis à la disposition du personnel dans les

Situation au début des années 1964 et 1965 (bouveaux,

Bassins administratifs	Campine		Liège	
Années de référence	1964	1965	1964	1965
Nombre de fronts en creusement	73	73	58	47
Fronts équipés de :				
1. Capteurs pour forage à sec	7 *	5 *	—	—
2. Perforateurs à adduction latérale d'eau	—	—	1	—
3. Perforateurs à injection centrale d'eau	64	63	56	46
Fronts avec prévention	71	68	57	46

* Dans les puits intérieurs principalement.

TABLEAU X.

ppliqués régulièrement des traitements humides.
et 1965 (résultats provisoires).

Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
1964	1965	1964	1965	1964	1965	1964	1965
148	163	21	20	21	19	447	434
17.314	17.382	2.985	3.040	3.835	3.459	55.798	55.593
750	1.044	—	—	—	260	2.367	2.716
8.932	8.323	1.769	2.255	3.630	2.924	24.417	24.082
—	—	—	—	—	—	3.772	3.941
1.761	1.881	—	—	—	—	6.485	7.133
11.443	11.248	1.769	2.255	3.630	3.184	37.041	37.872
1.031	261	—	—	—	260	4.176	4.816
10.412	10.987	1.769	2.255	3.630	2.924	32.865	33.056
8.460	7.867	1.540	465	2.385	2.316	27.684	25.703
3.879	3.189	840	290	2.385	1.781	15.671	12.762
4.581	4.678	700	175	—	535	12.013	12.941
2.056	583	516	610	565	—	7.120	5.074

TABLEAU XI.

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

Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
1964	1965	1964	1965	1964	1965	1964	1965
85	62	8	11	8	7	232	200
2	2	—	1	—	—	9	8
—	—	—	—	—	—	1	—
78	60	8	10	8	7	214	186
80	62	8	11	8	7	224	194

BIBLIOGRAPHIE

[1] LAVENNE F. et BRASSEUR L. : Exploration fonctionnelle à l'effort en vue de l'évaluation de l'invalidité d'origine respiratoire chez les houilleurs. — *Rev. Inst. Hyg. Mines,* 1964, **19**, 21/26.

[2] FLEISCH A. : Les épreuves d'effort de durée moyenne chez l'homme sain. — *Poumon,* 1959, **15**, 883/889.

[3] GUILLERM J., COQUERON M. et VANROUX R. : L'exercice musculaire de 20 minutes. Résultats observés chez les pneumoconiotiques. — *Poumon,* 1959, **15**, 979/988.

[4] GUILLERM J., SCHRIJEN F., DURAND D. et SADOUL P. : Techniques et critères de validité de l'épreuve d'exercice musculaire chez le malade. — *Poumon,* 1959, **15**, 949/955.

[5] DEJOURS P. : La régulation de la ventilation au cours de l'exercice musculaire chez l'homme. — *J. Physiol. (Paris)*, 1959, **51**, 163/261.

[6] DE COSTER A., MESSIN R. et DENOLIN H. : Répercussions métaboliques et cardiaques de l'effort chez les anthraco-silicotiques. — *Rev. Inst. Hyg. Mines,* 1964, **18**, 5/20.

[7] AUBERTIN N., GUILLERM J. et SADOUL P. : Résultats d'épreuves ergométriques effectuées chez des silicotiques. — *Rev. méd. Nancy,* 1957, **82**, 853/864.

[8] LAVENNE F. et THERASSE F. : Epreuves fonctionnelles pulmonaires à l'effort dans la pneumoconiose des houilleurs. — *Rev. méd. Nancy,* 1957, **82**, 885/891.

[9] SADOUL P., AUBERTIN N., DURAND D., GUILLERM J. et METZ J. : Etude des anomalies observées à l'effort au cours des pneumoconioses. — *Presse méd.,* 1958, **66**, 1018/1021.

[10] SARTORELLI E. et PASARGIKLIAN M. : Sulla valutazione del danno funzionale respiratorio causato della silcosi. Risultani ottenuti in 100 casi mediante lo studio del rendimento respiratorio secondo Herbst e Margaria e del deficit di O_2 secondo Knipping. — *Med. d. Lavoro,* 1953, **44**, 303/312.

[11] BRASSEUR L. : L'exploration fonctionnelle pulmonaire dans la pneumoconiose des houilleurs. — Bruxelles, Arscia et Paris, Maloine, 1963, 343 p.

[12] LAVENNE F. : Le retentissement cardio-vasculaire de la silicose et de l'anthraco-silicose. Contribution à l'étude du « cor pulmonale ». — *Rev. belge Path.,* 1951, **21**, suppl. VI, 264 p.

[13] ROSSIER P.H. : Assessment of pulmonary disability. — *Proceedings of the Pneumoconiosis Conference, Johannesburg, 1959.* London, Churchill, 1960, 511/515.

[14] VALENTIN H., KANN J. et VENRATH H. : Ein Vergleich von Röntgenbild und Lungenfunktionsanalyse bei 1000 Westdeutschen Bergarbeitern mit Silikose. — *Med. Kain.,* 1960, **55**, 2362/2367.

[15] FOWLER W.S., CORNISH E.R. et KETY S.S. : Lung function studies. VIII. Analysis of alveolar ventilation and pulmonary N_2 clearance curves. — *J. clin. Invest.,* 1952, **31**, 40/50.

[16] LUNDIN G. : Nitrogen elimination during oxygen breathing. — *Acta physiol. scand.,* 1953, **30**, (suppl. 3), 130/143.

[17] OELBRANDT L. et LAVENNE F. : Etude au moyen du nitrogenmeter de la mixique pulmonaire chez des sujets normaux et des houilleurs pneumoconiotiques. — *Rev. Inst. Hyg. Mines,* 1964, **19**, 230/244.

[18] OELBRANDT L., PATIGNY J. et LAVENNE F. : Etude de la mixique pulmonaire au moyen du nitrogenmeter. Analyse des méthodes utilisées. — *Rev. Inst. Hyg. Mines,* 1960, **15**, 59/78.

[19] BECLAKE M.R. : A new index of the intrapulmonary mixture of inspired air. — *Thorax,* 1952, **7**, 111/116.

[20] BOUHUYS A. : Influence of tissue nitrogen elimination on analysis of pulmonary nitrogen clearance curves. — *Acta physiol. pharmacol. néerl.,* 1959, **8**, 431/436.

[21] LUNDIN G. et BOUHUYS A. : Continue gasanalyse met de stikstofmeter en de toepassingen hiervan bij het longfunctieonderzoek. — *Ned. T. Geneesk.* 1956, **100**, 75/85.

[22] BOUHUYS A., JÖNSSON R. et LUNDIN G. : Non-uniformity of pulmonary ventilation in chronic diffuse obstructive emphysema. — *Acta med. scand.,* 1958, **162**, 29/46.

[23] C.E.C.A. : Groupe de travail ad-hoc « Normalisation des épreuves respiratoires » — Rapport de la réunion tenue le 6-2-1962 à Luxembourg.

[24] SARTORELLI E., GRIECO A. et ZEDDA S. : Studio sulla mescolanza intrapolmonare dei gaz nei silicotici e negli enfisematosi. — *Med. d. Lavoro,* 1959, **50**, 766/780.

[25] GILSON J.C. et HUGH-JONES P. : Lung function in coalworkers' pneumoconiosis. — *Spec. Rep. Ser. med. Res. Coun. (Lond.)*, 1955, n° 290, 266 p.

[26] BECK E.G. et SCHLIPKÖTER H.W. : Die Wirkung von Prethcamid, Chloroquin und Dinitrophenol auf die Experimentelle silicose bei weissen Ratten. — *Med. Welt. (Stuttg.)*, 1960, **49**, 2596/2599.

[27] KERSLEY G.D. et PALIN A.G. : Amodiaquine and hydroxychloroquine in rheumatoid arthritis. — *Lancet,* 1959, **2**, 886/888.

[28] PELZIG A., WITTEN V.H. et SULTZBERGER M.B. : Chloroquine for chronic discoid lupus erythematosus infralesional injection. — *Arch. Derm.,* 1961, **83**, 146/148.

[29] MERWIN C.F. et WINKELMANN R.K. : Dermatologic clinics. 2. Antimalarial drugs in the therapy of lupus erythematosus. — *Proc. Mayo Clin.,* 1962, **37**, 253/268.

[30] CARBONARA A.O., RODHAIN J.A. et RENOIRTE R. : L'influence de la chloroquine sur l'évolution de la silicose expérimentale chez le rat. — *Rev. Inst. Hyg. Mines,* 1964, **19**, 118/131.

[31] MC CHESNEY E.W., NACHOD S.C. et TAINTER M.L. : Rationale for the treatment of lupus erythematosus with antimalarials. — *J. invest. Derm.,* 1957, **29**, 97/104.

[32] CALKINS E., COHEN A.S. et SHORT C.L. : Long term chloroquine therapy in rheumatoid arthritis. — *Med. Clin. N. Amer.,* 1961, **45**, 1219/1228.

[33] MOSINGER M., FIORENTINO H., EL VETTI M. et CARTOUZOU G. : Sur le protéinogramme électrophorétique chez le cobaye et le rat traités par des injections intrapéritonéales de doses élevées de quartz. — *Arch. Mal. prof.*, 1957, **18**, 788/796.

[34] PERNIS B. et PARONETTO F. : Adjuvant effect of silica (tridymite) on antibody production. — *Proc. Soc. exp. Biol.*, 1962, **110**, 390/392.

[35] CEPPELLINI R. et PERNIS B. : Presence of plasma globulins in the hyaline tissue in cases of silicosis. — *Nature (Lond.)*, 1958, **181**, 55/56.

[36] LICHT W. : Immunelektrophoretische Untersuchungen über das Vorliegen von Serumgammaglobulin im menschlichen Silikosehyalin. — *Med. exp. (Basel)*, 1960, **3**, 237/240.

[37] VIGLIANI E.C., BOSELLI A. et PECCHIAI L. : Studi sulla componente emoplasmopatica della silicosi. — *Med. d. Lavoro*, 1950, **41**, 33/48.

[38] JONES J.H. et HEPPLESTON A.G. : Immunological observations in experimental silicosis. — *Nature (Lond.)*, 1961, **191**, 1212/1213.

[39] STRAMIGNONI A., BUSSOLATI G. et RUA S. : Caratteri della componente intercellulare del nodulo silicotico umano e sperimentale. — *Med. d. Lavoro*, 1962, **53**, 753/772.

[40] CARBONARA A.O., RODHAIN J.A. et HEREMANS J.F. : Présence de différentes protéines plasmatiques dans le nodule silicotique expérimental du rat. — *Rev. Inst. Hyg. Mines*, 1964, **19**, 132/143.

[41] HOUBERECHTS A. : L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1963. — *Ann. Mines Belgique*, 1964, **5**, 533/559.

[42] van der LINGEN T.W. : The value of water drainage in upcast mine shafts and fan drifts (by J. de V. Lambrecht). Contribution to discussion. — *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.*, 1956, **57**, 60/63.

[43] HOUBERECHTS A. — L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1957. — *Ann. Mines Belgique*, 1958, **5**, 387/420.

[44] 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.

[45] X. : Planning the ventilation of new or reorganised collieries. — *Information Bulletin* n° 55/153. National Coal Board, Production Department.

[46] BARCZA M., MARTINSON M.T. et PYNE MERCIER G.S. : An investigation into the resistance to airflow of n° 5 Shaft City Deep Ltd. — Report to the Consulting Engineers, 1955, July. *J. chem. metall. Mining Soc. South Africa*, 1955, **56**, 49/81.

[47] HOUBERECHTS A. et DEGUELDRE G. : Evaluation de la nocivité et classement des empoussiérages miniers. — *Rev. Inst. Hyg. Mines*, 1962, **17**, 251/258.

[48] MATLA W.P.M. : Concentrations-limites et seuils d'empoussiérage. — *Rev. Inst. Hyg. Mines*, 1962, **17**, 259/301.

[49] LAVALLEE H. : Assainissement de l'atmosphère en taille par application de la méthode inédite de prétéléinfusion d'eau, à partir d'une station prise extérieurement à l'exploitation intéressée. — *Ann. Mines Belgique*, 1964, **11**, 1323/1403.

[50] HOUBERECHTS A. : L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1962. — *Ann. Mines Belgique*, 1963, **5**, 545/570.

[51] 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.

[52] DEMELENNE E. : Procès-verbal des essais qui ont été faits sur les plaques rigides Peveclair Cristal n° 1 de la S.A. Sonobat. — *Inst. Nat. Mines. Pâturages*, 1964, 30 avril, 17 p.