

PRODUCTION	Unités	1952				PRODUCTION	Unités	1952					
		Janv. 1953 (a)	Déc. 1952 (b)	Janv. 1952	Moyenne mensuelle 1952			Janv. 1953 (a)	Déc. 1952 (b)	Janv. 1952	Moyenne mensuelle 1952		
PORPHYRE :													
Moellons	t	206	130	603	653	PRODUITS DE DRAGAGE : Gravier	t	47.715	44.841	38.944	72.918		
Concassés	t	118.066	160.910	171.107	254.178	Sable	t	7.286	12.609	7.314	17.942		
Pavés et mosaïques	t	5.553	5.244	6.277	6.167	CALCAIRES :	t	72.754	73.204	143.616	145.227		
PETIT-GRANIT :						CHAUX :	t	129.817	132.499	129.884	136.286		
Extrait	m ³	10.278	11.563	12.953	15.436	PHOSPHATES	t	1.660	1.645	8.131	4.915		
Scié	m ³	6.120	6.455	6.011	6.277	CARBONATES NATUR. (Crée, marno, tuffeau)	t	14.436	35.217	22.791	19.534		
Façonné	m ³	1.240	1.302	1.208	1.499	CARBON. DE CHAUX PRECIPITES	t	2.372	4.453	3.836	4.627		
Sous-produits	m ³	8.408	8.853	9.355	13.552	CHAUX HYDRAULIQUE ARTIFICIELLE	t	79	—	—	1.075		
MARBRES :						DOLOMIE : Crue Frittée	t	7.909	7.381	12.433	14.869		
Blocs équarris	m ³	237	362	384	504	PLATRE :	t	18.309	20.124	18.280	17.857		
Tranches raménées à 20 mm	m ²	34.352	34.501	46.754	40.544	AGGLOM. PLATRE	m ²	53.044	46.562	83.160	92.679		
Moellons et concassés	m ³	1.111	1.962	2.128	4.239								
Bimbeloterie	Kg	42.319	35.853	31.632	39.255								
GRES :													
Moellons bruts	t	9.882	10.914	8.077	18.167								
Concassés	t	56.986	69.305	56.844	105.948								
Pavés et mosaïques	t	3.661	1.503	1.802	2.362								
Divers taillés	t	1.826	2.494	1.830	4.190								
SABLE :													
pour métallurgie	t	36.338	44.401	39.285	48.716	SILEX : Broyé Pavés.	t	3.165	2.903	1.287	855		
pour verrerie	t	52.989	46.556	47.587	42.944	FELDSPATH & GALETS	t	756	904	1.501	344		
pour construction	t	43.409	64.373	74.371	105.449	QUARTZ et QUARTZIT	t	1.067	534	277	191		
Divers	t	10.197	11.400	23.782	26.696	ARGILES :	t	40.047	37.026	34.977	12.255		
ARDOISE :													
pour toitures	t	944	770	919	925								
Schiste ardoisier	t	73	92	78	78								
Coticule (pierres à aiguiser)	Kg	5.690	7.718	5.960	5.545								
						Ouvriers occupés		14.758	15.500	16.668	16.669		

(a) Chiffres provisoires. (b) Chiffres rectifiés.

HOUILLE

PAYS ETRANGERS

DERIVES

PAYS	Production t		Nombre d'ouvriers inscrits		Rendement par journée d'ouvrier (kg)			Nombre de journées d'extraction	Absentéisme en %	COKES t	AGGLOMERES t	
	Nette	Marchande	Fond	Fond et Surface	A front	Fond (2)	Fond et Surface					
France (1)												
Nord-Pas de Calais	2.408.002	—	96.273	137.089	—	1.266	842	23,98	17,53	12,52	313.497	274.300
Lorraine	1.022.280	—	23.961	35.589	—	2.106	1.359	24	24	13,16	28.847	12.944
Blanzay	207.917	—	6.605	9.841	—	1.593	1.034	23,97	19,05	13,09	—	16.452
Loire	299.658	—	11.236	16.109	—	1.387	918	22,47	22,41	15,90	39.675	18.886
Auvergne	94.596	—	4.008	5.537	—	1.215	842	23,11	19,88	13,81	—	13.976
Cévennes	241.488	—	10.738	15.959	—	1.190	767	23	22,76	18,44	—	105.515
Aquitaine	164.131	—	6.205	9.359	—	1.261	835	24	22,17	15,88	26.956	7.583
Dauphiné	45.414	—	1.853	2.763	—	1.231	818	24	18,01	15,96	—	4.434
Provence (L.)	91.175	—	2.720	4.169	—	1.865	1.180	20	27,71	23,12	—	—
Hostens (L.)	67.485	—	—	151	—	—	17.046	27	—	—	—	—
Autres mines (H et L)	53.192	—	2.376	3.263	—	—	—	—	—	—	—	1.220
Total France (H et L)	4.695.338	—	165.975	239.829	—	1.413	948	23,72	18,67	13,77	776.224(8)	655.228(8)
Sarre	1.332.794	—	38.410	58.659	—	1.701	1.083	23,93	16,43	11,81	302.686(8)	—
Total France et Sarre	6.028.132	—	204.385	298.488	—	1.469	974	23,76	—	—	1.078.910	665.228(8)
France (3)												
Nord-Pas de Calais	466.926	—	95.687	136.262	—	1.248	832	4,81	—	—	—	—
Lorraine	209.499	—	23.847	35.424	—	2.039	1.315	5	—	—	—	—
Blanzay	45.342	—	6.596	9.808	—	1.621	1.049	5	—	—	—	—
Loire	64.994	—	11.077	15.929	—	1.399	921	4,97	—	—	—	—
Autres mines	163.812	—	27.804	40.977	—	—	—	—	—	—	—	—
Total France	950.573	—	165.011	238.400	—	1.401	941	4,88	—	—	—	—
Sarre	273.297	—	38.258	52.298	—	1.638	1.051	5	—	—	—	—
Total France et Sarre	1.223.870	—	203.269	296.698	—	1.448	964	4,91	—	—	—	—
Pays-Bas (4)	984.615	—	30.009	53.784	—	1.606	—	24	5,3(5)	—	213.340	64.599
Grande Bretagne												
Sem. du 29-3 au 4-4 53	—	4.060.300	—	719.500	3.110	—	1.190	—	—	12,99(6)	—	—
sem. du 5 au 11-4 53	—	3.371.400	—	720.800	3.120	—	1.170	—	—	13,65(6)	—	—
Allemagne (7)												
Ruhr	1.901.659	—	303.348	394.465	3.320	1.450	1.190	—	—	—	—	—
Aix-la-Chapelle	197.409	—	21.375	26.821	2.630	1.160	900	—	—	—	—	—
Basse-Saxe	37.975	—	8.123	10.836	2.220	1.060	780	—	—	—	—	—
TOTAL X	2.947.043	—	332.846	432.062	3.350	1.420	1.070	—	—	—	—	—

(1) Mois de février 1953 (houille et lignite) — (2) Rendement calculé déduction faite des productions à ciel ouvert. — (3) Semaine du 5 au 11 avril. — (4) Mois de décembre 1952 — (5) Absences pour maladies. — (6) Sur l'ensemble des mineurs. — (7) Semaine du 6 au 12-4-1953. — (8) Y compris la production des usines non annexes des mines (France : 567.249 t de cokés et 199.918 t d'agglomérés, Sarre : 238.560 t de cokés).

L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1952

par A. HOUBERECHTS

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

SOMMAIRE

Introduction.

I. — Travaux de la section médicale.

1. — Examen des mineurs au travail.

A. - Prospections médicales systématiques.

B. - Examens spéciaux à l'Institut d'Hygiène des Mines.

2. — Epreuves fonctionnelles pulmonaires.

A. - Mesure du volume résiduel.

B. - Etude des courbes respiratoires et expiratoires.

3. — Techniques radiologiques.

A. - Régulateur automatique du temps d'exposition.

B. - Tomographie axiale.

4. — Les aérosols médicamenteux.

II. — Travaux de la section technique.

1. — Lutte contre les poussières.

A. - Conimétrie.

B. - La lutte contre les poussières dans les travaux au rocher.

C. - La lutte contre les poussières dans les chantiers d'abattage et les voies d'entrée d'air.

D. - L'aérosologie.

E. - Travaux de laboratoire.

2. — Ventilation - Climatisation des mines profondes.

A. - Recherches dans le domaine de la ventilation.

B. - Travaux théoriques dans le domaine de la thermique minière.

C. - Les installations frigorifiques pour la réfrigération des chantiers souterrains.

D. - Etalonnage d'instruments de mesure.

III. — Enquêtes, documentation et conférences.

Bibliographie.

INTRODUCTION

Le présent article sur l'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1952, constitue la suite traditionnelle des rapports publiés dans les Annales des Mines de Belgique depuis 1948.

Bien que la plupart des recherches accomplies aient fait l'objet d'une « Communication » de l'Institut d'Hygiène des Mines, nous croyons bien faire

en donnant quelques détails de réalisation des expériences les plus intéressantes.

Nous profitons aussi de cette publication pour diffuser les résultats de certains essais effectués au cours de l'année, dont l'ampleur ne justifie pas la rédaction d'une communication régulière de l'Institut, mais dont les résultats sont néanmoins d'un indéniable intérêt pratique.

I. — TRAVAUX DE LA SECTION MEDICALE

1. — Examen des mineurs au travail.

A. — Prospections médicales systématiques.

Au cours de l'année 1952, les médecins de l'Institut d'Hygiène des Mines ont pratiqué des examens cardiaques et fonctionnels pulmonaires chez 212 ouvriers des Charbonnages du Rieu-du-Cœur et de la Boule Réunis, à Quaregnon (Borinage). Tous les ouvriers de ce charbonnage avaient une radiophotographie de l'écran faite dans le car radiologique de l'Institut, en même temps qu'on relevait leur anamnèse professionnelle. On a ainsi pu sélectionner plus de 200 ouvriers ayant travaillé depuis au moins sept ans aux hautes températures et représentatifs des divers types d'images pulmonaires. Tous ont subi un examen clinique et électrocardiographique. On a déterminé également la capacité vitale et relevé les temps d'apnée volontaire et la ventilation maximum par minute, mesurée directement par respiration durant 30 secondes dans un sac de Douglas. Le but de ces examens était double : d'une part, détecter les répercussions cardiaques éventuelles du travail aux hautes températures et, d'autre part, rechercher les valeurs normales de certaines épreuves fonctionnelles pulmonaires simples chez les houilleurs au travail. Les résultats de ces recherches seront publiés sous peu comme communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, mais on peut déjà souligner à quel point la réalisation de ces épreuves fonctionnelles se montra facile et rencontra la collaboration et même l'émulation des ouvriers.

Les examens de prospection qui avaient débuté au cours de l'année 1951 aux Charbonnages de l'Espérance et Bonne Fortune à Montegnée, par la prise de clichés radiophotographiques, se sont poursuivis par l'examen clinique de 982 ouvriers. Celui-ci comportait le relevé de l'indice biométrique, l'examen approfondi des organes cardio-respiratoires, la recherche du sucre et de l'albumine dans les urines et une spirométrie simple. Les dossiers des intéressés furent en outre complétés par une anamnèse professionnelle aussi complète que possible. Ces investigations ont permis aux médecins de l'Institut de déceler certains cas pathologiques. Ces malades purent ainsi être éliminés et adressés aux services compétents pour recevoir les soins qu'exigeait leur état. Les ouvriers suspects de maladie furent pris en tutelle par l'Institut et convoqués pour subir des examens complémentaires. Les résultats de cette enquête viennent s'ajouter à ceux qui furent recueillis antérieurement dans ce même charbonnage au cours des années 1949 et 1950. La comparaison des dossiers cliniques et des clichés radiographiques rassemblés permettra de se rendre compte de l'évolution de l'état de santé de ces travailleurs. En continuant à suivre régulièrement les ouvriers de ce charbonnage, cette étude pourra conduire à des conclusions objectives quant au caractère stationnaire ou progressif des affections observées.

Enfin, nos travaux médicaux aux Charbonnages de l'Espérance et Bonne Fortune se sont complétés par la prise de 165 clichés radiophotographiques d'ouvriers embauchés pendant l'année en cours.

B. — Examens spéciaux à l'Institut d'Hygiène des Mines.

Les médecins de charbonnages des divers bassins du pays ont adressé à l'Institut d'Hygiène des Mines 99 cas difficiles afin de préciser le diagnostic radiologique ou de rendre compte d'un discordance entre les signes radiologiques et les plaintes subjectives.

Tous ces ouvriers ont subi un examen clinique et radiographique. Dans la plupart des cas, on a en outre pratiqué des examens tomographiques et électrocardiographiques ainsi que diverses épreuves fonctionnelles cardio-pulmonaires.

Les nouveaux procédés d'exploration n'ont rien enlevé à l'intérêt de l'examen clinique traditionnel. Les médecins de l'Institut d'Hygiène des Mines ont souligné l'importance de l'auscultation pulmonaire dans le diagnostic des spasmes bronchiques et de l'emphysème, responsables pour une grande part des troubles fonctionnels des silicotiques (1). Mais l'examen clinique ne doit pas se limiter aux poumons. Les plaintes des houilleurs sont en effet loin d'avoir toujours une origine pulmonaire. En réalité, chez 28 des sujets examinés, les symptômes subjectifs étaient, au moins en partie, cardiaques ou vasculaires. Il n'est d'ailleurs pas étonnant que des travailleurs de force soient plus précocement gênés que la moyenne de la population par le processus normal de vieillissement de l'appareil circulatoire. L'examen physique a d'ailleurs révélé deux cas de décompensation cardiaque, deux cas de troubles valvulaires cardiaques, trois cas de troubles du rythme (extrasystolie), cinq cas d'hypertension artérielle et deux cas d'artériosclérose grave des artères périphériques. De même, l'examen du système nerveux a permis de diagnostiquer une maladie de Parkinson.

La radiographie grand format pratiquée chez chacun de ces 99 sujets a permis les constatations suivantes : en ce qui concerne le stade de la pneumoconiose, on a trouvé 57 images normales, 24 micronodulaires, 5 nodulaires, 28 images de type condensation non définie et 5 cas de pseudotumeur. En outre, on diagnostiqua une tuberculose évolutive dans 23 cas, une tuberculose cicatricielle dans 21 cas et un cancer pulmonaire dans 2 cas. Dans 23 cas il existait des adhérences pleurales étendues, dans 8 cas une anomalie importante de l'image cardiovasculaire et dans 4 cas des signes radiologiques nets d'emphysème.

L'électrocardiogramme enregistré chez 71 patients montrait dans 20 cas de nettes anomalies telles que troubles du rythme cardiaque, blocs des branches, tracés de type coronarien. Après un effort sur le tapis roulant, le pourcentage d'anomalies fut beaucoup plus élevé, confirmant l'impression que, chez les houilleurs atteignant la cinquantaine, la cause d'invalidité est souvent un trouble cardiaque indélébile de l'état pulmonaire.

Les résultats des épreuves fonctionnelles pulmonaires pratiquées chez 78 ouvriers viennent confirmer cette manière de voir. La recherche de la capacité vitale, du volume pulmonaire résiduel, de la

ventilation maximum par minute ainsi que de la saturation oxyhémoglobinée au cours d'un effort dosé sur la bicyclette ergométrique, montrèrent que la fonction pulmonaire était satisfaisante dans 64 cas, modérément diminuée dans 10 cas et fortement altérée chez 4 patients seulement.

A partir de ces multiples examens, on a pu tirer les conclusions suivantes concernant la capacité de travail de ces ouvriers : 21 furent déclarés aptes à une besogne normale; dans 42 cas on demanda un changement de travail, affectation à une besogne plus légère ou en dehors des atmosphères poussiéreuses; 24 ouvriers furent considérés comme provisoirement et 12 comme définitivement inaptes à tout travail. Ce pourcentage élevé n'a rien d'étonnant ni d'alarmant si l'on se rappelle qu'il s'agissait d'ouvriers malades envoyés à l'Institut pour complément d'examen.

Les médecins traitants ainsi que les médecins de charbonnages reçurent un rapport détaillé sur l'état sanitaire de leurs patients avec éventuellement des conseils thérapeutiques. En étroite collaboration avec les médecins traitants, les services médicaux revoient d'ailleurs régulièrement de nombreux malades.

Enfin, diverses caisses de pension ainsi que des cliniques universitaires ont envoyé à l'Institut d'Hygiène des Mines 18 cas de pneumoconioses provenant des mines ou d'autres industries, pour évaluation du taux d'invalidité.

2. — Epreuves fonctionnelles pulmonaires.

En exposant les raisons qui ont amené l'Institut d'Hygiène des Mines à créer au cours de l'année 1951 un laboratoire d'épreuves fonctionnelles pulmonaires, nous avons donné, dans un précédent numéro de cette revue (2), un aperçu des principes et de la réalisation pratique de ces déterminations physiologiques. L'année 1952 nous a permis une mise au point plus poussée de deux des épreuves : mesure du volume résiduel et étude des courbes inspiratoires et expiratoires.

A. Mesure du volume résiduel.

On appelle *volume résiduel* le volume d'air restant dans les poumons à la fin d'une expiration forcée. L'augmentation de l'air résiduel constitue la manifestation physiologique essentielle de l'emphysème pulmonaire, complication à la fois fréquente et sérieuse de l'antraco-silicose. En règle générale, les anthraco-silicotiques n'éprouvent des difficultés respiratoires importantes qu'à partir du moment où survient une complication emphysémateuse. Comme C. Fletcher l'a encore récemment souligné, les méthodes cliniques et radiologiques se montrent trop peu sensibles pour le diagnostic des emphysèmes légers, d'où la nécessité de recourir à des tests fonctionnels dont le plus logique est évidemment la détermination du volume résiduel.

Comme il s'agit du volume d'air que nous sommes incapables de chasser hors des poumons, cette mesure doit se réaliser par voie indirecte. Dans leur principe, les techniques proposées se ramènent à deux types : le procédé en circuit ouvert, proposé

en 1940 par Cournand, Darling et Richards (3), et les méthodes en circuit fermé.

Dans le premier type, on fait respirer de l'oxygène au patient durant 10 minutes, de manière à laver aussi complètement que possible les poumons de l'azote qu'ils contiennent et on recueille soigneusement l'air expiré dans un sac de Douglas. La quantité d'azote contenue dans le sac, calculée après analyse chimique des gaz à l'appareil de Van Slijke, représente approximativement la quantité d'azote contenue dans les poumons au début de l'expérience. Quelques corrections doivent pourtant être apportées au résultat : on devra estimer la faible quantité d'azote restant dans les poumons à la fin de l'épreuve et apporter, d'autre part, une correction empirique tenant compte de l'azote excrété du sang au cours de l'expérience, par suite de la diminution de la pression partielle d'azote à l'intérieur des alvéoles pulmonaires. Le pourcentage d'azote normalement présent dans l'air alvéolaire est une donnée physiologique assez constante (81 % environ). Du volume d'azote résiduel on déduira donc facilement le volume d'air résiduel.

Les méthodes en circuit fermé, déjà proposées par Van Slijke et Binger en 1923, sont basées sur un tout autre principe. Dans ce cas, une dilution connue d'un gaz normalement absent des poumons, l'hydrogène, est réalisée dans un espace clos, spiromètre avec pompe assurant la circulation et le mélange des gaz. A la fin d'une expiration normale ou d'une expiration forcée, le patient est branché sur le circuit fermé, ce qui revient à augmenter la capacité de celui-ci du volume d'air contenu dans les poumons. Favorisée par les mouvements respiratoires, la dilution du gaz étranger dans ce volume accru va se réaliser en 3 à 10 minutes et un nouvel équilibre s'établit. La différence entre les concentrations initiale et finale du gaz étranger permet de calculer le volume d'air contenu dans les poumons au moment où le patient a été branché sur le circuit. Suivant que l'expérience a débuté en expiration maximum ou en expiration normale, le volume mesuré sera, soit le *volume résiduel*, soit la somme du *volume résiduel* et du *volume de réserve*, à laquelle on donne le nom de *volume fonctionnel résiduel*. La figure 1 représente un diagramme relevé au spiromètre, montrant clairement la définition de ces différents volumes.

Ici aussi certaines précautions doivent être prises et diverses corrections apportées. On tiendra compte de l'absorption du gaz étranger, celle-ci étant fonction de sa solubilité dans le sang. Il faudra surtout veiller à ce que le volume total du circuit fermé (spiromètre et volume résiduel du patient) reste constant tout au long de l'épreuve. Or, pendant ces 10 minutes, les échanges respiratoires tendent à modifier le volume gazeux contenu dans le circuit. Nous consommons au repos 200 à 300 cm³ d'oxygène et ceux-ci ne sont que partiellement remplacés par le CO₂ excrété : le rapport de la quantité de CO₂ excrété à celui de l'O₂ consommé (quotient respiratoire) est en effet légèrement inférieur à l'unité. De plus, si on laissait respirer un patient pendant 10 minutes dans un circuit fermé d'une capacité de

8 litres, la concentration en CO_2 y monterait en 10 minutes à plus de 20 %, ce qui amènerait des troubles ventilatoires importants (augmentation de l'amplitude des mouvements respiratoires), ainsi que

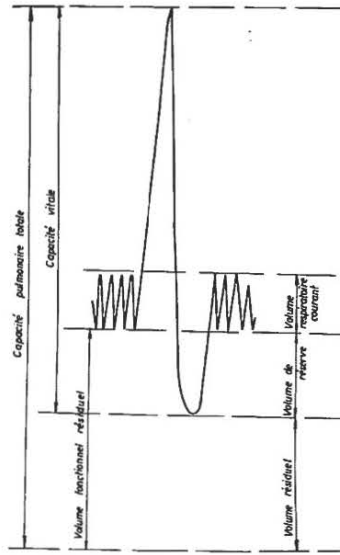


Fig. 1.

des phénomènes généraux très désagréables, comme des douleurs vives dans la tête. On est donc forcé d'intercaler dans le circuit un absorbeur de CO_2 (le plus souvent de la chaux sodée). Le problème se ramène donc à ajouter de l'oxygène au circuit, parallèlement à l'absorption de ce gaz par le patient. Cette stabilisation du volume constitue le point délicat de la technique, et c'est surtout cette difficulté qui a incité Cournaud et ses collaborateurs à proposer la méthode en circuit ouvert décrite plus haut.

Mais entretemps McMichael (4) avait amélioré la méthode de Van Slijke et Binger en assurant la constance du volume et, d'autre part, en mesurant de façon continue la concentration en hydrogène dans le circuit, par une méthode physique basée sur la forte différence de conductibilité thermique entre l'hydrogène et l'oxygène. L'appareil employé, portant le nom de catharomètre, est composé d'un pont de Wheatstone comme le dialéromètre dont nous parlerons plus loin. Depuis lors, la méthode en circuit fermé, progressivement améliorée, a gagné du terrain. Un des changements heureux a consisté en la substitution de l'hélium à l'hydrogène comme gaz indicateur. Cette innovation est due à Meneely et Kaltreider (5), mais depuis lors la méthode à l'hélium a surtout été étudiée par J. Gilson et P. Hugh-Jones, du *Pneumoclonosis Research Unit* de Cardiff, avec lesquels notre collaborateur F. Lavenne a eu l'occasion de travailler ce problème. L'hélium ayant une conductibilité thermique voisine de celle de l'hydrogène, est aussi facilement dosé par voie phy-

sique au catharomètre et il a sur l'hydrogène divers avantages : il est moins soluble dans le sang et ne fait pas courir de risques d'explosion. J. Gilson et P. Hugh-Jones (6), comparant la méthode de Cournaud à la méthode à l'hélium chez 17 sujets dont 13 pneumoconiotiques, ont montré une bonne concordance dans les résultats des deux techniques. En cas d'emphysème important, la méthode à l'hélium paraît pourtant préférable.

Contre cette méthode, on a invoqué les difficultés d'approvisionnement et le prix élevé de l'hélium, quoique, selon Gilson et Hugh-Jones, le coût de l'hélium nécessaire pour une détermination en double du volume résiduel n'a été, en 1949, que de 1 1/2 d. Déjà en 1932, en Grande-Bretagne, Christie (7) proposait de modifier la technique de Van Slijke et Binger en supprimant le gaz étranger et en faisant jouer comme indicateur les variations du rapport N_2/O_2 dans le circuit fermé. Il suffit pour cela que le pourcentage d'azote dans le circuit fermé soit différent de celui (81 %) existant dans l'air alvéolaire. Dès lors, l'adjonction du volume résiduel au circuit fermé y fait croître la concentration en azote. Un équilibre s'établira et, à partir des concentrations initiale et finale en azote, il sera possible de calculer le volume d'air résiduel. La difficulté de maintenir constant le volume total du circuit avait nuï à la généralisation de la méthode, mais celle-ci est revenue récemment en faveur grâce aux travaux de Van Veen, Orié et Hirdes (8) de Utrecht, qui ont apporté deux améliorations importantes à la technique : mise au point d'un stabilisateur auto-

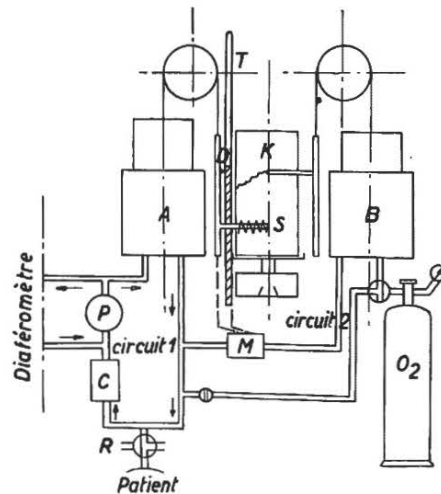


Fig. 2.

matique de volume de maniement facile et dosage continu de l'azote par voie physique, à l'aide du dialéromètre mis au point par Noyons, ancien professeur de physiologie à l'Université de Louvain, pour la mesure du métabolisme de base. Leurs tra-

vaux ont amené la diffusion d'un appareil de mesure du volume résiduel dont le schéma est donné dans les figures 2 et 3. Il se compose d'un double spiromètre et du dialéromètre.

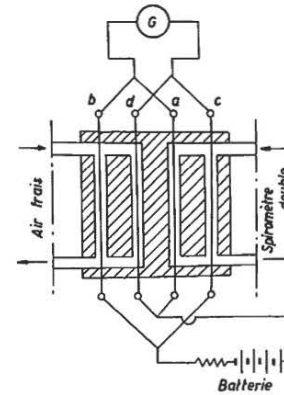


Fig. 3.

Le spiromètre comprend deux circuits (1 et 2) avec leurs cloches respectives (A et B). Sur le circuit 1 sont intercalés un absorbeur (C) de CO_2 (chaux sodée) ainsi qu'une pompe (P). Un robinet à trois voies avec embout buccal (R) permet de brancher le patient. Les mouvements respiratoires entraînent des déplacements de la cloche qui, par l'intermédiaire d'un stylet (S) placé sur le contre-poids, sont inscrits sur un kymographe (K) permettant des déroulements de 3-6 et 120 cm/minute. Le circuit 2 et la cloche B sont remplis d'oxygène. Ils sont séparés ou reliés au circuit 1 par une valve électromagnétique (M) dont l'ouverture est commandée par le glissement du contact (D) fixé sur le contre-poids de la cloche A le long d'une tige métallique (T) conductrice, qui peut être isolée jusqu'au niveau désiré. Le volume du circuit 1 est ainsi fixé automatiquement. Lorsque le sujet y respire et consomme de l'oxygène, la cloche A baisse et le contre-poids se relève jusqu'à la partie conductrice de la tige. Le courant qui s'établit dès lors par le contact (D) ouvre la valve de communication entre les circuits 1 et 2, amène de l'oxygène dans le circuit 1 et fait remonter la cloche A. Lorsque l'oxygène arrive en excès, le contre-poids descend sur la partie isolée de la tige, ce qui, en coupant le courant, ferme la valve électromagnétique et interrompt l'arrivée d'oxygène. On obtient ainsi sur le kymographe un double diagramme : les mouvements inspiratoires et expiratoires sont inscrits par le stylet de la cloche A de façon strictement horizontale; la consommation d'oxygène est indiquée d'autre part par un second tracé à pente ascendante, correspondant à la descente progressive de la cloche B (fig. 4).

Le dialéromètre se compose d'un pont de Wheatstone (fig. 3), dont les branches sont en platine physiquement pur. Quand un courant électrique traverse les fils, ceux-ci sont chauffés à une tempé-

rature qui dépend en particulier de la composition des gaz dans lesquels ils se trouvent. Dans un gaz à grande conductibilité thermique, le fil se refroidit davantage que dans un gaz à faible conductibilité et présente dès lors une résistance électrique moindre. L'azote ayant une conductibilité thermique un peu plus faible que celle de l'oxygène, il est possible, par la mesure de la variation de la résistance électrique d'un fil placé dans un mélange d'azote et d'oxygène, de déterminer le pourcentage de l'azote dans ce mélange. Dans ce but, on fait passer l'air à examiner autour des résistances (a et c) du pont, tandis que les deux autres résistances (b et d) baignent dans un gaz de composition constante (air atmosphérique). Les variations du passage du courant à travers le pont seront proportionnelles à la concentration en azote de l'air à examiner et il sera possible par étalonnage de connaître exactement cette valeur. Le principe est donc le même que celui du catharomètre employé pour la méthode à l'hélium, mais la différence de conductibilité thermique entre l'oxygène et l'azote étant plus faible que celle existant entre l'oxygène et l'hélium, le galvanomètre doit être ici plus sensible.

Lors de l'épreuve, le dialéromètre est relié au circuit 1 par un tube en caoutchouc, de telle façon qu'une petite partie du courant du circuit fermé soit constamment dérivée vers l'appareil mesureur, sans qu'il puisse y avoir de fuite. Cette dérivation prend naissance sur le refoulement de la pompe P et revient sur l'aspiration. Pour être certain de ne pas être gêné par la faible quantité de CO_2 qui n'aurait pas été absorbée par la chaux sodée du circuit principal, l'air arrivant au dialéromètre doit traverser un nouveau tube de chaux sodée, tandis qu'un autre tube réalise une saturation constante en vapeur d'eau, ce qui élimine l'influence de la vapeur d'eau sur la conductibilité des gaz.

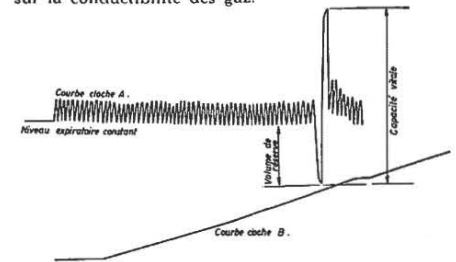


Fig. 4.

La mesure de l'air résiduel se réalise de la façon suivante : après avoir ventilé le circuit 1 et vidé la cloche A de telle façon que le circuit contienne de l'air atmosphérique uniquement dans les canalisations, on y introduit une quantité fixée d' O_2 . 3 litres par exemple, en faisant monter la cloche de la hauteur nécessaire. Les canalisations du circuit ayant une capacité un peu inférieure à 6 litres, ceci amène le pourcentage d'azote dans le circuit 1 aux environs de 50 %. On lit sur le galvanomètre du dialéromètre la déviation correspondant à cette composition du gaz. Le sujet est alors branché sur le

circuit fermé à la fin d'une expiration normale et l'isolant de la tige stabilisatrice est placé de telle façon que la cloche A reste au même niveau, c'est-à-dire que toutes les positions expiratoires puissent être jointes par une ligne horizontale (fig. 4). A partir de ce moment, le mélange de l'air du circuit avec le volume résiduel fonctionnel va accroître le pourcentage d'azote. Il en résultera une variation progressive de la déviation du galvanomètre. L'étendue de la variation par minute va d'ailleurs en diminuant puisque l'air qui est rejeté à l'expiration est de plus en plus semblable au gaz inspiré. Finalement, après un temps variant de 3 à 10 minutes, suivant l'importance du volume résiduel et suivant l'efficacité de la ventilation du sujet, on arrive à un équilibre. A partir de ce moment, les indications du diaféromètre ne devraient théoriquement plus varier. En réalité, il n'en est pas strictement ainsi, la déflexion continuant à augmenter régulièrement mais beaucoup plus lentement. La faible variation de la conductibilité thermique des gaz se poursuivant après la réalisation d'un mélange parfait est due à la présence de gaz rares, particulièrement d'argon, dans l'oxygène contenu dans la cloche B et amené progressivement dans le circuit 1 pour remplacer l'oxygène, en grande partie d'origine atmosphérique, consommé par le patient. Au gaz à analyser s'ajoute donc progressivement une quantité croissante d'argon de conductibilité thermique différente. Ce phénomène a en réalité fait sentir son effet pendant toute la durée de l'expérience et a amené une surestimation de l'augmentation du pourcentage d'azote. Comme la consommation d'oxygène, et par là l'introduction d'argon, est constante durant toute l'expérience, il suffit de prolonger vers l'origine des

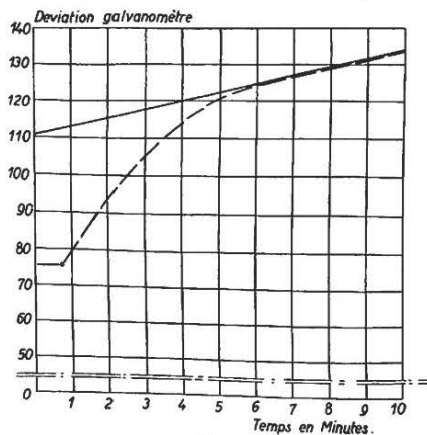


Fig. 5.

coordonnées l'asymptote à la courbe de déviation du galvanomètre, tracée en fonction du temps. L'ordonnée à l'origine de cette asymptote donne la déviation du galvanomètre réellement attribuable à l'augmentation du pourcentage d'azote. La figure 5 montre un exemple de courbe construite à l'aide des

indications successives du galvanomètre, ainsi que la manière dont se fait l'extrapolation correctrice. La déviation du galvanomètre ainsi corrigée est alors reportée sur une courbe d'étalonnage réalisée en ajoutant au circuit 1, préparé comme pour la mesure du volume résiduel, des quantités progressives

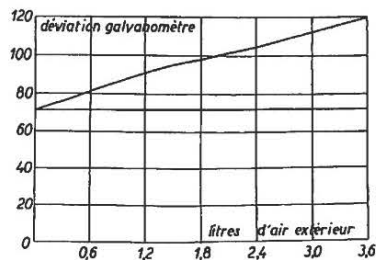


Fig. 6.

allant de 0,6 à 3,6 litres d'air atmosphérique (fig. 6). En se reportant à cette courbe, on lit en abscisse quel volume on a ajouté au circuit en y branchant le patient. Ce volume est le volume fonctionnel résiduel, augmenté toutefois du faible espace mort du robinet à 3 voies et de la pièce buccale (30 cm³ environ).

A partir de l'air fonctionnel résiduel, on obtient le volume résiduel par soustraction du volume de réserve déterminé, en fin de l'expérience en priant le sujet d'expirer à fond; le nombre de centimètres dont la cloche s'élève, c'est-à-dire dont le stylet inscripteur s'abaisse sur le graphique, donne le volume de réserve. En demandant ensuite au patient d'inspirer à fond, on mesure sa capacité vitale (fig. 4). La somme de la capacité vitale et du volume résiduel constitue le volume pulmonaire total. Celui-ci est important à connaître, car les variations du volume résiduel ne sont significatives que si on les compare au volume pulmonaire total. On conçoit en effet qu'un homme grand et large ait des poumons plus gros et, partant, un volume résiduel plus important qu'un sujet petit et malingre. Normalement, le volume résiduel représente moins de 25 % du volume pulmonaire total. Des pourcentages de 25 à 35 % signifient un emphysème léger, mais il faut noter qu'un certain degré d'emphysème apparaît normalement avec l'âge, si bien qu'à partir de 50 ans, 35 % constitueront la limite supérieure de la normale. Quand l'air résiduel représente 35 à 45 % du volume pulmonaire total, on parle d'emphysème modéré; entre 45 et 55 %, d'emphysème marqué, et, au delà de 55 %, d'emphysème très marqué.

Ces techniques comportent évidemment de nombreuses causes d'erreur. Si, par exemple, le patient ne tient pas hermétiquement la pièce buccale, il inspirera de l'air extérieur et faussera le résultat. Aussi, toutes les déterminations doivent-elles être faites en double. Si les deux résultats varient de plus de 200 cm³, on procède à une troisième mesure. Ces contrôles multiples sont possibles grâce à leur

durée réduite : une épreuve prend moins d'une demi-heure et peut être réalisée par un opérateur isolé. Ceci n'est pas le cas dans la méthode en circuit ouvert de Courmand, où chaque détermination demande des dosages chimiques nombreux et fastidieux, si bien qu'on hésite à recommencer plus de deux fois, à moins d'avoir à sa disposition toute une équipe de techniciens.

C'est la raison principale pour laquelle les laboratoires d'épreuves fonctionnelles de l'Institut d'Hygiène des Mines ont abandonné la technique de Courmand, pour adopter la technique en circuit fermé de Van Veen et ses collaborateurs. Il n'est pourtant pas exclu que la méthode en circuit ouvert ne reprenne plus tard le premier rang, lorsqu'on disposera d'appareils physiques permettant une mesure instantanée suffisamment précise de pourcentages d'azote relativement faibles. Le diaféromètre de Noyons comporte en réalité deux ponts de Wheatstone; en absorbant le CO₂ de l'air amené autour de l'un d'entre eux, on peut déterminer par différence les teneurs en CO₂ et en O₂ (ou N₂) de l'air expiré. Il est possible que l'on puisse ainsi mesurer de façon suffisamment exacte la teneur en azote des sacs de Douglas ainsi que de l'air alvéolaire, à la fin des 10 minutes de respiration en oxygène nécessitées par la méthode en circuit ouvert de Courmand.

Il est d'autre part évident que le diaféromètre de Noyons peut servir à la détermination du volume d'air résiduel par la méthode à l'hélium. Les conductibilités thermiques des gaz étant plus différentes, on pourra réduire la sensibilité des galvanomètres et on sera par le fait même moins gêné par les impuretés d'argon contenues dans l'oxygène commercial.

B. Etude des courbes inspiratoires et expiratoires.

Le spiromètre décrit plus haut est pourvu d'un kymographe pouvant tourner à des vitesses de 3, de 6 et de 120 cm/minute. Pour l'enregistrement de la capacité vitale et de la mesure du volume résiduel, on emploie évidemment les deux premières vitesses, la troisième répondant à un but bien précis : étaler les courbes inspiratoires et expiratoires afin de déterminer les débits maxima instantanés. Nous obtenons les mêmes courbes en adaptant à un spiromètre ordinaire de Bouillite le kymographe de A. Fleisch de Lausanne, permettant toute une gamme de vitesses de déroulement, depuis 1 mm à la minute jusqu'à 6 cm/sec. Pratiquement les vitesses de 1,5 et 2 cm/sec semblent idéales pour l'étude des tracés inspiratoires et expiratoires.

Les figures 7 et 8 montrent les courbes expiratoires obtenues respectivement chez un sujet normal et chez un insuffisant respiratoire. Pour les obtenir, on a demandé aux patients d'effectuer une inspiration maximale, puis d'expirer aussi rapidement que possible. On remarque que chez le sujet normal, le débit expiratoire instantané, d'abord rapide et constant, décroît ensuite de façon exponentielle. Chez l'insuffisant respiratoire, la première portion de la courbe a une pente moins forte et l'incurvation se produit plus précocement. Ce deu-

xième type de courbe est évidemment beaucoup moins favorable aux accroissements de la ventilation exigés par les efforts physiques, le patient n'utilisant économiquement qu'une très faible portion de son volume expiratoire et devant augmenter exagérément

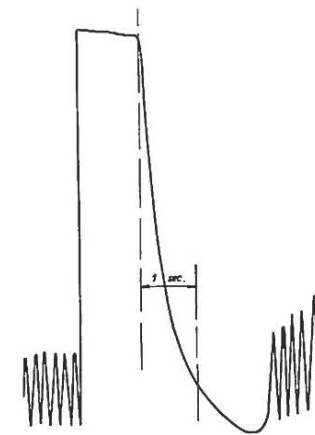


Fig. 7. — Courbe expiratoire sujet normal.

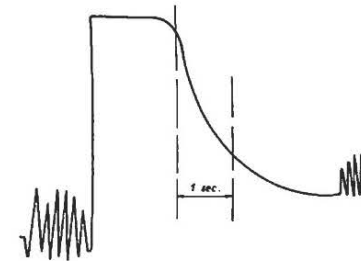


Fig. 8. — Courbe expiratoire d'un insuffisant respiratoire.

la fréquence respiratoire. Pratiquement, depuis les travaux de R. Tiffeneau (France), on caractérise les courbes de façon simple en notant le volume expiré en une seconde. Comme le temps inspiratoire n'est que légèrement plus court que le temps expiratoire, il suffit de multiplier le débit expiratoire par seconde par 30 pour prévoir le volume que le sujet pourra ventiler en une minute à une fréquence respiratoire de 30 par minute. Ceci constitue la mesure indirecte de la ventilation maximum par minute, qui a le grand avantage de ne nécessiter qu'une très courte coopération du patient.

D'autre part, les courbes expiratoires, de même que les courbes inspiratoires qui sont obtenues de façon similaire, peuvent se prêter à des analyses plus détaillées. R. Tiffeneau et P. Drutel (9) ont voulu, en se basant sur elles, déterminer l'influence des facteurs calibre bronchique (résistance) et force alvéolaire dans les troubles de la ventilation.

A l'Institut d'Hygiène des Mines, les services médical et technique ont entrepris en collaboration une étude des résistances inspiratoire et expiratoire de divers types de masques par la mesure de débits instantanés relevés sur les courbes spirométriques. Celles-ci feront l'objet de communications ultérieures.

3. — Techniques radiologiques.

A. Régulateur automatique du temps d'exposition.

Pour la radiographie thoracique, il existe un noircissement moyen optimum du film pour lequel on obtient le maximum de contraste. De plus, dans l'étude de l'évolution des pneumoconioses, la constance du rayonnement subi par la plaque permet de juger s'il existe une modification de l'image pulmonaire. Or, de nombreux facteurs déterminent le noircissement et le contraste d'un film de radiographie. Certains peuvent être ajustés par le radiologue : tension aux bornes de l'ampoule, intensité du courant, temps d'exposition, distance foyer-film, efficacité d'écrans renforçateurs, sensibilité du film, modalités du développement, etc. D'autres facteurs évoluent de façon non contrôlable, ce sont notamment : l'amaigrissement ou l'augmentation de poids du patient, l'accentuation de la fibrose pulmonaire ou l'apparition d'emphysème rendant le thorax plus transparent. Le radiologue détermine pour chaque cliché, en fonction des résultats d'une radioscopie préliminaire, la meilleure combinaison de facteurs sur lesquels il peut agir. Il existe d'ailleurs plusieurs solutions satisfaisantes, conformes chacune aux habitudes des différents examinateurs.

L'appareil « Iontomat » est un régulateur automatique du temps d'exposition, conçu de telle façon que l'énergie totale reçue par la plaque soit constante, ce qui, pour une sensibilité de film et un mode de développement déterminés, conduit à un noircissement moyen constant rigoureusement fixé et indépendant de l'opérateur. Il permet de compenser de façon entièrement autonome, par une correction du temps de pose, la variation des autres facteurs influençant le noircissement, tels que tension, courant, épaisseur du sujet, etc. Un « Iontomat » se compose d'une chambre d'ionisation et d'un coffret de commande contenant l'appareillage électronique. La chambre d'ionisation, plate et sans ombre portée, est placée entre le patient et le film; ses dimensions (350 mm x 400 mm) sont suffisantes pour qu'elle reçoive la totalité des rayons (primaires et secondaires) contribuant à former sur le film l'image pulmonaire. Un courant électrique, d'intensité proportionnelle à l'intensité moyenne du rayonnement reçu par la chambre, traverse cette dernière. Ce courant, après avoir été amplifié, provoque la décharge du condensateur « intégrateur » préalablement porté à un potentiel fixe. Lorsque la tension du condensateur descend en dessous d'un certain niveau, elle provoque l'allumage d'un tube « stromtor » commandant la coupure de la haute tension appliquée à la source des rayons X. En réglant la tension de charge initiale du condensateur, on détermine la

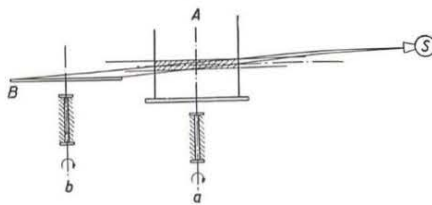
quantité totale d'électricité qu'il doit débiter avant de provoquer l'allumage du tube « stromtor ». Cette quantité est elle-même proportionnelle au rayonnement total reçu par la chambre d'ionisation. Par conséquent, l'appareil réglera le temps d'exposition de façon telle que ce rayonnement total ait une valeur constante, d'autant plus grande que le potentiel de départ du condensateur est plus élevé. Ce potentiel est réglé, en pratique, en fonction de la sensibilité du film utilisé. En outre, le temps d'exposition exact réalisé est indiqué par un appareil de mesure monté dans le coffret de commande.

L'économie de films et la constance du noircissement des clichés justifient amplement l'adjonction de cet accessoire à notre installation d'examen aux rayons X. Si son emploi était généralisé, il faciliterait le dépistage des évolutions, même légères, des pneumoconioses.

B. Tomographie axiale.

Dans l'installation tomographique (Barazetti) qui a permis les premiers travaux de l'Institut d'Hygiène des Mines, le patient est étendu immobile sur une table entre l'ampoule et la plaque animées de mouvements opposés, judicieusement choisis et synchronisés (10).

L'appareil « Pantix-Strator », conçu d'après les travaux de A. Vallebona (11), fonctionne de façon différente. Ici, la source de rayons X (S) reste immobile, tandis que le sujet et le cliché se déplacent (fig. 9). Le patient (A), installé sur un siège et appuyé à un dossier en plexiglass, subit un mouvement de rotation autour d'un axe (a) durant la prise du cliché. Le film, fixé sur un plateau (B), pivote autour d'un axe (b) parallèle à (a) et animé d'un mouvement de rotation identique.



On peut obtenir avec cet appareil des coupes d'autant plus minces que la vitesse de rotation choisie est plus élevée. Ces coupes peuvent être faites suivant un plan quelconque : frontal, sagittal, axial et même suivant tout plan intermédiaire (fig. 10). Cependant, l'avantage principal consiste dans la possibilité de pratiquer des coupes horizontales du thorax (perpendiculairement à l'axe du corps). Le cliché est alors animé d'un mouvement de rotation sur le plan horizontal, conformément à la figure 9, alors que le patient est toujours assis dans la position verticale et que la source de rayons X est inclinée d'un angle voisin de 20° sur l'horizontale. On

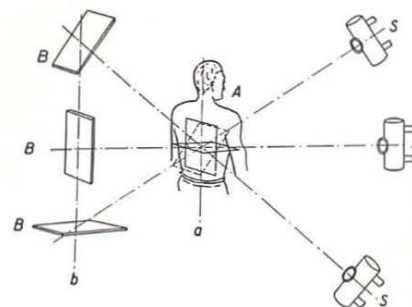


Fig. 10.

peut donc repérer une lésion dans l'espace suivant les trois dimensions, en effectuant trois coupes, respectivement en plan frontal, sagittal et horizontal (fig. 11).

La tomographie axiale présente en outre l'avantage de permettre l'étude des lésions situées derrière le cœur. En effet, la masse cardiaque très opaque aux rayons X, masque le tiers postéro-interne du poumon gauche. En position sagittale, cette région est également difficile à explorer, car l'aorte et la colonne vertébrale, s'interposent entre cette zone et la plaque, arrêtent une grande quantité de rayons. En tomographie axiale, on aborde cette région par un rayonnement oblique de haut en bas, passant au-dessus de la masse cardiaque et s'introduisant entre l'opacité du cœur, la colonne vertébrale et l'aorte. Ainsi, aucune condensation ni excavation pulmonaires ne peuvent échapper à l'examen radiologique.

4. — Les aérosols médicamenteux.

A côté de tous les procédés techniques mis en œuvre par les charbonnages pour prévenir la formation de poussières ou pour les abattre le plus près possible de leur point de production, les méde-

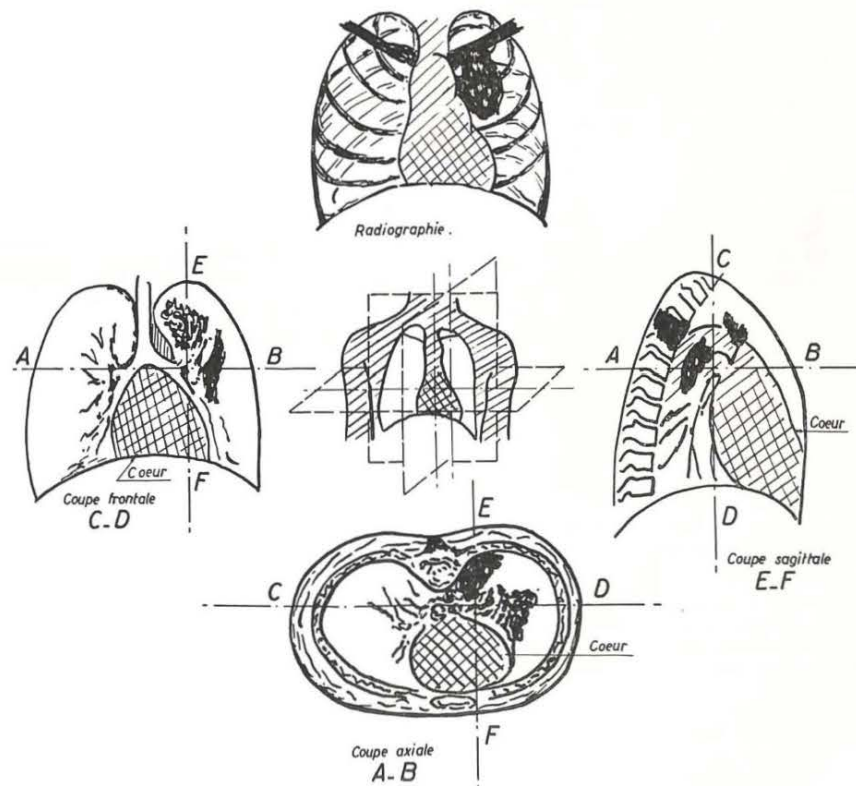


Fig. 11.

cins de l'Institut d'Hygiène des Mines ont cru devoir s'intéresser à la prévention des pneumoconioses par l'usage d'aérosols médicamenteux ayant la propriété de dilater les plus fines ramifications de l'arbre bronchique.

Les travaux physio-pathologiques de P. Rossier (12) ont mis en évidence, depuis longtemps, l'importance des spasmes bronchiques qui se produisent chez les sujets travaillant dans une atmosphère poussiéreuse. Cette notion a été confirmée par diverses écoles de médecine et partout le traitement de ces spasmes chez les pneumoconiotiques s'effectue à l'aide de la gamme variée des multiples médicaments bronchodilatateurs. Il n'est pas étonnant que plusieurs chercheurs se soient attelés dans divers pays à faire usage de ces mêmes produits dans un but prophylactique, et ce fut notamment le cas de L. Dautrebande (13), qui consacra plusieurs travaux importants à ce sujet. C'est en tenant compte de ces principes que l'Institut d'Hygiène des Mines a organisé, dans deux importants charbonnages du pays, l'inhalation d'aérosols pneumodilatateurs après le poste de travail. Dans un charbonnage, ces inhalations se font principalement par administration individuelle chez des ouvriers volontaires, alors que dans une autre société les aérosols seront dispersés dans une galerie reliant les puits à la lampisterie et constituant un passage obligatoire pour tous les ouvriers remontant au jour. Une quarantaine de générateurs d'aérosols sont répartis sur toute la longueur du couloir. Ils sont régulièrement alimentés en solution médicamenteuse qui est dispersée grâce à l'action d'une conduite d'air comprimé.

De nombreuses données physio-pathologiques justifient l'emploi d'aérosols pneumodilatateurs. Toute inhalation de poussières provoque un spasme rétrécissant le calibre des voies respiratoires. Lorsque

l'inhalation des poussières est prolongée, le spasme peut persister très longtemps après la fin de l'exposition. La conséquence inévitable d'un spasme prolongé est l'augmentation de la vitesse du courant d'air inspiratoire, qui entrainera dans la profondeur du poumon des particules très fines et très nocives. Le rétrécissement aura également comme conséquence d'augmenter la difficulté d'expulsion des poussières par le mécanisme auto-épurateur habituel des cils vibratiles. Dans beaucoup de cas, le gonflement des muqueuses et l'augmentation des sécrétions aidant, des territoires pulmonaires importants seront exclus des bénéfices de la ventilation et de l'oxygénation normales pendant que des masses de poussières incluses seront véhiculées vers l'intérieur du parenchyme pulmonaire.

En introduisant dans les voies respiratoires des aérosols pneumodilatateurs extrêmement fins après le poste de travail, on rétablit la perméabilité des bronches et l'oxygénation du sang, on permet l'élimination des poussières qui ont pénétré profondément et on remet l'organisme dans les meilleures conditions de défense pour affronter les atmosphères polluées. Dès à présent, il est possible d'affirmer, grâce aux expériences préalables faites sur des ouvriers volontaires, que les médicaments aérodispersés dans les conditions requises n'ont aucune influence néfaste sur le système circulatoire, nerveux ou digestif des sujets qui y sont soumis. De plus, tous les ouvriers qui se sont spontanément offerts depuis quelques mois pour ces essais de pneumodilatation, déclarent que leur état général s'est nettement amélioré, qu'ils sont beaucoup moins essoufflés qu'antérieurement et qu'ils expectorent bien plus facilement depuis les inhalations. Des enregistrements physiologiques confirment ces données subjectives et feront l'objet de communications ultérieures.

II. — TRAVAUX DE LA SECTION TECHNIQUE

1. — Lutte contre les poussières.

A. Conimétrie.

a) Etude comparative des résultats de prélèvements simultanés au précipitateur thermique, au midget impinger et au dé de Soxhlet (14).

La comparaison de nombreux tableaux de mesures dressés par l'Institut d'Hygiène des Mines et se rapportant à diverses campagnes de prélèvements effectuées dans différents charbonnages des Bassins de la Campine et du Sud, a permis de dégager la corrélation qui pourrait exister entre les teneurs pondérales en mg de poussières par m³ d'air et les résultats numériques en nombre de particules par cm³ d'air.

Les teneurs pondérales ont été estimées généralement au moyen de deux capteurs filtrants à dé de Soxhlet placés côte à côte à hauteur de l'axe de la galerie, la plupart du temps à une dizaine de mètres du front et aspirant durant deux heures consécutives au rythme de 30 litres/minute. Les mesures au pré-

cipitateur thermique, d'une durée variable suivant le degré d'empoussiérement de l'air, étaient réparties à intervalles réguliers pendant le prélèvement par filtration. Enfin, les échantillonnages au midget impinger ont été réalisés autant que possible au même endroit et au même moment. Dans la plupart des cas, la teneur en cendres des poussières recueillies par filtration a pu être calculée après incinération à 800° C.

Les échantillons du précipitateur thermique ont été examinés au microprojecteur, au grossissement 1000 diamètres (objectif à immersion 98 X), les catégories 0,5 - 1 μ ; 1 - 5 μ et > 5 μ étant dénombrées séparément. Les échantillons du midget impinger, prélevés dans l'alcool isopropylique, ont été comptés en cellules de 1 mm de profondeur au grossissement 100 (objectif 10 X) après décantation de 40 minutes. Dans ces conditions, les particules inférieures à 1 micron restent invisibles et les particules comprises entre 1 et 2 microns ne sont que partiellement dé-

des particules > 2 μ et une partie des grains de dimensions comprises entre 1 et 2 microns.

La comparaison des résultats obtenus au dé de Soxhlet et au midget impinger est donnée aux diagrammes de la figure 12, la corrélation des deux modes d'échantillonnage étant, dans l'ensemble, assez satisfaisante. En reportant les résultats sur papier logarithmique, on peut, N désignant le nombre de particules par cm³ obtenu au midget impinger et P la teneur pondérale en mg/m³ d'air, en déduire une relation moyenne simple qui s'écrit :

$$N = 90 P^{2/3} \quad (\text{fig. 12})$$

ou, ce qui revient au même :

$$\frac{N}{P} = N_1 = \frac{90}{\sqrt[3]{P}}$$

N₁ étant le nombre moyen de millions de particules par mg de poussières.

Les résultats obtenus dans divers charbonnages, présentant des conditions d'aéragé, de pendage et d'ouverture de veine très diverses, sont reportés aux diagrammes de la figure 13. Les symboles différents adoptés pour plusieurs catégories de pentes permet-

tent de voir que le nombre de particules par milligramme de poussières est généralement moindre dans les tailles à forte pente, ce qui est l'indice d'une granulométrie plus grossière. Quoique la dispersion soit de ce fait un peu plus grande, il est intéressant de constater que les fonctions moyennes simples adoptées plus haut pour N et N₁ rendent encore compte des résultats d'une façon satisfaisante. Il semble donc que l'on puisse adopter les mêmes relations moyennes simples pour tous les charbonnages belges.

Les résultats obtenus au précipitateur thermique et les teneurs pondérales déterminées au dé de Soxhlet ont servi au tracé des diagrammes des figures 14 à 17. La dispersion des points obtenus est de prime abord beaucoup plus importante que celle que l'on peut observer dans la comparaison midget impinger-dé de Soxhlet. Cette fois encore, on constate qu'il n'y a pas proportionnalité entre l'augmentation de la teneur pondérale et l'accroissement du nombre de particules. En reportant les résultats sur papier logarithmique, on observe à nouveau un groupement des points suivant des bandes d'allure rectiligne et on est conduit aux relations moyennes simples groupées dans le tableau I.

TABLEAU I.

Comparaison de de Soxhlet - Précipitateur thermique.

Catégorie	total	> 1	5 - 1	1 - 0,5
N' particules par cm ³ d'air	70 P ^{2/3}	45 P ^{2/3}	40 P ^{2/3}	70 P ^{1/2}
N ₁ millions de particules par mg de poussières	70 P ^{-1/3}	45 P ^{-1/3}	40 P ^{-1/3}	70 P ^{-1/2}

Ces relations indiquent une diminution assez systématique des dimensions moyennes des particules lorsque la teneur pondérale diminue.

La comparaison des formules moyennes N = 90 P^{2/3} et N' = 45 P^{2/3} adoptées respectivement pour le midget impinger et le précipitateur thermique (particules > 1 μ), montre de plus que, pour une même valeur de la teneur pondérale, le nombre de particules comptées lors des prélèvements par barbotage est habituellement plus grand que le nombre de particules de diamètre supérieur à un micron obtenues par captage thermique. Le rapport entre ces valeurs se situe, d'après les relations précédentes, au voisinage de 2.

L'ensemble des mesures simultanées réalisées au midget impinger et au précipitateur thermique donne la figure 18 où sont reportés les nombres totaux de particules > 0,5 μ . Le peu de corrélation entre ces résultats s'explique par les grossissements différents employés dans les deux méthodes (les particules plus petites que 1 micron n'étant pas comptées au midget impinger).

La comparaison plus justifiée faite à la figure 19 entre le nombre de particules obtenues au midget impinger et le nombre de poussières de diamètre

plus grand qu'un micron obtenues au précipitateur thermique, montre une meilleure corrélation, quoique encore un peu lâche. On peut préciser cette corrélation en étudiant la variation du rapport :

$$\frac{N}{N'} = \frac{\text{nombre de particules M.I.}}{\text{nombre de particules } > 1 \mu \text{ au P.T.}}$$

Pour des poussières nettement charbonneuses (cendres < 25 %), ce rapport varie entre les valeurs limites de 1 et 4, la majorité des résultats étant comprise entre 1,5 et 2,5. Le groupe de mesures correspondant à des teneurs en cendres supérieures à 25 % donne des résultats beaucoup plus dispersés, les valeurs extrêmes étant respectivement de 0,50 et 6 et la moitié des chiffres seulement se situent entre 1,2 et 3,0. Au surplus, l'examen de la figure 20 indique clairement que les diverses valeurs obtenues ne se disposent pas régulièrement autour de la valeur moyenne, mais qu'elles semblent constituer deux groupes principaux dont les moyennes seraient approximativement 1,2 et 3,5.

En conclusion, l'étude comparative de la composition de nombreux prélèvements de poussières réalisés dans différents charbonnages belges conduit aux constatations suivantes :

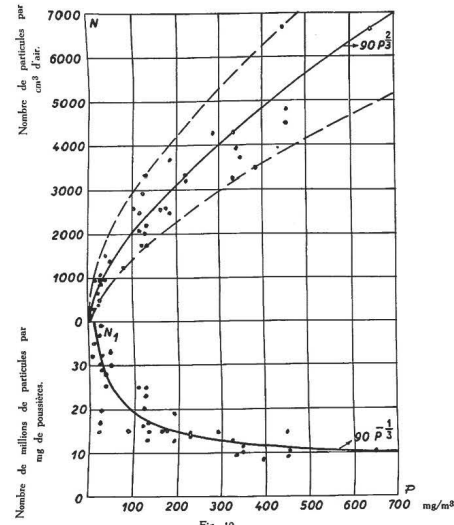


Fig. 12.

Variation du nombre N de particules obtenu au midjet impinger en fonction de la teneur pondérale P mesurée au dé de Soxhlet.
Chantiers à faible pendage.

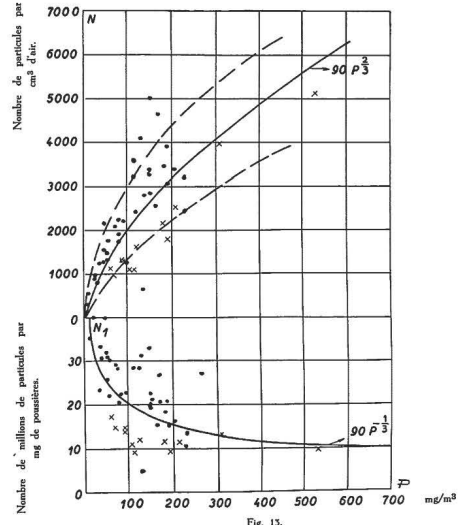


Fig. 13.

Chantiers à pentages divers.

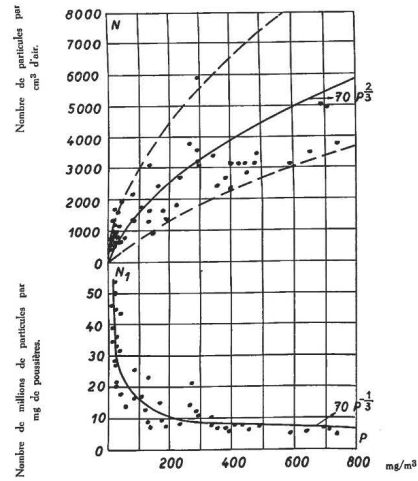


Fig. 14.

Variation du nombre N de particules obtenu au précipitateur thermique en fonction de la teneur pondérale P mesurée au dé de Soxhlet.
Résultats totaux (> 0,3 microns).

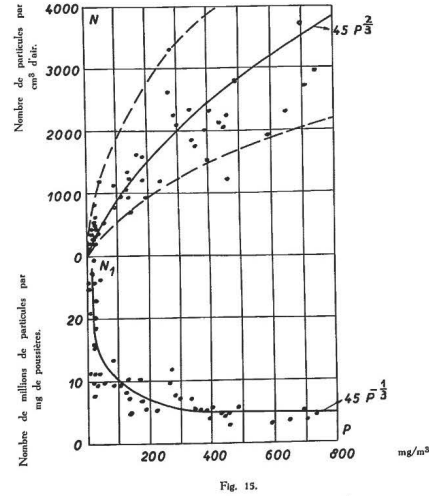


Fig. 15.

Particules > 1 micron.

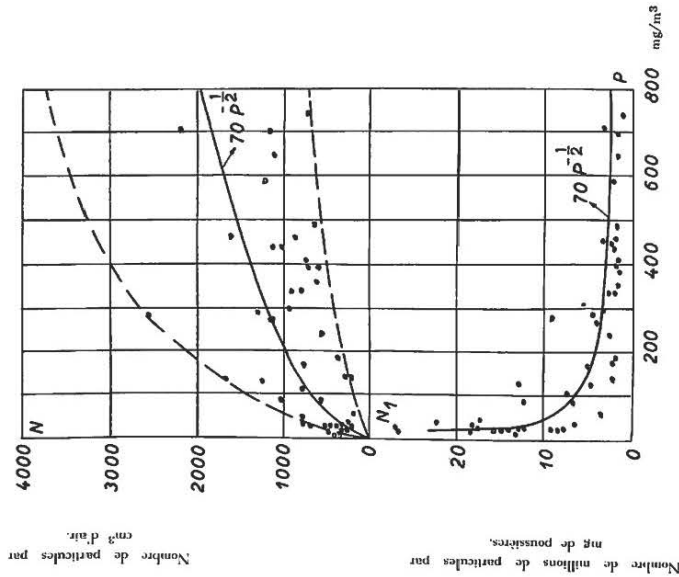


Fig. 17.

Variation de nombre de particules N obtenu au précipitateur thermique en fonction de la teneur pondérale P mesurée au dé de Soxhlet.

Particules de 0,5 à 1 micron.

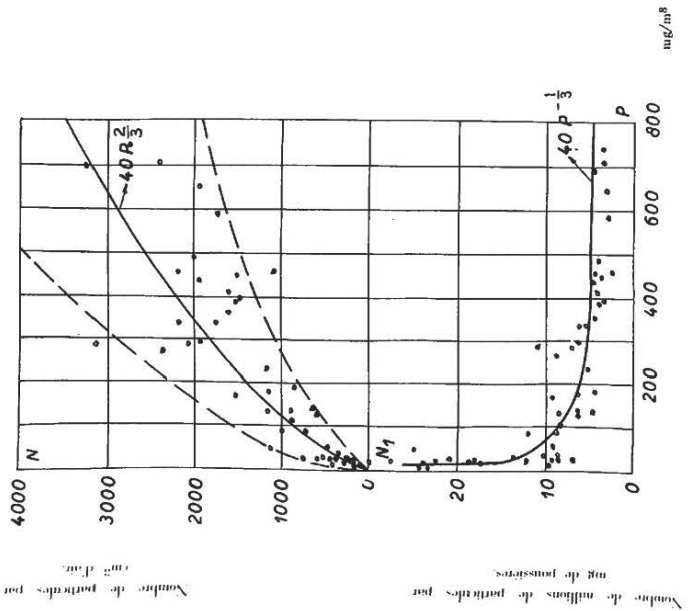
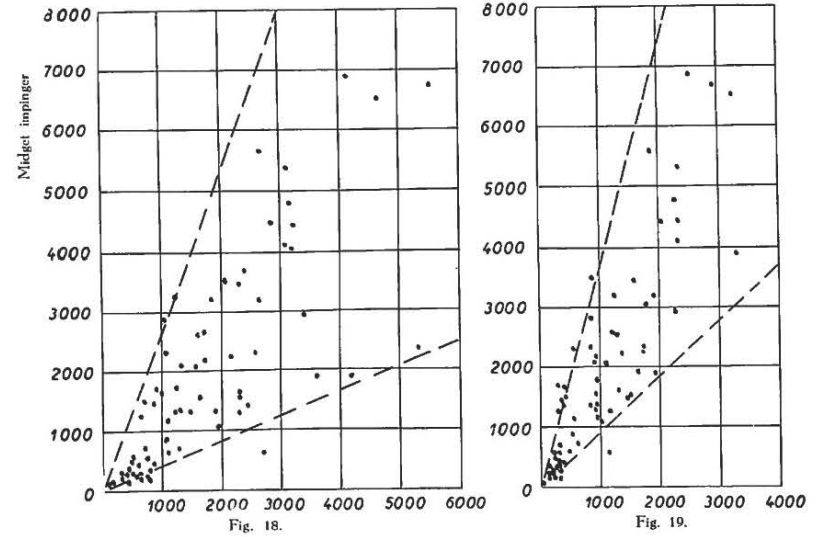


Fig. 16.

Particules de 1 à 5 microns.



Précipitateur thermique.

Résultats totaux (> 0,5 micron).

Précipitateur thermique.

Particules > 1 micron.

Comparaison de concentrations obtenues au midget impinger et au précipitateur thermique (nombre de particules par cm³ d'air).

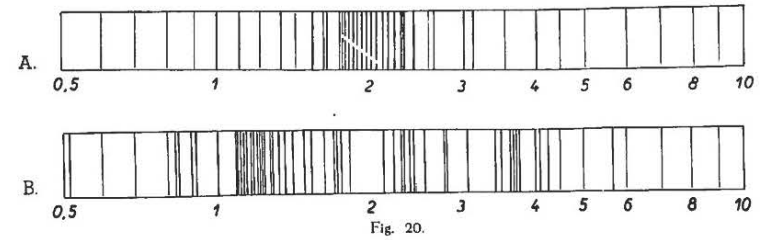


Fig. 20.

Distribution du rapport entre la concentration obtenue au midget impinger et la concentration des particules 1 micron déterminée au précipitateur thermique.

A. Poussières charbonneuses (< 25 % de cendres).

B. Poussières mixtes (> 25 % de cendres).

— Il existe une corrélation assez satisfaisante entre le nombre de particules obtenu au midget impinger et la teneur gravimétrique déterminée au dé de Soxhlet.

— La corrélation entre la teneur gravimétrique et le nombre de particules obtenu au précipitateur thermique est assez médiocre: les résultats moyens confirment d'ailleurs la finesse croissante

des échantillons de faible teneur.
— Pour des poussières de chantier nettement charbonneuses (moins de 25 % de cendres), le rapport entre le nombre de particules obtenu au midget impinger et le nombre de particules plus grandes qu'un micron déterminé au moyen du précipitateur thermique, se situe habituellement entre 1,5 et 2,5.

b) Amélioration des méthodes d'analyse - Etude du midget scrubber.

Aucun des appareils de prélèvements successivement apparus sur le marché ne donne une image fidèle de l'empoussiérement de l'atmosphère, spécialement en ce qui concerne les particules submicroniques. Le souci d'obtenir des renseignements plus précis dans ce domaine a conduit l'Institut d'Hygiène des Mines à expérimenter le midget scrubber D 18, inventé par L. Dautrebande (15, 16). Cet appareil possède un rendement incontestablement plus élevé que le midget impinger dans le domaine des particules submicroniques.

Par ailleurs, la technique du comptage des prélèvements en milieu liquide a été elle aussi adaptée aux tendances nouvelles. Rappelons que précédemment les particules prélevées au midget impinger étaient comptées en cellules de 1 mm d'épaisseur après un temps de décantation de 40 minutes et avec un grossissement de 100 X. Le pouvoir séparateur du système optique était de l'ordre de 1 micron. Pour pouvoir dénombrer les particules submicroniques, il a fallu examiner les prélèvements au grossissement de 1.000 diamètres, réalisé par un microprojecteur muni d'un objectif à immersion grossissant 98 X (précédemment destiné aux examens des plaques du précipitateur thermique, examens lors desquels on avait déjà en partie tenu compte de l'importance des fines poussières en comptant séparément les particules de la classe 0,5 - 1 micron). Notre microprojecteur a un pouvoir de résolution suffisant pour permettre de compter toutes les particules de diamètre supérieur à 0,2 micron. On en tire le maximum de profit en établissant à chaque comptage la répartition des poussières en classes délimitées par les dimensions suivantes (en microns) : 0,3 - 0,5 - 1 - 2 - 3 - 5 - 10 ...

Cependant, la décantation de toutes les particules supérieures à 0,2 micron dans une cellule de 1 mm aurait pris un temps exagéré (17). Aussi avons-nous ramené la hauteur de la cellule à 0,1 mm et le temps de décantation à 30 minutes, ce qui donne encore une décantation très imparfaite des particules submicroniques : d'après la loi de Stokes, la décantation n'est complète que pour les particules de 0,7 micron au début et de 0,5 micron à la fin de l'examen, qui dure également 30 minutes. En réalité, les mouvements de convection du liquide, les effets de parois et l'évaporation de l'alcool rendent illusoire le bénéfice d'une décantation plus longue. Cependant, la standardisation de la méthode d'examen permet les comparaisons d'atmosphères poussiéreuses au point de vue du nombre de fines particules, car la décantation imparfaite affecte de façon constante les nombres de particules d'une dimension donnée.

C'est avec cette technique améliorée d'examen que l'Institut d'Hygiène des Mines a entrepris l'étude des performances du midget scrubber D 18. Cet appareil, représenté schématiquement à la figure 21, est constitué par un éjecteur d'air (A) centré dans un venturi, lui-même relié par sa base au liquide de captage (B). Immédiatement au-dessus du venturi existent trois régions (C) où le mélange air-liquide

est soumis à de puissants mouvements de cyclone et de turbulence, qui rendent obligatoire le contact de la totalité de l'air avec le liquide. Le mélange air-liquide redescend par deux tubes latéraux vers la partie inférieure de l'appareil, où il barbote une

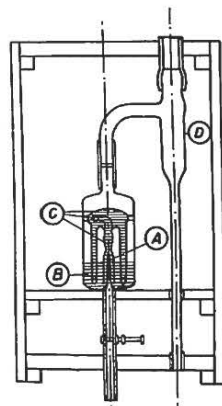


Fig. 21.

dernière fois dans le liquide de captage. L'air est enfin aspiré par l'orifice supérieur vers un éjecteur à air comprimé (D). Un manomètre contrôle la dépression motrice et, moyennant un étalonnage préalable, on peut en déduire le débit instantané au travers du scrubber. Comme l'évaporation du liquide de captage (en l'occurrence l'alcool isopropylique) est intense, nous avons cru devoir faire l'étalonnage du scrubber pour divers niveaux liquides. En fait, la courbe pression-débit de l'appareil est pratiquement indépendante du niveau du liquide, car la dépression statique nécessaire à amorcer le barbotage de l'air au bout des deux tubes latéraux est négligeable vis-à-vis de la perte de charge dans la tuyère et le venturi.

Pour vérifier que vis-à-vis des fines poussières le rendement du D 18 était supérieur à celui du midget impinger, il suffisait de relier l'orifice de sortie d'un midget impinger à l'orifice d'entrée d'un scrubber et de faire passer l'air poussiéreux par les deux appareils en série. Si des particules échappent au midget impinger en raison de leur faible taille et si le nouvel appareil est plus efficace, on doit y retrouver ces particules. De même, pour vérifier de façon absolue le rendement de captation, il suffisait d'aspirer l'air chargé de poussières à travers deux scrubbers en série : le rendement est d'autant meilleur qu'on retrouve moins de particules dans le second appareil. Les expériences ci-dessus ont été effectuées au début de l'année à l'Institut d'Hygiène des Mines ; à ce moment, on s'était contenté d'un temps de décantation de 15 minutes et d'un nombre de champs réduit à l'examen microscopique, ce qui donna des résultats moins précis que ceux obtenus actuellement.

Le tableau II et le diagramme de la figure 22 relatent le résultat d'expériences entreprises avec un ensemble de deux midget impinger en parallèle, eux-mêmes mis en série avec un scrubber D 18 (ceci pour tenir compte des débits nominaux respectifs des deux appareils). L'atmosphère poussiéreuse était

réalisée dans une hotte par soufflage dans un flacon de farine charbonneuse et par adduction de poussières ténues provenant du broyeur de l'installation d'essai des masques. Les midget impinger étaient chargés d'eau (moins volatile, mais moins mouillante), les scrubbers d'alcool isopropylique.

TABLEAU II.

Analyse granulométrique de prélèvements au midget impinger et au scrubber D 18.

Diamètre des particules (microns)	% du prélèvement global se trouvant dans		% de chaque catégorie retenue dans le scrubber
	M. I.	scrubber	
0,3	6,0	1,72	22,1
0,3 - 0,5	19,6	2,32	10,6
0,5 - 1	38,5	3,26	7,8
1 - 2	20,8	1,11	5,1
2 - 3	6,4	0,26	3,8
Total	91,3	8,7	8,7

Les résultats montrent clairement la chute du rendement de l'impinger dans le domaine des particules submicroniques. Notons ici que la destruction des agrégats qui se produit dans l'impinger y augmente le nombre de fines, masquant partiellement la fuite au travers de l'appareil des particules submicroniques isolées.

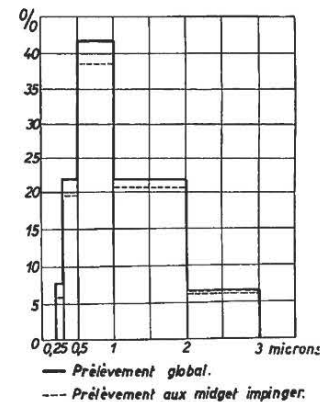


Fig. 22.

Des essais ultérieurs ont été effectués au moyen de deux scrubbers en série, remplis tous deux d'alcool. Ils ont montré que le premier flacon captait dans l'ensemble 11 fois plus de particules que le second. Si l'on remplace l'alcool du premier flacon par de l'eau, ce rapport est réduit à 3. Ces expériences montrent que le rendement du scrubber chargé d'alcool est assez élevé, sans toutefois atteindre 100 % dans le domaine des plus fines particules visibles.

On s'est ensuite posé la question de savoir jusqu'à quel point l'appareil brisait les agrégats et les plus grosses particules charbonneuses, de façon à s'assurer également que le nombre élevé de fines recueillies ne provient pas exclusivement du bris des agrégats et des grosses particules, ce qui avait une certaine vraisemblance vu l'agitation considérable régnant dans le scrubber. Afin de réduire les sources d'erreurs, on a préféré réaliser le barbotage au moyen d'air propre après avoir introduit dans le scrubber une suspension artificielle de particules charbonneuses dans de l'alcool isopropylique. La granulométrie de ces poussières, déterminée par une première série de comptages, avait été choisie de façon à mettre le plus aisément possible en évidence l'augmentation du nombre de fines pendant le barbotage. Dans ce but, on avait, par une série de décantations, enrichi la poussière utilisée en particules comprises entre 10 et 100 microns. A cette occasion, la technique de la classification par sédimentation a été étudiée de façon approfondie. Le midget scrubber étant chargé comme décrit d'une suspension de poussières dans de l'alcool, on y fait barboter l'air pendant des temps variables allant de 7 minutes 30 à une heure. Pour s'assurer que cet air était exempt de poussières, on lui a fait subir un barbotage préliminaire dans un autre scrubber rempli d'alcool propre.

Lors des premières expériences, on s'est attaché à mettre en évidence l'augmentation du nombre global de particules en fonction du temps de barbotage. Les résultats furent concluants, quelle que soit la granulométrie de départ. En même temps, on observe une diminution rapide du nombre d'agrégats identifiés. Enfin, si l'on s'en réfère à l'évolution des courbes granulométriques, on constate un accroissement rapide et marqué du nombre de particules inférieures à 1 micron, tandis que l'évolution des classes supérieures à 1 micron est moins nette.

Certains indices semblent montrer que la désarticulation des agrégats n'est pas seule responsable

de l'accroissement du nombre des particules. Examinons par exemple la courbe de l'augmentation (en %) du nombre total de particules en fonction du temps de barbotage (fig. 23). Cette courbe a été

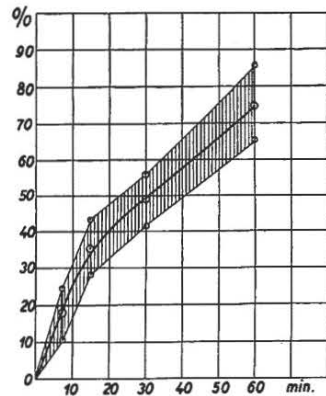


Fig. 23.

établie avec grande précision, car chacun des points observés a nécessité le comptage de 2.500 particules en moyenne. Elle présente d'abord une pente très forte, qui s'atténue ensuite et, entre 15 et 60 minutes, on assiste à une augmentation pratiquement linéaire du nombre de poussières. Ceci paraît indiquer que, dans une première phase, la destruction des agrégats augmenterait rapidement le nombre total de particules, mais qu'une fois ce phénomène disparu, une autre cause d'augmentation subsisterait : l'érosion des poussières dans le scrubber qui doit logiquement provoquer un accroissement linéaire du nombre de particules, tel qu'on l'observe après 15 minutes.

D'autres études sont en cours en vue de confirmer cette explication.

B. La lutte contre les poussières dans les travaux au rocher.

a) Essai d'un capteur aspirant pour forage à sec (18).

Bien que le forage humide ait tendance à se généraliser dans le creusement des travers-bancs, les capteurs aspirants pour forage à sec peuvent rendre de grands services dans de nombreux cas particuliers : absence de distribution d'eau au fond, degré hygrométrique excessif et température trop élevée à front, traversée de zones faillées fracturées dont les roches friables gonflent rapidement sous l'action de l'eau.

Nous avons ainsi été amenés à expérimenter le capteur de poussières de forage « Borsari » fabriqué par Italtecnica Concessione A.P.I. Firenze (Italie). Comme les autres aspirateurs de ce genre, le capteur Borsari comporte trois organes essentiels : la tête de captage qui se fixe à l'orifice du trou de mine, l'éjecteur à air comprimé qui assure la dépression motrice nécessaire à l'aspiration des pous-

sières, et le filtre. Le capteur Borsari a néanmoins ceci de particulier : son constructeur propose d'utiliser l'air d'échappement du perforateur pour alimenter l'éjecteur (fig. 24), qui lui-même fait bloc avec

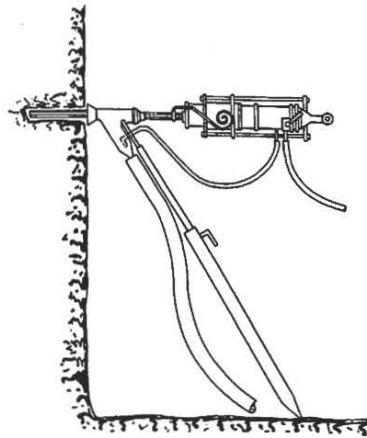


Fig. 24.

la tête de captage (fig. 25). Le filtre proprement dit est une cuve cylindrique en tôle de 600 mm de hauteur et 300 mm de diamètre, contenant une série de manchettes filtrantes en étoffe. Les poussières qui peuvent s'en échapper encore sont retenues, soit par une couche de crin végétal ou animal, soit par

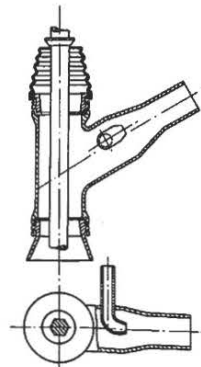


Fig. 25.

une couche de laine d'acier imbibée d'huile (fig. 26). Au point de vue soulèvement des poussières, l'ensemble présente un avantage non négligeable par rapport à d'autres dispositifs : l'air comprimé détendu s'échappant de l'éjecteur traverse le filtre. Sa vitesse de sortie est considérablement réduite et par le fait même ne provoque pas un nuage de poussières en arrière du front de travail.

Les expériences ont été réalisées dans un travers-banc des Charbonnages d'Ans et de Rocuvr, à l'étage de 525, Bacnure Sud vers Veine 15. Ce travail préparatoire est terminé depuis longtemps; la ventilation y est réduite : de l'ordre de 150 à 200 litres/seconde. Compte tenu des circonstances par-

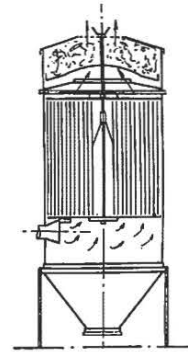


Fig. 26.

ticulières de l'essai, nous nous sommes limités à l'examen des poussières soulevées par le forage de quelques trous de mines dans la paroi de la galerie. Le marteau-perforateur utilisé était un P.L.D. 3 des Ateliers Liégeois d'Outils Pneumatiques, modifié de manière à canaliser l'air d'échappement. Afin de pouvoir établir le rendement de suppression des poussières du capteur, les essais ont comporté trois séries de mesures d'empoissierage, le forage s'effectuant dans les conditions suivantes :

- 1) avec capteur alimenté directement par l'air comprimé de la tuyauterie,
- 2) avec capteur alimenté par l'échappement du perforateur,
- 3) sans capteur.

Nos prélèvements ont été réalisés au moyen de trois appareils différents : le filtre « dé de Soxhlet », le précipitateur thermique et le midjet impinger. Les comptages effectués au microprojecteur — grossissement 1.000 diamètres — nous ont permis de faire la répartition granulométrique des poussières pour les classes 0,5 à 1 micron, 1 à 5 microns et > 5 microns. Par rapport au forage sans capteur, l'amélioration obtenue correspond à :

- une diminution d'empoissierage en poids valant 96 % si l'on alimente le capteur directement par l'air comprimé de la tuyauterie-mère,
- une réduction de la concentration en nombre (particules par cm³ d'air) de 95,4 % pour les particules comprises entre 1 et 5 μ et de 90 % pour les particules de 0,5 à 1 μ si l'on alimente le capteur par l'air comprimé directement,
- une réduction de la concentration en nombre (particules par cm³ d'air) de 97,6 % pour les particules comprises entre 1 et 5 μ et de 96,9 % pour les particules de 0,5 à 1 μ si l'on alimente le capteur par l'air d'échappement du marteau.

La diminution de l'empoissierage paraît plus forte si l'on utilise l'air d'échappement du perforateur. En réalité, il n'en est rien, car on doit tenir compte du fait qu'il y a eu beaucoup moins de poussières produites dans le second cas, où la vitesse de forage n'a pu être que 0,31 fois ce qu'elle était dans le cas où le capteur était directement relié à la tuyauterie-mère. Cette diminution de vitesse nous paraît d'ailleurs être de nature telle qu'il faille exclure l'éventualité (prévue cependant par le constructeur) d'alimenter l'éjecteur par l'air d'échappement. Signalons enfin que l'amélioration obtenue porte globalement sur le capteur proprement dit et le filtre, nos appareils de mesure étant placés à l'aval par rapport au sens du courant d'air.

b) A la demande du Conseil Supérieur d'Hygiène des Mines, nous avons comparé l'empoissierage de l'atmosphère à front d'un bouveau en creusement pendant les opérations de forage, avec d'une part le perforateur Colinet P.C. 23 à injection centrale d'eau et d'autre part un perforateur ordinaire Colinet R. 13, transformé et complété par un système de pulvérisation d'eau destiné à abattre les poussières à l'orifice même des trous. Les essais effectués au siège Gosson n° 1 des Charbonnages de Gosson, La Haye et Horloz Réunis ont montré que le dispositif proposé est de loin moins efficace que le marteau-perforateur à injection d'eau.

C. La lutte contre les poussières dans les chantiers d'abattage et les voies d'entrée d'air.

a) Essai d'un décaleur antipoussières.

Vers la fin de l'année 1951, M. Lavallée, ingénieur chef du service « Sécurité et Hygiène » des Charbonnages de Houthalen, proposait une modification intéressante à apporter au décaleur des marteaux-piqueurs. L'amélioration introduite tend à supprimer les fuites d'air le long de l'aiguille, en plaçant à l'extrémité du décaleur une double bague d'étanchéité en fibre inattaquable par l'huile et en munissant le décaleur lui-même de trous obliques dirigés vers l'ouvrier pour donner à l'air une issue sans résistance appréciable (fig. 27). Aucune pres-

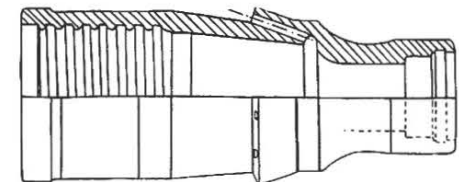


Fig. 27.

sion ne peut ainsi régner dans le décaleur à la faveur de laquelle l'air serait chassé le long de l'aiguille.

Les prototypes de ce dispositif ont été essayés dans un montage des Charbonnages de Houthalen, avec un piqueur ordinaire et un piqueur à pulvérisation d'eau. Un seul abatteur travaillait et le pelletage était interrompu pendant les essais pour déterminer l'empoissierage dû à l'abattage seul. Les

prélèvements de poussières, effectués au midjet impingant en maintenant le flacon barboteur à proximité de l'aiguille du piqueur, ont montré que, par rapport à l'empoussièrement moyen créé par un piqueur ordinaire, le rendement de suppression des poussières atteignait 68 % pour le piqueur ordinaire équipé du nouveau décaleur et 94 % pour un piqueur identique avec pulvérisation d'eau muni du nouveau décaleur.

Nous avons fait ultérieurement des essais de plus grande envergure, d'une durée de trois jours, qui tiennent compte à la fois de l'abattage et du pelletage. Ces expériences ont été effectuées sans interrompre le travail des abatteurs et pelletiers, dans une vallée en creusement dont l'avancement était de l'ordre de 7 à 9 m par jour. Les prélèvements de poussières sur dé de Soxhlet et au précipitateur thermique ont montré que, par rapport au marteau-piqueur ordinaire, avec ancien décaleur, le rendement de suppression des poussières dû à l'introduction du nouveau décaleur, a atteint :

50,4 % en poids,

43,6 % en nombre de particules comprises entre 1 et 5 microns,

35,2 % en nombre de particules comprises entre 0,5 et 1 micron.

Avec un piqueur à pulvérisation, muni du nouveau décaleur, le rendement par rapport au piqueur ordinaire avec ancien décaleur, s'élève à :

94,5 % en poids,

72,1 % en nombre de particules comprises entre 1 et 5 microns,

44,9 % en nombre de particules comprises entre 0,5 et 1 micron.

b) Etude des pulvérisateurs (19).

Reprenant l'étude du matériel destiné à lutter contre les poussières, l'Institut d'Hygiène des Mines a publié les résultats de l'enquête qu'il a menée sur l'efficacité des pulvérisateurs. La synthèse des résultats acquis dans ce domaine a été faite en mettant l'accent sur la principale cause d'échec, à savoir : l'excès d'eau, non pas que l'eau en surabondance nuise à l'efficacité de la pulvérisation proprement dite, mais parce qu'elle a généralement pour conséquence d'accélérer le soufflage du mur, de perturber le traitement des charbons à la surface, de provoquer un accroissement exagéré du degré hygrométrique en tête de taille dans les mines chaudes et de dérégler la marche continue des engins d'évacuation (blocage des bandes, par exemple).

Les essais ont porté sur 56 pulvérisateurs (25 belges et 33 étrangers) et comportaient pour chaque type la détermination :

- du débit d'eau (éventuellement d'air comprimé) en fonction de la pression d'eau (et d'air) pour chaque réglage prévu par le constructeur,
- de l'angle du faisceau d'eau pulvérisée formé,
- de la portée du jet et de sa force de pénétration,
- de la nature du noyau : brouillard, gouttelettes ou gouttes.

Les pressions d'essais ont varié de 2 à 5 kg/cm² pour l'eau et de 3 à 5 kg/cm² pour l'air comprimé.

Les résultats pratiques de cette étude révèlent un plus ou moins bonne aptitude aux usages suivants :

- 1) arrosage des fronts de tailles et de galeries,
- 2) abattage des poussières de tir,
- 3) humidification du charbon aux points de chargement.

Cette classification est faite suivant les critères énoncés ci-dessous, admis aussi par le « Stoflaboratorium » et la « Centraal Proefstation » des « Staatsmijnen in Limburg » :

- pour arroser les fronts de tailles et de galeries, le pulvérisateur doit projeter un faisceau largement ouvert, ferme et pénétrant, composé de gouttes pas trop grosses;
- pour abattre les poussières provoquées par le tir, le noyau du faisceau doit être un brouillard ferme, entouré d'un écran de gouttes avec un grand angle de projection. Le brouillard capte les poussières qui sont rabattues par les gouttes extérieures au noyau;
- pour pouvoir humecter convenablement le charbon aux points de chargement, là où la vitesse de l'air est souvent assez grande, le faisceau doit pouvoir conserver une direction stable. Les gouttelettes formées ne doivent donc pas être trop petites; leur grosseur maximum dépend plutôt de la consommation d'eau imposée pour ne pas former de boue. L'angle du faisceau peut être quelconque, l'emplacement du pulvérisateur pouvant être réglé d'après cet angle.

Parmi les pulvérisateurs proposés, nous avons retenu onze appareils belges et dix-huit étrangers comme convenant à l'un des usages indiqués ci-dessus. La conclusion à tirer de ces expériences est qu'il est bien délicat de vouloir standardiser les pulvérisateurs sans préciser le but à atteindre. Il existe sans doute de bons pulvérisateurs autres que ceux que nous avons examinés. D'autre part, certains modèles que nous avons éliminés peuvent très bien être utilisés efficacement pour des usages autres que ceux que nous avons préconisés. Le tableau récapitulatif III résume les résultats de cette discussion et rassemble les caractéristiques des pulvérisateurs que nous souhaiterions voir employés dans nos mines de charbon. Pour tous ces pulvérisateurs, l'Institut d'Hygiène des Mines a publié le plan, les courbes de consommation d'eau et une photographie montrant la forme du faisceau d'eau formé (19).

D. L'aérosologie.

Les premières expériences avec aérosols agglutinants, réalisés par l'Institut d'Hygiène des Mines, datent de 1951 et ont été décrites antérieurement dans cette revue (2).

Comme conclusion, on estimait que l'emploi d'aérosols pouvait être proposé dans trois éventualités :

- pour accélérer la sédimentation des particules de poussières soulevées dans les puits et dans les accrochages d'entrée d'air afin qu'elles ne se superposent pas aux poussières produites dans les chantiers d'abattage;

TABLEAU III.

Caractéristiques des meilleurs pulvérisateurs étudiés.

Pulvérisateurs	Pression kg/cm ²	Débit l/min	Angle du faisceau	Portée du jet m	Observations
5 — Pleiger	2	2,90	20	3,80	usage 1, angle petit, force de pénétration vigoureuse convient mieux pour usage 2
	5	4,38	28	5,00	
10 — Sirocco 15	2	4,95	110	3,50	usages 1 et 3, mais convient mieux pour usage 3
	5	7,70	115	4,00	
20 — Porter (diamètre 2,5 mm)	2	3,81	43	3,50	pour usage 3, convient mieux que n° 20 vu sa consommation d'eau
	5	5,92	52	4,00	
24 — Hopkinson (diamètre 2,4 mm)	2	0,99	71	1,80	usages 1, 2 et 3
	5	1,58	94	2,00	
27 — Domaniales	2	2,16	90	2,00	usage 3
	5	3,53	98	2,40	
29 — Spoorvegdiest v. de Staatsmijnen	2	0,83	74	2,40	usages 1 et 3, convient mieux pour usage 3
	5	1,28	92	3,50	
54 — Charbonnages de Winterslag	2	1,39	64	1,60	usage 1
	5	2,15	70	2,00	
61 — Charbonnages Les Liégeois	2	3,97	53	2,9	
	5	6,22	57	3,3	

- pour hâter le dépôt des particules fines soulevées en taille ou dans les galeries en creusement, en vue de réduire l'empoussièrement des retours d'air principaux;

- pour activer la décantation des poussières dans les locaux de surface où le renouvellement d'air est relativement faible.

Dans cet ordre d'idées, nous nous étions proposé d'étudier la provenance et le nombre des poussières microniques et submicroniques dans les puits et voies d'entrée d'air avant de reprendre les expériences sur l'agglutination proprement dite.

Les prélèvements d'orientation ont été interrompus pour réaliser en laboratoire les essais du midjet scrubber relatés ci-avant. Néanmoins, les résultats de cette première prise d'échantillons sont très significatifs; nous avons trouvé à la surface, à l'origine du puits d'entrée d'air d'un charbonnage campinois :

- au précipitateur thermique :

60 particules par cm³ comprises entre 1 et 0,5 μ ,

490 particules par cm³ comprises entre 0,5 et 0,2 μ ;

- au midjet scrubber :

394 à 517 particules par cm³ comprises entre 0,2 et 5 μ et dont 75,1 à 81 % étaient inférieurs à 1 μ .

D'autres mesures, effectuées dans les galeries d'entrée d'air à partir de l'accrochage, avaient donné, suivant les endroits et suivant l'intensité du transport (passage d'une rame, croisement de deux rames) :

- au précipitateur thermique :

de 65 à 335 particules/cm³ comprises entre 1 et 0,5 μ ,

de 650 à 2.200 particules/cm³ comprises entre 0,5 et 0,2 μ ;

- au midjet scrubber :

de 426 à 1.520 particules/cm³ comprises entre 0,2 et 5 μ , et dont 60 à 74,5 % étaient inférieurs au micron.

Tant que se poursuivaient en laboratoire les recherches et la détermination des coefficients de correction à apporter aux résultats fournis par le midjet scrubber, d'autres essais ont été faits en étudiant cette fois des poussières de silice pure dans un atelier de broyage de quartzite. Les mesures faites au tyndallomètre ont marqué une tendance à la coalescence du nuage de poussières additionnées d'aérosols. Les prélèvements effectués au midjet impingant ont montré que la quantité de poussières, dénombrées au-dessus de 0,5 micron, pouvait diminuer. Enfin, l'examen des plaques du précipitateur thermique a permis de faire la répartition granulométrique des poussières en suspension dans l'atmosphère, mais n'a pas mis en évidence l'augmentation du diamètre moyen des particules que l'on est en droit d'attendre s'il y a formation d'agrégats. L'extrême finesse des poussières et leur pourcentage élevé (60 à 80 % de particules comprises entre 0,2 et 0,3 μ) rendaient impossible la distinction optique entre silice et NaCl.

Pour rechercher l'augmentation du diamètre moyen des particules, l'Institut d'Hygiène des Mines installe en ce moment une chambre à poussières pouvant reproduire un tronçon de galerie de mine, dans laquelle des expériences systématiques seront faites sur les nuages de poussières et aérosols.

E. Travaux de laboratoire.

- a) Dosage de la silice libre dans les poussières.

Plusieurs méthodes chimiques ont été proposées pour doser la silice libre dans une roche ou dans un échantillon de poussières. Toutes reposent sur le même principe : on décompose les molécules de

silicates en leurs différents constituants. Ceux-ci sont solubilisés puis éliminés par lavages. Si on suppose la silice libre inerte au cours de ces manipulations, le résidu, pesé, représente la fraction de SiO₂ non combiné contenue initialement dans l'échantillon. Malheureusement, les silicates ne se laissent pas tous attaquer aussi facilement et, d'autre part, on ne peut considérer la silice finement divisée comme complètement insoluble. C'est pourquoi différents réactifs et divers modes opératoires ont été essayés dans le double but de faciliter l'attaque des silicates et d'amener la solubilité de la silice libre à une valeur connue ou négligeable.

Dans le courant de l'année, quelques dosages de silice libre ont été pratiqués sur des poussières charbonneuses récoltées lors de précédentes campagnes de prélèvements. La méthode essayée est due à la « Pneumoconiosis Research Unit » (Cardiff) (20). En grandes lignes, elle consiste en attaques alternées par les acides chlorhydrique et sulfurique et une solution sodique carbonatée. Des corrections sont prévues pour tenir compte de certains silicates non entièrement attaqués et de l'influence de la finesse des particules traitées. Tout dosage de ce genre constitue une opération longue et délicate exigeant même le contrôle des réactifs et filtres employés.

Trois dosages ont été effectués sur les cendres des poussières. Cette façon d'opérer a pour effet, à poids égaux, d'augmenter la quantité de silice traitée. Ceci constitue un avantage appréciable car les teneurs que nous avons à mesurer sont souvent faibles. Par contre, cette technique nécessite un échantillon ini-

tial relativement considérable, qu'il n'est pas toujours facile de capter.

A titre d'essai, un quatrième dosage de l'échantillon n° 4 a porté volontairement sur les poussières charbonneuses elles-mêmes et non sur leurs cendres (résidus d'incinération). Les particules étaient tellement fines et légères qu'elles n'étaient pas mouillées par les liquides d'attaque, ce qui comportait le risque de pertes prohibitives lors des centrifugations. Pour obvier à cet inconvénient, nous avons ajouté une petite quantité d'agent mouillant dilué (voir ci-après, d) chaque fois que c'était nécessaire. Cette façon de procéder s'est montrée efficace, mais la valeur renseignée dans le tableau et calculée après déduction du résidu propre du détergent ajouté, est assez aberrante. Il semble donc que l'analyse de l'échantillon total constitue une méthode de pis-aller permettant d'estimer la teneur en silice libre quand on ne dispose que d'un très petit échantillon de poussières.

D'autre part, W. D. Evans, de l'Université de Nottingham, a bien voulu analyser au microscope, par la méthode minéralogique, 22 échantillons de poussières prélevés par l'Institut d'Hygiène des Mines dans 15 tailles différentes d'un charbonnage de Campine. La plus forte teneur en quartz qu'il a décelée atteignit 4,52 % dans un échantillon provenant d'une taille dont l'évacuation était assurée par scraper et où, de plus, des travaux au rocher étaient en cours (bosseyement); 8 échantillons furent trouvés exempts de silice et 8 autres en contenaient moins de 1,5 %.

TABLEAU IV.

Comparaison des dosages de la silice libre par voies chimique et minéralogique.

Echantillons prélevés par l'Institut d'Hygiène des Mines.

Echantillon	Méthode minérale W. D. Evans	Méthode chimique P.R.U. Laboratoire I.H.M.	Observations
n° 4	2,72	1 ^{er} dosage : 2,28 2 ^{me} dosage : 1,86 3 ^{me} dosage : 2,58	cendres échantillon brut cendres
n° 6	2,2	2,58	cendres

TABLEAU V.

Comparaison des méthodes de dosage de la silice libre.

Echantillons préparés artificiellement.

Méthode	Nombre d'analyses	Résultats
phosphorique (Landry)	9	24,5 (extrêmes 23,7 - 25,0)
fluosilicique (Knopf)	3	24,9 - 25,0 - 20,4
diffraction rayons X	2	23,0 - 34,2
pétrographique (Landry)	1	24,1

Deux des échantillons examinés par W. D. Evans ont été soumis à l'analyse chimique suivant la méthode exposée ci-dessus. Le tableau IV permet de comparer les résultats des deux procédés. La con-

cordance qui apparaît entre les ordres de grandeur des concentrations peut être regardée comme satisfaisante, si l'on songe à la différence de principe entre les méthodes et aux difficultés de ces dosages.

Au sujet de la précision qu'on peut en espérer, Landry a publié (21) quelques résultats obtenus par l'application de divers procédés à l'analyse d'un même échantillon préparé artificiellement et contenant 24,9 % de silice libre. Le tableau V, extrait de cette publication, montre que les résultats concordent à moins de 8 % près si l'on excepte les deux valeurs les plus écartées. Il faut cependant remarquer que les conditions expérimentales de ces essais sont spécialement favorables : poudre relativement grossière (passée au tamis 200, soit 125 d'ouverture), hétérogène (échantillon artificiel) et dix fois plus riche en silice que nos propres échantillons. Une analyse d'orientation faite dans notre laboratoire sur un échantillon artificiel contenant 15,13 % de silice libre avait d'ailleurs donné le résultat remarquable de 15,4 %.

b) Recherche et dosage de gaz nocifs dans l'air de ventilation des mines.

Diverses demandes sont parvenues à l'Institut d'Hygiène des Mines concernant la possibilité d'identifier la présence, dans l'air aspiré à travers les exploitations souterraines, de gaz nocifs émis par les usines voisines et de vérifier si leurs teneurs ne dépassaient pas les seuils de sécurité communément admis (22).

L'Institut d'Hygiène des Mines a donc procédé sur place à des barbotages de l'air atmosphérique au travers de liqueurs susceptibles d'absorber les gaz toxiques éventuellement présents. Les ions chlorhydrique, sulfhydrique, sulfurique et nitrique ont été recherchés et éventuellement dosés dans les solutions obtenues, convenablement concentrées ou diluées. Le détecteur colorimétrique d'oxyde de carbone M.S.A. « CO Indicator » (23) a également été utilisé à plusieurs reprises.

Les premiers essais ont montré la nécessité de mettre au point un appareil de prélèvement spécialement adapté, évitant le risque d'oxydation des

composés réducteurs captés et permettant une absorption sélective des gaz à l'endroit des prélèvements. L'appareil représenté schématiquement à la figure 28 paraît satisfaire à ces conditions. Il se

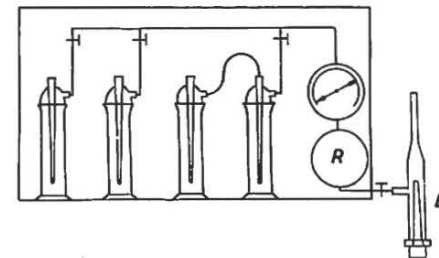


Fig. 28.

compose d'une rampe à branches multiples que l'on peut raccorder à volonté à plusieurs midget impinger isolés ou couplés en série, remplis de réactifs appropriés. Un éjecteur à air comprimé (E) assure la circulation de l'air suspect à travers l'appareil. Un régulateur M.S.A. (R) est intercalé dans le système et permet une aspiration en débit constant.

Des essais en laboratoire et dans des atmosphères suspectes sont encore nécessaires pour une mise au point définitive.

c) Comparaison des pouvoirs hygroscopiques de produits destinés à la consolidation des poussières dans les voies souterraines.

Pour mesurer l'avidité de ces produits pour l'eau, le mode opératoire admis consiste à suivre, en fonction du temps, l'évolution des poids de quelques échantillons exposés simultanément à des conditions d'humidité et de température déterminées.

Une substance convient d'autant mieux pour le but proposé qu'elle est capable de fixer et de retenir

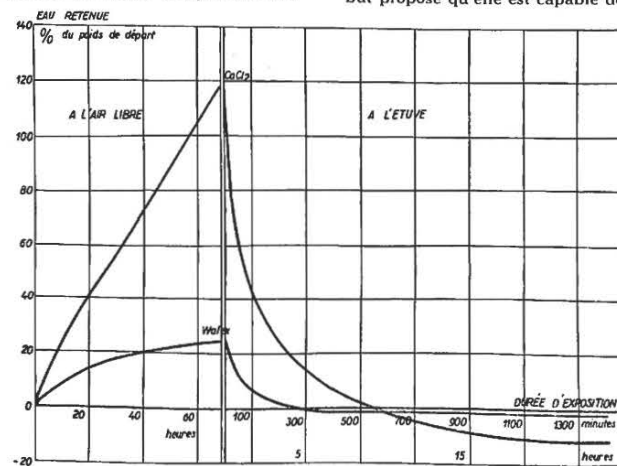


Fig. 29.

Fig. 30.

une quantité plus grande d'eau pour des conditions atmosphériques et pendant un temps donné. Les essais comportent le relevé des courbes :

- 1) d'humidification à l'air extérieur, à la température ordinaire,
- 2) de déshumidification des mêmes échantillons, placés dans l'étuve à 105° C.

Les conditions physiques de ces essais, quoique assez arbitraires, permettent de comparer deux produits, grâce à la simultanéité des traitements, les substances étant toutes deux au préalable desséchées à l'étuve (105° C).

A titre d'exemple, signalons la comparaison faite entre le chlorure calcique en granulé passé aux tamis 10-14 mailles (Judex Chemicals) et le produit dénommé « Wafex », constitué principalement de lignine sous forme de sels de calcium et de sucres divers plus ou moins oxydés (probablement le résidu d'extraction de la cellulose du bois par l'action de la chaux et du gaz sulfureux). Les variations de poids, exprimées en pour-cents des quantités de départ, sont groupées aux tableaux VI et VII et représentées graphiquement aux figures 29 et 50. L'examen des résultats montre que, toutes conditions égales, le chlorure de calcium absorbe beaucoup plus rapidement l'humidité atmosphérique que ne le fait le « Wafex ». D'autre part, à l'étuve, le « Wafex » humide retrouve son poids de départ après 4 heures environ, alors qu'il faut attendre 9 heures pour que semblable fait se produise avec le CaCl₂. En conclusion, nous pouvons attribuer au produit « Wafex » un pouvoir hygroscopique nettement inférieur à celui du chlorure calcique de référence.

TABLEAU VI.

Quantité d'eau retenue en % du poids de départ. Exposition à l'air contenant en moyenne 5.1 grammes d'eau/kg (degré hygrométrique moyen 84 %).

Durée de l'exposition heures	CaCl ₂	Wafex
18	56,5	12,1
26,5	50,0	15,3
67	118,0	24,0

TABLEAU VII.

Quantité d'eau retenue en % du poids de départ. Echantillons placés dans l'étuve réglée à 105° C.

Durée de l'exposition minutes	CaCl ₂	Wafex
20	99,2	18,0
40	62,9	12,8
60	52,2	9,5
215	20,9	1,6
305	15,2	*-1,5
390	7,5	-1,7
1500	*-11,0	-2,2
1400	-11,0	-2,2

* Les valeurs négatives prouvent simplement que la dessiccation préalable à 105° C pendant 4 heures, n'a pas été suffisante.

d) Etude des agents mouillants (24).

Nous avons rapporté antérieurement dans cette revue les résultats d'essais faits par l'Institut d'Hygiène des Mines sur les agents mouillants ou détergents (25) (2). Ces premiers essais, qui nous permettaient déjà de tirer des conclusions, ont été poursuivis. Ils ont révélé que l'utilisation d'eau distillée contrarie l'action de certains agents et que les résultats peuvent être fortement améliorés lorsque l'eau a une réaction acide ou alcaline. De nouvelles mesures sont en cours pour mettre en évidence les variations qui résultent d'une modification de dureté ou de pH de l'eau.

Une récente série d'expériences sur 13 agents mouillants a montré une certaine courbure des tracés qui nous force à modifier légèrement les premières conclusions. Comme précédemment, on a réalisé au moyen des différents produits une gamme de solutions aqueuses diversement concentrées sur lesquelles deux grandeurs différentes ont été mesurées :

- 1) la tension superficielle σ du mélange (en dynes/cm),
- 2) la vitesse d'immersion v de poussières charbonneuses dispersées sur la surface du liquide (en mg/sec),

et cela suivant des modes opératoires standardisés (26), (27). L'allure des courbes (fig. 51, 52 et 53), vraisemblablement asymptotique à une horizontale, montre une diminution de l'amélioration du mouillage en fonction de concentrations croissantes. Pour les produits intéressés, il peut donc être relativement désavantageux d'augmenter leur concentration au-delà de certaines limites.

Par ailleurs, l'étude comparative et complète de 25 agents mouillants confirme le fait précédemment décelé, à savoir que, dans les conditions standards admises, on ne peut obtenir le mouillage complet des poussières si la tension superficielle de la solution est supérieure à un « seuil de mouillage » situé vers 35 dynes/cm. A partir de ce moment, l'allure de la courbe de mouillage semble assez indépendante de la tension superficielle et plutôt due à la nature chimique du produit essayé. Quant aux concentrations à envisager, certains auteurs, notamment G. C. Hall (28), conseillent de ne pas dépasser la concentration de 0.1 % d'agent mouillant afin de rendre improbables les risques d'intoxication éventuelle par voies respiratoires. D'autre part, au point de vue pratique, il est également préférable de réduire les quantités de produit pur à manipuler. Pour ces deux raisons, les composés les plus actifs auront la préférence. Compte tenu de ces données et devant le nombre toujours croissant d'agents mouillants faisant leur apparition sur le marché et présentant des écarts énormes au point de vue de leur efficacité, l'Institut d'Hygiène des Mines a défini une norme qui devra être respectée par tout agent mouillant pour qu'il soit suffisamment intéressant d'en faire l'étude systématique.

Placée dans les conditions expérimentales déjà décrites ci-dessus, une solution d'agent mouillant dans l'eau distillée, à la concentration de 0,1 %, devra posséder une tension superficielle inférieure

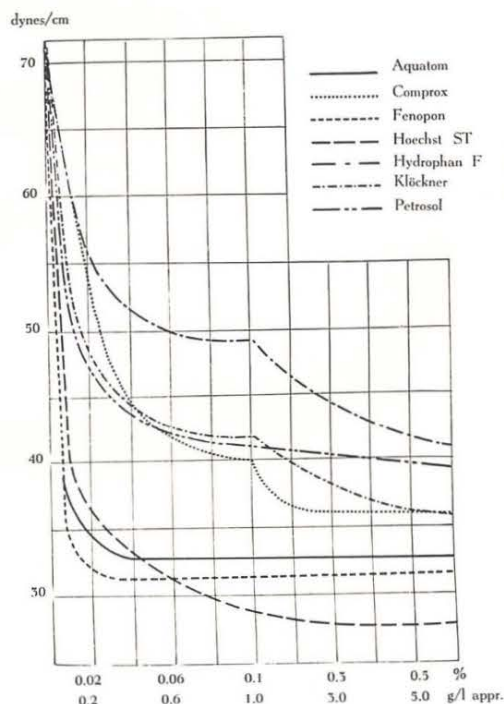


Fig. 51.

Variation de la tension superficielle en fonction de la concentration d'agent mouillant.

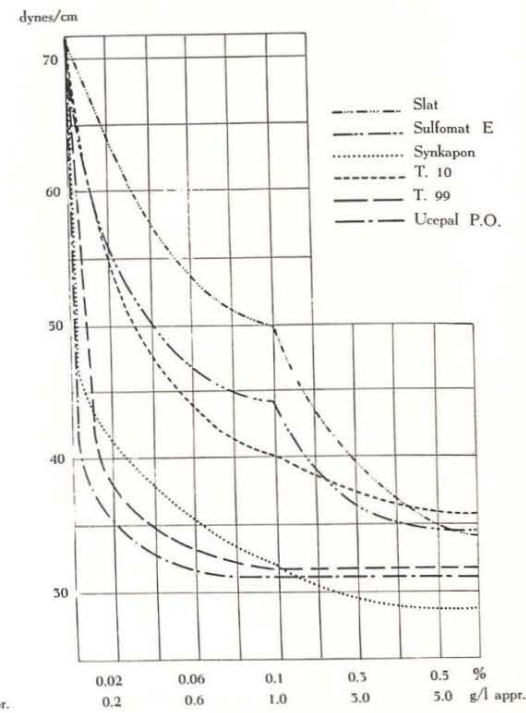


Fig. 52.

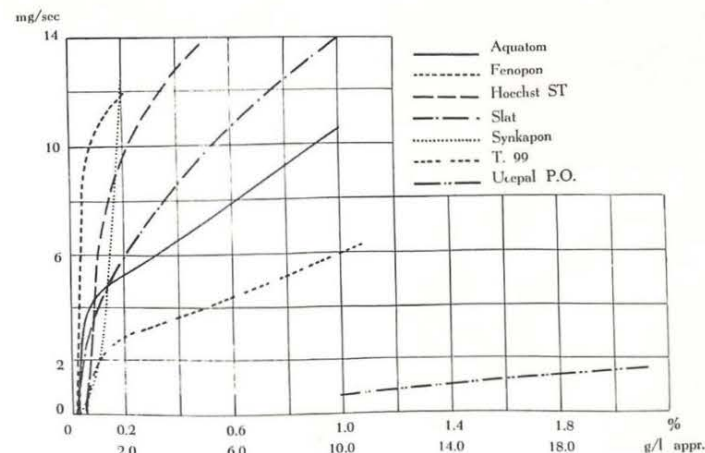


Fig. 53.

Vitesse de mouillage en fonction de la concentration d'agent mouillant.

à 35 dynes/cm et fournir une vitesse d'immersion au moins égale à 3 mg/s. C'est notre norme « AM n° 95 ». Toute substance remplissant ces conditions peut être considérée comme agent mouillant apte à lutter efficacement contre les poussières. Une telle substance sera l'objet d'une étude plus approfondie afin de préciser son mode d'action et de la classer parmi d'autres produits agréés.

TABLEAU VIII.
Caractéristiques des meilleurs agents mouillants.

Agent mouillant	Concentrations en poids					
	0,1 %		0,05 %		0,02 %	
	σ	v	σ	v	σ	v
Fénonon CR conc.	31,1	10,0	31,2	9,1	32,0	2,4
Dumacène NP 77	31,4	12	31,6	6,0	32,2	1,2
Compound M solide	30,3	9,7	30,8	4,5	34,0	0,1
Hoechst ST	28,6	5,7	32,4	1,0	36,6	—
Aquatom	32,8	4,5	32,8	4,2	34,4	3,0
Lissapol N	31,9	4,3	33,4	2,0	36,3	0,25
Ucepal PO 80 %	31,8	3,9	32,1	2,8	35,3	0,8

Ce tableau sera complété à l'aide des produits agréés et étudiés ultérieurement dans l'esprit de la norme établie. Il est cependant évident que ces critères n'ont rien d'absolu et qu'ils sont susceptibles d'être ajustés ou modifiés à l'avenir si de nouvelles expériences en démontrent la nécessité.

2. — Ventilation.

Climatisation des mines profondes.

A. Recherches dans le domaine de la ventilation.

a) Pour l'élimination des fumées et poussières de tirs dans les boueux en creusement, la tendance actuelle, qui se manifeste surtout à l'étranger, est de remplacer la ventilation secondaire soufflante par la ventilation aspirante. Bien qu'elle ne soit pas applicable partout — degré hygrométrique ou température à front atteignant des valeurs trop élevées, réglementation imposée dans les mines de troisième catégorie notamment — cette façon de procéder présente l'avantage de diluer dans le retour général les gaz et poussières qui seraient normalement en trop grande concentration dans le retour particulier du chantier.

Mais comme l'entrée de la canalisation aspirante se trouve forcément à plusieurs mètres du front d'avancement, il existe à front même un espace où l'air est quasi stationnaire. C'est pourquoi, dans le but d'assainir l'atmosphère et de purger activement la zone de travail, il est nécessaire de combiner la ventilation aspirante avec un dispositif soufflant pour activer le brassage de l'air.

Dans la zone d'écoulement convergent existant à l'entrée d'une canalisation aspirante, la vitesse de l'air en chaque point a une direction bien définie et ne subit que des oscillations à faible amplitude. Si V_m est la vitesse moyenne de l'air dans un canar de diamètre D et si V est la vitesse de l'air en un point extérieur situé à la distance z de l'orifice du

Si l'on applique la norme AM n° 95 énoncée ci-dessus aux 25 agents mouillants examinés à ce jour à l'Institut d'Hygiène des Mines, on peut en retenir sept. Ces produits sont groupés dans le tableau VIII, ainsi que les tensions superficielles et vitesses d'immersion obtenues pour trois concentrations différentes.

canar, la loi de décroissance rapide de V lorsque z augmente peut, comme l'a proposé Loison, se mettre sous la forme :

$$\frac{V}{V_m} = f\left(\frac{z}{D}\right)$$

où la fonction f est indépendante de V_m et du diamètre du canar D (29).

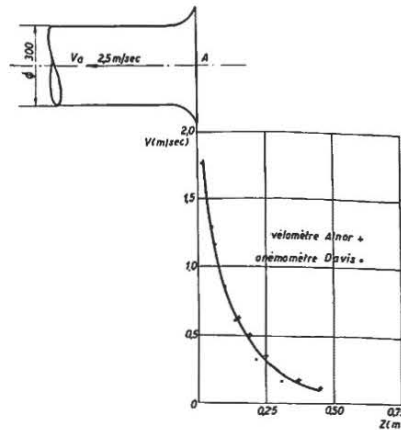


Fig. 34.

Pour estimer l'efficacité d'une installation destinée à aspirer les fumées, c'est-à-dire pour déterminer jusqu'à quelle distance se fait encore sentir une aspiration continue dans la zone d'écoulement convergent, nous avons mesuré quelle était la vitesse axiale extérieure de l'air en fonction de la distance à l'orifice d'un canar aspirant de 300 mm de diamètre, pour une vitesse axiale de 2,5 m/sec (fig. 34).

Le dispositif monté en laboratoire a permis de maintenir dans le canar un débit constant contrôlé par diaphragme calibré et micromanomètre de précision. La vitesse dans l'axe du canar en un endroit où le parallélisme des filets d'air est rigoureux, est restée constamment égale à 2,6 m/sec et contrôlée une seconde fois par un anémomètre Fuess à déclenchement automatique. Les appareils utilisés pour la détermination des vitesses extérieures ont été : le vélocimètre Alnor et l'anémomètre de précision Davis étalonnés à partir de 0,13 m/sec.

La figure 34 montre la chute rapide de la vitesse lorsque la distance (z) suivant l'axe augmente du point de mesure à l'orifice du canar. La figure 35 est la traduction graphique de la variation du rapport :

$$\frac{V}{V_a} = f\left(\frac{z}{D}\right)$$

V_a étant la vitesse axiale dans le canar (au lieu de la vitesse moyenne utilisée par M. R. Loison). L'influence de V_a elle-même sur le rapport V/V_a

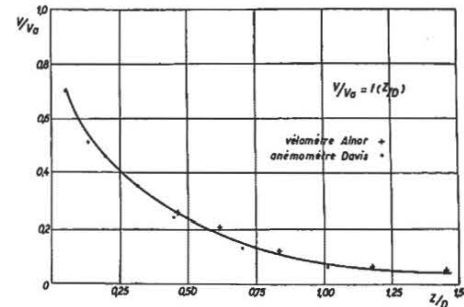


Fig. 35.

ne semble pas devoir être prise en considération. En effet, pour une même valeur $z = 210$ mm, donc $z/D = 0,700$, on obtient :

- pour $V_a = 1,833$ m/sec, $V = 0,233$ m/sec et $V/V_a = 0,127$
- pour $V_a = 2,500$ m/sec, $V = 0,332$ m/sec et $V/V_a = 0,133$
- pour $V_a = 3,366$ m/sec, $V = 0,466$ m/sec et $V/V_a = 0,135$.

Ces trois régimes différents conduisent donc, pour $z/D = 0,7$, à la valeur moyenne 0,1316.

Ces résultats permettent encore de constater que, si un canar de 300 mm de diamètre aspire de l'air avec une vitesse axiale intérieure de 2,5 m/sec, l'aspiration se fait encore sentir à 0,5 m de l'orifice, mais la vitesse à cet endroit n'est plus que 0,10 m/sec, à condition encore qu'il n'y ait pas de perturbation extérieure.

b) Depuis longtemps, l'Institut d'Hygiène des Mines s'occupe d'établir l'influence de l'équipement d'un puits sur les pertes de charge inhérentes au courant d'air. Les résultats de ces recherches ont été publiés antérieurement dans cette revue (25) (2). De récentes mesures de pertes de charge effectuées par l'Institut d'Hygiène des Mines aux Charbonnages

des Liègeois en Campine (Zwartberg) ont confirmé les résultats précédemment obtenus.

Les mesures ont eu lieu dans les tronçons de puits situés entre la surface et l'étage de 654 m, toute activité cessant dans le fond et la consommation d'air comprimé étant nulle. Les méthodes employées étaient celles des deux puits et celle du tuyau métallique (placé en cette occurrence dans le puits d'entrée d'air).

Tous calculs faits, les pertes de charge de deux tronçons de puits égaux de 640 m de long, cuvelés sur presque toute la longueur (comprenant seulement 92 m avec revêtement en maçonnerie), s'élevaient, pour un même débit d'air moyen de 170 m/sec, à — pour le puits d'entrée d'air : 105,68 mm d'eau, — pour le puits de retour d'air : 82,29 mm d'eau.

Ces mesures mettent en évidence l'influence des échelles et des paliers d'échelles sur les pertes de charge, car le puits de retour était démuné d'échelles du jour jusqu'à 654 m. L'équipement des puits étant conforme au schéma de la figure 36.

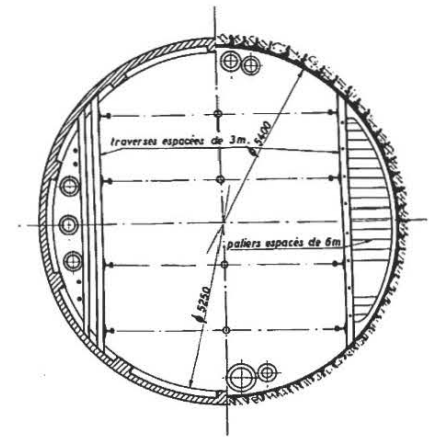


Fig. 36.

c) L'étude de la ventilation par l'analogie électrique.

L'adoption d'un équipement apte à réduire les pertes de charge dans les puits et galeries n'est pas le seul moyen d'accroître la ventilation des chantiers et d'en améliorer le climat; l'organisation générale des circuits d'aéragé peut être également très efficace. Or, on sait que l'étude théorique de la répartition du courant d'air dans les multiples dérivations d'une mine est un problème très complexe vu la relation quadratique entre débits et pertes de charge d'une part et l'allure parfois tourmentée des courbes caractéristiques des ventilateurs d'autre part. De plus, les exploitants reculent parfois devant certaines mesures, telles que le creusement de nouvelles com-

munications, l'élargissement de certaines galeries, par manque de certitude quant aux résultats de ces travaux coûteux.

C'est pour pallier ces inconvénients que l'Institut d'Hygiène des Mines s'est proposé de mettre au point un tableau d'analogie électrique des réseaux de ventilation minière où les circuits sont représentés par des résistances appropriées, les ventilateurs par des sources de tension et les débits d'air par des intensités de courant. Toutes les modifications imaginables au réseau de ventilation sont aisément obtenues par des changements de connexion et des réglages simples de tension et de résistance. On devine l'intérêt de cette méthode.

La principale difficulté à résoudre dans la conception d'un tel tableau analogique résulte du fait que la loi d'Ohm liant les tensions et les courants est linéaire, tandis que la loi reliant pertes de pression et débits est pratiquement quadratique. Divers artifices ont été imaginés pour remédier à cet inconvénient; ils permettent de ranger les réalisations étrangères dans ce domaine en trois classes.

Dans la première, on a tâché de découvrir un élément électrique pour lequel la relation entre tension aux bornes et courant absorbé soit quadratique. Toutes les lampes à incandescence où la résistance du filament varie fortement en fonction de la température, ont une caractéristique (tension-courant) incurvée dont une partie est assimilable à une parabole. Trois tables analogiques utilisant ce principe ont été montées à l'étranger : la première à la « Centraal Proefstation der Staatsmijnen » aux Pays-Bas (50); la deuxième à la mine de Lohberg en Allemagne (51); la troisième au département « Mines » de l'Université de Nottingham (52). Elles ne diffèrent que par des détails constructifs; toutes sont réalisées au moyen de lampes de série, prises dans différentes gammes de tension et de puissance et que l'on groupe de façon à respecter la résistance aérodynamique des divers circuits miniers.

La deuxième solution part d'un principe très différent et à première vue séduisant. Elle est basée sur l'analogie existant entre la loi

$$\Delta p = KQ^2$$

reliant les pertes de charge Δp et les débits Q d'une part et d'autre part la loi d'Ohm écrite sous la forme :

$$U = \frac{R}{I} I^2$$

U, R et I étant respectivement la chute de tension, la résistance et l'intensité du courant. La comparaison des deux formules suggère d'utiliser, pour représenter les éléments du réseau minier, des résistances R non fonction du courant I, mais que l'on ajuste de façon que le rapport R/I ait une valeur proportionnelle à la résistance aérodynamique K du tronçon représenté par R.

Cependant, cette méthode conduirait à de grandes difficultés si l'on devait à chaque instant mesurer R et I et calculer le rapport R/I. En réalité, les ingénieurs du groupe Faulquemont-Forschwiller des Houillères du Bassin de Lorraine, qui ont monté

un tableau de ce type, ont imaginé un moyen simple de mesurer directement le rapport R/I. Ils utilisent un pont de mesure schématisé à la figure 37, dans

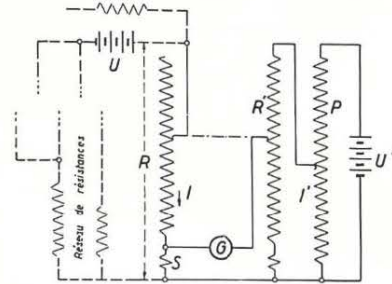


Fig. 37.

lequel R constitue une des résistances du réseau représentatif de la mine étudiée, s une petite résistance aux bornes de laquelle on mesure une tension sI proportionnelle au courant, donc au débit de ventilation, R' une résistance constamment égale à R au travers de laquelle on fait passer un courant I' quelconque réglable grâce au potentiomètre P et enfin G, un galvanomètre dont la déviation est nulle lorsque

$$sI = R'I' \quad \text{ou} \quad \frac{R}{I} = \frac{s}{I'}$$

Or, le potentiomètre P peut être gradué directement en valeurs de I' (calculables par simple application des lois de Kirchhoff) ou encore en valeurs de R/I. En pratique donc, on réglera P à une valeur dépendant de la résistance aérodynamique du circuit représenté par R et on ajustera ensuite R jusqu'à ce que le galvanomètre soit au zéro.

La méthode que l'on vient de décrire suppose que l'on puisse effectuer le réglage en maintenant R et R' constamment égales. En pratique, ces résistances sont constituées d'un fil vertical devant lequel se déplace un curseur. De plus, R' est montée sur un équipage mobile de façon à pouvoir être placée devant l'une quelconque des résistances R; il suffit alors de solidariser mécaniquement les curseurs pour assurer l'égalité $R = R'$ par l'égalité des longueurs des deux fils.

Cette méthode ingénieuse offre cependant l'inconvénient de nécessiter des tâtonnements. En effet, lorsque R a été ajustée de façon que R/I ait une valeur donnée, le réglage ultérieur des autres résistances voisines va modifier I et altérer le rapport R/I. En pratique, on constate que les retouches successives à apporter au réglage d'une résistance deviennent rapidement très petites.

Une troisième méthode a été mise au point par Scott au département « Mines » de l'Université de Nottingham (53). Elle est inspirée de la méthode de Cross, bien connue pour résoudre par approximations successives des systèmes d'équations d'ordre supérieur à 1. Quelques considérations simples permettent d'en saisir le principe.

Considérons un réseau minier constitué d'un certain nombre de mailles. La somme des pertes de charge sur le contour de chaque maille est nulle ou égale à la dépression motrice d'un ventilateur éventuellement inséré dans une des branches. On peut donc écrire pour chaque maille :

$$\sum KQ^2 = \Delta P$$

$$\text{ou} \quad \sum (KQ) Q = \Delta P.$$

Ainsi écrite, l'équation peut être considérée comme linéaire en Q, pourvu que l'on puisse remplacer dans le produit KQ le débit Q par une valeur approchée Q_n . La méthode utilisée par Scott consiste à résoudre le système d'équations analogues à $\sum (KQ_n) Q = \Delta P$ par la mesure des courants dans un réseau de résistances R proportionnelles à KQ_n , alimenté par des tensions U proportionnelles à ΔP . La solution obtenue pour Q (soit Q_1) est alors reportée dans les produits KQ et on obtient une valeur améliorée KQ_1 , d'après laquelle on ajuste les résistances pour obtenir une valeur encore meilleure Q_2 par la mesure des courants correspondants. En pratique, les valeurs de départ Q_n sont souvent faciles à établir, car la plupart des problèmes posés comportent l'étude de la modification d'un réseau d'aéragé existant, où l'on peut mesurer les débits. Ce sont les débits antérieurs à la modification qui servent de valeur approchée; seul, le débit dans une nouvelle communication doit réellement être estimé au juger. Signalons encore que Scott a démontré la convergence de la méthode vers la solution exacte si l'on choisit pour résistance améliorée une valeur proportionnelle, non pas à KQ_1 , mais à la moyenne $0,5 K(Q_n + Q_1)$, du moins lorsque la loi du carré est valable pour les pertes de charge.

Telles sont les réalisations devant lesquelles se trouvait l'Institut d'Hygiène des Mines au moment de construire sa table analogique. Le premier choix qui s'imposait était celui d'un réseau à lampes ou à résistances fixes. La solution utilisant les lampes nous a paru désavantageuse; elle est encombrante, coûteuse et nécessite une grande consommation d'énergie. D'autre part, bien qu'elle n'implique pas de tâtonnements en principe, le fait que les lampes ne soient utilisables qu'entre certaines limites de tension oblige à une mise sous tension progressive avec des regroupements en série ou en parallèle pour que chaque lampe soit utilisée sous une tension convenable. Enfin, le vieillissement des lampes oblige à des étalonnages fréquents.

La solution que nous avons choisie consiste en une modification de la méthode française permettant un tableau plus compact (résistances bobinées à curseur rotatif) où l'on a supprimé la résistance R' grâce à un dispositif électronique. Nous avons de plus ménagé la possibilité d'utiliser la méthode de Scott qui n'est pas fondamentalement différente, sauf dans la façon de conduire les tâtonnements.

Quelle est l'étendue des performances que l'on peut attendre d'une table analogique électrique des réseaux de ventilation? Elle est en pratique illimitée. Moyennant des artifices divers de calcul ou de mon-

tage, il est possible de tenir compte des caractéristiques du ventilateur, de la dépression d'aéragé naturel, de la consommation d'air comprimé, du dégagement de grisou et des variations de volume spécifique de l'air. Cependant, l'imprécision avec laquelle sont la plupart du temps relevés les débits et pertes de charges ne justifie guère la complication introduite par ces facteurs auxiliaires.

B. Travaux théoriques dans le domaine de la thermique minière.

a) Quelques applications du diagramme (j, x) de l'air humide dans l'étude de problèmes miniers.

Pour aborder l'étude de tout problème de climatisation, le document le plus utile est certes le diagramme (j, x) de l'air humide. L'Institut d'Hygiène des Mines a repris un exposé théorique de la question (54), complétant ainsi ses communications antérieures (55) (56) en montrant l'emploi de ce diagramme pour la solution de certaines questions qui n'avaient pas encore été envisagées et qui présentent un grand intérêt pour les exploitations minières.

Après le rappel des principales caractéristiques de l'air humide et de leur représentation dans le diagramme (j, x) ainsi que des lois régissant le mélange isobare de deux quantités d'air humide d'états hygrométriques différents et les transformations d'état de l'air humide, la publication de l'Institut comportait l'étude des questions pratiques suivantes :

- les modifications de l'état hygrométrique de l'air passant dans un compresseur,
- l'effet frigorifique de l'air comprimé utilisé en taille,
- l'évaporation adiabatique de l'eau au contact de l'air et la théorie des psychromètres,
- le refroidissement de l'eau dans les réfrigérants atmosphériques.

Certains de ces points méritent une attention toute spéciale et permettent de déterminer notamment l'influence de l'équipement mécanique sur le climat en taille.

Dans la plupart des tailles actuellement exploitées, l'air comprimé constitue le fluide moteur actionnant les engins d'abattage et de transport. Si l'air comprimé est refroidi en surface et qu'il arrive au chantier avec une température pratiquement égale à celle de l'air de ventilation, il peut, par suite de sa détente avec production de travail moteur, s'échapper des appareils qu'il a actionnés à une température plus basse que celle de l'ambiance et produire localement un certain effet de refroidissement. Cependant, en général, les travaux effectués par les engins à air comprimé ne constituent finalement que des percussions et des frottements, dont l'équivalent calorifique est exactement égal à l'effet frigorifique obtenu par réchauffage de l'air détendu de sa température d'échappement à celle de l'ambiance. Globalement, on ne peut donc pas considérer la détente de l'air comprimé comme productrice de froid dans la taille. Il y aurait seulement exception à cette règle au cas où l'air comprimé serait utilisé comme fluide moteur dans un appareil produisant un travail contre la gravité.

Pourtant, si l'on remplaçait tous les engins à air comprimé par des appareils commandés électriquement, les travaux de percussion et de frottement restant les mêmes ne trouveraient plus de compensation dans l'effet frigorifique de l'air comprimé et il faudrait inscrire au bilan thermique de la taille l'équivalent calorifique de la totalité de la puissance électrique consommée, ce qui peut représenter un poste non négligeable. Mais l'air comprimé produit dans la taille un effet frigorifique supplémentaire, non pas à cause de la détente, mais en raison de sa faible teneur en vapeur d'eau.

Lorsque l'on étudie les modifications de l'état hygrométrique de l'air au cours de sa compression, on remarque qu'il abandonne une importante quantité d'eau dans les réfrigérants prévus tant pour abaisser sa température que pour diminuer la puissance du compresseur. Si les purgeurs, dont sont équipés les refroidisseurs d'air du compresseur, sont efficaces et si l'air comprimé est convenablement refroidi, bien qu'il soit saturé de vapeur d'eau, il n'en contient plus que 3 à 4 grammes par kg d'air sec, alors que l'air de ventilation arrive dans les chantiers avec une humidité absolue de l'ordre de 10 à 20 g/kg d'air sec, suivant la saison et suivant l'état plus ou moins humide des puits et des galeries. Par son mélange avec l'air de ventilation, l'air comprimé détendu se remet au même niveau hygrométrique; il permet donc l'évaporation de quelque ... 16 ... grammes d'eau par kg d'air sec dans les mines les plus humides. Il y correspond une action frigorifique de ... 9,3 ... frigories par kg d'air comprimé consommé.

A titre d'exemple, comparons les bilans thermiques d'une taille dont l'équipement absorbe une puissance de 100 CV, suivant qu'elle est équipée d'engins électriques ou d'appareils à air comprimé. La comparaison se solde par une différence de quelque 130.000 kcal/h en faveur de l'air comprimé. Ce boni se décompose comme suit :

- 1) l'équivalent calorifique de la puissance consommée, soit 65.000 kcal/h s'inscrivant au bilan de la taille électrifiée et non pas à celui de la taille équipée à l'air comprimé,
- 2) la chaleur d'évaporation de l'eau nécessaire à la mise en équilibre hygrométrique de l'air comprimé et de l'air de ventilation qui, pour une consommation de 7.200 kg/h correspondant à la puissance considérée, s'élève à $9,3 \times 7.200 = 76.000$ kcal/h.

Ces considérations montrent l'importance d'un refroidissement et d'un séchage accentués de l'air comprimé et la nécessité de prévoir un séparateur d'eau efficace avant le départ de l'air comprimé vers le fond.

b) L'échauffement de l'air de ventilation dans les puits et les voies d'entrée d'air.

La détermination de l'échauffement de l'air de ventilation dans les puits et les voies d'entrée d'air retient depuis longtemps l'attention de l'Institut d'Hygiène des Mines. L'importance relative des sources d'échauffement a été déterminée lors du calcul du bilan thermique de cinq puits du Bassin de la Campine (57); cette année, l'étude s'est portée

plus spécialement sur la chaleur provenant des roches entourant une galerie.

Envisageons d'abord le problème sous un angle théorique et considérons un bouveau cylindrique de rayon r_0 en creusement dans un massif homogène indéfini dont la température initiale est uniforme (ce qui revient à négliger le degré géothermique vis-à-vis des gradients de température apparaissant autour du bouveau en creusement). Nous supposons en outre que l'avancement est assez rapide et le débit d'air suffisant pour que l'on puisse négliger les gradients de température suivant l'axe de la galerie, tant dans celle-ci que dans la roche. Dans ces conditions, l'écoulement de chaleur se fait uniquement dans les plans perpendiculaires à l'axe du bouveau et la température en un point donné ne dépend que du temps t et de sa distance r à l'axe du bouveau.

Considérons un plan perpendiculaire à cet axe. Au moment même où le front de travail atteint ce plan, les roches situées à l'intérieur d'un cercle de rayon r_0 sont remplacées par de l'air, à une température déterminée que nous prendrons comme température de référence, tandis que celles situées à l'extérieur de cette section circulaire sont encore à une température uniforme dépassant de T_0 (°C) la température de l'air. A partir de cette situation initiale se produisant au temps $t = 0$, l'évolution de la température dans le plan considéré obéit à la loi de Fourier écrite en coordonnées polaires avec le rayon r comme seule variable :

$$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{c \gamma}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Dans cette équation, T (°C) est la température à une distance $r > r_0$ (m) de l'axe du bouveau au temps t (h), λ la conductibilité thermique de la roche (kcal/m.h.°C), c sa chaleur spécifique (kcal/kg.°C), γ son poids spécifique (kg/m³). Le groupement $a = \lambda/c\gamma$, qui s'exprime en m²/h dans le système d'unités techniques, est appelé la diffusivité thermométrique ou calorifique et caractérise le comportement d'un corps en régime variable.

En outre, deux conditions frontières déterminent la courbe des températures T en fonction de la distance r : la première exprime qu'à grande distance de la galerie la température est inchangée :

$$\lim T = T_0 \text{ pour } r \rightarrow \infty; \quad (b)$$

la seconde traduit le fait qu'à la paroi de la galerie, l'échange calorifique satisfait à la loi de Newton :

$$\frac{\partial T}{\partial r} = \alpha (T - 0) \text{ pour } r = r_0 \quad (c)$$

α étant le coefficient de convection (kcal/m².h.°C), éventuellement majoré pour tenir compte de la transmission de chaleur par rayonnement.

La solution mathématique de ces équations a été présentée sous diverses formes par différents auteurs (38) (39) (40). Cependant, la condition (c) est généralement remplacée par $T = 0$ exprimant que la paroi rocheuse a la même température que l'air, ce qui implique un très grand coefficient de convection. Cette solution théorique compliquée le devient davantage si l'on tient compte exactement de

la condition (c). C'est pourquoi nous avons préféré utiliser les méthodes d'intégration graphique imaginées par Binder et Schmidt, améliorées et systématisées par M. Veron (41). Sans entrer dans les détails de la méthode, signalons toutefois que la construction de Binder et Schmidt n'est applicable ici que moyennant un changement de coordonnées consistant à remplacer r par $\eta = \log r$ comme variable indépendante, ce qui conduit à effectuer les constructions sur papier semi-logarithmique. Quant à la condition (c), elle n'introduit aucune complication graphique: elle exprime simplement que la tangente à la courbe $T = f(r)$ au point $r = r_0$ passe constamment par un point situé sur l'axe des r à une distance λ/α à gauche du point $r = r_0$. Cela est également vrai dans un diagramme ($T, \eta = \log r$), car on peut écrire (c) sous la forme :

$$\frac{\lambda}{r_0} \left(\frac{\partial T}{\partial \eta} \right)_{r_0} = \alpha T_{r_0}$$

exprimant que la tangente à la courbe $T = f(\eta)$ au point $\eta = \eta_0$ correspondant à $r = r_0$ passe constamment par un point de l'axe des abscisses situé à une distance $\lambda/\alpha r_0$ à gauche du point $\eta = \eta_0$.

En pratique, en appliquant cette méthode avec des valeurs numériques données, on obtient des résultats dont la figure 38 constitue un exemple. En l'examinant, on s'aperçoit que le refroidissement de la paroi peut durer assez longtemps lorsque les vitesses de l'air sont telles que le coefficient α soit relativement faible, comme c'est souvent le cas pour des travaux préparatoires. Puisque l'écart entre la température à la paroi et la température de l'air est proportionnel au flux de chaleur, le même dia-

gramme donne une idée de la façon dont l'apport calorifique au travers des parois du bouveau s'amortit en fonction de son âge.

Les résultats obtenus sont à rapprocher de ceux qui ont été publiés par le Dr De Braaf, chef du Département « Mines » de la Station de Recherches des « Staatsmijnen » à Heerlen (Pays-Bas) (40). L'Institut d'Hygiène des Mines a assuré cette année la diffusion de la traduction française de cet article qui constitue une contribution importante à l'étude de la question (42). Bien que la détermination théorique des courbes de la température dans la roche entourant un bouveau soit basée sur de nombreuses hypothèses énumérées ci-avant, elle donne des résultats concordant avec ceux de mesures effectuées à la mine d'Etat Hendrik, à Brunsum (Pays-Bas) et reprises ensuite aux Charbonnages des Liégeois en Campine. Les discordances observées sont attribuables à l'anisotropie de certaines roches dont la conductibilité mesurée perpendiculairement aux strates est nettement plus faible que parallèlement aux couches.

C) Les installations frigorifiques pour la réfrigération de chantiers souterrains.

Le montage de l'usine frigorifique destinée à la réfrigération des travaux souterrains des Charbonnages du Rieu-du-Cœur et de la Boule Réunis, à Quaregnon, a été achevé au cours de l'année 1952. Depuis le mois de mai, cette installation a permis d'envoyer continuellement dans le puits d'entrée 65 m³/sec d'air à une température n'excédant pas 4°C. L'effet de ce premier stade de climatisation,

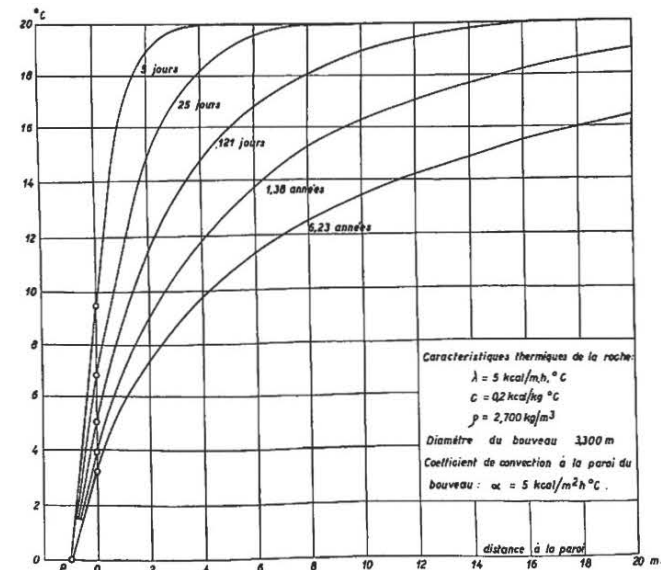


Fig. 38.

qui se fera sentir progressivement par suite de l'inertie calorifique des terrains entourant le puits, est déjà sensible à l'accrochage, où la température moyenne du mois le plus chaud a été abaissée à 6° C.

Le deuxième stade de la climatisation sera entrepris vraisemblablement cette année. En variante à la solution décrite dans notre article de 1951 (2) et comportant un deuxième refroidisseur d'air disposé près de l'accrochage et alimenté en eau froide sous haute pression provenant de l'usine de surface, l'Institut d'Hygiène des Mines a étudié la disposition suivante : à l'accrochage, un échangeur de chaleur alimenté par de la saumure sous haute pression à -5° C venant de l'usine de surface, assure le refroidissement à 2° C d'eau circulant en circuit fermé dans le fond de la mine entre l'accrochage et des refroidisseurs d'air voisins des tailles. Cette solution doit être préférée à la première, si des venues d'eau importantes se produisaient dans les galeries entre les chantiers et l'accrochage de 1550 m. On sait, en effet, que pendant son refroidissement, l'air abandonne une grande quantité de

III. — ENQUETES, DOCUMENTATION ET CONFERENCES

En dehors des « Communications » qui diffusent normalement les résultats des travaux de l'Institut, nos ingénieurs et nos médecins ont entrepris des rapports plus directs tant avec les représentants des charbonnages qu'avec les organismes étrangers poursuivant des buts similaires aux nôtres.

C'est ainsi que nous avons reçu à Hasselt les membres de la Centrale de Sauvetage des Charbonnages du Bassin de Liège, les Comités de Sécurité et d'Hygiène des Charbonnages André Dumont et de Houthalen, les infirmières et assistantes sociales du Bassin de la Campine ainsi que différents médecins radiologues et médecins embaucheurs des charbonnages.

Après avoir fait visiter nos locaux, les délégués de l'Institut ont, à chaque occasion, exposé les buts et les méthodes de travail de notre institution. Ces conférences ont permis aux médecins de l'Institut de montrer dans leurs laboratoires mêmes, aux principaux intéressés, l'utilité des examens médicaux complémentaires. D'autre part, ces réunions ont mis les membres du service technique en contact direct avec les exploitants, leur fournissant ainsi de précieux renseignements quant aux difficultés d'ordre pratique rencontrées dans la lutte contre les poussières et les hautes températures.

Dans le même ordre d'idées, signalons la visite à Hasselt de MM. les directeurs-gérants des Charbonnages patronnés par la Brufina, une réunion des travailleurs sociaux du Bureau International du Travail et une journée d'étude organisée pour les professeurs et les élèves de l'Institut Supérieur du Travail de l'Université de Louvain.

Le directeur, les ingénieurs et les médecins de l'Institut ont également participé à différents congrès scientifiques en Belgique et à l'étranger.

la vapeur d'eau qu'il contient, ce qui rend plus supportable à l'organisme humain le séjour dans des ambiances chaudes. Le bénéfice de ce séchage serait entièrement perdu si un réhumidification importante se produisait entre le refroidisseur d'air et le chantier.

Quant à l'installation de surface des Charbonnages des Liégeois en Campine, elle sera terminée incessamment; tout au long du montage, l'Institut d'Hygiène des Mines a maintenu de fructueux contacts avec le constructeur et avec les services intéressés des charbonnages.

D) Etalonnage d'instruments de mesure.

L'Institut d'Hygiène des Mines a continué à assurer le tarage des instruments de mesure suivant les méthodes précédemment mises au point. Quarante-sept anémomètres, dont dix-huit appartenant à l'Administration des Mines, ont été étalonnés au cours de l'année 1952. Il nous est actuellement possible de procéder également au tarage de manomètres jusqu'à 20 kg/cm², de baromètres et de thermomètres.

Au Congrès de Médecine du Travail à Charleroi, le docteur Lavenne a parlé des « Maladies professionnelles de l'ouvrier mineur », tandis que le docteur Van Mechelen y traitait de « La protection de l'ouvrier mineur ». Ces deux exposés ont été publiés dans la Communication n° 99 de l'Institut d'Hygiène des Mines (45) en même temps qu'une conférence de M. Ligny, directeur-gérant des Charbonnages de Monceau-Fontaine, au même congrès et intitulée : « L'effort des charbonnages belges dans le domaine de l'assainissement des travaux souterrains ».

Le directeur et les médecins de l'Institut ont également assisté aux journées de pathologie minière organisées à Paris par les Charbonnages de France. A cette occasion, ils ont visité le Centre d'Etudes et de Recherches des Charbonnages de France (Cerchar) à Verneuil. Un rapport sur ce congrès a été publié sous la Communication n° 101 (44). Désirant encore resserrer les bonnes relations établies entre le Cerchar et l'Institut, quatre délégués français, conduits par M. le professeur Policard et par M. Raineau, directeur du Centre, ont passé une journée à Hasselt, tandis que M. Patigny, ingénieur à l'Institut, effectuait un stage de quinze jours à Verneuil.

En décembre 1952, le directeur de l'Institut a participé, comme délégué de la Belgique, à une réunion d'experts en matière de prévention et de suppression des poussières dans les mines, les galeries et les carrières, au Bureau International du Travail à Genève. Trente délégués représentant seize pays assistèrent à ces réunions et ce fut le directeur de l'Institut qui fut appelé à présider ces séances. Par cette élection, les délégués rendaient hommage à l'effort accompli par les charbonnages

TABEAU IX Répartition par bassins du nombre de charbonnages utilisant les différents procédés de lutte contre les poussières. Situation au début de 1953

Bassins Nombre total de charbonnages	Campine 7			Liège 18			Charleroi 18			Centre 6			Mons 7			Ensemble 56						
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E		
Utilisation plus ou moins étendue des procédés																						
Crassage des travers-bans :																						
Masques filtrants	7	—	—	—	—	16	2	—	—	—	15	2	—	—	—	2	4	—	—	—	—	—
Masques à aduction d'air	—	—	—	1	—	—	—	2	—	—	—	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Capteurs pour forage à sec	1*	3	1	—	—	3	11	—	2	—	1	10	—	4	—	2	1	—	—	—	—	—
Forage à l'eau	6	1	—	—	—	5	7	—	—	—	4	9	—	1	—	2	4	—	—	—	—	—
Arosage des pierres	7	—	—	—	—	10	4	—	—	—	6	8	—	—	—	3	5	—	—	—	—	—
Tir en fin de poste	—	3	—	—	—	8	6	—	—	—	4	8	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—
Tir combiné avec modification d'aéragé	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Travail en tailles :																						
Masques filtrants	—	6	—	—	—	13	4	—	—	—	14	4	—	—	—	3	3	—	—	—	—	—
Masques à aduction d'air	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Arosage ou pulvérisation dans les couloirs	2	5	—	—	—	2	5	—	—	—	3	6	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—
Pulvérisation en dehors des couloirs	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Arosage des fronts	3	—	—	—	—	3	—	—	—	—	3	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—
Injection en veine	3	—	—	—	—	3	1	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Havage humide	2	4	—	—	—	2	—	—	—	—	2	—	—	—	—	1	2	—	—	—	—	—
Marteaux à pulvérisation d'eau	2	3	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—
Marteaux à échappement dirigé ou diffusé	1	5	1	—	—	2	2	2	1	—	1	6	2	3	—	1	1	—	—	—	—	—
Décalcateur spécial L.H.	1**	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	3	—	—	—	4	—	—	—	—	—	—
Points de chute des produits :																						
Capteurs à sec	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Arosage ou pulvérisation	7	—	—	—	—	2	10	—	—	—	5	6	1	—	—	3	—	—	—	—	—	—
Arosage des berlines	2***	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Voies de transport :																						
Emploi de sels hygroscopiques	—	7	—	—	—	—	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Arosage	5	4	—	—	—	2	4	—	—	—	—	6	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—

* dans les bureaux
 ** objet d'une prochaine communication
 *** à partir des nouveaux principaux et à l'accrochage.

A — Emploi généralisé ou en cours de généralisation.
 B — Emploi partiel.
 C — Essais en cours.
 D — Projets à l'étude (dont la réalisation n'est pas encore entreprise).
 E — Essais abandonnés définitivement au cours de l'année 1952.

TABLEAU X.
Développement des tailles et des voies auxquelles sont appliqués des traitements humides.

Situation au début de 1953.

A. — Longueur des tailles régulièrement traitées (m).

Bassins Années de référence	Campine		Liège		Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
	1952	1953	1952	1953	1952	1953	1952	1953	1952	1953	1952	1953
Nature du traitement :												
— Arrosage des fronts	4.440	4.607	125	710	1.505	1.000	100	—	1.000	150	6.070	6.467
— Injection en veine	5.092	5.774	610	635	945	774	1.550	1.910	650	2.245	8.827	11.538
— Lavage humide	2.355	3.015	400	650	—	—	—	90	—	—	2.755	3.735
— Marteaux à pulvérisation d'eau	3.085	4.108	2.710	2.420	3.735	3.960	1.550	1.590	280	150	11.560	12.228
Total	14.970	17.504	3.845	4.395	5.985	5.734	3.180	3.590	1.930	2.545	29.910	33.768

B. — Longueur des voies régulièrement traitées (m).

Bassins Années de référence	Campine		Liège		Charleroi		Centre		Mons		Ensemble	
	1952	1953	1952	1953	1952	1953	1952	1953	1952	1953	1952	1953
Nature du traitement :												
— Sels hygroscopiques	20.250	17.175	10.850	13.295	9.500	12.050	1.400	1.550	3.500	5.800	45.500	49.870
— Arrosage	106.881	130.998	19.870	21.075	6.530	7.840	1.500	2.420	1.600	3.150	136.201	165.483
Total	127.131	148.173	30.720	34.370	15.850	19.890	2.900	3.970	5.100	8.950	181.701	215.353

belges en matière de lutte contre les poussières par la création de l'Institut d'Hygiène des Mines à Hasselt. Le compte rendu de ces séances et les recommandations rédigées par les experts, qui seront soumises à l'approbation du Conseil d'Administration du Bureau International du Travail, seront diffusés au cours de l'année 1953.

La Section Médicale a publié comme d'habitude, sous la direction du professeur Lambin, trois Bulletins de Documentation Médicale où furent analysés, à l'intention des services médicaux des charbonnages, trente-cinq articles et études traitant de la médecine du travail.

De son côté, la Section Technique a aussi rédigé trois Bulletins de Documentation Technique dans lesquels trente et un articles et travaux furent étudiés.

Enfin, « La Revue Pratique du Froid » de Paris a publié une étude du directeur de l'Institut intitulée : « Les installations frigorifiques dans les charbonnages belges » (45). Des tirés-à-part furent transmis sous forme de « Communication hors série » à tous les charbonnages et aux centres d'études étrangers.

Comme chaque année, l'Institut d'Hygiène des Mines a rassemblé des renseignements concernant l'évolution des moyens de lutte contre les poussières dans l'ensemble des charbonnages belges. Les tableaux IX et X donnent un aperçu de la situation au 1^{er} janvier 1953. Le commentaire de ces statistiques paraîtra dans une de nos prochaines communications.

BIBLIOGRAPHIE

- Méthodes d'exploration de la fonction respiratoire. — F. LAVENNE. - Communication n° 92 de l'Institut d'Hygiène des Mines, février 1952.
- L'Activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1951. — A. HOUBERECHTS. - Annales des Mines de Belgique 1952, t. LI, 285-312.
- Studies on the intrapulmonary mixture of gases. III. — A. COURNAND, R. C. DARLING and D. W. RICHARDS Jr., J. Clin. Inv. 1940, 19, 609.
- A rapid method of determining lung capacity — Mc MICHAEL J. - Clin. Sc., 1939, 4, 167.
- The volume of the lung determined by helium dilution — G. R. MENEELY and N. L. KALTREIDER. - Clin. Inv. 1949, 28, 129.
- The measurement of the total lung volume and breathing capacity. — J. C. GILSON and P. HUGH-JONES. - Clin. Sc. 1949, 7, 185-216.
- The lung volume and its subdivisions. — R. CHRISTIE. - J. Clin. Inv. 1952, 11, 1099.
- Het klinische longfunctieonderzoek. — J. J. HIRDES - Lumax. Utrecht, 1951.
- Etude des facteurs alvéolaires et bronchiques de la ventilation pulmonaire. — R. TIFFENEAU et P. DRUTEL. J. Franç. Méd. Chir. Thor. 1949, III, 401.
- L'Activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1948. — R. BIDLOT. - Annales des Mines de Belgique 1949, t. XLVIII, 250-244.
- I nuovi orizzonti della stratigrafia nei vari campi della medicina. — A. VALLEBONA. - L'Informatore Medico, Sez. Scient. 1948, II, Fasc. 4.
- Physiopathologie de la silicose. — P. H. ROSSIER et H. BUCHER. - Z. Unfallmed. u. Berufsh., 1947, 40, n° 2.
- L'Aérosologie. — L. DAUTREBANDE. - Paris, Baillière, 1951.
- Etude comparative de prélèvements simultanés au précipitateur thermique, au midjet impinger et au dé de Soxhlet. — A. HOUBERECHTS et S. CARTIGNY. - Communication n° 94 de l'Institut d'Hygiène des Mines, avril 1950.
- Aspects nouveaux de la lutte contre les poussières. — L. DAUTREBANDE, Librairie de l'Association des Industriels de Belgique, 1952.
- Le problème des poussières nocives. — L. DAUTREBANDE, Revue de l'Industrie Minière, 1952, XXXIII, 669-684.
- Etude du midjet impinger. — R. BIDLOT et P. LEDENT. - Communication n° 67 de l'Institut d'Hygiène des Mines, octobre 1949.
- Essais d'un capteur de poussières aux Charbonnages d'Ans et de Rocour. — A. HOUBERECHTS et G. DEGUELDRE. - Communication n° 97 de l'Institut d'Hygiène des Mines, août 1952.
- Diminution de l'empoussièrement dans les chantiers d'abatage et les voies d'entrée d'air par l'emploi de pulvérisateurs en taille. Résultats de l'enquête menée par l'Institut d'Hygiène des Mines sur l'efficacité des pulvérisateurs utilisés dans les charbonnages belges. — A. HOUBERECHTS et G. DEGUELDRE. Communication n° 100 de l'Institut d'Hygiène des Mines, novembre 1952.
- Méthode de dosage de la silice libre dans les poussières atmosphériques. — Bulletin de Documentation Technique n° 7 de l'Institut d'Hygiène des Mines, novembre 1948.
- An evaluation of the methods used by various laboratories in the determination of free silica. — LANDRY A.S., Industrial Health Monthly 1951, 11, n° 6, 90-91.
- Industrial Air Sampling and Analysis. — L. SILVERMANN, Industrial Hygiene Foundation, Chemical and Toxicology Series, 1947, n° 1.
- Etude de trois dosesurs d'oxyde de carbone. — A. HOUBERECHTS et S. CARTIGNY, Communication n° 74 de l'Institut d'Hygiène des Mines, juin 1950.
- Examen comparatif de quelques nouveaux agents mouillants. Etablissement de critères concernant leur efficacité. — A. HOUBERECHTS et S. CARTIGNY. - Communication n° 95 de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1952.
- L'Activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1950. — A. HOUBERECHTS, Annales des Mines de Belgique, 1951, t. I, 516-535.

- (26) Etude comparative de la tension superficielle des solutions de quelques agents mouillants. — R. BIDLOT et P. LEDENT. - Communication n° 52 de l'Institut d'Hygiène des Mines, décembre 1948.
- (27) Etude du mouillage de poussières charbonneuses par des solutions aqueuses d'agents mouillants. — R. BIDLOT et P. LEDENT. - Communication n° 66 de l'Institut d'Hygiène des Mines, octobre 1949.
- (28) Pulmonary Toxicity of wetting agents dispersed as aerosols. — G. C. HALL, American Journal of Diseases of Children, 1950, 80, n° 3, 408-412.
- (29) Aérage en galerie. — R. LOISON. - Revue de l'Industrie Minérale, 1952, XXXIII, 209-225.
- (30) An Electrical Analogue for Mine Ventilation and its Application to Ventilation Planning. — W. MAAS. - Geologie en Mijnbouw, 1950, 13, n° 4, 117-125.
- (31) Untersuchungen über die Wetterverzweigung unter Tage und ihre Vorausbestimmung mit Hilfe eines electrischen Wettermodells. — S. BATZEL und W. SCHMIDT. - Glückauf, 1952, 88, 471-479.
- (32) The solution of Ventilation Network Problems. — D. R. SCOTT and F.B. HINSLEY. - Transactions of the Institution of Mining Engineers, 1952, 111, n° 6, 547-571.
- (33) Solving Ventilation Network problems by Machine. — R. SCOTT. - Colliery Engineering, 1952, 410-415.
- (34) Quelques applications du diagramme (j,x) de l'air humide dans l'étude des problèmes miniers. — A. HOUBERECHTS. - Communication n° 91 de l'Institut d'Hygiène des Mines, janvier 1952.
- (35) Comment se mesure la teneur en humidité de l'atmosphère. — R. BIDLOT et P. LEDENT, Communication n° 32 de l'Institut d'Hygiène des Mines, novembre 1947.
- (36) Le diagramme (j,x) pour l'air humide. Son application à l'étude du climat et des échanges thermiques dans les travaux souterrains. — R. BIDLOT et P. LEDENT. - Communication n° 43 de l'Institut d'Hygiène des Mines, juin 1948.
- (37) Etude du bilan thermique de cinq charbonnages de Campine. — A. HOUBERECHTS et P. LEDENT. - Communication n° 86 de l'Institut d'Hygiène des Mines, juin 1951.
- (38) Der Wärmeausgleichsmantel und seine Bedeutung für die Kühlung tiefer Gruben. — H. HEISE und DREKOPF. Glückauf, 1923, 59, 81-109.
- (39) Conduction of Heat in Solids. — H.S. CARSLAW and J. C. JAEGER, Clarendon Press, Oxford 1948, 280-284.
- (40) L'Echauffement de l'air de ventilation dans les puits et les voies d'entrée d'air. — W. DE BRAAF. - Geologie en Mijnbouw, 15, n° 4, 117-154.
- (41) Champs thermiques et flux calorifiques. — M. VERON, Bulletin Technique de la Société Française Babcock et Wilcox, 1950, 25, 74-89 et 120-125.
- (42) L'Echauffement de l'air de ventilation dans les puits et les voies d'entrée d'air. — A. HOUBERECHTS, G. DE-GUELDRE et J. PATIGNY. - Communication n° 96 de l'Institut d'Hygiène des Mines, juillet 1952.
- (43) Médecine et problème minier. — F. LAVENNE, J. LIGNY et V. VAN MECHELEN, Communication n° 99 de l'Institut d'Hygiène des Mines, octobre 1952.
- (44) Rapport sur les Journées Françaises de Pathologie Minière. — F. LAVENNE, Communication n° 101 de l'Institut d'Hygiène des Mines, novembre 1952.
- (45) Les installations frigorifiques dans les charbonnages belges. — A. HOUBERECHTS, Revue Pratique du Froid 1952, n° 7 et 8, 40-45 et 24-28.

Afbakening der Kolenmijnvergunning Neeroeteren-Rotem

door L. J. PAUWEN,

Hoogleraar aan de Universiteit van Luik.

RESUME

La concession de Neeroeteren-Rotem a été définie par l'Arrêté du Régent du 20 août 1947. La concession s'étend, pour une partie, dans la vallée de la Meuse et, pour l'autre, sur un plateau entrecoupé de nombreuses sapinières. Devant les difficultés pratiques que la triangulation aurait présentées, nous avons employé la méthode du cheminement. Cette méthode est susceptible d'une précision équivalente à celle que donne la triangulation, pourvu que l'on évite l'accumulation des erreurs en azimut et que l'on mesure les côtés avec un outillage convenable. Les erreurs en azimut furent compensées en effectuant des méridiennes astronomiques distribuées tout le long du cheminement, méridiennes dont la précision est de l'ordre de ± 0 gr 001.

Description des opérations sur le terrain.

Les cheminements furent effectués le long des routes et chemins de halage. En vue de réduire les erreurs en azimut provenant du centrage du théodolite au-dessus du centre de station, on choisit des côtés relativement longs; ils ne furent jamais inférieurs à 50 mètres.

Les sommets du cheminement étaient matérialisés au moyen de tubes en fer de 40 cm de longueur et d'un diamètre intérieur très légèrement supérieur au diamètre des jalons employés. Ces tubes étaient enfoncés jusqu'à rez du sol, bien verticalement. Les visées se faisaient sur des jalons plantés verticalement dans les tubes. De chaque station on voyait le pied du jalon du point avant et du point arrière.

Mesure des angles.

La mesure des angles fut effectuée au moyen d'un théodolite T₂ de Wild muni d'un micromètre micrométrique donnant le décimilligrade.

Ce théodolite comporte un dispositif de centrage optique dont le réglage fut vérifié chaque semaine. Chaque angle fut obtenu par trois mesures indépendantes, chaque mesure comportant un pointé C.D. et un pointé C. G. sur chacun des sommets qui matérialisent les alignements droits aboutissant à la station occupée.

Mesure de la longueur des côtés.

La longueur des côtés des cheminements fut obtenue au moyen d'un ruban en acier de 50 m de longueur qui avait été étalonné au Bureau International de Breteuil. — Chaque côté fut mesuré deux fois. Lors de la mesure, le ruban était mis sous une tension de 10 kg, qui est la tension d'étalonnage.

En général les mesures furent effectuées le ruban reposant sur le sol. Lorsque le sol était quelque peu irrégulier, le chaînage était effectué entre repères mobiles de 1 m de hauteur, distribués de 50 en 50 mètres tout le long du côté à mesurer; le ruban était tendu entre ces repères. Le ruban présentait une chaînette dont on a tenu compte dans la réduction des mesures.

Un second ruban de 50 m a été tenu en réserve pendant toute la durée des opérations; il servit d'étalon pour le ruban de travail.

Les méridiennes astronomiques.

Les méridiennes astronomiques furent effectuées par la méthode dite des distances zénithales du soleil. Elles comportèrent chacune cinq pointés doubles du soleil cercle à droite — cercle à gauche.