# L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1955

(2º Partie) \*

# par A. HOUBERECHTS,

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

#### II. — TRAVAUX DE LA SECTION TECHNIQUE

#### 1. — Lutte contre les poussières

#### A. — Analyse des poussières.

Au cours de l'année 1955, une attention particulière a été prêtée à la question du dosage de la silice dans les échantillons de poussières. La silice totale, silice libre plus silice combinée sous forme de silicates, peut être dosée au spectrophotocolorimètre, après réaction de l'échantillon avec le molybdate d'ammonium (NH4)6 Mo7 O24.4H2O qui donne un complexe jaune de composition variable suivant le pH du milieu, complexe soumis à l'examen colorimétrique. La silice libre peut être dosée gravimétriquement, après solubilisation des corps autres que SiO2. Les méthodes varient quant à la façon de réaliser cette solubilisation. D'après la méthode de Cardiff, les attaques de l'échantillon se font alternativement au moyen de HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et un mélange de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + NaOH, de concentrations variées et suivant un mode opératoire standardisé. Cette méthode a reçu récemment quelques modifications de détail et est devenue celle dite de Shaw-Skinner; elle a été portée à notre connaissance par le Safety in Mines Research Establishment. Une deuxième technique est celle de la dissolution par l'acide pyrophosphorique H<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>; elle est directement inspirée du travail de Blanzat et Barbe (43).

Simultanément, nous avons entrepris les travaux d'étalonnage et les essais préparatoires au dosage de la silice cristalline par l'analyse thermique différentielle (1). Les résultats obtenus, aussi bien au laboratoire de chimie qu'au laboratoire de physique, ont permis d'entreprendre déjà des analyses dans des cas d'application bien précis.

a. Dosage de la silice libre par voie chimique.

Que l'on utilise la méthode de Cardiff et de Shaw-Skinner ou celle à l'acide pyrophosphorique,

\* La 1<sup>re</sup> Partie a été publiée dans notre fascicule de mai 1956, pp. 375 à 402. le résultat brut à la pesée doit subir certaines corrections. En effet, que les attaques soient douces, comme dans la méthode de Cardiff, ou violentes comme dans celle de Blanzat et Barbe, une partie des silicates a pu échapper à la solubilisation : d'autre part, une part (réduite) de la silice libre a pu être éliminée. Les corrections à apporter sont essentiellement fonctions du mode opératoire et de la granulométrie de l'échantillon.

D'importantes investigations ont été entreprises à l'Institut d'Hygiène des Mines dans ce domaine, au cours desquelles la teneur en silice libre a été déterminée dans des échantillons de poussière de nature et de provenance très diverses. Les produits soumis à analyse comportaient :

- des mélanges artificiels de composition et de granulométrie connues;
- des échantillons provenant d'autres laboratoires (en particulier des poudres qui nous ont été envoyées par les « Ventilation and Dust Laboratories » de la Chamber of Mines d'Afrique du Sud);
- des poussières provenant des roches du Houiller.

Le tableau XII groupe quelques résultats obtenus à l'Institut d'Hygiène des Mines, ainsi que les teneurs correspondantes déterminées par diffractométrie aux rayons X dans le laboratoire d'Afrique du Sud pour les échantillons fournis par cet organisme. La méthode de Shaw-Skinner introduit deux corrections permettant de tenir compte d'une part de la solubilité de la silice divisée et d'autre part de la perturbation apportée par les silicates non décomposés. Comme nous n'avons pas encore déterminé avec précision le coefficient à appliquer à l'attaque pyrophosphorique, nous avons fait également figurer au tableau les résultats de la méthode Shaw-Skinner sans la correction de finesse, ceci afin de faciliter la comparaison. Toutes les valeurs données sont la moyenne chaque fois de deux résultats.

TABLEAU XII

Teneurs en silice libre trouvées par différentes méthodes (%)

	Echantillons	Méthodes						
Nº code	Nature Phosphorique			Shaw-	Skinner	R. X.		
		% brut	après correction silicates	après correction silicates	après correction silicates et finesse			
ASA	quartz + fluorine	15,9	14,2	11,8	12,8	20		
ASB	quartz + kaolin	18,0	8,4			13		
ASD	quartz + kaolin	45,0	42,9	_		38		
ASE	« mine dust »	72,1	69,2		—	77		
7/400*	calcaire	6,9	5.3	3,8	4,1			
8/400	calcaire	6,9	6,9	4,0	4.4	_		
9/400	calcaire	1,6	O	1,5	1,6			
10/400	schiste	38,4	31,9	33,3	36,2	-		

Malgré certains écarts, les ordres de grandeurs fournis nous semblent satisfaisants vu la différence entre les méthodes appliquées.

Disposant de plusieurs fractions granulométriques d'un schiste broyé et tamisé, il nous a paru intéressant de rechercher à partir de quelle dimension l'effet de dissolution de la silice libre par l'acide pyrophosphorique se fait sentir. Pour ce faire, nous avons non seulement dosé la silice libre dans quelques-unes de ces fractions prises telles quelles,

peut être mis en évidence compte tenu de l'imprécision des mesures. Nous donnons également les résultats des dosages effectués sur les fractions fines obtenues à l'aide d'un centrifugateur Bahco (fractions 1 B, 2 B).

D'autre part, la fraction originale passée au tamis n° 400 a été examinée en cellule de 0,1 mm selon la méthode couramment employée à l'Institut d'Hygiène des Mines (44).

TABLEAU XIII

Résultats de la méthode phosphorique en fonction de la grosseur des grains

Fraction	Dimensions $\mu$	Poudre brute % silice	Poudre broyée % silice
échantillon total	_	32,7	32,3
refus 70	> 208	29,2	30,9
100 - 140	147-104	31,2	31,1
200 - 270	74-53	33,8	34,3
passé 400	< 37	30,8	_
2 B	5,9-3,1	22,4	_
1 B	< 3,1	16,6	

mais aussi dans ces mêmes fractions broyées au mortier d'agate jusqu'à passer entièrement au tamis Tyler n° 400 (diamètre 37  $\mu$ ). Les résultats du tableau XIII, montrent que jusqu'à 37 microns au moins l'effet envisagé est pratiquement nul et ne

Le tableau XIV décrit la composition granulométrique en nombre ainsi obtenue. On voit que la poussière est assez fine puisqu'elle renferme 89 % de particules inférieures à 5  $\mu$ .

# TABLEAU XIV

# Granulométrie de la fraction passée au tamis 400.

Classes : µ	0,2-0,5	· 0,5-1	1-3	3-5	5-10	10-30	30-50
Pourcentages	17,8	31,8	26,8	12,5	6,1	4,2	0,9

Nous ne disposons pas actuellement d'assez de dosages de ces fractions par une autre méthode pour savoir si la teneur en silice libre est réellement plus faible dans les portions fines de la roche examinée. D'après un exemple relaté antérieurement (1), on serait porté à le croire.

Quoi qu'il en soit, une solubilisation de la silice libre par le réactif ne peut pas être mise en évidence au-dessus de 37 microns. Le diamètre pour lequel ce phénomène devient appréciable nous paraît être considérablement plus petit, étant donné le grand nombre de fines particules formant le passé au tamis 400.

L'étude sera poursuivie avec des poussières de petits diamètres préparées au laboratoire et de teneur en quartz bien déterminée.

b. Dosage du quartz par l'analyse thermique différentielle.

Dans le compte rendu de notre activité au cours de l'année 1954, nous avons décrit en détail l'équipement que nous utilisons pour doser la silice cristalline par analyse thermique différentielle (1).

Rappelons que cette méthode consiste à chauffer ou à refroidir simultanément, dans des conditions identiques et à une vitesse déterminée, la poussière dans laquelle se trouve un certain pourcentage inconnu de quartz et un autre échantillon qui n'en contient certainement pas (de l'alumine par exemple). A 573 °C, le quartz subit une transformation cristalline réversible avec absorption ou dégagement de chaleur; à cause de cette transformation, les deux échantillons ne se réchauffent ou ne se refroidissent pas de la même façon. Lorsqu'on enregistre en fonction du temps la différence de température entre les deux poudres, on constate donc l'apparition à 573 °C d'un ressaut ou « pic » dans la courbe, ressaut dont l'importance est entre autres fonction de la teneur en quartz. Par comparaison avec des étalonnages effectués au moyen d'échantillons de teneur connue, on arrive à doser le quartz dans des poussières quelconques.

Parmi les facteurs qui déterminent l'allure du pic se présentant à 573 °C, certains sont extérieurs à la poudre : nature du matériau constitutif du creuset, dimensions et forme du creuset, nature, volume et emplacement des soudures thermo-électriques utilisées pour la mesure des températures, vitesse de chauffe ou de refroidissement. Le choix de ces fac-

teurs a résulté de nos premières investigations en vue d'obtenir une sensibilité aussi élevée que possible et une reproductibilité raisonnable. Nous avions notamment constaté que la hauteur du pic croît avec la vitesse de variation de la température ; moyennant certaines modifications du four, il a été possible de porter la vitesse de chauffe à 20 °C par minute; la vitesse de refroidissement, limitée par l'inertie thermique du four, ne dépasse pas 6 °C par minute. Une vitesse de chauffe élevée introduit cependant diverses difficultés : il devient par exemple impossible de réaliser un chauffage parfaitement linéaire au-dessous d'une température relativement élevée ; par ailleurs les écarts d'homogénéité dans la température du four ou des creusets deviennent plus considérables.

Le poids de substance analysée, ou encore, pour un même tassement, le volume des poches des creusets est également un facteur important de la sensibilité. Conformément à certaines études théoriques, on constate que la surface des pics diminue moins vite que proportionnellement au poids de matière analysée. Jusqu'à présent, nous n'avons pas utilisé moins de 0,75 gramme de poudre, mais des possibilités de réduction existent encore, moyennant modification des creusets. Après ces études préliminaires, les facteurs déterminant l'importance du pic, autres que la poussière elle-même, ont été maintenus constants pour toutes les expériences ultérieures, dont il va être question maintenant.

Ces analyses ont porté sur des poudres et poussières d'origines très diverses que l'on peut grouper comme suit :

a) mélanges de poudre d'alumine et de quartz ou de quartzite broyé au mortier et passé au tamis de 200 mailles par pouce (côté de la maille: 74 microns). Le quartz utilisé possède une grande pureté (>99 %); le quartzite comporte 97 % de silice,

β) poudres ne devant en principe pas contenir de quartz: alumine, feldspath broyé au mortier et passé au tamis de 200 mailles par pouce, talc pharmaceutique, kaolin pharmaceutique, kieselguhr, etc.,

 γ) poussières de grès ou de schistes broyés, soit au laboratoire, soit dans une installation industrielle de préparation de poussières de schistification,

 δ) poussières provenant du broyage de roches calcaires et dont certaines sont utilisées comme poussières de schistification. Pour ces dernières, l'analyse a porté tantôt sur le résidu de l'incinération à 850 °C; tantôt sur la fraction insoluble dans l'acide chlorhydrique dilué,

#### ε) cendres de charbon.

Toutes ces poussières possèdent une nature chimique et des propriétés physiques très variables, notamment la granulométrie et la forme des grains, la conductibilité thermique et la chaleur spécifique, la « cristallinité » de la silice présente, éventuellement, sa vitesse de transformation à 573 °C, l'état de la surface des grains, etc.

Ces différences dans les propriétés physiques se manifestent dans les courbes enregistrées à l'analyse différentielle ; lorsqu'elles sont très accentuées, elles rendent difficile la comparaison des pics correspondant à une même teneur en quartz, à un même creuset et à une même vitesse de chauffe. (réactions d'oxydation ou de déshydratation). Le quartz réactionnel lui-même présente, suivant son origine, suivant la texture de la roche qui le contient et suivant les modalités de la réduction en poudre, des variations de comportement thermique entre 500 et 600 °C, variations qui conduisent à des pics de formes différentes (fig. 12).

Pour rendre le dosage du quartz possible en dépit de ces causes de fluctuations des courbes enregistrées, deux voies ont été suivies. On peut d'abord multiplier les échantillons étalons, de manière à posséder des éléments de référence suffisamment semblables aux échantillons étudiés quelle que soit leur provenance. L'utilisation correcte de ces étalonnages demande cependant un examen complémentaire de la poudre étudiée en vue de fixer par exemple sa granulométrie et si possible la nature

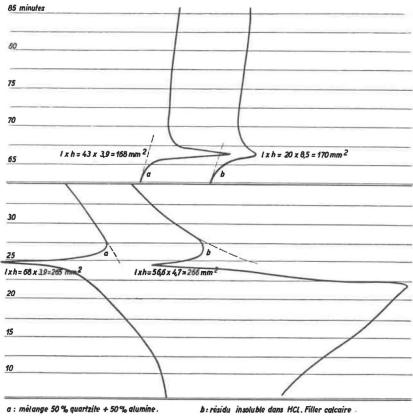


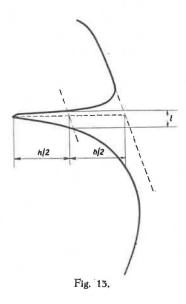
Fig. 12.

En effet, même en l'absence de quartz, des variations de chaleur spécifique et de conductibilité se produisent pendant la chauffe et le refroidissement, variations qui peuvent être différentes pour les deux substances chauffées simultanément et qui donnent lieu à des ondulations de la courbe de température différentielle, sur lesquelles vient se greffer le pic dû à la transformation du quartz. Dans certains cas, les substances accompagnant le quartz présentent également des transformations réversibles (mais à d'autres températures) ou non réversibles

de ses constituants essentiels (oxydes, silicates,...). Cet examen complémentaire peut se faire au microscope minéralogique. La préparation de ces étalons supplémentaires a été entreprise; elle pose le problème de la séparation des grains de quartz de granulométrie très fine, dont il sera question ultérieurement.

La deuxième voie suivie en vue de faciliter la détermination des teneurs en quartz a consisté à analyser les tracés obtenus afin d'y détecter quelles sont les particularités qui semblent le plus directement liées à la teneur en quartz. On peut démontrer que la chaleur de réaction à 573 °C est proportionnelle à la surface comprise entre la courbe réelle comportant le pic et une courbe de base qu'on obtiendrait pour un matériau possédant les mêmes propriétés thermiques, mais une chaleur de réaction nulle. Toute la difficulté consiste à dessiner cette courbe idéale, les matériaux exempts de quartz présentant souvent des propriétés thermiques un peu différentes de ceux qui en contiennent.

Les analyses auxquelles nous avons procédé sur des substances exemptes de quartz avaient entre autres pour but de servir de guide au tracé de la base des pics. Ce tracé reste cependant très arbitraire. Par ailleurs, le planimétrage des surfaces des pics est une opération fastidieuse. Finalement, il nous a paru plus précis et plus rapide de remplacer la mesure de la surface du pic par une mesure de la hauteur h et une mesure de largeur l, celles-ci étant définies par les constructions de la figure 13.



Le produit  $l \times h$  nous paraît peu dépendre de l'allure de la courbe aux alentours du pic et est essentiellement lié à la quantité de quartz réagissant.

En utilisant ce procédé de mesure, nous avons obtenu pour des grès et des schistes broyés des teneurs en quartz très proches et parfois légèrement au delà de ce qu'indique l'analyse chimique. Par ailleurs, des échantillons contenant des pourcentages égaux de quartz et de provenances très différentes donnent sensiblement le même produit  $l \times h$ , alors que les hauteurs et formes des pics sont nettement dissemblables comme le montre la figure 12.

L'expérience acquise jusqu'à présent nous permet encore de tirer certaines conclusions quant au traitement des échantillons avant l'analyse différentielle. L'étude d'échantillons calcaires a été particulièrement décevante : la chaux qu'ils donnent après incinération à 850 °C est très avide d'eau et ne se déshydrate qu'à haute température (450 à 500 °C); nous avons tout lieu de croire qu'elle attaque la silice libre finement divisée. Certains échantillons en effet n'ont manifesté aucun pic même après plusieurs cycles de chauffe, alors que l'analyse chimique à partir de poudres non incinérées révélait la présence de quelques pour-cents de silice. D'autre part, l'analyse thermique menée sur le résidu insoluble dans HCl donnait des résultats positifs quoique différents du dosage chimique.

En l'absence de toute incinération, l'analyse thermique des calcaires est également différente car, dans le premier cycle de chauffe et parfois dans le deuxième, le pic de quartz est masqué par des réactions d'oxydation et de décomposition de carbonates et d'hydrates.

La meilleure solution consisterait sans doute à effectuer une attaque préliminaire par HCl pour éliminer les carbonates, suivie d'un lavage, d'un séchage et d'une incinération à 600 °C. Cette technique est à l'étude.

En conclusion, l'analyse thermique différentielle peut donner des résultats relativement précis moyennant certains raffinements nécessitant d'autres travaux de laboratoire. Mais sans ces raffinements, elle donne très rapidement (en deux heures) l'ordre de grandeur de la teneur en silice cristalline et certaines indications qualitatives sur les substances d'accompagnement et sur la « perfection cristalline » de la silice présente.

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

 a. Contrôle du matériel anti-poussières soumis au concours du Conseil Supérieur d'Hygiène des Mines.

A la demande du Conseil Supérieur d'Hygiène des Mines, nous avons effectué aux Charbonnages de Bonne Espérance à Lambusart, des expériences qui avaient pour buts :

- de déterminer les quantités de poussières mises en suspension dans l'air, sans prévention aucune, lors des travaux d'abattage du charbon au marteau-piqueur et de foration au rocher avec marteau-perforateur à air comprimé;
- de comparer ces empoussiérages aux valeurs trouvées au cours des mêmes travaux exécutés en utilisant, d'une part, un marteau-piqueur à échappement et décaleur modifiés et, d'autre part, un capteur de poussières pour forage à sec avec manchon à aspiration axiale ou latérale.

Les contrôles décrits ci-dessus ont été faits à front d'un bouveau où une veine de charbon de 0,65 m d'ouverture se présentait en allure normale à l'aire de voie. La ventilation de ce préparatoire était assurée par canars soufflants, de 400 mm de diamètre, débitant 1,090 m³/sec.

Le travail normal consistait à faire la havée en charbon (marquage, soutènement provisoire, évacuation séparée du charbon,...), forer en toit sur toute la section du bouveau, miner, remplir éventuellement l'excavation à l'aire de voie, charger les déblais...

Pour nos essais, nous avons fait procéder à l'enlèvement du charbon au marteau-piqueur, par un seul ouvrier, jusqu'à la profondeur de havée permise sans soutènement, de façon que le même travail soit exécuté à l'aide du piqueur ordinaire et du piqueur modifié. Il n'y a eu ni boutage-pelletage, ni boisage, de sorte que les concentrations de poussières trouvées se rapportent uniquement aux particules soulevées par l'abattage seul. Les mesures comparatives ont été faites à 1,10 m de hauteur, dans l'axe du bouveau, à 3 m en arrière de l'extrémité des canars (fig. 14 P.T.I) en un endroit où le courant d'air de retour était suffisamment homogénéisé.

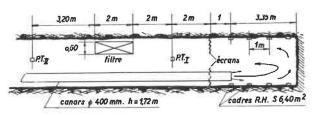


Fig. 14.

Pendant la foration des trous de mine au toit de la veine, nous nous sommes placés à la même station P.T. I pour estimer l'efficacité du capteur proposé par rapport à l'empoussiérage produit à front pendant le forage sans prévention. Nous avons de plus choisi un autre emplacement (fig. 14 P.T. II), plus en arrière encore de façon à contrôler l'ensemble capteur + caisson filtrant, le filtre étant placé entre les stations I et II.

Comme d'habitude, les poussières ont été prélevées au précipitateur thermique et comptées sur fond clair, au grossissement 1.000  $\times$  au moyen d'un micro projecteur de pouvoir de résolution égal à 0,2  $\mu$ . Les classes adoptées ont été : > 5, 5-3, 3-1, 1-0,5  $\mu$  pour les poussières de charbon et > 5, 5-3, 3-1, 1-0,5, 0,5-0,2  $\mu$  pour les poussières de roche.

Nous avons constaté que les modifications apportées au marteau-piqueur n'avaient pas d'action sur le soulèvement des particules charbonneuses inférieures à 1 $\mu$  et que le rendement de suppression des poussières était de l'ordre de 17 % si l'on chiffre l'amélioration sur l'ensemble des particules comprises entre 5 et 0,5  $\mu$ . En ce qui concerne le capteur proposé pour la foration, nous avons conclu que l'assainissement de l'atmosphère entre les fronts et l'emplacement du filtre n'était pas suffisant, que l'on fasse le captage avec aspiration axiale ou latérale. En arrière du caisson filtrant, il y avait même aggravation du risque pneumoconiotique par augmentation de la concentration en particules respi-

rables. En plus des poussières de foration qui n'étaient pas retenues dans les filtres, on retrouvait en effet dans l'atmosphère de très nombreuses particules, précédemment déposées, qui étaient remises en suspension par l'air comprimé de l'éjecteur s'échappant par les joints défectueux de tout l'appareillage.

Comparés à d'autres appareils notablement plus efficaces et assez bien répandus déjà dans nos mines, ces nouveaux dispositifs n'ont pas été retenus comme étant susceptibles d'améliorer les conditions de travail.

# b. Lutte contre les poussières dans les dressants.

Quelques essais d'utilisation de marteaux-piqueurs humides et de pulvérisateurs ont été effectués dans un chantier des Charbonnages de Roton-Farciennes et Oignies-Aiseau. Cette taille produit 50 tonnes par jour de charbon à 7 % de matières volatiles. La couche, d'une puissance normale de 1,30 m, se présente en dressant presque vertical sur 60 m; elle est déhouillée par gradins renversés de 6 m de hauteur. Un dérangement local (plissement en S), accompagné d'une diminution d'ouverture de 0,70 à 0,80 m, affecte la régularité de la veine à mitranche. Le boisage y est classique; l'évacuation des produits est en principe continue, le chargement direct en berlines se faisant sur la voie de pied par deux « robinages » au moins. On s'est efforcé de réduire la quantité de poussières en taille en utilisant des marteaux-piqueurs à pulvérisation d'eau et des pulvérisateurs disposés au pied de chaque gradin.

Ces expériences n'ont pas fait l'objet d'une publication séparée parce que nous les considérons comme préliminaires à une plus vaste étude de la question. Les premiers résultats obtenus avec une

TABLEAU XV

Pression	Débit d'eau en litres/minute				
d'eau kg/cm²	appareil monté sur piqueur. Angle du faisceau 33º	appareil pulvéri- sant dans l'atmosphère. Angle du faisceau 52º			
1	0,66	0,20			
2	1,04	0,30			
3	1,30	0,35			
4	1,58	0,39			
5	1,82	0,42			

petite quantité d'eau méritent cependant d'être signalés. Les pulvérisateurs utilisés débitaient en effet peu d'eau comme l'indique le tableau XV.

Nous avons prélevé les poussières aériennes au précipitateur thermique dans le retour d'air à 10 m des fronts, tandis que l'abattage était réalisé durant deux jours sans prévention, deux jours avec piqueurs humides, et un jour avec piqueurs humides et emploi combiné de pulvérisateurs. En regroupant les résultats de manière à comparer des phases de travail aussi identiques que possible, nous avons obtenu le tableau XVI dans lequel chaque valeur est en fait la moyenne résultant du dépouillement de 4 ou 6 plaques comptées 2 fois.

c. Coffrage des points de transbordement.

Le coffrage des points de déversement des charbons le long d'une voie d'entrée d'air est susceptible de réduire considérablement l'empoussiérage au pied des chantiers comme il résulte des essais préliminaires entrepris cette année aux Charbonnages de Houthalen. La transformation et la modernisation des puissants engins de transport installés dans nos voies d'entrée ne vont pas nécessairement de pair avec une diminution des quantités de poussières mises en suspension dans l'air. Il n'est pas rare de trouver à l'heure actuelle des tailles donnant à elles seules la production d'un ancien petit siège d'extraction. Cette situation entraîne fatalement de

TABLEAU XVI

Prévention	Phases de travail	Nombre de particules par cm³ d'air				
	-	5-3 μ	3-1 μ	1-0,5 μ		
	abattage et évacuation	630	2.010	515		
aucune	abattage seul	515	1.530	295		
	abattage et boisage	535	1.035	245		
piqueurs humides et pulvérisateurs (env. 210 l eau par heure)	abattage et évacuation	435	1.230	260		
piqueurs humides	abattage seul	470	1.320	345		
(env. 85 I eau/h)	abattage et boisage	305	705	275		

En conséquence, par rapport au travail à sec, la réduction de l'empoussiérage exprimé en nombre de particules de 1 à 5 μ, est de 36 % pendant l'abattage et l'évacuation lorsqu'il y a utilisation simultanée de piqueurs humides et de pulvérisateurs en taille. Par rapport au travail à sec également, l'emploi de piqueurs humides provoque une diminution de 12 % du nombre de particules de 1 à 5 µ pendant l'abattage proprement dit. Au vu de ces résultats, on doit admettre que la pulvérisation pendant l'évacuation en taille a plus d'efficacité dans un dressant que l'abattage humide. Cependant, pour chaque abatteur considéré individuellement dans son gradin, il est évident que le piqueur à l'eau entraîne une réduction de l'empoussiérage plus importante surtout, comme c'est généralement le cas, si la chute du charbon est freinée par un plancher d'abattage. Si l'on envisage la taille dans son ensemble, la cause première du soulèvement des poussières reste l'évacuation des produits. Il y a donc intérêt à maintenir les deux modes de prévention en renforçant la pulvérisation d'eau dans l'atmosphère.

fortes teneurs en poussières à l'entrée des chantiers, même si des moyens de prévention efficaces sont mis en œuvre dans la taille. On rencontre fréquemment des empoussiérages, exprimés en nombre par cm³ d'air, supérieurs à 1.000 particules de 5 à 0,5 µ et parfois même de 5 à 1 μ. On est alors obligé d'installer des pulvérisateurs le long des transporteurs, aux points de chute, au-dessus des panzers de chargement et en tête des descenseurs hélicoïdaux, ce qui ne va pas toujours sans inconvénient. A titre d'expérience, les Charbonnages de Houthalen ont essayé de remédier à cet état de choses en faisant coffrer des points de transbordement dans quelques voies d'entrée d'air (fig. 15). Les contrôles n'ont, jusqu'à présent, été faits que pour un seul point de chute, au déversement d'un panzer de chargement sur la courroie de costresse (fig. 16). Les poussières ont été prélevées simultanément de part et d'autre du point de déversement, au moyen de deux précipitateurs thermiques, placés l'un et l'autre alternativement aux stations 1 et 2 (fig. 16). Les mesures ont été réalisées en vue de comparer les accroissements du nombre de particules en suspension provoqués par la chute du charbon avec coffrage, sans coffrage (à sec), et sans coffrage encore mais en utilisant un pulvérisateur réputé excellent: Lechler, type K S 12 débitant 2,1 litres/minute à 5 kg/cm². Les résultats des comptages — moyenne de 8 à 12 plaques examinées deux fois pour chaque essai — sont rassemblés au tableau XVII.

tion « Mines et Minerais » a déposé un rapport que nous avons commenté à ce moment (45). Dans les conclusions de ses travaux, la Section « Mines et Minerais » reconnaissait l'efficacité des tensio-actifs dans le domaine de la lutte contre les poussières pour les applications suivantes : arrosage des déblais pendant le chargement, consolidation des soles, fixation des poussières sur les parements et

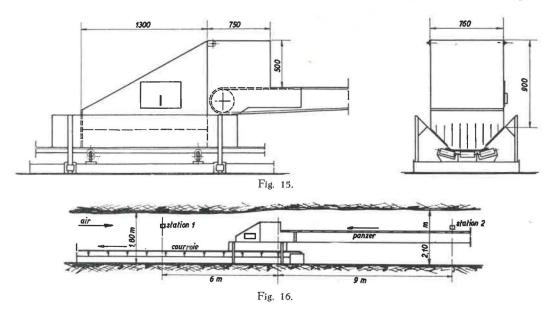


TABLEAU XVII

	Débit de la		Noml	ore de partici	ıles par cm	³ d'air	
Nature de l'essai	courroie berlines	avant déversement		après déversement			
	par heure	5-3 μ	3-1 μ	1-0,5 μ	5-3 µ	3-1 μ	1-0,5 μ
avec coffrage à sec	80	70	180	350	100	200	355
sans coffrage à sec	60	80	155	255	150	330	440
sans coffrage pulv. KS 12	60	50	125	240	115	235	350

On constate dès lors que, par rapport à la situation ancienne à sec, l'accroissement du nombre de particules de 5 à 0,5  $\mu$ , ramené à un même débit de charbon avant le point de déversement, est environ 10 fois moindre avec le coffrage.

Ces résultats sont remarquables ; nous nous gardons bien cependant de conclure à l'efficacité générale du procédé avant d'avoir poursuivi nos investigations dans ce domaine, les conditions d'essais étant trop favorables dans le cas présent.

d. Etude comparative de solutions tensio-actives destinées à la lutte contre les poussières dans les mines. Critères concernant leur efficacité.

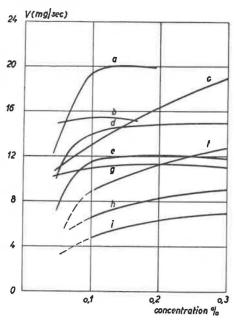
Au premier Congrès Mondial de la Détergence et des Produits tensio-actifs (Paris, 1954), la Sec-

les couronnes. Elle émettait le vœu que la collaboration déjà instituée entre producteurs et utilisateurs devienne encore plus intime aussi bien pour le choix judicieux des tensio-actifs, destinés à des essais ou des applications, en fonction des qualités particulières requises, que pour une connaissance exacte de leurs propriétés essentielles, notamment leur fonction chimique et leur teneur en matière active. Elle souhaitait de plus que les producteurs de tensio-actifs définissent, pour la lutte contre les poussières en général, des produits ou des mélanges dont l'efficacité mouillante s'accompagne du pouvoir moussant le plus faible possible et que les mesures de contrôle effectuées s'efforcent de distinguer les efficacités à l'égard des poussières de roches d'une part, de charbon d'autre part.

Pour rendre plus équitable la comparaison des qualités des « mouillants » commerciaux, nous avons donc décidé de ne retenir les résultats des essais qu'après avoir ramené les solutions à une même teneur en matière active. Cette première modification apportée à la norme « A. M. 95 » (46) nous a amenés à revoir les produits étudiés antérieurement (46), (47), (48), (49). Certains d'entre eux n'étant plus mis sur le marché, nous n'avons pu en retenir que cinq. Seize nouveaux tensio-actifs sont venus s'ajouter à cette liste.

Leur étude plus détaillée a permis de compléter notre norme par l'adjonction de critères supplémentaires relatifs à la vitesse d'immersion des particules schisto-gréseuses et au pouvoir moussant.

a. Pour les essais de vitesse d'immersion des poussières de rocher, nous avons suivi la même technique que celle qui a déjà été décrite pour les poussières de charbon, les mesures étant répétées de 12 à 24 fois par deux opérateurs distincts. Nous avons choisi une poussière provenant d'un mélange de roches du Houiller. L'analyse granulométrique en a été faite au moyen d'un micro-projecteur de grossissement 1.000 × dont le pouvoir de résolution est égal à 0,2 \(\mu\). Les résultats des comptages montrent qu'environ 60 % en nombre des particules sont inférieures à 1 μ et 95 % inférieures à 5 μ. La teneur en silice libre de ces poussières, déterminée par analyse chimique à l'acide pyrophosphorique, s'élève à 30,4 %; la teneur en silice totale, obtenue par gravimétrie, est de 53 %.



Tout comme pour les poussières charbonneuses, nous avons mesuré la vitesse de mouillage des poussières de roches avec des solutions en eau distillée à diverses concentrations. Ces résultats, exprimés en mg de poussières immergées par seconde, sont traduits graphiquement aux figures 17 et 18.

Fig. 17.

Connaissant la teneur en matière active des produits utilisés, on en a déduit par interpolation graphique la vitesse d'immersion à la concentration vraie de 0,1 %.

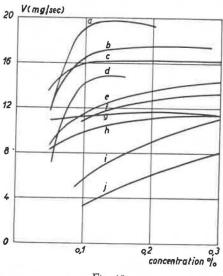
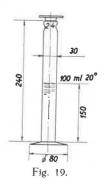


Fig. 18.

β. La définition et la mesure du pouvoir moussant des solutions tensio-actives sont assez arbitraires; des modes opératoires ont été établis et préconisés en fonction d'applications particulières. Après comparaison des tests les plus connus, nous nous sommes inspirés de la méthode mise au point par le Laboratoire de Chimie Physique de l'Université de Lyon. On introduit 20 cm³ de solution dans une éprouvette graduée de 100 cm³, avec bouchon rodé et de dimensions fixées une fois pour toutes (fig. 19). On agite l'éprouvette jusqu'au

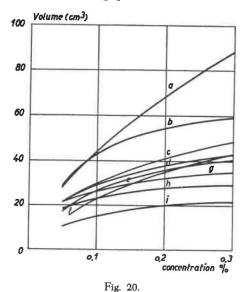


moment où la hauteur de mousse ne varie plus. On dépose l'éprouvette et on note le volume de mousse après 1 minute de repos. Les expériences se font à la température de 20 °C. Cette méthode a été appliquée à tous les produits systématiquement à la concentration 0,1 % et occasionnellement aux concentrations 0,05 et 0,3 % en produit commercial. Les résultats sont représentés graphiquement aux figures 20 et 21.

Comme nous l'avons fait pour les vitesses d'immersion, nous avons calculé, grâce à ces diagram-

mes, le volume de mousse pour des solutions à 0,1 % en matière active.

γ. Par la comparaison de toutes les valeurs obtenues lors de nos expériences, nous avons pu fixer des valeurs limites pour la tension superficielle, les vitesses d'immersion et le pouvoir moussant. Ce choix a entraîné l'élimination d'un certain nombre de « mouillants ». Parmi les 44 produits examinés, 9 satisfont à toutes les exigences. On trouvera au tableau XVIII leur classement en fonction des propriétés étudiées à la concentration 0,1 % en matière active et au tableau XIX les noms du fabricant et du fournisseur en Belgique.



Quant aux limites adoptées dans l'esprit même des vœux exprimés par la Section « Mines et Minerais » du premier Congrès Mondial de la Détergence et des Produits tensio-actifs, nous estimons que des produits tensio-actifs sont susceptibles d'améliorer la lutte contre les poussières de mine si leurs solutions en eau distillée à 0,1 % en matière active ont, dans nos conditions standardisées (50):

- une tension superficielle  $\leq$  35 dynes/cm;
- une vitesse d'immersion de poussières charbonneuses ≥ 3 mg/sec;
- une vitesse d'immersion de poussières schistogréseuses ≥ 12 mg/sec;
- un pouvoir moussant ≤ 45 cm<sup>3</sup>.

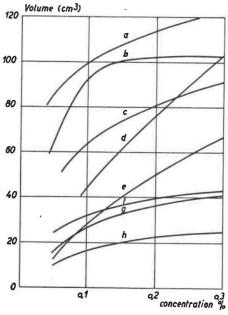


Fig. 21.

L'ensemble de ces conditions, à remplir simultanément par un même produit, constitue notre norme « A. M. 133 » qui remplace la norme « A. M. 95 ».

# TABLEAU XVIII Classement des produits tensio-actifs retenus.

Tension superfici o dynes/cm	elle	Vitesses d'imme V <sub>charbon</sub> mg/sec	ersion	Vitesses d'immers V <sub>roche</sub> mg/sec	ion	Pouvoir moussar cm³	ıt
Galoryl C	29,6	Tensoph. H. 85 (Dumacène)	> 12,5	Tensophène I. 10	19,5	Lessageen 100/50	18
Nonic 218	30,2	Nonic 218	12,3	Galoryl N. C. 41	19,2	Lissapol N	> 21
Tensophène H. 85 (Dumacène)	31,4	Lissapol N	9,4	Tensophène H. 85 (Dumacène)	17,4	Tensophène H. 85 (Dumacène)	23
Lessageen 100/50	31,5	Tensophène I. 10	8,3	Ninox B. J. O.	15.9	Galoryl N. C. 41	23
Ucepal P.O. 80	31,8	Ninox B. J. O.	7.9	Galoryl C	15,4	Tensophène I. 10	25
Lissapol N	31,9	Galoryl N. C. 41	6,2	Lissapol N	14,5	Ninox B. J. O.	26
Galoryl N. C. 41	32,5	Lessageen 100/50	5,3	Ucepal P.O. 80	14,4	Ucepal P.O. 80	32
Ninox B. J. O.	32,7	Ucepal P.O.		Lessageen 100/50	14,2	Nonic 218	42
Tensophène I. 10	33,1	Galoryl C	4.3	Nonic 218	13,0	Galoryl C	44

TABLEAU XIX
Origine des tensio-actifs retenus.

Produits	Fabricants	Fournisseur en Belgique
Galoryl C Galoryl N. C. 41	Compagnie Française de Produits Industriels, Asnières (Seine) France	
Lessageen 100/50	N.V. Chemische Fabriek Andrelon, Bodegraven - Hollande	S. A. Andrělon, 85, ch. de Malines, Hove (Anvers)
Lissapol N	Imperial Chemical Industries, Ltd. Manchester - England	Imperial Chemical Industries, Shell Building, 60, rue Ravenstein, Bruxelles
Ninox B. J. O.	Wyandote Chemicals Corporation, Wyandote, Michigan, U.S.A.	S. A. C.E.P.E.A., 41-43, rue E. Tollenaere, Bruxelles.
Nonic 218	Sharples Chemicals Inc. Philadelphia, Pa. U. S. A.	Et. Camille Honhon, 13, rue du Congrès, Bruxelles.
Tensophène H. 85 Tensophène I. 10	Société Carbochimíque à Tertre, Belgique	S. A. Tensia, 1b, rue Rouveroy, Liège.
Ucepal P. O. 80	Union Chimique Belge Bruxelles	Union Chimique Belge, 73, avenue Louise, Bruxelles.

### e. Retardateurs d'évaporation.

Dans le cadre de la lutte contre les poussières, on a abordé le problème de la stabilité du mouillage des produits abattus. On a tout d'abord étudié le comportement, par rapport à l'eau seule, de différentes solutions contenant des agents mouillants ou des produits hygroscopiques, comme le chlorure calcique, le sel de cuisine ou la glycérine. Les mêmes expériences ont ensuite été reprises en présence de charbon. Le but poursuivi est de relier les vitesses d'évaporation des divers liquides à la teneur en matières dissoutes à différentes concentrations, les autres conditions restant inchangées.

Comme la concentration des liqueurs essayées varie au cours du temps, on a imaginé la méthode suivante :

Des solutions de produits différents et de concentrations connues sont exposées à l'évaporation en même temps que de l'eau distillée. On pèse régulièrement les récipients tarés, ce qui permet de calculer la vitesse moyenne d'évaporation des divers liquides. Ces vitesses rapportées à celle de l'eau pure introduisent pour chaque produit un coefficient sans dimension que nous appellerons « coefficient d'évaporabilité » et que dorénavant nous désignerons par e. En reprenant les différentes déterminations expérimentales, on peut tracer la courbe  $e = f_1$  (t), t étant le temps mesuré à partir de l'état de l'expérience. On peut en même temps calculer

ou mesurer la variation des concentrations  $c=f_2(t)$  en fonction du temps. Le rapprochement de ces deux fonctions en fournit une troisième  $e=f_3(c)$  permettant de prévoir en une seule expérience le comportement par rapport à l'eau de solutions diversement concentrées et placées dans des conditions physiques déterminées.

Tous les essais ont été effectués à l'air du laboratoire.

La variation irrégulière de la température et de l'humidité naturelle de l'ambiance ne permet pas de tirer parti de tous les résultats. Il semble cependant que, dans les conditions expérimentales réalisées, on puisse réduire le taux d'évaporation de 10 à 50 % pour des solutions aqueuses à 20 % des différents produits soumis à l'examen. Les résultats en présence de charbon ont été les plus favorables.

Suite à ces résultats encourageants, les essais seront repris et élargis dans des conditions expérimentales stables à l'aide d'une étuve hygrostatique. Cet appareil permettra d'ailleurs de réaliser des ambiances plus voisines de celles des chantiers souterrains. f. Contrôle des masques anti-poussières.

Quatre nouveaux appareils respiratoires ont été contrôlés cette année. Le mode opératoire et les critères admis ont déjà été décrits dans cette revue (51). Les caractéristiques de ces masques et les résultats d'essai sont indiqués aux tableaux XX, XXI et XXII.

TABLEAU XX Caractéristiques techniques à l'état neuf.

Désignation des appareils	Poids Volume (g) intérieur (cm³)		Résistanc	es en dé	bit continu	de 50 lit	tres/minute
		(cm³)	In	nspiration		Expiration	
		clapet	filtre	préfiltre	total	(mm H <sub>2</sub> O)	
Dräger « Stinnes Zeche »	300	260 *	0,5	3,5	1,0	5,0	2,0
Dräger 74-545 Dräger 73-10853 Dräger 73-545	205 145 140	250 * 160 160	1'0 4,0 4,0		2,0 2,0 2,0	10,0 16,0 16,0	5,0 5,5 5,5

<sup>\*</sup> couvre-face englobant le menton.

TABLEAU XXI Pouvoir de rétention vis-à-vis de particules < 5  $\mu$ 

Désignation des appareils	Pouvoirs de rétention en %, après			Moyenne de 95 % (imposée après 3 heures)				
	30 min.	бо тіп.	90 min.					
Dräger Stinnes Zeche	98,4	99,4	99,6	dépassée	déjà	après	30	minute
Dräger 74-545	98,0	99,3	99,4	»	>	>>	×	>
Dräger 73-10853	98,6	98,8	99,5	»	>	>>	>>	>>
Dräger 73-545	97,4	98,9	99,6	»	>>	>>	>>	*

TABLEAU XXII Variations de la résistance à l'inspiration (débit continu de 50 litres/ minute)

Désignation des appareils	résistance initiale (mm H <sub>2</sub> O)	après 90 min d'essai (mm H <sub>2</sub> O)	après décolmatage par chocs (mm H <sub>2</sub> O)
Dräger Stinnes Zeche	5,0	8,0	7,5
Dräger 74-545	10,0	16,0	12,0
Dräger 73-10853	16,0	21,0	18,0
Dräger 73-545	16,0	22,0	17,0

Ces quatre modèles ont un pouvoir de rétention remarquable. Deux cependant, bien que supérieurs à de nombreux masques utilisés encore récemment, sont à écarter du point de vue « gêne respiratoire ».

En conséquence, parmi les 42 appareils respiratoires essayés jusqu'à ce jour (52), (53), (54) 13

satisfont à nos exigences basées sur des essais de laboratoire.

Le tableau XXIII énumère les modèles approuvés et donne les caractéristiques faisant l'objet des contrôles : pouvoir de rétention en % et « gêne respiratoire » exprimée en mm d'eau pour un débit d'air continu de 50 litres/minute.

TABLEAU XXIII
Masques anti-poussières satisfaisant aux normes

Type de masques (en ordre alphabétique)	Pou	voir de réte %	ntion	Gêne res	
	après 30 min	après 60 min	après 90 min	inspiration	expiration
Auer Kollix 2620 (2625)	97,0	97,5	98,4	7,0	3,5
Bartels-Rieger	86,3	93.7	98,4	10,5	4,0
Brison 6 F. I. 14	.3	33.1	9-1-1	10,5	4,0
couvre face S	90,б	91,7	94,0	7,0	2,8
Brison 7 LN « en forme » double paroi 5				1,-	
couvre face S	94,3	95,2	96,1	5,0	2,4
couvre face GN à clapets collés	94,3	95,2	96,1	5,0	2,8
couvre face GN à clapets boutonnés	94,3	95,2	96,1	5,0	4,0
Brison 7 LN «en forme» double paroi 8,5					
couvre face S	92,8	94,8	97,0	6,5	2,4
couvre face GN à clapets collés	92,8	94,8	97,0	6,5	2,8
couvre face GN à clapets boutonnés	92,8	94,8	97,0	6,5	4,0
Dräger 70-545	92,5	96,0	99,0	9,0	3,0
Dräger 99-545	92,5	96,0	99,0	13,0	3,5
Dräger Stinnes Zeche	98,4	99,4	99,6	5	2
Dräger 74-545	98,0	99,3	99,4	10	3
Fernez , , ,	98,0	98,2	99,2	4,5	2,0
G. M. I.B. , , , ,	91,4	93.3	98,2	7,0	5,0
Nº 430 de Prévoyance Industrielle					
(Industrie de Protection)	93,8	97.3	96,4	7,5	2,5
S. F. A. 31-150 (modifié)	88,6	89.7	96,0	5,0	3,5

Signalons cependant que 4 de ces appareils retenus sont à la limite du maximum toléré à l'inspiration après 90 minutes d'essai dans nos conditions standardisées; il s'agit de masques Dräger 99-545 et 74-545, Brison 6 F. I. 14 et du n° 430 de Prévoyance Industrielle (Industrie de Protection).

Finalement, indépendamment de facteurs tels que le prix d'achat, le poids, la durée de service,... quatre masques se détachent nettement par leurs performances au cours de l'essai en laboratoire : le Auer Kollix 2620 (2625), le Brison 7 L. N. double paroi 5, le Dräger Stinnes Zeche et le Fernez.

# Ventilation et climatisation des mines profondes.

# A. Etude de la ventilation par analogie électrique.

Trois charbonnages nous ont consultés cette année en vue d'étudier par analogie électrique leurs problèmes d'aérage minier. Il nous paraît intéressant de relater ici les observations de caractère général auxquelles nous ont conduits ces études.

a. Dans un premier charbonnage, divers quartiers de la mine situés à des distances très inégales

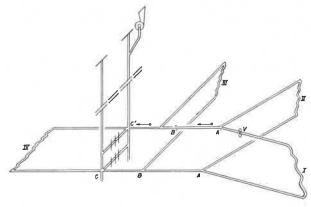
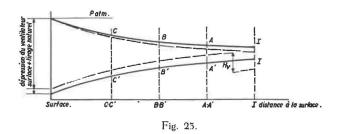


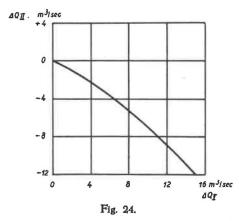
Fig. 22.

des puits sont alimentés en air par deux bouveaux généraux d'entrée et de retour d'air (fig. 22). En vue d'améliorer l'aérage du quartier le plus éloigné, il a été décidé d'installer dans son retour d'air un ventilateur fractionnaire V. On s'est demandé quelle serait l'influence de ce ventilateur sur les quartiers voisins et comment on pourrait éventuellement réduire cette répercussion à une valeur acceptable. Sans que l'on doive recourir à des calculs compliqués, il est aisé de comprendre que la mise en

marche du ventilateur fractionnaire entraîne une augmentation de l'orifice équivalent de la mine, donc une majoration du débit total. Par conséquent, l'allure tombante de la caractéristique du ventilateur de surface et l'accroissement des pertes de charge le long des puits et des bouveaux provoquent une diminution de la force aéromotrice assurant la ventilation des circuits dérivés successivement sur ces bouveaux. La figure 23 illustre cette considération : elle représente la chute de force aéromotrice le long du réseau d'aérage suivant que le ventilateur fractionnaire est à l'arrêt ou fournit une dépression H<sub>v</sub>. Il est clair que ce sont les quartiers les plus voisins du ventilateur fractionnaire qui subissent la plus grande chute de débit. La perte qu'ils éprouvent ne peut évidemment atteindre le gain réalisé dans le circuit du ventilateur fractionnaire puisqu'au total le débit a augmenté.



L'étude par analogie électrique a fourni un apport supplémentaire à ces considérations qualitatives. Il a été en effet possible de calculer quelle serait la réduction de débit  $\Delta\,Q_{II}$  dans le quartier II, par exemple en fonction de l'accroissement  $\Delta\,Q_{I}$  obtenu dans le quartier I. Le diagramme de la figure 24 indique de manière graphique la relation entre  $\Delta\,Q_{I}$  et  $\Delta\,Q_{II}$ . Ce diagramme montre clairement que, pour des petites variations du débit  $Q_{I}$ . la réaction sur les quartiers voisins est modérée. Par



contre, lorsque le ventilateur est suffisamment puissant pour créer un appel d'air supplémentaire représentant un pourcentage élevé (par exemple 50 %) du débit des chantiers voisins, ce dernier subit finalement une diminution —  $\Delta$   $Q_{\rm II}$  presque égale en valeur absolue à  $\Delta$   $Q_{\rm I}$ ; le débit total augmente de

moins en moins. Notons encore que cette interdépendance entre les débits de quartiers voisins est d'autant plus grande que la perte de charge dans les puits et les galeries est plus importante : dans le cas envisagé, la force aéromotrice disponible à l'entrée du quartier I avant la mise en marche du ventilateur fractionnaire n'atteignait pas 10 % de la force aéromotrice totale (ventilateur de surface et aérage naturel). Par conséquent, lorsqu'on se trouve dans l'obligation d'augmenter considérablement l'aérage d'un quartier, il convient de s'assurer si la résistance des circuits généraux d'aérage n'est pas trop élevée auquel cas certains quartiers voisins pourraient voir leur débit exagérément réduit. Le cas échéant, on devra recarrer certains tronçons de galerie pour limiter ce désagrément.

L'étude a encore démontré que si l'on réduit, même considérablement, l'ouverture de certains quartiers, la réduction de débit ainsi réalisée ne profite guère à d'autres chantiers séparés des premiers par des bouveaux relativement résistants.

- b. Un autre charbonnage nous a également demandé d'étudier les possibilités d'aérage d'un quartier en extension, présentant une entrée d'air commune avec d'autres travaux mais un retour séparé de grande résistance. On s'est aperçu que la perte de charge actuellement faible d'un court tronçon de bouveau commun à plusieurs quartiers deviendrait prohibitive dans la nouvelle répartition d'aérage. Les mesures de pertes de charge avaient par ailleurs mis en évidence l'influence défavorable d'une partie du puits de retour d'air. Le charbonnage a donc décidé de remettre à section ce bouveau et ce tronçon de puits. Nous avons encore étudié le bénéfice que procurerait le recarrage complet du retour d'air du quartier en extension et la puissance du ventilateur fractionnaire qui donnerait le même débit sans ce recarrage complet.
- c. Dans un troisième charbonnage, il s'agit d'exploiter simultanément deux tranches séparées par une troisième complètement épuisée qui comprend le niveau principal d'extraction. On désire profiter au maximum des anciennes voies et anciens travaux pour ramener au niveau supérieur de retour, l'air en provenance de la tranche inférieure. Nous avons comparé les diverses variantes possibles et recherché l'emplacement optimum de ventilateurs fractionnaires disponibles.
- d. A l'occasion de ces études, nous avons pu étendre notre documentation en ce qui concerne les pertes de charge de divers types de puits et galeries. Cette documentation se complète d'ailleurs de renreignements analogues, puisés dans des revues étrangères.

Parmi les constatations d'ordre général que nous avons été amenés à faire, mentionnons les deux suivantes :  l'importance toujours considérable des pertes de charge dans les puits, constituant le plus souvent 50 % de la résistance totale de la mine,

— l'inégale répartition des pertes de charge dans les travaux suivant le type de gisement et les méthodes d'exploitation; dans les vieux bassins, il arrive que la perte de charge des tailles soit négligeable vis-à-vis de celle des voies, surtout vis-à-vis des bouveaux généraux d'entrée et de retour d'air; en Campine, au contraire, les tailles et les voies de chantier restent toujours un élément important de la résistance totale, bien que certains bouveaux généraux, même claveautés, absorbent une partie non négligeable de la force aéromotrice du ventilateur principal.

#### B. Réfrigération des chantiers souterrains.

Aucune installation nouvelle n'a été démarrée cette année ; par ailleurs, la réception d'installations existantes n'a pas été demandée à l'Institut d'Hygiène des Mines.

a) Essais d'un prototype d'échangeur de taille.

Certaines questions ont fait l'objet de recherches nouvelles, notamment la répartition de frigories en taille. Un constructeur a imaginé un échangeur-refroidisseur dans lequel l'air circule dans les tubes lisses de faible diamètre, entourés par une circulation d'eau froide. Ce type de construction est plus compact et plus robuste que le système habituel consistant à souffler l'air entre les tubes. Il pourrait donc être installé au tiers supérieur de la taille, en vue d'y assurer un refroidissement et un assèchement complémentaires à ceux réalisés dans la voie de base. Encore faut-il être certain que la teneur éventuellement élevée en poussières de l'air aspiré dans l'appareil n'en altère pas rapidement l'efficacité.

Sur le trajet de l'air, on trouve successivement les appareils suivants:

- Un générateur de poussières maintenu en dépression par un éjecteur à air comprimé. Le réglage de la dépression permet de faire varier le débit d'air poussièreux et indirectement la granulométrie de la poussière mise en suspension; cette granulométrie est plus grossière lorsque la dépression est plus élevée.
- Une chaufferette de puissance réglable, insérée dans le circuit d'air comprimé. Le réglage de cette puissance a une action prépondérante sur la température sèche et une action moindre sur la température humide de l'air. Nous avons préféré réchauffer l'air comprimé plutôt que l'air aspiré afin d'éviter le risque de combustion des poussières.
- Une bouilloire électrique munie d'une alimentation en eau à niveau constant et raccordée sur une tension réglable, permet d'ajouter une quantité variable de vapeur saturée à l'air poussiéreux. Ce réglage influence de manière prépondérante la température humide et n'a que très peu d'action sur la température sèche.
- Un canar de 300 mm, pour l'homogénéisation du mélange air, vapeur, poussières.
- Un psychromètre à aspiration prélevant un filet d'air au centre du canar.
- Un caisson avec dé de Soxhlet pour prélèvement d'un échantillon d'air poussiéreux, ainsi qu'une prise pour déprimomètre (manomètre en U).
- Le faisceau tubulaire alimenté par une circulation d'eau froide, en l'occurrence de l'eau de ville à environ 17° C.
- Un caisson avec dé de Soxhlet pour prélèvement d'air poussiéreux et récolte de l'eau condensée, ainsi qu'un thermocouple de contrôle de la température de l'air à la sortie du faisceau.

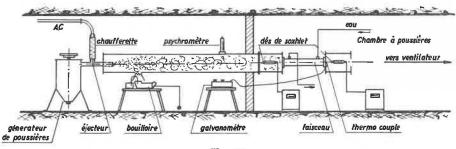


Fig. 25.

C'est pourquoi un prototype à échelle réduite a été soumis à des essais dans la chambre à poussières de l'Institut d'Hygiène des Mines en vue de vérifier les risques de colmatage en atmosphère poussiéreuse et humide. Il nous paraît intéressant de donner quelques précisions concernant ces essais dont l'intérêt dépasse le but particulier de la réfrigération des chantiers miniers.

Le montage utilisé est représenté à la figure 25.

La puissance des appareils de chauffage a été réglée de façon à obtenir à l'entrée du faisceau une température sèche de 31 °C et une température humide de 30 °C. Le faisceau étant partout à une température de l'ordre de 17 à 18 °C, la condensation de la vapeur d'eau se produit dès l'entrée de l'air poussiéreux dans l'appareil, ce qui nous paraît une circonstance normale pour un engin de climatisation minière. Le ventilateur dont nous disposions nous a obligés à réaliser tous les essais sous une

force aéromotrice constante de 70 mm de colonne d'eau. Pour cette dépression, la vitesse de l'air dans les tubes propres était de l'ordre de 20 m/sec; l'encrassement progressif de l'appareil a ramené finalement cette vitesse à environ 50 % de sa valeur initiale. Quant à la teneur en poussières de l'air insufflé, elle a été en moyenne de 2 g/m³ pour un premier essai de courte durée, 50 mg/m³ pour un troisième (4 heures). Les deux premières teneurs doivent être considérées comme extrêmes et peu fréquentes, la troisième est plus courante dans les chantiers d'abattage.

La poussière utilisée était un mélange de charbon et de schistes contenant 27 % de matières minérales, que l'on a récoltée dans la voie de retour d'air en aval d'un chantier; cette poussière est relativement hydrophobe. Sa granulométrie est conforme au tableau XXIV.

# TABLEAU XXIV

-	Pourcentage des particules inférieur							
Essai	ο,5 μ	1 μ	3 μ	5 μ	env. 30 μ			
III	4.5 0.9	27,7 10,3	71,5 51,9	83,5 79,4	100 100			

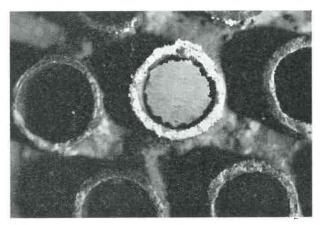


Fig. 26.

Les mesures conimétriques effectuées permettent de se faire une idée du comportement moyen de l'appareil au cours des essais. Dans aucun cas, l'obstruction complète n'a pu être réalisée. Dans le cas le plus défavorable, le dépôt de poussières ne dépassait pas en épaisseur moyenne 10 % du rayon des tubes (fig. 26). Lors de l'essai II de 5 heures avec une teneur initiale de 47.8 mg/m³, 80 % du poids des particules insufflées sont restés dans l'appareil; lors de l'essai III de 4 heures avec une teneur de 245 mg/m³, la rétention moyenne fut par contre de 65 %.

L'analyse du comportement thermique de l'appareil permettra de comprendre ces chiffres, à première vue surprenants. Pour cette analyse, nous avons procédé, à intervalles réguliers de 5 minutes, à la mesure des températures sèche et humide de l'air en amont et en aval de l'appareil; nous avons également relevé périodiquement la température de l'eau, la vitesse de l'air en un point et la quantité d'eau condensée récupérée à la sortie du faisceau tubulaire. Les deux dernières mesures étaient destinées à permettre une évaluation indirecte du débit d'air, qui n'a pu être contrôlé directement par suite de la présence des dispositifs de captage des poussières. On a en effet, en supposant constant le poids spécifique de l'air:

$$\frac{Q}{Q_o} = \frac{V}{V_o} = \frac{P/\Delta x}{P_o/\Delta x_o}$$
 [1]

en désignant par Q le débit d'air (en m³/h), par V la vitesse en un point (en m/sec), par P le débit du condensat (kg/h), par  $\Delta x$  la variation d'humidité absolue de l'air traversant le faisceau ; l'indice zéro se rapporte aux valeurs initiales des grandeurs considérées. Les mesures de température permettent d'autre part de suivre l'évolution des échanges calorifiques entre l'air et l'eau. On peut en effet égaler les deux expressions de la chaleur passant par heure de l'air à l'eau :

$$P_a \Delta j = k S \Delta t \text{ ou } \frac{\Delta j}{\Delta t} = \frac{k S}{P_a}$$
 [2]

Dans ces formules,  $P_a$  est le débit pondéral d'air (kg/h),  $\Delta j$  est la variation d'enthalpie de l'air entre l'entrée et la sortie du faisceau tubulaire, S est la surface d'échange  $(m^2)$ , k le coefficient de transmission global  $(kcal/m^2 \ h \ ^{\circ}C)$  et  $\Delta t$  l'écart logarithmique moyen de température entre l'air et l'eau, calculable par la formule :

$$\Delta t = \frac{\Delta t_g - \Delta t_p}{2.3 \log \frac{\Delta t_g}{\Delta t_p}}$$

 $\Delta t_g$  et  $\Delta t_p$  étant respectivement le plus grand et le plus petit écart de température entre les deux fluides

En considérant les valeurs initiales des grandeurs intervenant dans la relation [2], on obtient

$$\frac{(\Delta j)_o}{(\Delta t)_o} = \frac{k_o S}{P_{a,o}}$$
 [3]

et par division membre à membre des relations [2] et [3]:

$$\left(\frac{k/k_o}{P_a/P_{a,o}}\right) = \frac{k/k_o}{Q/Q_o} = \left(\frac{\Delta j/\Delta j_o}{\Delta t/\Delta t_o}\right) \qquad [4]$$

Toutes les grandeurs du second membre étant calculables à partir des mesures de températures, la formule [4] permet de calculer la variation du coefficient k en fonction de celle du débit.

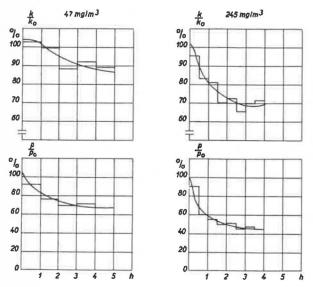


Fig. 27.

L'utilisation de ces formules nous a conduits au tracé de la figure 27 qui donne, pour deux essais, les variations en % du débit et du coefficient de transmission pour une force aéromotrice constante de 70 mm de colonne d'eau. Ces courbes semblent montrer qu'après un certain temps, un équilibre s'établit dans les tubes dont l'encrassement ne progresse plus. Cet état d'équilibre a été plus rapidement atteint au cours de l'essai à forte teneur en poussières. On doit donc supposer que la rétention de celles-ci, qui est pratiquement totale au début, devient de plus en plus faible à mesure que l'appareil se colmate : les rétentions de 80 et 65 % que nous avons signalées correspondent probablement à la moyenne de rétentions initiales voisines de 100 % et tendant progressivement vers zéro. Suivant cette conception, le chiffre élevé de 80 % s'expliquerait par le fait qu'après 5 heures d'empoussiérage à raison de 47 mg/m³, la stabilité de l'encrassement n'était pas encore obtenue dans l'échangeur. L'existence d'un état d'équilibre dans l'encrassement de l'appareil peut s'expliquer aisément. En effet, le dépôt de poussières sur les parois se fait surtout par impact des particules entraînées par les filets d'air turbulents; ces poussières hydrophobes adhèrent les unes aux autres et forment des agrégats plus ou moins dendritiques et en tout cas très poreux. A mesure qu'ils se développent, ces édifices deviennent plus instables et sont plus facilement érodés par le courant d'air dont la vitesse tend à s'accroître puisque la section se rétrécit. Il existera donc finalement un équilibre entre la quantité de poussières précipitée et celle emportée par l'érosion.

Si la teneur en poussières de l'air entrant augmente, le dépôt sur les parois s'accroît; l'équilibre ne pourra être restauré que pour des valeurs plus élevées de l'érosion, impliquant des édifices dendritiques plus élevés ou une vitesse de l'air plus grande. Comme la variation de vitesse résulte non seulement de l'encrassement (rétrécissement de la section et augmentation de la rugosité), mais encore de la caractéristique du ventilateur, on comprend aisément que l'encrassement limite sera d'autant moindre que la caractéristique du ventilateur est plus raide. Les essais auxquels nous avons procédé sous dépression constante donnent donc une idée exagérée de l'influence de la teneur en poussières de l'air sur l'encrassement des tubes.

Une deuxième conclusion importante qui se dégage de ces essais est que l'influence de l'encrassement sur le coefficient de transmission est modérée. Cela s'explique selon nous par deux considérations. D'abord, l'encrassement des tuyaux provoque un accroissement de la rugosité et de la turbulence qui est favorable aux échanges par convection et évaporation et qui compense (peut-être « surcompense ») l'influence de la diminution de débit et de diamètre dus à l'encrassement. Cette influence serait sans doute moindre si le nombre de Reynolds initial était plus élevé que 1,3 × 104, qui est encore relativement proche de la zone de transition entre

écoulements laminaire et turbulent.

En deuxième lieu, l'humidité de l'air est telle que les échanges calorifiques sont essentiellement dus au déséquilibre de tension de vapeur entre l'eau liquide condensée sur les tubes et la vapeur d'eau présente dans l'air. La présence des poussières, assemblées par agrégats peu denses et relativement poreux, n'affecte guère la diffusion des molécules d'eau de la phase gazeuse vers la phase liquide.

Nous avons d'ailleurs procédé à des mesures directes de densité apparente du dépôt récolté dans le tube, mesures qui en ont démontré la très faible compacité.

Parmi les observations accessoires qui justifient les explications ci-dessus, signalons que l'eau condensée n'emporte pratiquement aucune poussière, tandis que l'on peut récolter par impact sur une tôle placée à la sortie des tubes de très gros agrégats de poussières (de l'ordre du mm).

En conclusion, on peut espérer qu'un faisceau de tubes lisses de faible diamètre, traversé par un courant d'air poussiéreux et provoquant la condensation d'humidité par refroidissement de cet air, ne sera pas facilement obstrué et que ce type de construction peut être utilisé pour des échangeurs à installer en taille. Le risque d'encrassement sera réduit par l'adoption d'un ventilateur donnant une grande augmentation de pression pour une faible diminution de débit. Enfin, on peut estimer que le coefficient de transmission de chaleur (qui détermine le nombre de frigories cédées par un appareil de dimensions données recevant de l'air et de l'eau à des températures déterminées) ne sera pas réduit par un encrassement normal à moins de 60-70 % de la valeur obtenue pour l'appareil propre, valeur d'ailleurs très élevée.

### b. Technique de la climatisation minière.

En dehors de ces travaux de laboratoire relatifs aux appareils de climatisation à installer dans la taille, l'Institut a également poursuivi des recherches d'ordre plus général concernant la technique de la climatisation minière. A l'occasion du IXe Congrès international du Froid tenu à Paris en septembre 1955, nous avons présenté dans trois communications la synthèse de nos connaissances sur cette question.

α. Dans une première communication, nous avons expliqué comment les apports de chaleur et d'humidité se produisant le long du parcours souterrain de l'air aggravent inéluctablement le climat des chantiers, lorsque ceux-ci atteignent une profondeur telle que la roche vierge y possède une température de ... 45 ... 50 °C. Nous avons exposé comment la réfrigération artificielle de l'air, appliquée dans divers charbonnages belges, a pallié efficacement ces difficultés climatiques.

La climatisation minière à grande échelle ne peut se pratiquer de façon vraiment économique que si la centrale de production du froid est installée en surface, certains cas particuliers permettant cependant de justifier l'emplacement au fond de machines frigorifiques de puissance modérée.

β. Dans notre deuxième communication au IXe Congrès international du Froid, nous avons passé en revue les divers artifices permettant d'obtenir des centrales frigorifiques particulièrement économiques. Nous reprenons ci-après quelques inédits de cette communication.

### Le choix du fluide frigorigène.

Le choix du fluide frigorigène entraîne des répercussions importantes quant à la structure des appareils dans lesquels le cycle frigorifique sera parcouru. En dehors des pressions d'aspiration et de refoulement et du rapport de ces pressions dont l'influence est évidente, il y a encore lieu de considérer le volume de fluide devant être aspiré pour un effet frigorifique donné (qui conditionne essentiellement les dimensions et même le type du compresseur), et le rendement du cycle frigorifique. Dans le cas des installations de réfrigération minières, il nous a paru opportun d'effectuer le calcul de ces diverses grandeurs pour un cycle-type décrit entre les températures de o °C à l'évaporateur et de 30 °C au condenseur.

Le tableau XXV donne le résultat de nos calculs pour l'ensemble des fluides théoriquement utilisables dans cet intervalle de températures. Nous les avons séparés en deux groupes correspondant respectivement aux faibles et aux forts débits volumétriques pour une même production de froid. Le premier groupe convient bien aux compresseurs à pistons qui deviendraient trop encombrants avec la

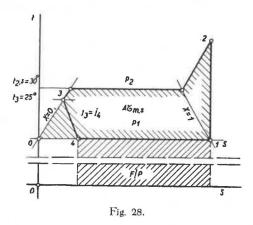
TABLEAU XXV Comparaison des fluides frigorigènes.

Fluide frigorigène		pression		V	$F/N_s$	ης
	aspi- ration (kg/cm²)	refou- lement (kg/cm²)	rapport	m <sup>3</sup> /10 <sup>6</sup> frig	(frig/ ch/h)	(%)
NH <sub>3</sub> ammoniac	4,379	11,895	2,73	1.061	5.390	93,6
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> propane	4,776	11,02	2,3	1.290	4.975	86,7
CH3Cl chlorure de méthyle	2,609	6,658	2,65	1.890	5.390	93,6
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> butane	1,068	2,925	2,73	4.570	(5.020)*	(87.5)*
$C_4H_{10}$ . isobutane	1,6325	4,183	2,56	3.353	(4.760)	(83.0)
SO <sub>2</sub> anhydride sulfureux	1,585	4,710	2,98	2.650	5.195	90,6
CHF <sub>2</sub> Cl fréon 22	5,10	12,26	2,40	1.130	5.070	88,1
CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> fréon 12	3,1465	7,581	2,41	1.816	4.900	85,3
26,2% CH <sub>3</sub> -CHF <sub>2</sub> + $75,8%$ CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>						
= Carrène 7 (azéotrope) .	3,705	8,502	2,30	1.540	(4.950)	(86,5)
CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> chlorure de méthylène	0,190	0,703	3,70	18.050	(5.270)	(91,7)
CHFCl <sub>2</sub> fréon 21	0,7226	2,198	3,03	5.800	4.960	86,6
CFCl <sub>3</sub> fréon 11	0,4100	1,2855	3,14	10.050	5.530	96,6
$C_2F_3Cl_3$ fréon 113	0,1530	0,5527	3,61	24.600	(4.950)	(86,5)

deuxième classe de fluides dans la gamme des puissances considérées (0,5 à 1 million de frigories/ heure). Cette deuxième classe convient bien par contre aux compresseurs centrifuges qui ne sont constructivement réalisables que pour des débits élevés.

Les rapports de compression sont par ailleurs modérés et permettent l'emploi de tous les types de compresseurs; la compression étagée (machines compound) ne se justifie pas pour les machines à pistons; quant aux compresseurs centrifuges, ils comporteront nécessairement deux ou trois roues tournant à grande vitesse (... 6.000 ... tours/minute).

Dans le tableau XXV, on trouve encore la puissance frigorifique spécifique ou rapport de la production frigorifique F (frigories/heure) à la puissance N<sub>S</sub> requise par une compression isentropique; la figure 28 représente dans un diagramme (T,S) le cycle frigorifique théorique pour lequel notre calcul est valable. Nous avons finalement déterminé le rapport η<sub>c</sub> de la puissance frigorifique spécifique qui serait obtenue dans le cas d'un cycle de Carnot décrit entre 0 et 30 °C, à la puissance F/N<sub>S</sub> réalisable dans le cas du cycle frigorifique de la figure 28.



En examinant la dernière colonne du tableau XXV, on constate que le cycle le plus avantageux est obtenu avec le fréon 11, ce fluide impliquant l'emploi d'un compresseur centrifuge. L'ammoniac, classiquement utilisé dans les machines à pistons, est également le plus économique pour ces dernières, bien que le rendement de son cycle soit de 3 % inférieur à celui du fréon 11.

#### - Le choix du type de compresseur

La comparaison doit, d'après ce qui précède, se limiter aux compresseurs centrifuges aspirant du fréon 11 et aux machines à piston aspirant de l'ammoniac. L'analyse détaillée des pertes de ces deux types de machines conduit à la conclusion qu'il est impossible de les départager du seul point de vue thermodynamique. En effet, les compresseurs à pistons sont désavantagés par leur rendement mé-

canique (ou « organique ») dépassant rarement 90 %, et par les pertes supplémentaires dues à l'existence de l'espace mort et aux laminages dans les soupapes, pertes dont tient compte le « rendement indiqué » ; de leur côté, les compresseurs centrifuges introduisent des frottements considérables pendant la compression du gaz, frottements dont leur faible rendement isentropique interne (de l'ordre de 0,75) est la conséquence. Mais l'existence de deux ou trois roues permet de remédier dans une certaine mesure à ce désavantage, car on peut, moyennant de minimes modifications constructives, fractionner la détente en deux ou trois temps et réaspirer les vapeurs intermédiaires entre les roues (fig. 29). Ces vapeurs froides abaissent la température du fluide dans les étages suivants et y réduisent le travail de compression malgré un léger accroissement du débit.

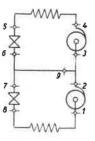


Fig. 29.

Finalement, avec les deux types de machines, la production de froid pour une puissance donnée à l'accouplement peut atteindre au mieux 76 % de ce qu'elle serait dans le cas d'un cycle de Carnot. Mais les machines centrifuges seraient beaucoup moins économiques si elles ne profitaient des accroissements de rendement que procurent l'emploi du fréon 11 et la détente fractionnée avec réaspiration des vapeurs intermédiaires.

### L'utilisation d'eau à basse température, disponible en débit limité.

La chaleur soustraite à l'air climatisé augmentée de l'équivalent calorifique de l'énergie mécanique consommée en divers points de l'installation doit être évacuée des condenseurs des machines frigorifiques. Le débit d'eau utilisé à cette fin est très important et, dans les grandes centrales frigorifiques minières situées loin des cours d'eau, on fait généralement circuler en circuit fermé l'eau de refroidissement, elle-même rafraîchie par évaporation partielle, soit directement (dans les condenseurs à ruissellement), soit dans un réfrigérant atmosphérique séparé.

On dispose souvent d'un appoint limité d'eau froide, à température notablement inférieure à celle couramment obtenue dans les réfrigérants atmosphériques. Nous avons déjà signalé que cette eau est utilisée de la façon la plus économique, en

opérant un sous-refroidissement de l'ammoniac liquide condensé (1). Mais à la sortie des sous-refroidisseurs, elle est encore bien souvent à une température relativement basse; par ailleurs, le sous-refroidissement n'est pas applicable aux machines centrifuges fonctionnant suivant le schéma de la figure 29, avec détente fractionnée et réaspiration des vapeurs intermédiaires. Nous avons donc étudié l'intérêt de l'utilisation de cette eau pour alimenter les condenseurs.

Lorsqu'il s'agit d'une installation en projet, il est toujours possible de calculer une des machines de manière telle que son condenseur puisse être alimenté uniquement avec l'appoint d'eau froide. La machine pour laquelle l'économie résultante sera la plus élevée est toujours celle où la température d'évaporation est la plus basse. On peut prouver que cette économie sera maximum lorsque la puissance de cette unité est telle que l'eau froide soit réchauffée dans son condenseur jusqu'à une température égale à celle de l'eau qui alimente les condenseurs des autres unités. Cependant, on ne suivra cette règle que si la puissance ainsi déterminée n'est pas trop différente de celle des autres unités constitutives de l'installation ; en particulier, si le débit d'eau d'appoint est très petit, le gain de rendement obtenu ne justifierait pas la dissymétrie introduite par une machine de très petite puissance, dotée d'un système de condensation séparé.

Lorsqu'il s'agit d'installations existantes, le problème se pose différemment. Désignons par ta (°C) la température de l'eau d'appoint et par tb (°C) celle de l'eau assurant normalement la condensation, soit encore Qc(kcal/h) la quantité de chaleur à évacuer du condenseur de l'unité dont la température d'évaporation est la plus basse. Commençons par y envoyer le débit maximum Pa (kg/h) d'eau de la température ta; ajoutons-y ensuite les débits croissants Pb (kg/h) d'eau à cette tb. A chaque valeur de P<sub>b</sub> correspond une température de condensation tc. Il va de soi que l'on cherchera à rendre te minimum. Le calcul montre que, si l'écart t<sub>b</sub> — t<sub>a</sub> est relativement petit ou le débit P<sub>a</sub> faible, il existe un débit P<sub>b</sub> optimum à ajouter à l'eau la plus froide. En général, il sera cependant plus économique d'utiliser séparément l'eau à la température ta, du moment que son débit Pa (kg/h) est supérieur à l'une des deux valeurs suivantes :

$$Q_c/2\Delta t$$
 ou  $Q_c/(t_h-t_a)$ ,

en désignant par  $\Delta$ t l'écart de température entre fluides dans le condenseur.

Ces considérations montrent que l'exploitation rationnelle des centrales frigorifiques minières peut dans certains cas poser des problèmes relativement complexes.

γ. Dans notre troisième communication au IX<sup>e</sup> Congrès international du Froid, nous avons étudié spécialement le problème du transport des frigories depuis la surface où elles sont produites jusqu'au fond où elles sont cédées à l'air dans des échangeurs situés au voisinage des chantiers. En pratique, le transport du froid se ramène à l'établissement d'une circulation d'eau ou de saumure descendant froide dans le fond et revenant tiède en surface.

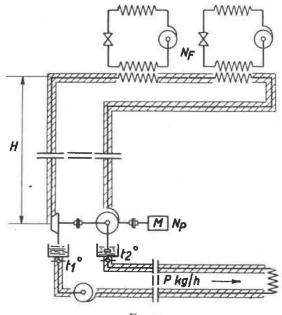
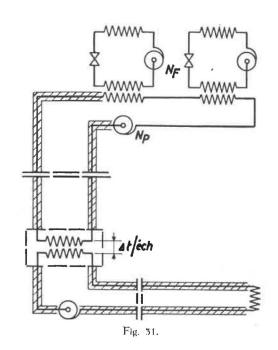


Fig. 30.



Mais il faut éviter que la haute pression statique acquise par le liquide frigorifère à grande profondeur (100 kg/cm² à 1.000 m pour l'eau) ne soit appliquée à toutes les conduites et appareils du fond. Jusqu'à présent, deux solutions représentées schématiquement aux figures 30 et 31 ont été utilisées dans les charbonnages belges pour tourner cette difficulté.

Suivant la figure 30, l'énergie de chute de l'eau descendant dans le puits est récupérée dans une turbine hydraulique qui actionne, avec un moteur électrique, la pompe d'exhaure ramenant la même eau en surface. Etant donné les débits et les hauteurs de chute, cette turbine est en pratique du type Pelton, engin très compact et très robuste (rotor massif de diamètre 500 mm, jeux de plusieurs centimètres entre pièces fixes et mobiles). A l'usage, cette turbine s'avère plus sûre que la pompe d'exhaure multicellulaire, dont l'emploi est général dans les mines.

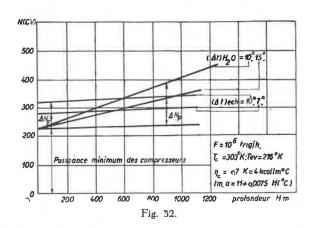
Sur le schéma de la figure 31, le groupe turbinepompe est remplacé par un échangeur de construction appropriée, dont le circuit primaire peut supporter la haute pression du liquide venant de la surface.

Compte tenu de ce que l'on désire amener aux échangeurs de chantier de l'eau la plus froide possible, le schéma de la figure 30 implique que l'eau quitte l'installation de surface aussi près que possible de 0 °C. Par ailleurs, lorsqu'on utilise un échangeur, la différence de température entre les deux fluides doit atteindre au moins 5 °C pour que cet appareil ne présente pas un encombrement excessif; le fluide haute pression est donc nécessairement une solution à point de congélation inférieur à 0 °C, en pratique une saumure de CaCl<sub>2</sub>.

Pour comparer au point de vue énergétique ces deux schémas, il nous suffit de prendre en considération la somme de la puissance N<sub>F</sub> des compresseurs et de celle N<sub>P</sub> de pompage relative au circuit primaire (c'est-à-dire la puissance du moteur actionnant le groupe turbine-pompe ou la puissance de la pompe de circulation de saumure). Les autres dépenses d'énergie sont pratiquement identiques pour les deux types d'installation. Il convient bien entendu de choisir les données qui déterminent N<sub>F</sub> et N<sub>P</sub>, de façon telle que les frais d'établissement des deux types d'installation soient égaux ou au moins très voisins.

La comparaison est extrêmement facile si l'on néglige tout d'abord les pertes de charge qui à priori ne sont pas très différentes dans les deux variantes. On peut en effet construire le diagramme de la figure 32 comportant en abscisses la profondeur et en ordonnées la somme N<sub>F</sub> + N<sub>P</sub>. Cette somme contient dans tous les cas un terme minimum qui est la puissance N<sub>F</sub> consommée par les machines frigorifiques pour produire les frigories au niveau de température moyen requis par les échangeurs-refroidisseurs d'air; cette puissance augmente très légèrement avec la profondeur du fait des déperditions des tuyauteries. Mais dans le cas de la figure 32, l'existence de la chute de température (\Delta t) ech dans l'échangeur saumure-eau oblige les machines à produire les mêmes frigories à un niveau de température abaissé de cette (\Delta t) ech, ce qui nécessite un supplément de puissance d'NF indé-

pendant de la profondeur. Par ailleurs, les déperditions frigorifiques des tuyauteries augmentent d'une quantité proportionnelle à (\Delta t) ech et à la profondeur, ce qui requiert un léger supplément de puissance \( \Delta'' \) N<sub>F</sub> aux compresseurs, ce supplément étant maintenant proportionnel à la profondeur. Finalement, la somme N<sub>F</sub> + N<sub>P</sub> sera représentée sur le diagramme par une droite peu inclinée sur l'horizontale (si les déperditions des tuyauteries sont faibles) et dont l'ordonnée à l'origine croît avec (\Delta t) ech. Considérons maintenant la solution comportant le groupe turbine Pelton-pompe. La puissance des machines est, à très peu près, la puissance NF correspondant à la production du froid au niveau de température moyen convenant aux échangeurs du fond; mais le groupe turbine-pompe donne lieu à un supplément de puissance A NP relativement important. En effet, l'énergie de chute n'est pas entièrement récupérée dans la turbine et la puissance requise par la pompe est supérieure à la valeur théorique correspondant au produit du débit par la hauteur d'exhaure. Le moteur du groupe fournit donc, indépendamment de l'énergie requise pour vaincre les pertes de charge, un appoint de puissance compensant les pertes de la turbine et de la pompe, appoint qui est proportionnel au débit et à la profondeur. Or le débit est, pour une même production de froid, inversément proportionnel à l'écart (\$\Delta\$ t)\$\text{H20} de température entre l'eau descendante et l'eau montante; il en est donc de même pour la puissance Np. Finalement, dans le cas de la turbine Pelton, la somme N<sub>F</sub> + N<sub>P</sub> sera représentée sur le diagramme de la figure 32 par une droite dont l'ordonnée à l'origine est petite, mais dont la pente est d'autant plus importante que l'écart (Δt)<sub>H20</sub> est plus faible.



L'examen du diagramme montre dès lors qu'inéluctablement, à grande profondeur, la solution comportant un échangeur saumure-eau sera toujours la plus avantageuse. On comprend aussi qu'en première approximation, la profondeur d'équivalence des deux schémas soit proportionnelle d'une part à l'écart ( $\Delta$ t)<sub>ech</sub> entre les températures de l'eau et de la saumure dans l'échangeur, et d'autre part à l'écart (Δt)<sub>H20</sub> entre les températures de l'eau à la descente et à la remontée. Le calcul montre que la profondeur d'équivalence des deux schémas est de l'ordre de 1.000 m si le produit  $(\Delta t)_{ech}$   $(\Delta t)_{H20}$ est de l'ordre de 150. Or, dans l'état actuel de la technique, des échangeurs fonctionnant avec  $(\Delta t)_{ech} = 7$  °C sont d'encombrement, de poids et de prix comparables à un groupe turbine Peltonpompe. Par conséquent, celui-ci ne devient économique que si (Δt)<sub>H20</sub> atteint 22 °C, ce qui implique que la température de l'eau au retour soit de l'ordre de 23 °C. L'air à refroidir ayant souvent plus de 30 °C, cette condition peut être théoriquement satisfaite; mais en pratique, l'efficacité des échangeurs du fond (dont l'encombrement est toujours réduit au minimum) ne permet guère d'obtenir au retour des chantiers de l'eau à plus de 12 ... 15 °C.

L'artifice suivant donne lieu à un accroissement de l'écart (\Delta t)<sub>H20</sub>. Il consiste à envoyer dans le condenseur d'une machine frigorifique souterraine l'eau revenant des chantiers comme cela a d'ailleurs été prévu dans l'installation du Charbonnage de Zwartberg (55). La température de l'eau remontant en surface peut aussi être prélevée à 22 à 23 °C et on peut la refroidir jusqu'à 17 ... 18 °C avant d'avoir recours à des machines frigorifiques, grâce à de l'eau froide à 13 ... 14 °C. Dans ces conditions, on peut réduire sensiblement le débit circulant dans le puits tout en transportant un même débit de frigories, les unes produites en surface, les autres produites au fond avec un rendement également bon. Cette solution implique néanmoins une machinerie importante au fond de la mine et son économie est très fortement affectée par une baisse de l'écart  $(\Delta t)_{H20}$ .

Toute l'étude précédente néglige les pertes de charge, non seulement dans les tuyauteries, mais aussi dans les échangeurs. Les conclusions ne changent guère lorsqu'on en tient compte. A première vue, l'emploi de saumure est à cet égard plus défavorable, étant donné sa viscosité plus grande, sa chaleur spécifique plus faible et son poids spécifique plus élevé. Mais il est possible de choisir le débit de saumure indépendamment de celui de l'eau et de majorer légèrement l'écart de température entre les colonnes montante et descendante; les inconvénients ci-dessus seront ainsi fortement réduits. Il n'en reste pas moins vrai que l'emploi de la saumure nécessite une puissance supplémentaire de pompage, spécialement si l'on veut conserver une même efficacité aux échangeurs de chaleur compte tenu de l'accroissement de viscosité de la saumure par rapport à celle de l'eau. Un calcul poussé incluant les pertes de charge montre que les deux schémas sont en fait équivalents vers 1.000 m si l'on prend dans l'échangeur  $(\Delta t)_{ech} = 7$  °C et si l'on réalise dans l'installation avec roue Pelton  $(\Delta t)_{H20} = {}_{17} \, {}^{\circ}\text{C}.$ 

Comme cette dernière condition ne peut être remplie sans l'artifice de la machine frigorifique souterraine, la solution comportant la saumure et l'échangeur haute pression-basse pression reste en général à retenir pour des profondeurs de 1.000 m et plus.

# C. Travaux dans le domaine de la thermique minière.

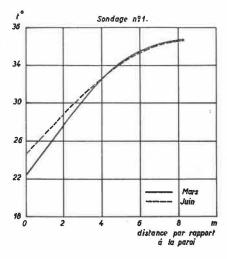
Lorsqu'on désire connaître l'influence sur le climat de certaines mesures techniques, telles que la modification du circuit d'évacuation des produits. le changement des types d'engins de transport, le renversement de la ventilation..., il est nécessaire de déterminer préalablement l'importance des apports de chaleur et d'humidité des roches encaissantes. Nous avons déjà publié antérieurement un diagramme montrant la propagation du refroidissement autour d'un bouveau cylindrique supposé parcouru par de l'air à température constante (56).

Pour examiner quantitativement l'influence des variations annuelles de température de l'air, nous avons admis en première approximation que la température moyenne de l'air soit égale à la température des roches profondes. Lorsque tel n'est pas le cas, les phénomènes du refroidissement progressif et des échanges alternatifs de chaleur se superposent simplement. D'ailleurs, les échanges qui se produisent entre l'air et le « manteau d'échange calorifique » des roches entourant la galerie sont aisés à expliquer qualitativement (56).

Des diagrammes ont été établis en vue de préciser numériquement l'amortissement de l'onde de température dans les terrains et l'amplitude des flux de chaleur « centrifuge » et « centripète » qui peuvent se présenter à certaines moments de l'année. Ces diagrammes sont tracés en fonction de certains nombres sans dimension dans lesquels interviennent : la température des roches profondes, la température moyenne annuelle de l'air, l'amplitude de la sinusoïde annuelle des températures de l'air, la diffusivité thermique des roches, le coefficient de transmission de chaleur à la paroi, les dimensions de la galerie, ... grandeurs qui doivent être mesurées dans chaque cas particulier.

Dans cet ordre d'idées et à titre d'expérience, nous avons placé des thermocouples dans les terrains entourant la voie d'entrée d'air d'un chantier des Charbonnages de Gosson-Kessales, de manière à suivre la variation du flux de chaleur émanant des roches. Nous ne pouvons espérer déterminer l'influence des roches qu'après avoir couvert le cycle d'une année. Les relevés effectués jusqu'à présent ont prouvé que la méthode était suffisamment précise pour être employée à plus grande échelle. En effet, entre deux points distants de 385 m, dans une voie d'entrée d'air qui a progressé à la vitesse moyenne de 1,20 m/jour, on peut suivre les varia-

tions de température de la roche en profondeur, de même que la diminution progressive de la température superficielle des parois. Nous reproduisons à la figure 35 quelques courbes donnant la température de la roche en fonction de la profondeur à partir de la paroi de la galerie, à deux moments donnés de l'année. Connaissant la température originelle des roches et la température superficielle des parois, de même que l'état de l'air et son accroissement d'enthalpie dans la voie, on pourra déterminer la valeur des constantes thermiques des terrains à introduire dans les formules mathématiques plus générales.



récoltés. Or, l'analyse d'un gaz se fait souvent en double à l'appareil d'Orsat et requiert 100 cm³ de gaz à la fois. Dans pareille éventualité, le manque de reproductibilité de la pompe n'a plus beaucoup d'importance au-dessus de 10 coups. Ce nombre nous paraît minimum au point de vue de la dilution des 40 cm³ d'air contenu initialement dans le réservoir. La cause principale de l'imprécision est une fuite d'air se produisant au moment de l'enlèvement de la cartouche. Le système d'accouplement en est responsable et pourrait être amélioré.

La question se pose de savoir comment on ba-

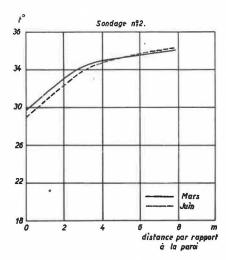


Fig. 33.

#### 3. — Travaux de laboratoires.

# A. Etude d'un appareil pour prélèvements de aux.

Nous avons examiné les qualités d'un appareil proposé par l'Imperial Chemical Industries pour prélever des échantillons gazeux. Cet appareil se compose d'une pompe métallique aspirante et foulante permettant d'emmagasiner sous pression le gaz à étudier. La cartouche est métallique elle aussi et fermée par un couvercle à visser comportant une soupape.

On peut libérer le gaz sans décharge brusque grâce à un détendeur adaptable sur la cartouche au moyen d'une fermeture hélicoïdale à baionnettes.

Afin de connaître les volumes gazeux susceptibles d'être stockés, trois opérateurs ont effectué des prélèvements d'air avec un nombre variable de coups de pompe. Après détente, l'air a été recueilli par déplacement d'eau dans un cylindre gradué. Ces mesures montrent que l'on peut en moyenne récolter à peu près 300, 600 et 900 cm³ de gaz à la suite de 10, 20 et 30 manœuvres respectivement. On ne peut guère dépasser ces valeurs car l'effort musculaire à fournir augmente rapidement.

La reproductibilité est assez faible puisqu'on enregistre un écart de ± 100 cm³ entre les volumes layera le gaz restant en vue d'une autre utilisation. Dévisser le capuchon métallique nous paraît risquer de compromettre l'étanchéité de l'ensemble. Par ailleurs, on peut diluer graduellement le contenu par plusieurs remplissages et vidanges d'air. On sait par la théorie de l'extraction fractionnée que les meilleures conditions de lavage sont obtenues avec de nombreuses petites quantités. Ici, il faut toutefois emmagasiner assez d'air pour qu'il puisse s'échapper une fois la soupape ouverte. Nous proposons donc 4 séries de 5 coups de pompe pour lesquelles le calcul montre qu'une teneur de 10 % est abaissée à la valeur négligeable de 0,05 % en suposant une homogénéisation parfaite des gaz.

Du point de vue de l'étanchéité, des cartouches neuves chargées par 30 compressions n'ont pas montré de pertes significatives après 48 heures. Il serait souhaitable que les qualités des soupapes ne soient altérées ni au cours du temps ni par la présence de gaz corrosifs tels que les vapeurs nitreuses des fumées de tir, par exemple. Seul un usage prolongé pourrait démontrer cette résistance.

# B. Préparation de poussières de petites dimensions.

Dans le but d'étudier l'influence de la granulométrie des poudres sur les dosages tant physique que chimique de la silice libre, on a cherché à préparer des lots relativement importants de poussières de diverses dimensions.

Du quartz lavé Merck en grains de 0,5-1,5 mm a servi de matière première. Après concassage au mortier d'Abisch, on a séparé la poudre au moyen du tamis Tyler n° 400 (ouverture 37 μ).

Deux techniques différentes ont été envisagées: la fraction fine est mise en suspension dans l'eau (5 grammes/litre) et décantée à température constante d'après des considérations théoriques traitées antérieurement (44). La fraction supérieure contenant les plus petites poussières est alors siphonnée et mise à évaporer au bain-marie.

La fraction grossière provenant du tamisage est placée dans le broyeur à billes utilisé pour l'épreuve des masques anti-poussières (57). Le ventilateur de l'installation aspire les poussières à travers un filtre de Soxhlet réuni au broyeur par un flexible en caoutchouc. Par le réglage d'un robinet de fuite, on maintient un débit tel que la vitesse de l'air à l'entrée du tube corresponde à l'entraînement des particules de 5 microns (58). On recueille les poussières en secouant le filtre, mais on peut récupérer également la poudre déposée dans le flexible. Telles qu'elles ont été appliquées, les expériences ont fourni les productions de 2 grammes/jour pour la sédimentation aqueuse à 20 °C et de 0,65 et 0,25 gramme/jour respectivement dans le filtre et le flexible.

Le tableau XXVI indique la composition granulométrique et chimique de chaque fraction. nombre de particules suivant leur diamètre, qu'il faut transformer en répartition en poids pour la raccorder aux courbes granulométriques obtenues par tamisage. Le problème peut se résoudre graphiquement ou numériquement. Nous présentons ci-après la solution numérique que nous avons utilisée cette année pour divers problèmes pratiques dont nous exposerons un exemple.

Soit N=F(D) le nombre de particules dénombrées au-dessus d'un diamètre D; en particulier  $N_o=F(D_o)$  représente le nombre total de particules, supposées toutes plus grandes que le diamètre  $D_o$  (diamètre correspondant à la limite de visibilité pour le grossissement considéré). Dans un intervalle élémentaire dD, le nombre de particules sera

$$dN = dF(D) = f(D) dD$$
;

Ia fonction 
$$\frac{dN}{dD} = f(D)$$
 est par définition Ia

courbe de fréquence correspondant à la courbe cumulative  $N=F\left( D\right) .$ 

Le volume de ces particules devient ensuite

$$kD^3 dN = k D^3 f(D) dD$$

k étant un facteur de forme tel que  $kD^3$  soit le volume d'une particule de diamètre D. Le volume total des particules comprises entre les diamètres  $D_1$  et  $D_2$  sera

TABLEAU XXVI Composition des fines poussières de quartz préparées au laboratoire.

	décantation	sédimentation aérienne			
Méthode	aqueuse	Soxhlet	flexible		
granulométrie (% en nombre)	0,2 - 0,5 μ	7.9	47.3	32,3	
	0,5 - 1 μ	33,1	40,7	49,0	
	1 - 3 μ	48,7	11,6	14,9	
	3 - 5 µ	8,1	0,4	2,5	
	> 5 µ	2,2	O	1,3	
perte au feu (% en poids)	5,3	4.5	4,4		
teneur en silice après calcination	(% en poids)	95.4	95,2	94,2	

### C. Etude granulométrique des fines poussières.

Dans ce qui précède, nous avons envisagé la séparation de la fraction la plus fine d'un échantillon pulvérulent en vue de l'analyser séparément. Mais si la séparation n'a d'autre but que de connaître la granulométrie, il est beaucoup plus expéditif d'effectuer directement au microscope le dénombrement et la classification des particules en utilisant un grossissement adapté à la gamme de dimensions considérée. On obtient ainsi une répartition du

$$V_1 = \int_{-1}^2 k D^3 dN$$

ou encore

$$V_1^2 = \int_1^2 D^3 f(D) dD$$
 [1]

si le coefficient de forme k est supposé constant dans l'intervalle de diamètres considéré. La résolution de cette intégrale dépend de la connaissance des fonctions  $F\left(D\right)$  ou  $f\left(D\right)$ . Conformément à

certains autres chercheurs (59), nous avons admis que la loi exponentielle

$$N = F(D) = N_0 e^{-\alpha (D - D_0)}$$
 [2]

représentait assez exactement les résultats expérimentaux pour des intervalles de diamètre pas trop étendus. Cette loi correspond à une droite dans un système d'axes comportant en abscisses les diamètres D et en ordonnées le logarithme du nombre de particules :

$$\log_{10} \frac{N}{N_o} = 2.303 \log_e \frac{N}{N_o} = -2.303 \alpha (D - D_o)$$

Le coefficient n'est d'ailleurs, à un facteur près, que la pente de cette droite

$$\frac{\Delta \log_{\rm e} N/N_o}{\Delta D} = \alpha$$
 [4]

Le cas échéant, il est toujours possible de scinder l'étendue totale des diamètres considérés en intervalles partiels où la pente de la courbe des résultats expérimentaux est suffisamment constante et d'àppliquer la formule [4] pour trouver la valeur de  $\alpha$  valable dans chaque intervalle.

Moyennant l'hypothèse [2] et comme

$$f(D) = F'(D) = -\alpha N_0 e^{-\alpha (D - D_0)}$$

l'intégrale [1] devient

$$V_1 = k N_0 \int_1^2 D^8 e^{-\alpha (D-D_0)} d(\alpha D)$$

ou tous les calculs faits

d'un charbonnage et pour lesquelles il s'agissait de déterminer le poids de la fraction < 10  $\mu$ .

Le tamisage a été poussé tout d'abord jusqu'au maximum et a donné la répartition en poids suivante :

Les tamis de 150 - 200 - 270 et 400 mailles par pouce ont des ouvertures de mailles valant respectivement 104 - 74 - 53 et 37 microns. En portant en abscisses ces ouvertures et en ordonnées la somme des poids ayant traversé le tamis dont l'ouverture est donnée en abscisse, on obtient une première courbe granulométrique dont le tracé est repris à la figure 34.

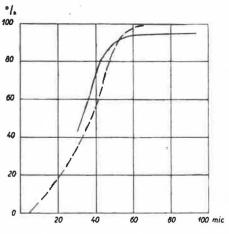


Fig. 34.

$$V_{1} = k N_{0} \left[ \left( e^{-\alpha (D - D_{0})} \left( D^{3} + \frac{5}{\alpha} D^{2} + \frac{6}{\alpha^{2}} D + \frac{6}{\alpha^{3}} \right) \right]_{D_{2}}^{D_{1}}$$

$$= k \left[ N \left( D^{3} + \frac{5}{\alpha} D^{2} + \frac{6}{\alpha^{2}} D + \frac{6}{\alpha^{3}} \right) \right]_{D_{1}}^{D_{1}}$$

Si le poids spécifique des poussières est constant dans l'intervalle considéré, la répartition de leur poids entre deux dimensions est proportionnelle à la variation dans cet intervalle de la fonction entre crochets; il n'est donc pas nécessaire de connaître ni le facteur de forme ni le poids spécifique pour tracer la courbe de répartition des poids, à condition de prendre en ordonnées une échelle graduée en %

A titre d'application, nous mentionnerons l'étude que nous avons faité sur des poussières provenant d'une installation de dépoussiérage à la surface

Une petite quantité de ces poussières a été diluée dans de l'alcool isopropylique et quelques gouttes ont été examinées dans une cellule de comptage au microscope Bausch et Lomb, grossissement 210 X.

Les répartitions en nombre obtenues par 3 opérateurs différents sont reprises au tableau suivant XXVII.

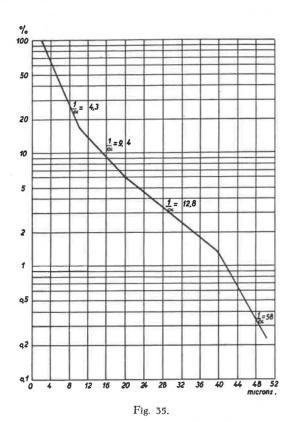
Nous avons eu recours à plusieurs opérateurs pour réduire l'influence de l'appréciation toujours quelque peu subjective des dimensions.

Ces résultats sont repris au diagramme de la figure 35 où nous avons également construit une

TABLEAU XXVII Répartition granulométrique des poussières examinées

Classe de dimensions	2,7	- 5,5	5,5 -	10,9	11 -	20,5	20,5 -	34,1	34,1	48,5	48,5	- 108
	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%
Opérateur A	123	54.7	61	27,1	24	10,7	10	4,4	4	1,8	3	1,3
A	130	57,8	59	26,2	19	8,4	10	4,4	7	3,1		
В	230	62,8	87	23,8	34	9.3	11	3,0	4	1,1	_	
C	285	66,1	94	21,8	39	9,1	7	1,6	6	1.4	_	_
moyenne		бо,35		24.7		9,4		3,35		1.85		0,3

ligne brisée remplaçant approximativement la courbe réelle entre 2 et 100 microns.



Par une construction graphique simple, on obtient la valeur de 1/\alpha suivant la relation [4], car pour

$$\Delta \log_{\rm e} \frac{N}{N_{\rm o}} = \log_{\rm e} \frac{N_2}{N_1} = \ {\scriptstyle 1}$$

c'est-à-dire pour

$$\frac{N_2}{N_1} = 2.72$$

$$N_2$$

$$\frac{1}{\alpha} = \Delta D = D_2 - D_1$$

Connaissant 1/a, on calcule pour différentes valeurs de D la fonction

$$\Phi = D^3 + \frac{3}{\alpha} D^2 + \frac{6}{\alpha^2} D + \frac{6}{\alpha^3}$$

et le produit N P dont la variation est représentée à la figure 34 en trait interrompu. L'accord entre les deux courbes granulométriques ainsi obtenues peut être considéré comme satisfaisant. Les écarts observés s'expliquent par les considérations suivan-

- Les dénombrements au microscope sont peu précis au delà de 40 µ, vu le petit nombre de particules comptées. La contribution (assez importante) de ces dernières au poids total est donc mal déterminée par calcul. On pourrait améliorer la précision en refaisant un comptage des plus grosses particules avec un plus faible grossissement dans un champ plus étendu.
- Les diamètres portés en abscisses ne sont pas les mêmes. Lors d'un tamisage, le diamètre est le côté de la maille encadrant les particules tandis que, lors d'un examen microscopique, le diamètre est la moyenne des dimensions extrêmes apparentes des particules.

Quoi qu'il en soit, la courbe obtenue par tamisage peut être aisément extrapolée vers les petites dimensions, en se servant de la courbe calculée comme guide. On en déduit qu'en l'occurrence, le poids de particules < 10 µ ne dépassait pas 6 ou 7 % du poids total.

#### D. Etalonnage d'instruments de mesure.

Le tarage des instruments de mesure suivant les méthodes précédemment mises au point, a été poursuivi. Septante-trois anémomètres, six baromètres et vingt thermo-éléments ont été étalonnés cette année.

TABLEAU XXVIII

Développement des tailles auxquelles sont appliqués régulièrement des traitements humides Situation au 1<sup>er</sup> janvier 1955 et au 1<sup>er</sup> janvier 1956.

Bassins administratifs	Cam	pine	Lie	ge	Char	rleroi	Cer	ntre	Mons		Ensemble	
Années de référence	1955	1956	1955	1956	1955	1956	1955	1956	1955	1956	1955	1956
Longueur des fronts déhouillés (m)	19.614	19.261	23.290	24.037	32.791	32.606	12.590	12.142	14.627	13.857	102.912	101.903
I. Traitements appliqués au point de formation des poussières.											****	
1. Arrosage des fronts	4.636	4.854	600	_	1.732	831	520	-	1.135	570	8.623	6.255
2. Injection d'eau en veine	5.828	8.752	205	1.025	1.221	1.525	902	1.948	1.543	1.347	9.789	14.597
3. Havage humide	2.835	3.696	470	680		-			280		3.585	
4. Emploi de piqueurs à pulvérisation	5.039	5.073	3.460	5.195	4.625	4.930	2.188	1.462	814	578	16.126	
Longueur totale traitée	18.338	22.375	4.825	6.900	7.578	7.286	3.610	3.410	3.772	2.495	38.123	42.466
II. Longueur des fronts traités par plusieurs de ces procédés à la fois	3.414	6.043	830	500			*****	_	280		4.524	6.54
III. Longueur des fronts traités par un de ces procédés et pulvérisation supplémentaire d'eau dans la taille	1.699	_		_	1.575	2.432	520	•	T-07	115	3.794	2.54
IV. Longueur des fronts naturellement humides	1.359	1.186	4.910	4.321	6.598		1.480	3.300	1.553	3.085	16.900	

# III. — ENQUETES, DOCUMENTATION ET CONFERENCES

Comme chaque année, l'Institut a publié les résultats de son enquête sur l'étendue des moyens de prévention mis en œuvre dans les charbonnages belges (60). Nous sommes à même de donner en plus les résultats provisoires sur la situation telle qu'elle se présente au début de l'année 1956. On trouvera au tableau XXVIII le développement des tailles auxquelles sont appliqués régulièrement des traitements humides: arrosage des fronts, injection d'eau en veine, havage humide et emploi de marteaux-piqueurs à pulvérisation d'eau. Pour faciliter la comparaison, nous avons fait la distinction en indiquant, d'une part, la longueur des fronts traités par plusieurs de ces procédés à la fois et, d'autre part, la longueur des fronts traités par une seule de ces méthodes combinée à la pulvérisation d'eau dans la taille. Au tableau XXIX, nous avons fait figurer le nombre de travaux préparatoires en creusement en donnant la répartition des moyens de prévention normalement mis à la disposition du personnel au cours des opérations de foration. Dans un cas comme dans l'autre, travail en taille ou creusement des préparatoires, nous enregistrons un progrès par rapport à l'année précédente.

Les 8 et 9 mai 1955 eut lieu, sous les auspices de la Commission de Mécanique de l'Académie Royale de Belgique, une manifestation commémorant le centenaire de la naissance de Jules Boulvin. Les organisateurs avaient prié le Directeur de l'Institut de faire une communication au colloque organisé à cette occasion à la Faculté Polytechnique de Mons. Cette conférence, intitulée « Les installations climatiques dans les charbonnages », sera publiée en

1956.

Depuis plusieurs années, l'Institut d'Hygiène des Mines entretient avec les organismes responsables de l'industrie minière en Afrique du Sud, des relations basées sur une loyale et amicale estime réciproque. La similitude des problèmes à résoudre ne pouvait manquer d'établir rapidement cette confraternité, qui s'est encore resserrée après que l'industrie charbonnière belge, et l'Institut d'Hygiène des Mines en particulier, eurent abordé avec courage les difficiles études de la climatisation des travaux souterrains de nos mines. Les installations des Charbonnages de Zwartberg, du Rieu-du-Cœur et de la Boule Réunis et plus récemment celles des Charbonnages André Dumont ne pouvaient que retenir l'attention de nos amis sud-africains. Aussi est-ce surtout autour du problème de la réfrigération minière, qui s'était déjà présenté aux ingénieurs sud-africains depuis longtemps, que s'est cristallisée cette communauté de soucis, de pensées et d'études, qui devait tout naturellement conduire à une collaboration sincère et à d'utiles échanges de renseignements et de résultats d'expériences. D'éminents col-

TABLEAU XXIX

Moyens de prévention normalement mis à la disposition du personnel dans les travaux préparatoires au cours des opérations de foration (Bouveaux, bacnures, chassages, burquins, approfondissements de puits,... Situation provisoire au début de 1956 comparée début 1955

1956	427	88 64 190 342 80,1 %
1955	450	81 66 176 523 71,8 %
1956	44	27.
1955	63	7 22 04
1956	42	20 2 14 36
1955	35	13   13   13
1956	123	37 46 85
1955	147	23 2 2 8 4 8 4 8 4 8 4 8 8 4 8 8 8 8 8 8 8
1956	91	19 20 31 70
1955	89	22 20 23 25 85 85 85 85 85 85 85 85 85 85 85 85 85
1956	127	12 32 72 116
1955	116	14 44 110
:	:	1111
1	:	1 1 1 1
į	:	
:	:	d'e d' :
:	ent	ı sec n latérale d'eau centrale d'eau
:	ısem	n sec cen
:	cret	ion ¿ uctio
ice	en:	de: forat addi injec ntior
férer	ront	iipés Jourres à rs à rs à
de ré	de f	s équ urs r ateun ateun
ées (	abre	Fronts équipés de :  1. Capteurs pour foration à sec  2. Perforateurs à adduction latérale d'eau  3. Perforateurs à injection centrale d'eau  Fronts avec prévention
2	ü	HOHH 1
	1955   1956 1955   1956 1955   1956 1955   1956 1955   1956 1955	1955   1956   1957   1956   1957   1956   1957   1956   1957   1956   1955   1956   1955   1957

lègues sud-africains ont visité notre pays, sont descendus dans nos charbonnages afin d'y examiner nos installations de climatisation et ont discuté des problèmes qu'elles comportent avec nos spécialistes. Le Directeur de l'Institut fut invité à s'inscrire comme membre de la « Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa » et de la « Ventilating Society of South Africa ». On lui fit l'honneur de solliciter sa collaboration pour la revue de la première de ces sociétés. C'est ainsi que parut à Johannesburg l'article : « Cooling Plant for Underground Workings in Belgium » (61) décrivant l'ensemble des études faites en Belgique dans le domaine considéré, les installations construites et mises en service dans nos mines et les résultats obtenus dans celles-ci.

Au début de 1955 arriva à l'Institut d'Hygiène des Mines la flatteuse nouvelle que la « Chemical, Metallurgical and Mining Society » avait, pour cet article, décerné sa médaille d'or au directeur de l'Institut. La société sud-africaine souhaitait en même temps que le lauréat puisse recevoir personnellement cette récompense lors d'une des assemblées générales du premier semestre de 1955. Le Conseil d'Administration de l'Institut marqua immédiatement son accord pour réaliser ce souhait et la Fédération Charbonnière de Belgique trouva opportun d'organiser à cette occasion une mission en Afrique du Sud, afin de se documenter sur les réalisations de ce pays et les méthodes de travail qui y sont pratiquées. Les membres de cette mission participaient en même temps à l'honneur fait à un ingénieur belge, directement au service de l'industrie charbonnière.

Cette mission, qui séjourna à Johannesburg du 21 mai au 10 juin 1955, fut composée comme suit :

- A. Houberechts, Ingénieur civil Mécanicien et Electricien, Professeur à l'Université de Louvain, Directeur de l'Institut d'Hygiène des Mines:
- E. Dessalles, Ingénieur civil des Mines et Electricien, Ingénieur Principal honoraire du Corps des Mines, Inspecteur honoraire des Charbonnages patronnés par la Société Générale de Belgique:

 A. Clérin, Ingénieur civil des Mines, Directeur des Etudes de la S. A. des Charbonnages André Dumont, à Waterschei;

- A. Rinchon, Ingénieur civil des Mines, Directeur des Etudes de la S. A. des Charbonnages du Levant et des Produits du Flénu, à Cuesmes;

 J. Ponomarenko, Ingénieur Mécanicien et Electricien, Directeur des Travaux de Surface de la S. A. des Charbonnages de Zwartberg;

- G. Degueldre, Ingénieur civil des Mines, Ingénieur à l'Institut d'Hygiène des Mines à Hasselt.

Elle fut reçue d'une façon très cordiale par les autorités de la « Transvaal and Orange Free State Chamber of Mines » qui élabora pour elle un programme de visites très complet lui permettant d'avoir une vue d'ensemble claire et documentée sur l'industrie minière sud-africaine. Au cours de son séjour, le groupe d'ingénieurs belges put visiter les organisations suivantes :

- les laboratoires de recherches physiologiques, des recherches sur les poussières et des recherches sur le bois de soutènement de la Transvaal and Orange Free State Chamber of Mines,
- l'installation de réfrigération établie en surface à la mine d'or Robinson Deep,
- les travaux souterrains d'une mine d'or de l'East Rand Proprietary Mines.
- les travaux souterrains de la mine d'or Crown Mines.
- la raffinerie centrale d'or, Rand Refinery,
- les travaux souterrains des Charbonnages de Douglas Colliery, situés à Witbank (au nordest de Johannesburg),
- l'Administration des Mines à Johannesburg,

— le laboratoire d'essais des câbles,

- les laboratoires de recherches de l'Etat à Pré-
- les installations de surface de la mine d'or Blijvooruitzicht,
- les bureaux et magasins des Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi (A.C.E.C.) à Johannesburg,
- la mine de charbon Sigma et l'usine d'essence synthétique Sasol,
- les installations de surface de Vaalreef,
- le creusement de puits à Westernreef et Vaal-
- Ja mine de diamants « Premier Mines ».

L'Institut publiera le rapport de la visite de cette mission charbonnière sous forme de communications hors-série. La première partie, sortie au cours de cette année (62), comporte une note liminaire, l'introduction, et le premier chapitre traitant de l'hygiène et de la sécurité. Les cahiers suivants seront publiés en 1956.

Le Directeur a fait, au Congrès du Centenaire de l'Industrie Minérale, un exposé intitulé « La climatisation des mines profondes ». Cette étude, présentée dans le cadre des aspects de la mine future, sera publiée dans les comptes rendus dudit congrès.

L'Institut International du Froid a organisé à Paris, du 21 août au 15 septembre, son IXe Congrès International dont une section était consacrée à toutes les applications du froid en dehors du domaine alimentaire. Le Directeur et M. Patigny, Ingénieur à l'Institut, y ont présenté trois communications dans lesquelles ils examinent la question des machines frigorifiques pour la réfrigération des chantiers souterrains.

Ces trois communications qui sont du reste résumées ci-avant seront diffusées sous forme de communication hors-série de l'Institut d'Hygiène des. Mines dans le courant de l'année 1956.

Notre ingénieur, M. Patigny, a également participé aux travaux du 13° Congrès International de l'Eclairage, tenu à Zurich au mois de juin. Il y a présenté une communication sur la visibilité dans les mines. L'Institut a publié au cours de cette année trois communications relatives à ce problème. La première est intitulée « Les particularités de la vision aux faibles niveaux de brillance» (63); la seconde « Etude expérimentale de la visibilité dans les bouveaux et dans les chantiers miniers » (64); la troisième « Contribution à l'étude de l'éclairage des mines dans le cadre du 13° Congrès de la Commission Internationle de l'Eclairage - Zurich 1955 » (65). Dans le même ordre d'idées, M. Patigny a fait devant la Société Belge de Médecine du Travail et à la tribune de l'Association des Ingénieurs Electriciens sortis de l'Institut Electrotechnique Montefiore, une conférence intitulée « Vision et visibilité dans les mines ». Les conclusions pratiques de ces recherches montrent qu'il est présomptueux de vouloir fixer les niveaux d'éclairement dans la mine d'une manière analogue à ce qui se fait pour d'autres locaux. On a constaté que des éclairements de 0,5 à 1 lux permettent en général une visibilité satisfaisante, à condition que soit évitée la vision directe de sources ou de plages lumineuses brillantes, et que l'emploi de la lampe au chapeau à réflecteur mat est recommandable tandis que l'on est peu certain de l'intérêt d'un éclairage fixe. L'amélioration de l'éclairage des mines n'est pas un simple problème quantitatif de l'augmentation de la puissance des luminaires, mais bien un problème qualitatif: choix du type, du nombre et de l'emplacement des sources.

Dans le cadre des recherches relatives à la lutte contre les poussières, le Directeur et M. Degueldre, Ingénieur à l'Institut, ont assisté au cours du mois de novembre au « Colloque sur les Poussières » organisé à Paris par l'Institut National de Sécurité pour la Prévention des Accidents du Travail et des Maladies Professionnelles. Les discussions les plus intéressantes ont porté sur l'utilisation des aérosols de solution de NaCl. Pour les expérimentateurs du Cerchar, cette utilisation n'est pas envisagée. Par contre, d'après certaines expériences du Silikose-Forschungsinstitut de Bochum, la concentration en poussières serait fortement diminuée en atmosphère calme à degré hygrométrique élevé, mais cette réduction ne devient sensible qu'après 15, 30, 60 minutes. Ceci exclut pour nous l'application du procédé (dans sa forme actuelle) dans des chantiers où la vitesse de l'air dépasse normalement 1 m/sec et où l'apport de poussières est continuel tout le long du front.

À la fin du mois de novembre, le Directeur a également assisté à Genève à une réunion restreinte d'experts en matière de prévention et de suppression des poussières dans les mines, les galeries et les carrières. Le rapport des membres de cette Commission a été soumis au Conseil d'Administration du Bureau International du Travail; dès que celui-ci aura marqué son accord à ce sujet, l'Institut d'Hygiène des Mines diffusera à l'intention des charbonnages belges le compte rendu de cette réunion.

Les Docteurs Van Mechelen et Belayew ont assisté dans le courant du mois de mars à un symposium sur les problèmes posés par la silicose organisé à Bochum. Le Dr. Van Mechelen y a fait une courte communication intitulée « Silicose et Polyarthrite ». Il fit également un commentaire détaillé de la législation belge en matière de pneumoconioses. De son côté, le Dr. Belayew présenta certains cas relatifs à la thérapie de la silico-tuberculose.

Le Dr. Lavenne a assisté aux Journées Nationales de Médecine du Travail organisées en mai 1955 à Montpellier (6) et au IVe Congrès de l'Académie Internationale de Médecine Légale et de Médecine Sociale de Gênes. La dernière journée de ce Congrès était consacrée aux problèmes posés par la réparation des pneumoconioses. Le Dr. Lavenne consacrera le premier Bulletin de Documentation Médicale de 1956 au compte rendu des divers rapports présentés. Signalons à ce propos que le Dr. Roche, Professeur à l'Université de Lyon, a fait à cette occasion une communication au sujet d'une étude entreprise avec M. Marche, Sous-Directeur de l'Institut National de Statistiques de Lyon, et avec notre collaborateur, le Dr. A. Minette. Ce travail était intitulé « Contribution à l'étude statistique des facteurs entrant en jeu dans le calcul de l'incapacité permanente au cours des expertises de silicose ».

Le Directeur de l'Institut a été nommé membre du Comité de Recherches d'Hygiène et de Médecine du Travail créé dans le cadre de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier. Ce Comité est conseillé par des sous-commissions et des groupes de travail dont font partie plusieurs ingénieurs et médecins de l'Institut.

Enfin, poursuivant l'effort entrepris les années précédentes pour mieux faire connaître l'Institut, nous avons reçu à Hasselt un groupe de professeurs et d'élèves italiens de l'Istituto Tecnico Minerana Statale d'Agordo, de même que les étudiants de l'Institut du Travail de l'Université de Louvain. Citons encore les membres de la Centrale de Sauvetage du Bassin de Liège, ceux du Conseil d'Entreprise et du Comité de Sécurité et d'Hygiène des Charbonnages de Gosson-Kessales, les élèves de l'Ecole des Mines de Winterslag ainsi que les médecins inspecteurs des dispensaires anti-tuberculeux de Belgique conduits par leur médecin en chef, le Dr. Losdyck.

Comme auparavant, nous avons continué à entretenir des relations suivies avec les centres de recherches étrangers s'occupant spécialement de la lutte contre les poussières et des problèmes posés par les pneumoconioses, notamment avec le « Stofinstituut van de Gezamenlijke Steenkolenmijnen in Limburg » en Hollande, le Cerchar en France, le Silikose-Forschungsinstitut de Bochum et le Hauptstelle für Staub- und Silikosebekämpfung d'Essen en Allemagne et le Pneumoconiosis Research Unit de Cardiff en Grande Bretagne.

### **BIBLIOGRAPHIE**

- (43) BLANZAT A. et BARBE M. Méthode microchimique de détermination de la silice libre dans les poussières de mines. Arch. Mal. Professionnelles, 1953, T. 14, 549/553.
- (44) PATIGNY J. et CARTIGNY S. Etude du midget scrubber D.18. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1955, nº 115, 54 p.
- (45) HOUBERECHTS A. et DEGUELDRE G. Les produits tensio-actifs et la lutte contre les poussières dans les mines. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1954, T. 9, nº 121, 41 p.
- (46) HOUBERECHTS A. et CARTIGNY S. Examen comparatif de quelques nouveaux agents mouillants. Etablissement de critères concernant leur efficacité. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1952, n° 95, 10 p.
- (47) BIDLOT R. et LEDENT P. Etude comparative de la tension superficielle des solutions de quelques agents mouillants. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1948, nº 52, 6 p.
- (48) BIDLOT R. et LEDENT P. Etude de mouillage de poussières charbonneuses par des solutions acqueuses d'agents mouillants. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1949, nº 66, 8 p.
- (49) HOUBERECHTS A. et LEDENT P. Nouveaux essais de mouillage de poussières charbonneuses par des solutions aqueuses d'agents mouillants. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1950, nº 72, 8 p.
- (50) HOUBERECHTS A., CARTIGNY. S., DEGUELDRE G. Etude comparative de solutions tensio-actives destinées à la lutte contre les poussières dans les mines. Critères concernant leur efficacité. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1955, T. 10, nº 153, 36 p.
- (51) HOUBERECHTS A. L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1953. Annales des Mines de Belgique, 1954, T. 53, 297/327.

- (52) HOUBERECHTS A. et DEGUELDRE G. Essais de masques anti-poussières. 1<sup>re</sup> Série. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1955, nº 110, 7 p.
- (53) HOUBERECHTS A. et DEGUELDRE G. Essais de masques anti-poussières. 2<sup>me</sup> Série. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1953, nº 111, 9 p.
- (54) HOUBERECHTS A. et DEGUELDRE G. Essais de masques anti-poussières. 5<sup>me</sup> Série. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1955, T. 10, nº 124, 10 p.
- (55) HOUBERECHTS A. L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1950. Annales des Mines de Belgique, 1951, T. 50, 256/275.
- (56) HOUBERECHTS A. L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines au cours de l'année 1951. Annales des Mines de Belgique, 1952, T. 51, 285/312.
- (57) HOUBERECHTS A. et DEGUELDRE G. Contrôle de l'efficacité des masques filtrants. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1953, n° 103, 21 p.
- (58) PATIGNY J. et CARTIGNY S. Etude de la « P.R.U. Hand-pump » et du « P.R.U. Densitometer ». Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1954, T. 9, nº 122, 56 p.
- (59) DAWES J.G. Hand-pump Sampling in Coal Dust Clouds: Optical Density Method. — Ministry of Fuel and Power. Safety in Mines Research Establishment. Research Report no 83.
- (60) DEGUELDRE G. La lutte contre les poussières dans les charbonnages belges. Situation au début de l'année 1955. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1955, T. 10, n° 126, 17 p.
- (61) HOUBERECHTS A. Cooling Plants for Underground Workings in Belgium. Journal of the Chem. Metallurgical and Mining Society of S. Africa, 1953, vol. 54, no 1, 1/14.
- ' (62) PATIGNY J. Etude de la visibilité dans les mines, 1<sup>re</sup> partie : Les particularités de la vision aux faibles niveaux de brillance. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1955, T. 10, nº 128, 19 p.
- (65) PATIGNY J. et CARTIGNY S. Etude de la visibilité dans les mines. 2<sup>me</sup> partie : Etude expérimentale de la visibilité dans les bouveaux et dans les chantiers miniers. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1955, T. 10, nº 129, 30 p.
- (64) PATIGNY J. Etude de la visibilité dans les mines. 3<sup>me</sup> partie : Contribution à l'étude de l'éclairage des mines dans le cadre du 13<sup>me</sup> Congrès de la Commission Internationale de l'Eclairage. Zurich 1955. Communication de l'Institut d'Hygiène des Mines, 1955, T. 10, n° 132, 30 p.