P 3770

ADMINISTRATION DES MINES - BESTUUR VAN HET MIJNWEZEN

NUMERO SPECIAL
JUIN 1956

JOURNEES DES PRODUITS FINS
20 et 21 FEVRIER 1956
INICHAR - LIEGE (BELGIQUE)

BIJZONDER NUMMER
JUNI 1956

Annales des Mines

DE BELGIQUE

Annalen der Mijnen

VAN BELGIE

DIRECTION - REDACTION :
INSTITUT NATIONAL DE L'INDUSTRIE CHARBONNIÈRE

DIRECTIE - REDACTIE :
NATIONAAL INSTITUUT VOOR DE STEENKOLENNIJVERHEID

LIEGE, 7, boulevard Frère-Orban — Tél. 32.21.98

EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES
37-39, rue Borrens — BRUXELLES

BIBLIOTHÈQUE

P 3770

ADMINISTRATION DES MINES - BESTUUR VAN HET MIJNWEZEN

BIBLIOTHEQUE DU SERVICE GEOLOGIQUE DE BELGIQUE

NUMERO SPECIAL
JUIN 1956

JOURNEES DES PRODUITS FINS
20 et 21 FEVRIER 1956
INICHAR - LIEGE (BELGIQUE)

BIJZONDER NUMMER
JUNI 1956

Annales des Mines

DE BELGIQUE

Annalen der Mijnen

VAN BELGIE

DIRECTION - REDACTION :
INSTITUT NATIONAL DE L'INDUSTRIE CHARBONNIÈRE

DIRECTIE - REDACTIE :
NATIONAAL INSTITUUT VOOR DE STEENKOLENNIJVERHEID

LIEGE, 7, boulevard Frère-Orban — Tél. 32.21.98

EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES
37-39, rue Borrens — BRUXELLES

Pl 1335/39

COMITE DE PATRONAGE

MM. H. ANCIAUX, Inspecteur général honoraire des Mines, à Wemmel.
L. BRACONIER, Administrateur-Directeur-Gérant de la S. A. des Charbonnages de la Grande Bacnure, à Liège.
L. CANIVET, Président de l'Association Charbonnière des Bassins de Charleroi et de la Basse-Sambre, à Bruxelles.
P. CELIS, Président de la Fédération de l'Industrie du Gaz, à Bruxelles.
E. CHAPEAUX, Président de la Fédération de l'Industrie des Carrières, à Bruxelles.
P. CULOT, Délégué à l'Administration des Charbonnages de la Brufina, à Hautrage.
P. DE GROOTE, Ancien Ministre, Président de l'Université Libre de Bruxelles, à Uccle.
L. DEHASSE, Président de l'Association Houillère du Couchant de Mons, à Mons.
A. DELATTRE, Ancien Ministre, à Paturages.
A. DELMER, Secrétaire Général Honoraire du Ministère des Travaux Publics, à Bruxelles.
L. DENOEL, Professeur à l'Université de Liège, à Liège.
N. DESSARD, Président de l'Association Charbonnière de la Province de Liège, à Liège.
P. FOURMARIER, Professeur à l'Université de Liège, à Liège.
L. GREINER, Président d'Honneur du Groupement des Hauts Fourneaux et Aciéries Belges, à Bruxelles.
M. GUERIN, Inspecteur général honoraire des Mines, à Liège.
E. LEBLANC, Président de l'Association Charbonnière du Bassin de la Campine, à Bruxelles.
P. MAMET, Président de la Fédération Professionnelle des Producteurs et Distributeurs d'Electricité de Belgique, à Bruxelles.
A. MEILLEUR, Administrateur-Délégué de la S. A. des Charbonnages de Bonne Espérance, à Lambusart.
A. MEYERS, Directeur Général Honoraire des Mines, à Bruxelles.
I. ORBAN, Administrateur-Directeur Général de la S. A. des Charbonnages de Mariemont-Bascoup, à Bruxelles.
O. SEUTIN, Directeur-Gérant honoraire de la S. A. des Charbonnages de Limbourg-Meuse, à Bruxelles.
E. SOUPART, Administrateur-Délégué de la S. A. des Charbonnages de Tamines, à Tamines.
E. STEIN, Président d'Honneur de la Fédération Charbonnière de Belgique, à Bruxelles.
R. TOUBEAU, Professeur d'Exploitation des Mines à la Faculté Polytechnique de Mons, à Mons.
P. van der REST, Président du Groupement des Hauts Fourneaux et Aciéries Belges, à Bruxelles.
J. VAN OIRBEEK, Président de la Fédération des Usines à Zinc, Plomb, Argent, Cuivre, Nickel et autres Métaux non ferreux, à Bruxelles.
O. VERBOUWE, Directeur Général Honoraire des Mines, à Uccle.

BESCHERMEND COMITE

HH. H. ANCIAUX, Ere Inspecteur generaal der Mijnen, te Wemmel.
L. BRACONIER, Administrateur-Directeur-Gerant van de N. V. « Charbonnages de la Grande Bacnure », te Luik.
L. CANIVET, Voorzitter van de Vereniging der Kolenmijnen van het Bekken van Charleroi en van de Beneden Samber, te Brussel.
P. CELIS, Voorzitter van het Verbond der Gasnijverheid, te Brussel.
E. CHAPEAUX, Voorzitter van het Verbond der Groeven, te Brussel.
P. CULOT, Afgevaardigde bij het Beheer van de Steenkolenmijnen van de Brufina, te Hautrage.
P. DE GROOTE, Oud-Minister, Voorzitter van de Vrije Universiteit Brussel, te Ukkel.
L. DEHASSE, Voorzitter van de Vereniging der Kolenmijnen van het Westen van Bergen, te Bergen.
A. DELATTRE, Oud-Minister, te Paturages.
A. DELMER, Ere Secretaris Generaal van het Ministerie van Openbare Werken, te Brussel.
L. DENOEL, Hoogleraar aan de Universiteit Luik, te Luik.
N. DESSARD, Voorzitter van de Vereniging der Kolenmijnen van de Provincie Luik, te Luik.
P. FOURMARIER, Hoogleraar aan de Universiteit Luik, te Luik.
L. GREINER, Ere-Voorzitter van de « Groupement des Hauts-Fourneaux et Aciéries Belges », te Brussel.
M. GUERIN, Ere Inspecteur generaal der Mijnen, te Luik.
E. LEBLANC, Voorzitter van de Kolenmijn-Vereniging van het Kempisch Bekken, te Brussel.
P. MAMET, Voorzitter van de Bedrijfsfederatie der Voortbrengers en Verdelers van Electriciteit in België, te Brussel.
A. MEILLEUR, Afgevaardigde-Beheerder van de N. V. « Charbonnages de Bonne Espérance », te Lambusart.
A. MEYERS, Ere Directeur Generaal der Mijnen, te Brussel.
I. ORBAN, Administrateur-Directeur Generaal van de N. V. « Charbonnages de Mariemont-Bascoup », te Brussel.
O. SEUTIN, Ere Directeur-Gerant van de N. V. der Kolenmijnen Limburg-Maas, te Brussel.
E. SOUPART, Afgevaardigde - Beheerder van de N. V. « Charbonnages de Tamines », te Tamines.
E. STEIN, Ere Voorzitter van de Belgische Steenkool Federatie, te Brussel.
R. TOUBEAU, Hoogleraar in de Mijnbouwkunde aan de Polytechnische Faculteit van Bergen, te Bergen.
P. van der REST, Voorzitter van de « Groupement des Hauts-Fourneaux et Aciéries Belges », te Brussel.
J. VAN OIRBEEK, Voorzitter van de Federatie der Zink-, Lood-, Zilver-, Koper-, Nikkel- en andere non-ferro Metalenfabrieken te Brussel.
O. VERBOUWE, Ere Directeur Generaal der Mijnen, te Ukkel.

COMITE DIRECTEUR

MM. A. VANDENHEUVEL, Directeur Général des Mines, à Bruxelles, Président.
J. VENTER, Directeur de l'Institut National de l'Industrie Charbonnière, à Liège, Vice-Président.
P. DELVILLE, Directeur Général de la Société « Evence Coppée et Cie », à Bruxelles.
C. DEMEURE de LESPAUL, Professeur d'Exploitation des Mines à l'Université Catholique de Louvain, à Sirault.
H. FRESON, Directeur divisionnaire des Mines, à Bruxelles.
P. GERARD, Directeur divisionnaire des Mines, à Hasselt.
H. LABASSE, Professeur d'Exploitation des Mines à l'Université de Liège, à Embourg.
R. LEFEVRE, Directeur divisionnaire des Mines, à Jumet.
G. LOGELAIN, Directeur Divisionnaire des Mines, à Bruxelles.
P. RENDERS, Directeur à la Société Générale de Belgique,

BESTUURSCOMITE

HH. A. VANDENHEUVEL, Directeur Generaal der Mijnen, te Brussel, Voorzitter.
J. VENTER, Directeur van het Nationaal Instituut voor de Steenkolennijverheid, te Luik, Onder-Voorzitter.
P. DELVILLE, Directeur Generaal van de Vennootschap « Evence Coppée et Cie », te Brussel.
C. DEMEURE de LESPAUL, Hoogleraar in de Mijnbouwkunde aan de Katholieke Universiteit Leuven, te Sirault.
H. FRESON, Afdelingsdirecteur der Mijnen, te Brussel.
P. GERARD, Afdelingdirecteur der Mijnen, te Hasselt.
H. LABASSE, Hoogleraar in de Mijnbouwkunde aan de Universiteit Luik, te Embourg.
R. LEFEBVRE, Afdelingdirecteur der Mijnen, te Jumet.
G. LOGELAIN, Afdelingdirecteur der Mijnen, te Brussel.
P. RENDERS, Directeur bij de « Société Générale de Belgique », te Brussel.

ANNALES DES MINES DE BELGIQUE

Numéro spécial — Juin 1956

ANNALEN DER MIJNEN VAN BELGIE

Bijzonder nummer — Juni 1956

Direction-Rédaction :
INSTITUT NATIONAL DE L'INDUSTRIE CHARBONNIERE

Directie-Redactie :
NATIONAAL INSTITUUT VOOR DE STEENKOLENNIJVERHEID

LIEGE, 7, boulevard Frère-Orban - Tél. 32.21.98

JOURNEES DES PRODUITS FINS - 20 ET 21 FEVRIER 1956 - INICHAR - LIEGE (BELGIQUE)

Sommaire — Inhoud

J. VENTER. — Introduction aux Journées. Visite de la Station d'essais d'Inichar 5

R. M. LIEGEOIS. — Etat actuel de la préparation du charbon en Belgique : grains, fines, schlamms et eaux résiduaires 9

H. BAUDOUX. — Deux années de pratique dans le lavage des fines 1/10 par liqueur dense 24

E. PIRE. — Le lavage par cyclones des charbons fins de dimension inférieure à 2 mm. Résultats industriels obtenus au charbonnage de Ressaix 31

G. BURTON. — Criblage et dépoussiérage. Difficultés dues à l'humidité. Remèdes adoptés et proposés 38

J. MASSAUT. — Installations de cribles chauffants 47

G. BURTON. — Le traitement des schlamms et des eaux résiduaires 60

P. BELUGOU. — Aspects pratiques des recherches du Cerchar sur le traitement des schlamms par flottation 70

C. KRIJGSMAN et J. M. H. BECKERS. — L'application des grilles courbes D. S. M. dans le traitement des eaux de lavage 84

M. DEWEZ. — L'essoreuse Humboldt. — Résultats industriels obtenus au charbonnage d'Helchteren-Zolder 93

E. POUILLON. — Filtration des eaux schisteuses sur un filtre pilote à décharge à fils . . 97

E. LECLERC et F. EDELINE. — Traitement des eaux polluées des lavoirs à charbon . . . 102

R. LECLERCQ et R. PAQUET. — L'étude en laboratoire du phénomène de la floculation des eaux argileuses 109

H. KOECK. — Traitement des eaux de lavoirs par floculation 114

Reproduction, adaptation et traduction autorisées en citant le titre de la Revue, la date et l'auteur.

EDITION - ABONNEMENTS - PUBLICITE - UITGEVERIJ - ABONNEMENTEN - ADVERTENTIEN
BRUXELLES • EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES • BRUSSEL
Rue Borrens, 37-39 - Borrensstraat — Tél. 48.27.84 - 47.38.52

BIMESTRIEL - Abonnement annuel : Belgique : 450 F - Etranger : 500 F
TWEEMAANDELIJKS - Jaarlijks abonnement : België : 450 F - Buitenland : 500 F

JOURNEES DES PRODUITS FINS

organisées par INICHAR, à Liège, les 20 et 21 février 1956

Introduction aux Journées
La Station d'essais d'Inichar

par J. VENTER,
Directeur d'INICHAR.

Messieurs,

Au nom d'Inichar, je suis particulièrement heureux de vous souhaiter la bienvenue.

Les organisateurs sont honorés que tant de compétences soient présentes. Je salue spécialement :

— M. LUCION, représentant le Ministre des Affaires Economiques, empêché;
— MM. DELARGE et SCHENSKY, de la Haute Autorité de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier;
— M. MEYERS, Président du Conseil d'Administration d'Inichar et Président du Groupe « Charbon » des pays de la C.E.C.A. à l'Exposition de Bruxelles 1958;
— M. DESSARD, Président de la Fédération Charbonnière de Belgique;
— M. SCHLAG, Doyen de la Faculté des Sciences Appliquées.

M. VANDENHEUVEL, Directeur Général des Mines, vous prie d'excuser son absence. Il préside en ce moment la Commission Paritaire de Sidérurgie et est représenté par M. DEMELENNE, Directeur Divisionnaire du Bassin de Liège.

Je salue tout spécialement les délégués d'outre-frontière, d'Allemagne, France, Grande-Bretagne, Pays-Bas et Sarre, qui sont d'éminents spécialistes dans le domaine de la préparation mécanique du charbon.

Gentlemen,

We are very glad to see you again in Belgium.

As you know, this meeting is organised in French, but we shall do our best to give you the most important explanations in English. In any case, you may speak English during the discussion.

Sehr Geehrte Herren,

Ich freue mich die deutschprechende Mitglieder dieser Tagung zu begrüssen.

Ich wiederhole was ich unseren Englischen Kóllegen gesagt habe, und nämlich dass Sie während der Diskussion in Deutsch sprechen können.

Dans tous les pays charbonniers, on constate un accroissement de la teneur en stériles et en produits fins dans le charbon brut. C'est une conséquence inéluctable de la mécanisation de l'abatage et du chargement. Il est probable que ce phénomène ira en s'accentuant.

Souvent aussi, l'humidité du charbon brut est en forte augmentation en raison des mesures d'hygiène prises dans les travaux souterrains. Là aussi, on doit s'attendre à une aggravation. L'extension de la lutte contre les poussières est inéluctable et, d'ailleurs, hautement désirable. Les moyens les plus simples et les plus efficaces paraissent être l'infusion et la pulvérisation d'eau, procédés qui accroissent la teneur en humidité du charbon brut, laquelle devient gênante pour l'ingénieur de préparation à partir de 4 %.

Les problèmes du traitement des produits à fine granulométrie deviennent donc plus difficiles et portent sur des quantités croissantes. La valeur de ces produits, autrefois négligeable, a d'ailleurs augmenté de sorte que l'incidence économique de cette partie de la production est devenue notable. D'autre part, de nouvelles réglementations, relativement sévères, concernant les eaux résiduaires, sont entrées en vigueur.

C'est pour envisager ces problèmes connexes qu'Inichar organise deux Journées d'information, dites « des Produits Fins », qui débutent ce jour.

Il faut entendre par « produits fins », du point de vue qui nous occupe, les produits qui donnent des difficultés à l'ingénieur de préparation en raison de leur faible dimension.

On peut se demander quelle est leur importance dans la production charbonnière belge. Le tableau (fig. 1) donne la répartition approximative de la

production exprimée en milliers de tonnes, suivant un classement en :

a) grains, gros classés et criblés
b) petits charbons lavés
c) bas-produits.

Genre	*Gras*	*½ Gras*	*Maigres*	*Total*
5-10	50	700	790	1540
10-20	1340	820	810	2970
20-30	1000	560	670	1820
30-50	900	450	470	2230
50-80	240	200	350	790
criblés	1470	650	240	2360
	5000	3380	3330	11710
0- 5	—	950	980	1930
2- 5	—	160	210	370
0-10	6250	2200	90	8540
	6250	3310	1280	10840
schlamms	570	530	270	1370
poussiers bruts	990	2260	1410	4660
mixtes genre 0-10	520	390	210	1120
mixtes > 10	20	100	180	300
	2100	3280	2070	7450
	13.350	9.970	6.680	30.000

Fig. 1.

Dans chacune de ces catégories, il y a deux sous-classements : l'un en calibres et l'autre dans les trois qualités : gras, demi-gras et maigres.

Ces nombres ne sont pas absolus, il s'agit de moyennes correspondant à une année normale, qui ne serait ni une année de crise ni une année de boom, à une production de 30 millions de tonnes et à la situation actuelle des installations de préparation mécanique. Il s'agit donc d'une appréciation subjective.

Comme vous le voyez, les produits fins interviennent dans le total pour près de 2/3. Le problème qui les concerne est donc d'importance.

Nous avons invité à ces Journées les exploitants, les constructeurs de matériel de préparation mécanique et les principaux consommateurs de charbon, c'est-à-dire les représentants des grands secteurs de la combustion et de la cokéfaction. Nous avons invité aussi les spécialistes du traitement des eaux résiduaires.

Il nous paraît en effet indispensable de confronter les idées des tenants de ces disciplines. Le temps n'est plus où chacun pouvait travailler dans sa tour d'ivoire. Le charbonnier ne peut se désintéresser des problèmes du constructeur ni du sort qui sera réservé à sa production. D'autre part, les consommateurs doivent connaître et comprendre les sujétions de l'exploitation et, dans celles-ci, il faut encore distinguer entre les sujétions de la mine et celles de l'atelier de préparation. Il y a une unité dans le problème du charbon, qui commence au front de taille pour aboutir, notamment, à la chaudière de l'électricien ou au four du cokier.

Les travaux de ces deux Journées se répartissent de la façon suivante.

Il y a tout d'abord un exposé sur l'état actuel de la préparation du charbon en Belgique et sur les modifications en cours ou prévues. Cette communication donne donc la position à ce jour et les tendances.

Les trois communications suivantes sont relatives aux trois procédés de lavage par suspensions denses. L'une d'elles malheureusement, celle de M. SCHOENMUELLER, sur la bande Vogel, n'aura pas lieu.

L'après-midi sera consacrée aux problèmes du dépoussiérage et, après cela, nous visiterons, pour ceux qui le désirent, la nouvelle station de recherches.

La matinée de demain est consacrée au traitement des schlamms et l'après-midi au traitement des eaux. Les discussions seront groupées par sujet.

* * *

Les travaux de ces Journées peuvent être considérés comme une préface à des travaux plus importants qui auront lieu dans deux années.

En 1958 en effet, Inichar organisera la troisième Conférence Internationale sur la Préparation du Charbon. Comme vous le savez, la première a eu lieu à Paris, en 1950, et la deuxième à Essen, en 1954. La troisième devait avoir lieu à Londres. Le National Coal Board a accepté qu'elle se fasse en Belgique à cause de l'Exposition Universelle et Internationale très importante qui aura lieu cette année à Bruxelles.

* * *

Les études d'Inichar se développent dans les triages-lavoirs des charbonnages, dont il étudie le fonctionnement et les performances.

Inichar a également décidé de construire un laboratoire pour y étudier, à grande échelle, tous les problèmes qui relèvent de la préparation mécanique du charbon. Inichar a acquis à cet effet un terrain de près de un hectare à Ougrée, fort bien situé en bordure de la Meuse. Le bâtiment comporte des bureaux et laboratoires, et un grand hall d'essais où seront établis les appareils réalisés à l'échelle semi-industrielle.

L'ensemble des bâtiments a été conçu de façon à réserver toutes les possibilités d'extension. Le

hall peut être doublé en longueur. Derrière le hall existe un espace vide de surface équivalente, qui permettrait éventuellement de créer un deuxième hall à côté du premier. Le bâtiment en retour, vers le quai, contenant les bureaux et laboratoires, ne comporte qu'un rez-de chaussée, mais il est prévu qu'il peut recevoir un étage (fig. 2, 3 et 4) (*). Il sera possible également, dans l'avenir de construire un bâtiment en retour, symétrique aux bureaux et laboratoires actuels, comme l'indique la vue perspective (fig. 5) (**).

La construction des bâtiments comporte une particularité assez remarquable. Ils sont établis de façon telle qu'ils puissent résister aux mouvements du sol, dus aux exploitations minières.

La solution apportée à ces problèmes particuliers a fait l'objet d'une étude approfondie par M. LESAGE, Ingénieur-Conseil, M. PIRNAY, Architecte, et les laboratoires du Génie Civil de l'Université de Liège. Les techniques employées ont fait l'objet d'une Journée d'Etudes organisée par Inichar le 2 avril 1954, au cours de laquelle on a visité les fondations. Le tout a été publié dans les « Annales des Mines de Belgique », en date du mois de juillet 1954.

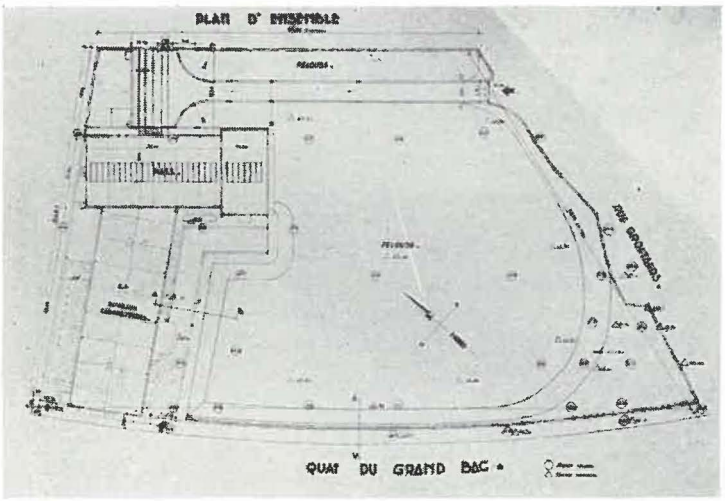


Fig. 2. — Plan d'ensemble. Terrain, bâtiment bureaux, Laboratoires et hall — chemin de fer, les entrées.

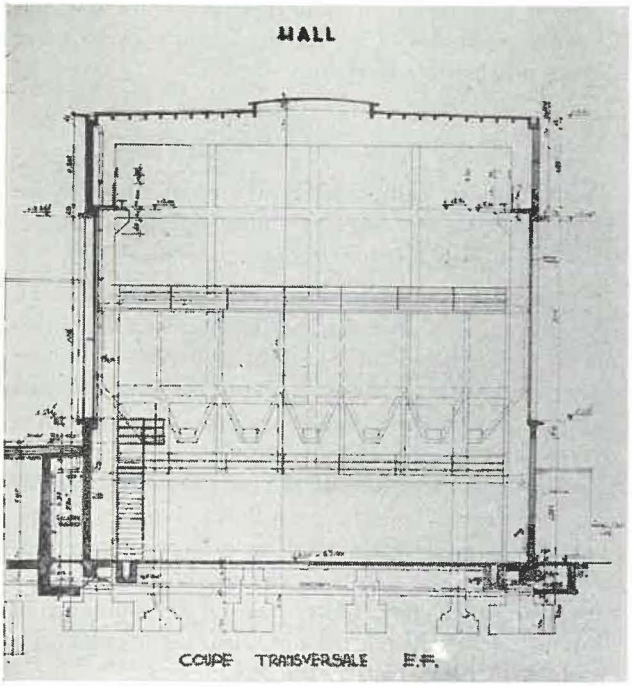


Fig. 3. — Coupe transversale du hall dans la partie normale. Galerie de visite des dispositifs de fondations : égoûts, caniveaux, fondation du mécano. Galerie des fluides. Passerelle du pont roulant. Lanterneau en béton translucide. Dans le fond, les silos.

Le problème posé au constructeur du hall était assez compliqué. L'aménagement doit répondre à des conditions qui seront essentiellement variables. On ne peut dire en effet quels seront les appareils à établir dans l'avenir et il y aura constamment des appareils nouveaux.

Dans sa généralité, le problème consiste à pouvoir établir un appareil quelconque en tous points de l'espace, à y amener toute espèce de fluides, savoir l'eau, la vapeur, l'air comprimé, l'électricité, diverses espèces de gaz, des conduites à vide, des conduites d'aspiration, etc. Il faut aussi pouvoir réaliser, entre deux points quelconques de l'espace, un transport de matières, charbon brut, charbon lavé, stériles, avec un débit instantané de l'ordre de plusieurs dizaines de tonnes à l'heure. Il faut aussi des installations de stockage fortement compartimentées.

Ces problèmes ont été résolus.

En ce qui concerne le montage des appareils, on a prévu dans le hall d'essais un dispositif, que nous appelons « le mécano », utilisant des élé-

(*) Ce sont les fig. 1, 3 et 4 de l'article « Protection des bâtiments contre les mouvements de terrains ». — *A.M.B., juillet* 1954, p. 5-11.

(**) Fig. 7 du même article.

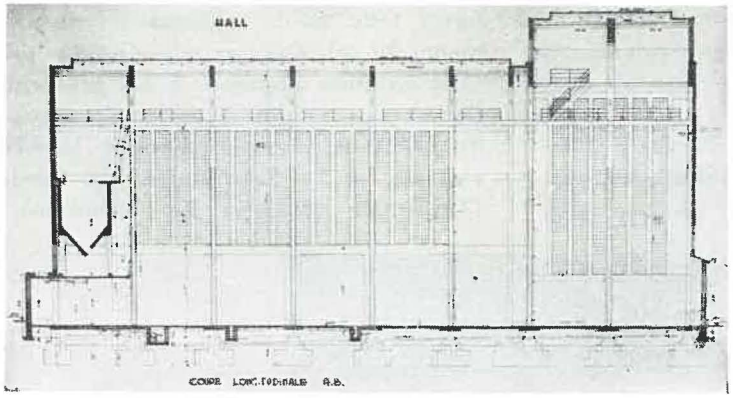


Fig. 4. — Coupe longitudinale du hall. Baies en béton translucide et lanterneau en béton translucide.

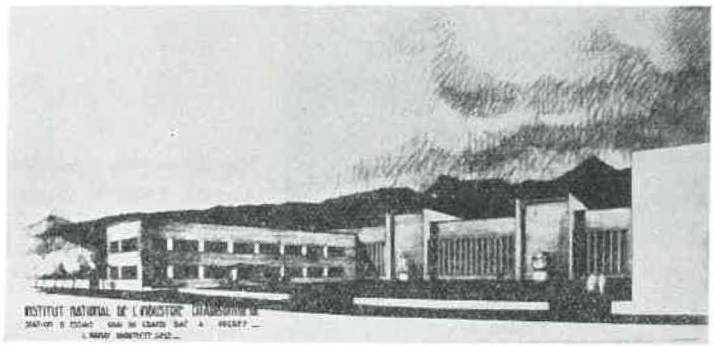


Fig. 5. — Perspective. — Vue du quai.

ments standardisés; il permet de construire, en tous points, un plancher capable de supporter une charge de 2,5 tonnes/m^2.

En ce qui concerne les fluides, ceux-ci ont été groupés dans des galeries en sous sol qui desservent tous les bâtiments de telle façon qu'un simple raccord vertical permette d'arriver à proximité d'un point quelconque à desservir.

Pour le transport et l'alimentation en produits, nous avons adopté la solution du pont roulant, muni d'une benne de grandes dimensions, spécialement étudiée. Le mécano permet en outre d'installer tous les dispositifs d'alimentation continue.

Les premières études devant porter sur les appareils à liquides denses, on installe en ce moment un circuit fondamental pour la formation et la régénération des médiums.

Les bureaux et laboratoires comportent :

— trois salles équipées pour les analyses et les recherches à petite échelle,

— la première, donnant directement accès à une passerelle du grand hall, est réservée aux opérations de séchage, échantillonnage, criblage, concassage et broyage des échantillons destinés aux analyses. Elle sera équipée, entre autres, d'un concasseur à mâchoires, d'un granulateur à cylindres, d'un broyeur vibrant, de différents types d'échantillonneurs et de petits cribles mécaniques de laboratoire.

C'est dans cette salle que se feront également les recherches d'orientation à petite échelle avant le passage au stade semi-industriel.

— une seconde salle est réservée uniquement aux analyses par liqueurs denses organiques. Elle sera pourvue d'une table de travail spéciale conçue pour éliminer complètement les vapeurs toxiques dégagées par ces liqueurs.

— la troisième salle contiendra les différents fours pour l'incinération et la détermination des matières volatiles et les balances analytiques pour les pesées de précision.

— en outre, deux salles sont laissées en réserve pour permettre des extensions futures.

Le bâtiment comporte évidemment tous les locaux habituels tels que : ateliers, réfectoire, bains-douches, bibliothèque, conciergerie, etc.

Le système de chauffage a été étudié en liaison par l'architecte, l'organisme Cedocos et les ingénieurs d'Inichar. On a adopté, comme solution pour le chauffage du hall, les panneaux radiants à l'eau surchauffée. Les bureaux et laboratoires comportent le chauffage ordinaire par thermo-siphon à basse pression. Il y a un conditionnement dans les locaux où un grand appel d'air est nécessaire. La source de chaleur est cependant unique et constituée par une chaudière conçue pour être alimentée par toute espèce de charbon et donnant des facilités d'emploi égales à celles des combustibles les plus évolués.

Des explications complémentaires vous seront fournies au cours de la visite de ce jour.

Je donne maintenant la parole à M. LIEGEOIS.

Etat actuel de la préparation du charbon en Belgique
Grains, fines, schlamms et eaux résiduaires

par R. M. LIEGEOIS,
Ingénieur à INICHAR,

I. — INTRODUCTION

En guise d'introduction à ces Journées consacrées au traitement des produits fins, il nous a paru opportun de faire connaître d'une façon aussi complète et aussi détaillée que possible l'état actuel de la préparation du charbon en Belgique ainsi que son évolution dans le futur immédiat (1).

Avant d'aborder le sujet, nous tenons à remercier tous les charbonnages belges qui ont répondu avec bonne grâce à nos deux questionnaires.

Les diagrammes et les tableaux inclus dans le texte ont été obtenus par le dépouillement des réponses à ces questionnaires et par les renseignements qui nous ont été donnés au cours de nos visites dans tous les bassins.

On dénombre actuellement en Belgique 81 installations de triage-lavoir en activité. Elles se répartissent de la façon suivante entre les différents bassins (tableau I).

TABLEAU I

Bassin	Sociétés 1-1-56	Sièges en activité 1-1-55	Puits d'extraction 1-1-55	Lavoirs 1-1-56
Borinage	7	23	37	9
Centre	6	18	27	11
Charleroi	19	57	84	32
Liège	16	30	54	22
Campine	7	7	14	7
Royaume	55	135	216	81

Nous avons adopté l'unité « bassin charbonnier » qui est généralement utilisée en Belgique dans les statistiques de la production et des rendements.

L'unité de poids est la tonne par jour. De cette façon, les nombres intervenant dans nos calculs sont facilement lisibles et évocateurs. En même temps, il nous est permis de comparer entre eux les tonnages relatifs aux cinq bassins puisque, pour chacun d'eux, la moyenne du nombre de jours ouvrés en un an s'écarte peu de la moyenne générale (Tableau II).

TABLEAU II

Bassin	Moyenne du nombre de jours ouvrés en 1 an	écart à 288	écart en %
Borinage	281	— 7	2,4
Centre	286	— 2	0,7
Charleroi	293	+ 5	1,7
Liège	291	+ 3	1
Campine	287	— 1	0,3
Royaume	288	—	—

La production nette moyenne journalière des différents bassins est respectivement [3] (2) :

TABLEAU III

Production nette moyenne journalière.

I	Borinage	15.200 tonnes par jour
II	Centre	12.600 tonnes par jour
III	Charleroi	24.400 tonnes par jour
IV	Liège	17.000 tonnes par jour
V	Campine	32.200 tonnes par jour
Total		101.400 tonnes par jour

soit environ 100.000 tonnes nettes par jour
ou 165.000 tonnes brutes par jour.

En effet, pour l'ensemble de la Belgique, 100 tonnes brutes donnent 60 t de produits vendables et 40 t de déchets (tableau IV).

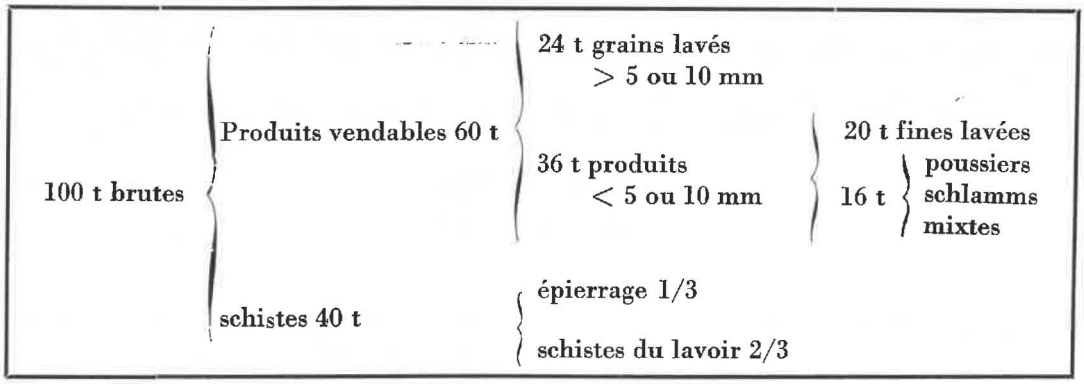
Les 40 tonnes de déchets proviennent pour 1/3 de l'épierrage et pour 2/3 du lavoir.

Dans les 60 tonnes de produits vendables, il y a 40 % (soit 24 tonnes) de grains lavés au

(1) La situation actuelle est arrêtée à la date du 1er janvier 1956.

(2) Les numéros entre crochets renvoient à la bibliographie in fine.

TABLEAU IV



delà de 5 ou 10 mm et 60 % (soit 36 tonnes) de produits inférieurs à 5 ou 10 mm.

Ces 36 tonnes se subdivisent
en 55 % (soit 20 tonnes) de fines lavées
et 45 % (soit 16 tonnes) de poussiers, schlamms et mixtes.

Ces chiffres situent bien l'importance de l'ensemble des produits fins dans la valorisation de la production charbonnière belge.

Comme cette note vise à donner une vue d'ensemble de la préparation du charbon en Belgique, nous avons adopté comme plan de travail le déroulement normal des opérations d'épuration dans un lavoir. Il consiste à cribler le tout-venant pour traiter séparément les produits triés à la main, les grains, les charbons fins, les poussiers et les schlamms. Trois fonctions jadis secondaires : l'épuration des eaux, la récupération des schlamms fins et l'élimination des argiles prennent un développement de plus en plus grand en raison des exigences de la loi, de l'économie et de la technique.

II. — LE TRIAGE MANUEL

Les grosses catégories sont généralement épierrées à la main sur des transporteurs à marche lente.

La dimension inférieure des charbons triés à la main.

La dimension inférieure des houilles triées à la main diffère d'une installation à l'autre (fig. 1).

Cette limite varie entre 55 mm et 300 mm.

Nous avons indiqué en abscisse les nombres correspondant à des limites existantes. L'échelle logarithmique permet ici de bien répartir ces nombres et rend aisée la lecture dans la zone des plus petites dimensions.

En ordonnée, figure le nombre d'installations triant à la main les houilles plus grosses que 55 mm, respectivement 60, 65, 70, 75 mm, etc. La ligne en traits fins réunit les points ainsi marqués et représente la situation actuelle.

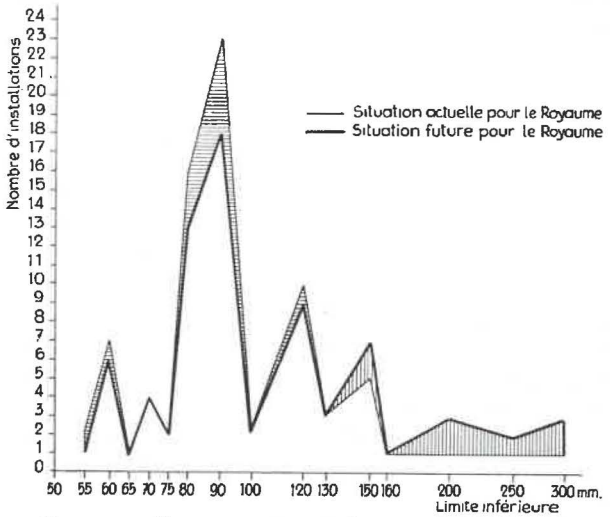


Fig. 1. — Triage à main : évolution en cours rapportée au nombre d'installations.

Dans plus de la moitié des exploitations, on pratique l'épuration manuelle à partir de 80 ou 90 mm. Généralement, on épierre le plus gros que 90 mm. Les transformations que les lavoirs subiront au cours des deux prochaines années auront pour effet de modifier la situation du triage à main.

Celle-ci se traduira par la ligne en traits gras.

Sur la partie gauche du diagramme, plus exactement pour des grosseurs inférieures à 130 mm, la ligne future indique une diminution globale de 11 unités. La diminution affecte chaque catégorie granulométrique proportionnellement à son importance primitive. Au delà de 130 mm, le phénomène est inverse : on note 7 unités supplémentaires.

La limite du triage manuel recule vers les grosses granulométries et, dans quatre charbonnages, il sera bientôt supprimé.

Nous avons dessiné (fig. 2) des colonnes dont la hauteur est proportionnelle au tonnage trié à la main journellement, respectivement dans l'état ac-

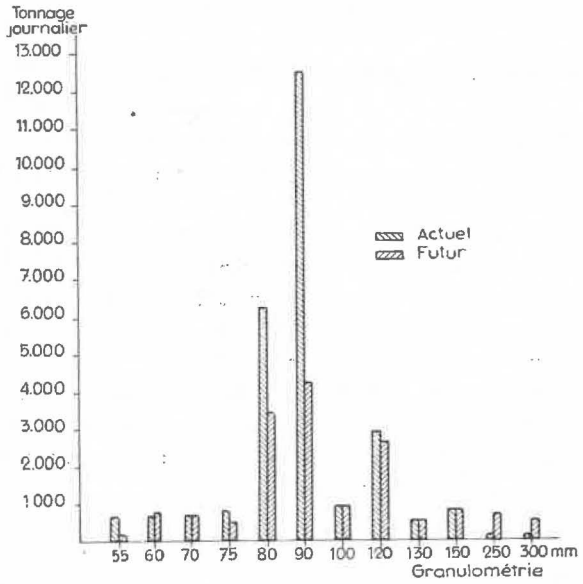


Fig. 2. — Triage à main : évolution en cours rapportée au tonnage journalier.

tuel et dans l'état futur de la préparation du charbon.

Considérons d'abord l'état actuel :

la plus grande quantité de charbon brut (environ 75 %) est triée, soit à 80 mm, soit à 90 mm, soit à 120 mm; le tonnage traité à + 90 mm dépasse à lui seul le tonnage traité en + 80 mm et + 120 mm. Il est rare que des grains de plus de 150 mm ne soient pas traités à la main.

Les modifications en cours abaissent considérablement les sommets marqués de 80 mm et 90 mm; elles n'affectent guère les autres granulométries comprises entre 60 et 150 mm. Par contre, la quantité de trié à 55 mm devient négligeable et, du côté des grandes dimensions, le tonnage traité à 250 mm ou à 300 mm prend quelque importance.

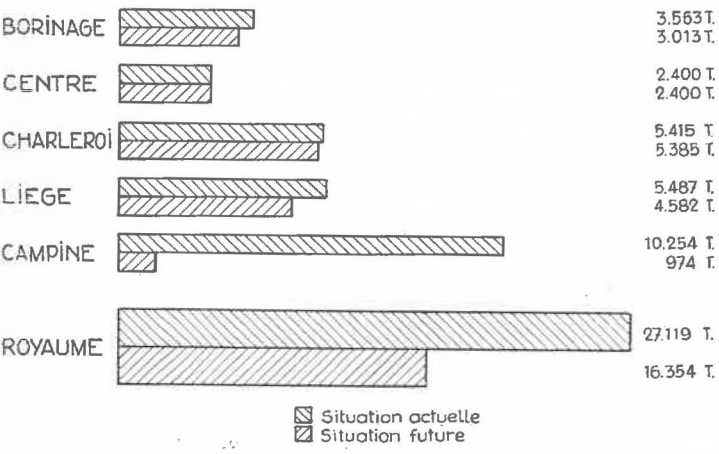


Fig. 3. — Triage à main — Tonnage journalier : répartition par bassins.

Le triage manuel et le « triage mécanique » en concurrence.

Que l'on envisage soit le nombre d'installations de triage manuel soit le tonnage quotidien de charbon épuré de cette façon, il semble bien que l'on puisse considérer, comme limite inférieure normale de triage manuel, la dimension 80 mm.

Sur cette base, nous représentons maintenant un nouvel aspect de l'évolution prévue en matière d'épuration des produits triés à la main. Nous examinons cette fois chaque bassin séparément, ce qui nous amène à les comparer (fig. 3).

Nous constatons que le bassin de Campine, de loin le plus important, supprimera presque complètement les opérations manuelles de triage d'ici deux ans. Aucun des autres bassins charbonniers n'évolue avec une telle rapidité. Toutefois, chaque bassin, sauf celui du Centre, trahit une régression du triage à main et cette régression porte ses effets sur l'ensemble du pays.

Un tableau analogue peut être dressé en ce qui concerne le triage mécanique des charbons plus gros que 80 mm (fig. 4).

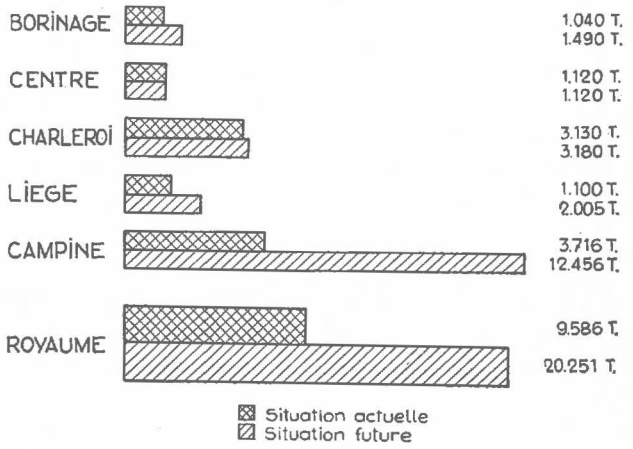


Fig. 4. — Triage mécanique — Tonnage journalier : répartition par bassins.

La production la plus forte actuellement provient de Campine et est suivie de près par celle du bassin de Charleroi.

Les trois autres bassins ont une importance très comparable.

L'augmentation de la mécanisation n'est pas proportionnelle à la production actuelle. Poussée en Campine, elle l'est moins dans le Borinage et à Liège. Elle est nulle ou pratiquement nulle dans le Centre et à Charleroi.

Pour l'ensemble du pays, la quantité de gros produits épurés mécaniquement doublera au cours des années 1956 et 1957.

Nous avons voulu résumer (fig. 5) les diverses observations commentées ci-dessus. Nous propo-

sons à cet effet de lire directement en pourcentage, pour chaque bassin et pour l'ensemble du pays, les quantités de produits bruts de plus de 80 mm, respectivement triés à la main et épurés mécaniquement.

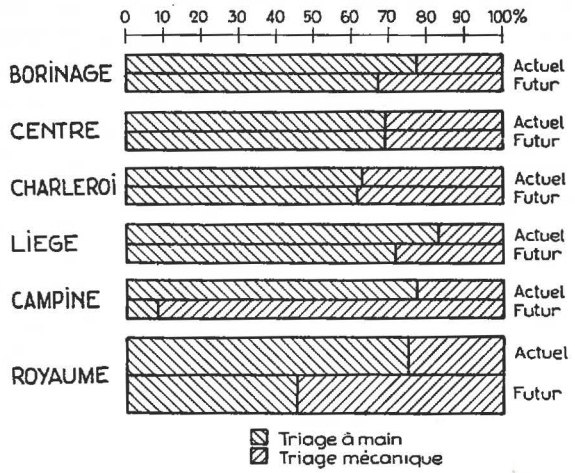


Fig. 5. — Triage à main et triage mécanique — Tonnages journaliers comparés.

Le triage manuel domine, sauf en ce qui concerne la situation future de la Campine et celle de l'ensemble du pays influencée par cette dernière.

La mécanisation de l'épierrage des gros produits est une tendance quasi générale. Elle se justifie par la rareté et le coût de la main-d'œuvre et par le désir d'obtenir des produits de qualités constantes.

Concassage des grosses houilles et des barrés.

Nous avons rassemblé quelques chiffres relatifs au concassage des grosses houilles et des barrés (tableau V).

Au total, plus de la moitié des lavoirs concassent les grosses houilles.

Les mixtes appelés « barrés » sont concassés mécaniquement dans près de 40 % des installations en vue de leur valorisation.

TABLEAU V

Concassage des grosses houilles et des barrés.

Nombre d'installations.

Bassin	Nombre de lavoirs en activité	Concassage des grosses houilles	Concassage des barrés
Mons	9	4	6
Centre	11	4	1
Charleroi	32	20	11
Liège	22	17	6
Campine	7	3	7
Total fév. 1956	81	48	31

II. — L'EPURATION DES GRAINS

La dimension inférieure des grains.

Nous avons défini dans la première partie de l'exposé la notion de limite inférieure de triage à main, c'est-à-dire en fait la limite supérieure de traitement des grains.

La limite inférieure de la dimension des grains est généralement comprise entre 5 et 12 mm (3).

Il semble que le type d'appareil de lavage soit un facteur déterminant de cette dimension.

Dans le cas des bacs à pistonnage (fig. 6), la limite est soit 5, soit 10 mm lorsqu'on emploie des cribles à trous ronds, soit 6 et respectivement 12 mm lorsqu'on emploie des cribles à trous carrés. Il y a peu d'exception.



Fig. 6. — Epuration des grains par bacs à pistonnage — Dimension inférieure des grains.

Les rhéolaveurs (fig. 7) traitent des grains dont la dimension inférieure est le plus souvent 5 mm — 6 mm en variante —. Toutefois, deux lavoirs ne

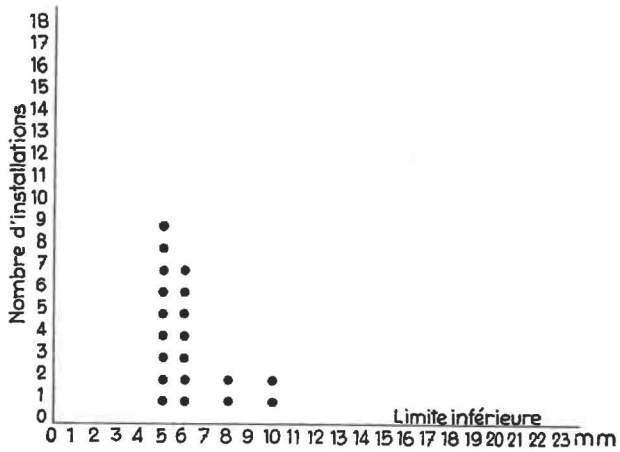


Fig. 7. — Epuration des grains par rhéolaveurs — Dimension inférieure des grains.

(3) Nous avons donc appelé « grains » des charbons qui se classent en raison de leur grosseur dans les catégories suivantes :

gailleteries	80-180 mm	noisettes	20-30 mm
gailletins	40- 80 mm	braisettes	10-20 mm
têtes de moineaux	30- 50 mm	grains	5-10 mm

prennent pas les grains plus petits que 8 mm et, dans deux autres charbonnages, on crible à 10 mm.

En suspension dense (fig. 8), la dimension inférieure des grains est moins nettement établie entre 5 et 15 mm, avec cependant un maximum à 10 mm et un groupement important à 5 — 6 mm. Au total, la moitié des installations considèrent comme charbons fins les charbons plus petits que 5 — 6 mm; 40 % admettent 10 — 12 mm comme limite.

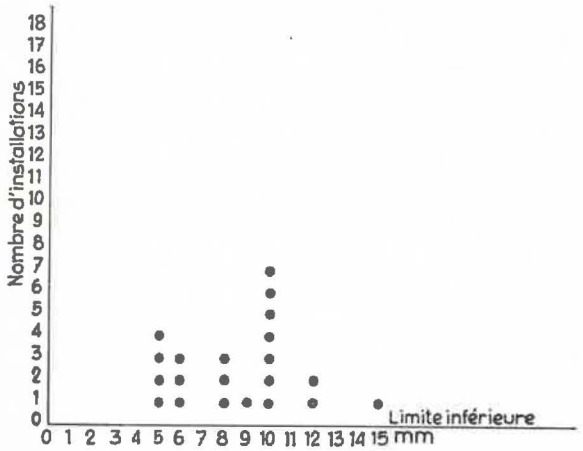


Fig. 8. — Epuration des grains en suspensions denses — Dimension inférieure des grains.

Méthodes d'épuration des grains.

L'épuration des grains s'obtient par différents procédés que l'on peut ramener à trois types fondamentaux :

1. bacs à pistonnage avec ou sans air comprimé,
2. rhéolaveurs,
3. appareils à suspension dense (le plus souvent magnétique).

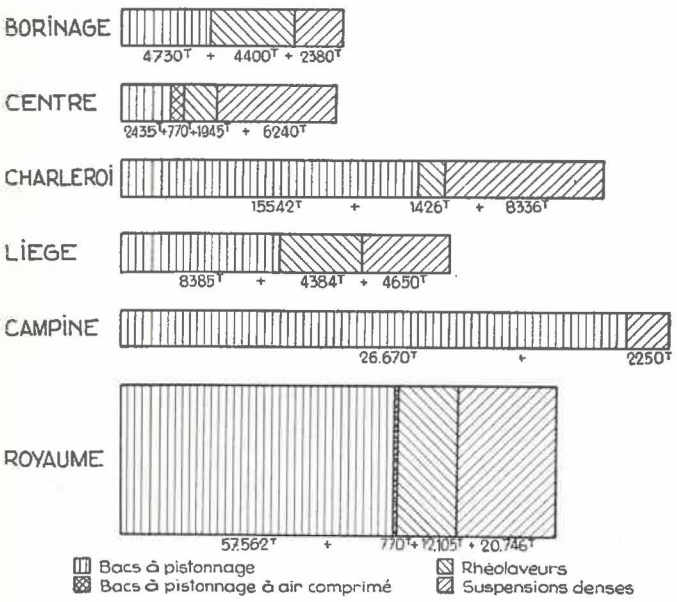


Fig. 9. — Situation actuelle de l'épuration des grains : types d'appareil et tonnage journalier.

Considérons chaque bassin charbonnier séparément et représentons, par des figurés différents, les parts du tonnage traité par les trois procédés rappelés ci-devant (fig. 9).

En ce qui concerne l'état actuel, quelques constatations s'imposent :

à l'exception du bassin du Centre, le lavage par bacs est prépondérant, et ceci vaut tout particulièrement pour la Campine.

Il n'existe pas de rhéolaveur en Campine.

Dans les autres bassins, les rhéolaveurs jouent un rôle non négligeable, notamment dans le Borinage et à Liège où leur participation atteint 25 à 30 %.

La suspension dense a pris le plus grand développement relatif dans le Centre où l'on traite en outre 770 tonnes par jour dans des bacs à air comprimé.

Pour l'ensemble du pays, environ 65 % des grains sont lavés dans des bacs, 10 % dans des rhéolaveurs et 25 % dans des appareils à suspension dense.

Dans un proche avenir, les modifications suivantes surviendront (fig. 10) :

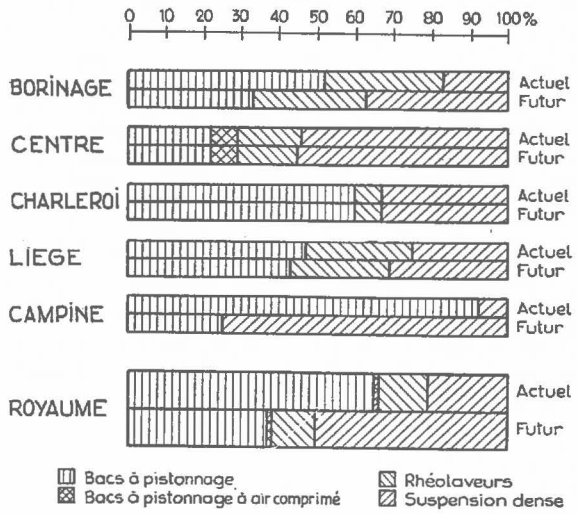


Fig. 10. — Epuration des grains : évolution immédiate des procédés.

Dans le Borinage : recul du lavage par bac au profit du lavage par suspension dense; finalement le déséquilibre entre les différents procédés n'apparaîtra guère;

A Liège : léger recul du lavage par bac au profit de la suspension dense;

En Campine : on assistera en moins de deux ans à un revirement complet de la situation : 75 % des grains seront épurés par suspension dense.

Ce dernier revirement portera une atteinte sérieuse à la vogue des bacs à pistonnage. Tandis que les charbonnages belges resteront fidèles aux rhéolaveurs, les appareils d'épuration par suspen-

sion dense supplanteront progressivement mais sûrement les bacs à pistonnage. La coupure en deux produits est plus nette dans les appareils à suspension dense. Le contrôle de cette coupure est aisé, immédiat, continu et indépendant de facteurs humains. Pour ces raisons, il est logique de passer à la suspension dense chaque fois qu'une installation d'un autre type ne donne plus satisfaction et à condition toutefois que la capacité horaire justifie les investissements nécessités par la création de circuits de récupération de la magnétite.

L'horaire de travail des lavoirs à grains.

La plupart des lavoirs à charbon travaillent pendant la durée d'un poste normal éventuellement prolongé (Tableau VI). Cela leur permet d'écouler les produits bruts accumulés et d'achever le traitement du charbon entré dans le circuit.

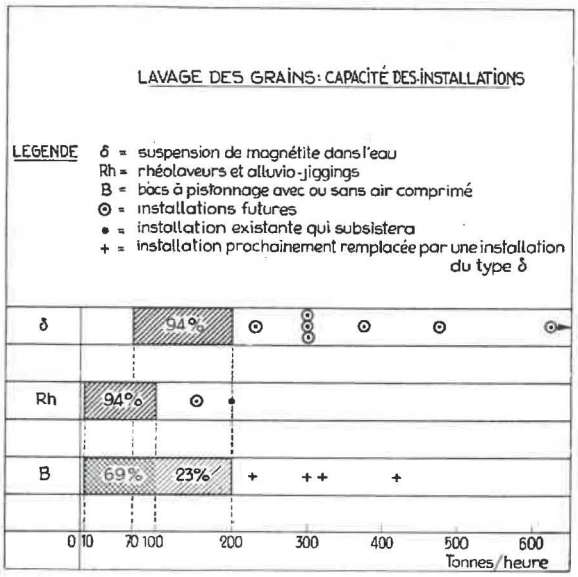


Fig. 11.

TABLEAU VI

Lavage des grains.

Horaire de travail.

Nombre d'heures	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nombre de lavoirs	1	1	1	6	23	10	12	2	3	1	7	2	11	—	—	—	1

Un nombre plus restreint d'installations tournent pendant la durée de deux postes de 7 ou 8 heures, soit 14 ou 16 heures.

En dehors de ces temps normaux, une douzaine de lavoirs travaillent pendant des temps variant entre 4 et 20 heures selon les circonstances locales.

En résumé, 85 % des lavoirs fonctionnent pendant un ou deux postes; près de 2/3 travaillent pendant un poste éventuellement prolongé.

La capacité des installations de lavage des grains.

Nous avons relevé pour chaque type d'installation : suspension dense, rhéolaveur ou bac, la capacité horaire traitée. Nous avons aussitôt constaté que les limites des zones d'extension diffèrent d'un type à l'autre (fig. 11).

94 % des lavoirs équipés de rhéolaveurs traitent moins de 100 t/h. Les rhéolaveurs caractérisent donc des charbonnages de tonnage horaire inférieur à 100.

94 % des lavoirs équipés d'appareils à suspension dense traitent entre 70 et 200 t/h. Comparée à la zone d'action des rhéolaveurs, la zone d'action des lavoirs à suspension dense est donc plus étendue et déplacée vers les plus fortes capacités horaires.

92 % des installations équipées de bacs à pistonnage traitent des quantités comprises entre 10 et 200 t/h. La zone correspondante couvre à la fois la zone des rhéolaveurs et celle des lavoirs à suspension dense. Toutefois, 69 % des bacs travaillent à moins de 100 t/h et, d'autre part, il existe des installations de lavage par bac traitant respectivement 230, 300, 320 et 420 t/h.

Ces dernières installations sont appelées à disparaître dans un proche avenir au profit de la suspension dense. Le développement de ce procédé apparaît très bien sur le diagramme où nous avons marqué d'un double rond les réalisations en cours. On observera que les nouvelles installations de suspension dense remplaceront, en les renforçant, les installations de lavage par bac existant en Campine.

IV. — L'EPURATION DES CHARBONS FINS OU « FINES »

La dimension inférieure des fines.

La dimension inférieure des fines est déterminée par le dépoussiérage ou le déschlammage.

Les installations pour lesquelles la limite inférieure des fines est de plus de 2 mm sont exceptionnelles et nous les avons négligées (fig. 12).

Dans 29 cas, le dépoussiérage ou déschlammage se fait à 0,5 mm et dans 29 autres cas à 1 mm.

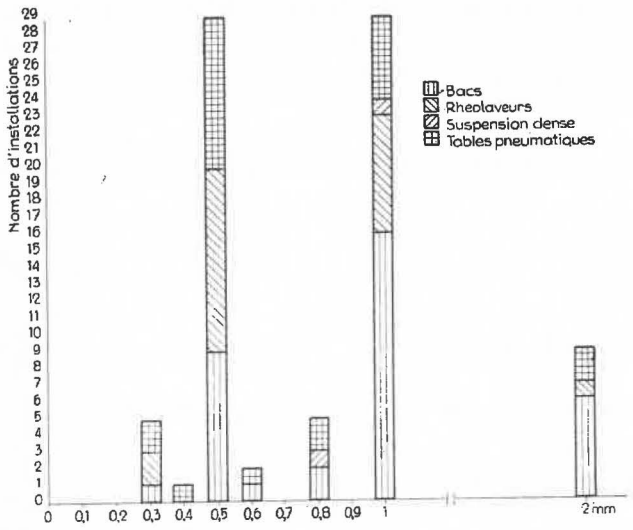


Fig. 12. — Epuration des fines — Dimension inférieure des produits traités.

Les autres valeurs sont dans l'ordre décroissant: 2 mm, 0,8 et 0,3 mm, 0,6 et enfin 0,4 mm.

Nous avons adopté des figurés différents pour les quatre types d'appareils rencontrés. On peut en déduire que la dimension inférieure des fines entrant dans des bacs à pistonnage est généralement de 1 mm.

Dans les rhéolaveurs et sur les tables pneumatiques, on admet des produits de dimension supérieure à 0,5 mm.

Les appareils à liquide dense sont alimentés en 0,8 et 1 mm. Il s'agit là d'une dimension limite en deça de laquelle les bacs ordinaires concurrencent les bacs à liquide dense.

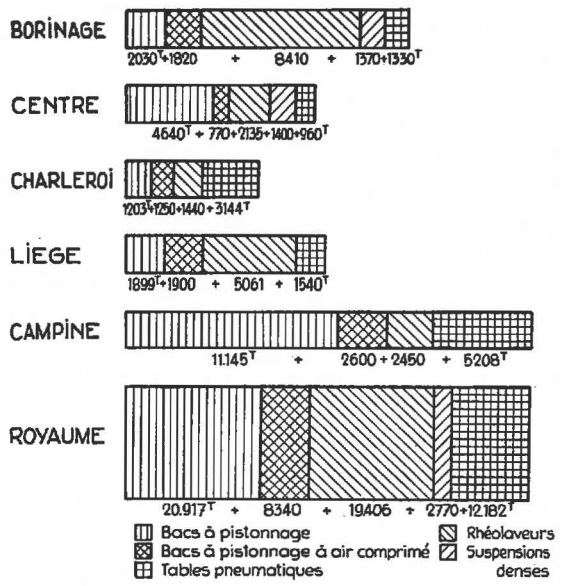


Fig. 13. — Situation actuelle de l'épuration des fines : types d'appareils et tonnage journalier.

Méthodes d'épuration des fines.

Les appareils de lavage par voie humide des fines sont les bacs à pistonnage avec ou sans air comprimé, les rhéolaveurs et les bacs ou cyclones à suspension de magnétite. A ces appareils viennent s'ajouter les tables pneumatiques sur lesquelles le charbon est envoyé sec (fig. 13).

Les tables pneumatiques sont employées surtout en Campine et à Charleroi. Faisons remarquer qu'à Charleroi il s'agit d'une majorité réelle. En Campine existent principalement des bacs à pistonnage. Il en est de même dans le Centre.

Les rhéolaveurs dominent dans le Borinage et à Liège.

Il n'existe pas d'installation à suspension dense à Liège, en Campine et à Charleroi (si l'on excepte un relavage de mixtes 2-5 mm).

La situation d'ensemble pour le royaume se présente comme suit (tableau VII).

TABLEAU VII

Epuration des fines.	
bacs à pistonnage :	46 %
rhéolaveurs :	31 %
tables pneumatiques :	19 %
suspensions denses :	4 %

Que deviendra le lavage des fines dans un proche avenir ? (fig. 14).

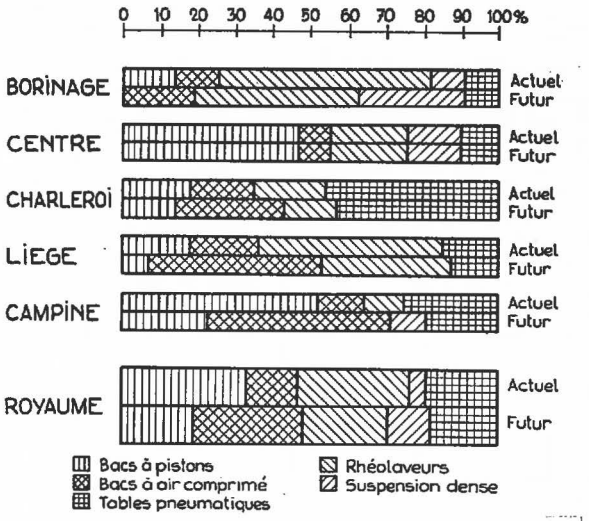


Fig. 14. — Epuration des fines : évolution immédiate des procédés.

Pour le bassin du Centre : statu quo. Pour les autres bassins, examinons d'abord le cas des tables pneumatiques : légère régression à Charleroi, à Liège et en Campine. Au total : un recul de peu d'importance.

Les bacs à pistonnage sans air comprimé traiteront des tonnages moins importants et disparaîtront même dans le Borinage. Par contre, on verra se développer partout les installations par bacs à air comprimé à un point tel que, pour l'ensemble des bacs, le tonnage traité augmentera sauf dans le Borinage.

Généralement, on épurera moins par rhéolaveurs; ils disparaîtront en Campine. La suspension dense apparaîtra dans ce bassin et augmentera de capacité dans le Borinage.

Pour l'ensemble du pays, tout se passera comme si les bacs à air comprimé remplaçaient dans leur suprématie les bacs ordinaires, tandis que les rhéolaveurs céderaient la place aux lavoirs équipés de suspension dense.

L'horaire de travail des lavoirs à fines.

La moitié des charbonnages de Belgique travaillent à la préparation du charbon pendant la durée d'un poste plus ou moins prolongé (tableau VIII).

Environ 30 % des lavoirs à fines tournent pendant deux postes de 7 à 8 heures.

Ce sont là les limites extrêmes de la courbe intégrale que nous avons tracée en reportant les tonnages journaliers en regard des teneurs en cendres correspondantes (fig. 15).

La partie rectiligne de cette courbe intégrale est limitée vers le bas à 23 % de cendres et vers

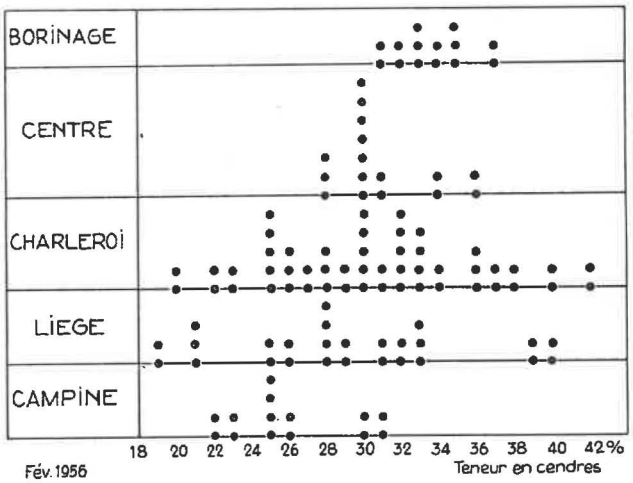


Fig. 16. — Teneur en cendres des fines brutes : situation pour les différents bassins.

TABLEAU VIII

Lavage des fines.
Horaire de travail.

Nombres d'heures	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nombres d'installations	2	1	1	5	20	8	11	2	4	—	10	4	11	—	—	—	1

Teneur en cendres des fines brutes.

La teneur en cendres des fines brutes varie entre 19 et 43 %.

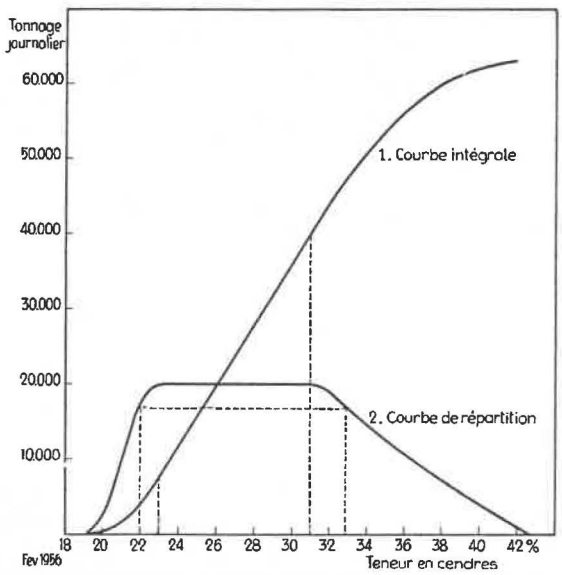


Fig. 15. — Teneur en cendres des fines brutes : courbe de répartition pour le Royaume.

le haut à 31 % de cendres. Comme l'indique la courbe de répartition qui en est dérivée, et que nous avons dessinée à une échelle arbitraire, les teneurs les plus fréquentes sont comprises entre 22 et 33 % de cendres.

Il n'est pas sans intérêt de signaler que la teneur en cendres n'est pas uniforme pour tous les bassins (fig. 16). Mais, dans un même bassin, la teneur en cendres varie d'un charbonnage à l'autre entre des limites très distantes, principalement à Liège et à Charleroi. Nous le montrons en superposant les diagrammes d'étalement relatifs aux cinq bassins. On note un glissement net des fortes teneurs vers les faibles teneurs lorsqu'on passe du Borinage (en haut à droite) à la Campine (en bas à gauche).

Le rendement du lavage des fines en fonction de la qualité du brut.

Dans un diagramme donnant la proportion de flottant en fonction de la teneur en cendres du brut, la courbe idéale serait la diagonale correspondant à un lavage parfait.

Cette diagonale joint le point de coordonnées (x_1 = 100 % cendres dans le brut, y_1 = 0 % rendement en flottant) au point de coordonnées (x_2 = 0 % cendres dans le brut, y_2 = 100 % rendement en flottant) (fig. 17).

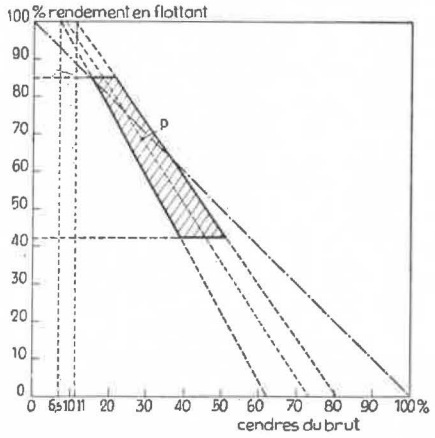


Fig. 17. — Rendement du lavage des fines en fonction de la qualité du brut.

Les fines sont heureusement vendables quand la teneur en cendres n'excède pas 14 % environ et l'on peut dire que la plupart des charbonniers obtiennent des fines dont la teneur est comprise entre 6,5 et 11 %, ces limites étant quelque peu dépassées quand l'épuration a lieu sur des tables.

On doit donc s'attendre à ce que la diagonale soit remplacée par une zone allongée suivant une direction légèrement redressée. C'est cette zone que nous avons hachurée et limitée vers le haut et le bas par les ordonnées de rendements maximum et minimum obtenus dans la pratique. Le point P par exemple correspond à un charbon fin brut à 28,5 % cendres qui, épuré, donne 69 % de charbon lavé à 8,75 % cendres et 31 % de schistes à 73 % cendres.

Les appareils de lavage à l'eau et les tables pneumatiques traitent en général des charbons de natures quelque peu différentes.

On peut s'en rendre compte de plusieurs façons:

1) en comparant les courbes cumulatives de tonnage journalier en fonction de la teneur en cendres (fig. 18).

Ces courbes rappellent que le tonnage traité par voie humide (bacs ou rhéolaveurs) est de loin supérieur à celui épuré par voie sèche.

Elles indiquent en outre que la teneur moyenne en cendres du brut alimentant les tables pneumatiques ne dépasse pas 33 %, valeur inférieure à la teneur moyenne maximum des charbons lavés à l'eau.

2) en comparant la propreté des charbons fins épurés pneumatiquement à celle des charbons de même nature lavés à l'eau. Dans un diagramme qui ne tient pas compte du rendement en flottant,

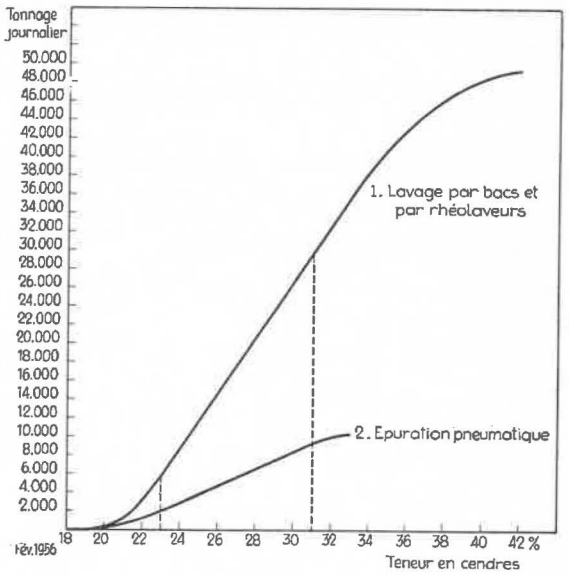


Fig. 18. — Teneur en cendres des fines brutes : produits traités par voie humide et produits épurés pneumatiquement.

100-a' représente, pour le brut, la perte en poids par incinération et 100-f représente, pour le flottant, la perte en poids par incinération (fig. 19).

Quelle que soit la teneur en cendres initiale, les charbonnages essaient d'obtenir un flottant à 10 % de cendres environ, la propreté finale dépendant du rendement désiré, des performances des appareils, de la nature et de la distribution des impuretés dans le brut.

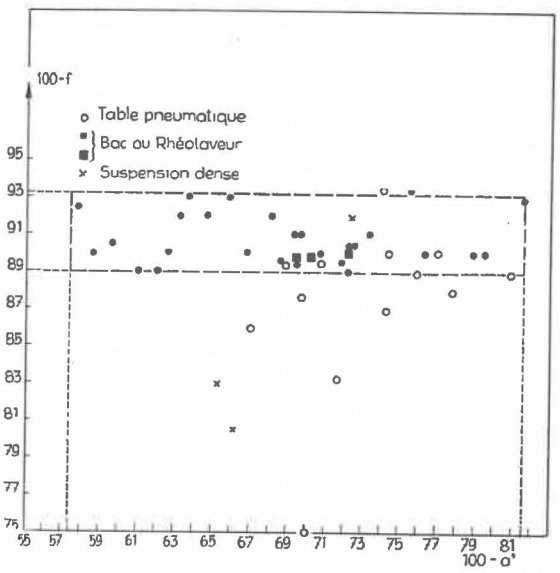


Fig. 19. — Epuration des fines brutes : propreté du flottant.

Toutefois, en ce qui concerne les produits épurés à sec, on se contente de charbons moins propres et la teneur en cendres finale peut atteindre 25 %.

Rendements en carbone et en produits commerciaux.

La perte en poids par incinération des schistes fins est comprise entre 15 et 30 % (fig. 20). La concentration des points à 20, 25 et 30 % nous fait penser que les teneurs sont mesurées à quelques unités près, mais il reste établi que 25 % est la teneur le plus souvent obtenue.

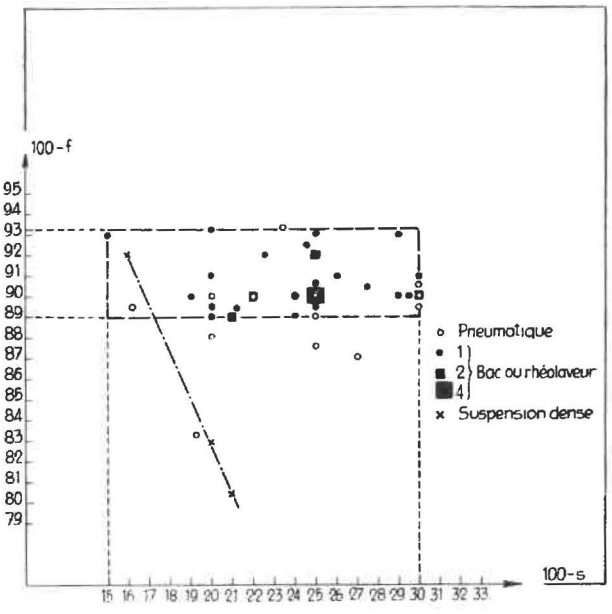


Fig. 20. — Epuration des fines brutes : teneur en cendres des schistes.

Du fait de la présence de carbone dans les schistes fins, la récupération du carbone disponible dans le charbon brut extrait de terre n'est pas totale.

Cette récupération peut s'exprimer par les décompositions suivantes (valeurs approximatives) (tableau IX et fig. 21).

Dans le cas envisagé, la quantité de carbone non récupéré, 4,7 tonnes, rapportée à la quantité disponible 66,7 tonnes, est comprise entre 7 et 7,5 %.

Nous avons calculé cette valeur pour une cinquantaine de lavoirs. Voici les chiffres approximatifs obtenus (tableau X).

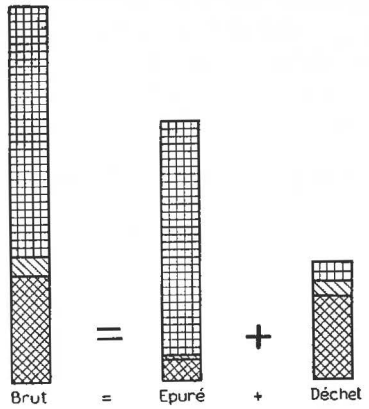


Fig. 21. — Décomposition d'une tonne de fine brute.

TABLEAU X

Poids de carbone dans les schistes, rapporté au poids de carbone contenu dans le charbon fin brut.

I	Borinage	12 %
II	Centre	8 %
III	Charleroi	7 %
IV	Liège	5 %
V	Campine	4 %
	Total	7,5 %

Si l'on se place au point de vue du commerçant, la proportion de fines vendues par rapport à la production brute totale constitue un pourcentage intéressant à connaître. Le voici pour les cinq bassins (tableau XI).

TABLEAU XI

Proportion de fines vendues rapportée à la production brute.

I	Borinage	61 %
II	Centre	68,2 %
III	Charleroi	73,2 %
IV	Liège	72 %
V	Campine	76,5 %
	Royaume	69 %

TABLEAU IX

	Fines brutes	Fines lavées	Déchets des fines
Tonnage total	100 tonnes	69 tonnes	31 tonnes
Teneur en cendres	28,5 %	8,75 %	73 %
Tonnage en cendres	28,5 tonnes	6 tonnes	22,5 tonnes
Perte de poids totale par incinération	71,5 tonnes	63 tonnes	8,5 tonnes
Perte de poids due à la combustion du carbone	66,7 tonnes	62 tonnes	4,7 tonnes
Perte due à la transformation d'autres constituants	4,8 tonnes	1 tonne	3,8 tonnes

Si l'on considère chaque installation en particulier (fig. 22), on constate que le rendement en épurés des tables pneumatiques est supérieur à la moyenne. Cela ne nous étonne nullement puisque nous savons par ailleurs que le produit lavé des tables pneumatiques l'est à une teneur en cendres plus élevée.

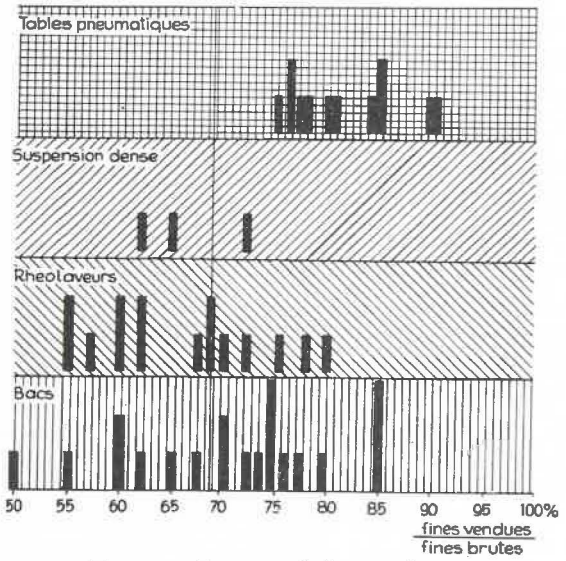


Fig. 22. — Proportion de fines vendues.

Egouttage des fines lavées.

L'égouttage des fines lavées se fait généralement sur un crible ou une grille (27 unités).

L'ouverture des mailles est de 0,3 ou 0,5 mm dans la plupart des cas rencontrés, mais les limites extrêmes sont respectivement 0,15 mm et 1,5 mm.

Par ailleurs, on utilise aussi des mailles rectangulaires telles que 1 × 2 mm ou 0,5 × 3,75 mm par exemple.

Il arrive que les fines lavées soient envoyées directement dans des tours à fond perforé.

Un autre moyen d'égoutter les fines est de les relever dans des norias à godets perforés de trous ronds ou rectangulaires (par exemple 3,5 mm rond ou 3 × 20 mm).

Nous devons signaler encore les essoreuses à fines qui équipent, entre autres, quatre lavoirs de Campine.

Egouttage des schistes.

Pour les schistes, la noria constitue le type le plus employé d'appareils de reprise et d'égouttage. Il en existe dans la majorité des charbonnages.

Les mailles rectangulaires sont au moins aussi nombreuses que les autres mailles.

Dans le cas des mailles rectangulaires, la plus petite dimension est 3 mm à 5 mm, la plus grande dimension 10 à 29 mm avec une fréquence élevée des trous 3 × 15, 3 × 20, 4 × 20, 5 × 20 mm.

Lorsque les trous sont ronds, le diamètre mesure 5 mm ou 2,5 mm dans la majorité des installations.

Dans quelques installations, on égoutte les schistes sur grilles.

V. — LA CLARIFICATION DES EAUX, LA RECUPERATION DES SCHLAMMS FINS ET L'ELIMINATION DES ARGILES

La circulation d'eau dans les lavoirs à charbon en fonction du type d'appareils d'épuration.

L'épuration du charbon par les procédés dits humides exige un débit d'eau assez considérable.

Il s'agit de trouver cette eau et de la mettre en circulation. Lorsqu'elle est polluée, il faut l'épurer ou pouvoir s'en débarrasser.

Il est donc intéressant de connaître la quantité d'eau que requiert normalement l'établissement d'un lavoir à charbon d'un type déterminé (fig. 23 *).

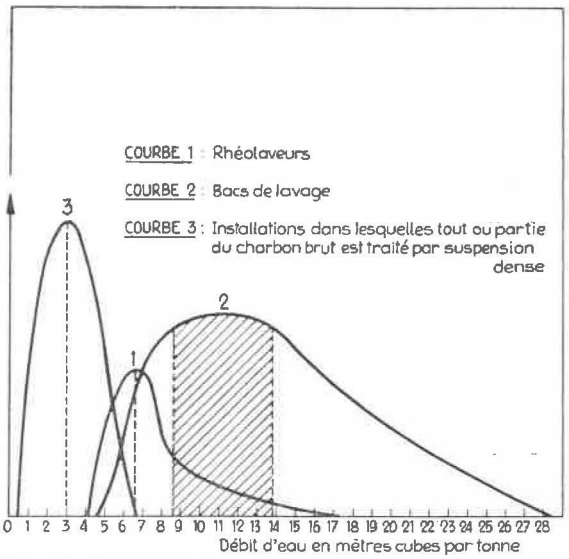


Fig. 23. — Circulation des eaux dans les lavoirs à charbon.

Voici à ce sujet quels enseignements on peut tirer de nos observations :

— le débit d'eau normal dans les lavoirs à rhéolaveurs est de 6,5 m³ par tonne. Toutefois, un petit nombre d'installations s'écartent de cette moyenne dont la valeur est cependant assez nette.

(*) La courbe 1 est tracée en se servant uniquement des données concernant l'un ou l'autre des types suivants :

a) grains et fines lavées dans des rhéolaveurs — circuit d'eau commun.
b) grains lavés dans des rhéolaveurs avec circuit d'eau séparé, de débit connu et tonnage connu.
c) fines lavées dans des rhéolaveurs avec circuit d'eau séparé, de débit connu et tonnage connu.

La courbe 2 est tracée de façon analogue pour les bacs.

Dans le tracé de la courbe 3, nous avons tenu compte d'installations mixtes.

— le débit d'eau dans les lavoirs équipés de bacs varie entre 8,5 m³/t et environ 14 m³/t.

Enfin, lorsque tout ou partie du charbon brut est traité par suspension dense, il est établi que 3 à 4 m³/t suffisent.

Débit d'eau dans les spitzkasten.

71 lavoirs sont pourvus de spitzkasten qui recueillent les eaux sales, schlammeuses. La purge des spitzkasten est envoyée soit dans des bassins, soit dans des appareils de récupération des schlamms, cribles, filtres, rhéolaveurs ou batteries de flottation.

Le débit total de l'eau circulant dans les spitzkasten peut atteindre 22 m³ par heure et par mètre carré de spitzkasten. Le débit normal de 7 m³ par heure et par mètre carré apparaît nettement sur la courbe de fréquence établie pour 71 installations (fig. 24).

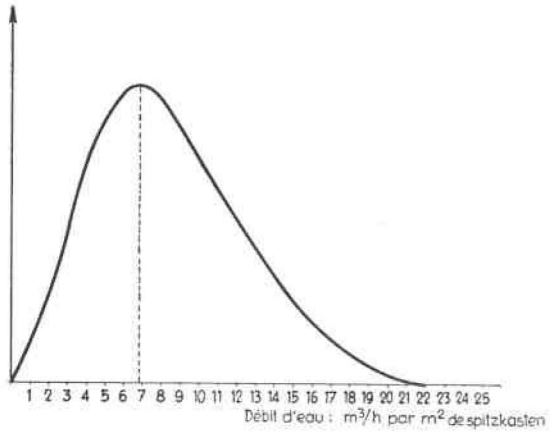


Fig. 24. — Débit d'eau dans les spitzkasten.

La clarification des eaux.

La statistique indique que la plupart des lavoirs à charbon rassemblent les eaux à traiter dans des spitzkasten (tableau XII). Un beaucoup plus petit nombre d'entre eux concentrent une partie des eaux schlammeuses dans des épaississeurs du type conique ou du type Dorr à raclettes.

Un procédé courant consiste à séparer les schlamms grenus (+ de 1 mm) des purges épaissies au moyen de zimmers.

Dans quatre charbonnages, on épure le schlamm au moyen de rhéolaveurs à pointes (3 rhéolaveurs dans le Centre, 1 à Liège). Il existe actuellement 14 installations de flottation dont 7 en Campine où tous les lavoirs sont équipés de batteries de flottation des schlamms. Les batteries de cellules de flottation sont suivies de filtres à vide à disques ou à tambour. Quelques filtres à vide ou chaînes vibrantes égouttent des schlamms non flottés. Dans le Centre et à Charleroi, l'emploi de bassins primaires pour la récupération des schlamms est généralisé. Dans le Borinage et à Liège, la proportion est de deux pour trois.

L'eau débordant des bassins primaires est utilisée dans le lavoir ou évacuée. Dans un certain nombre de cas, elle passe au préalable dans des bassins secondaires.

TABLEAU XII

Clarification des eaux.

Appareillage.

	Borinage	Centre	Charleroi	Liège	Campine	Belgique
Installations examinées	9	11	32	22	7	81
Spitzkasten	8	9	28	19	7	71
Epaississeurs	4	2	3	10	5	24
Appareil de lavage des schlamms	4 f	3 r	1 f	2 f + 1 r	7 f	14 f 4 r
Filtres à schlamms	4 v	1 ch / 2 v	1 v	4 v	7 v	1 ch / 18 v
Bassins primaires (de récupération des schlamms)	6	11	30	15	2	64
Bassins secondaires (de clarification)	4	6	10	2	2	14
Epaississement des eaux argileuses	3 b	—	1 b	1 c + b et ch	2 b 5 ép. + f ou b ou les 2	cf Campine

Légende : f = flottation
v = filtre à vide
b = bassin
r = rhéolaveur
ch = chaîne vibrante
c = cyclone
ép = épaississeur

Dans le cas de la flottation des schlamms, les eaux argileuses sont répandues dans des bassins naturels avec ou sans éclaircissement préalable dans des épaississeurs du type Dorr à raclettes. La purge de tels épaississeurs est égouttée sur filtre ou envoyée telle quelle aux rebuts.

VI. — CONCLUSIONS

La grosseur des morceaux de charbon est un facteur déterminant du prix de vente. Il en résulte que l'économie charbonnière fluctue en même temps que les proportions relatives de grosses houilles, grains, fines, schlamms et poussiers.

Cette production est elle-même liée à la composition granulométrique du tout-venant. Si on excepte les schlamms, poussiers et mixtes qui représentent plus de 25 % des produits vendus, la décomposition du tout-venant peut se faire de la façon suivante (tableau XIII, fig. 25).

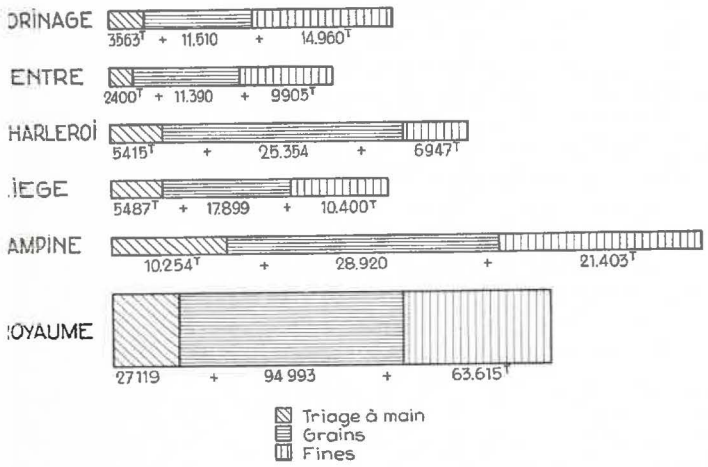


Fig. 25. — Tonnage journalier de produits bruts triés à la main, épurés dans les lavoirs à grains et épurés dans les lavoirs à fines : situation actuelle.

TABLEAU XIII

Tonnage journalier de produits bruts triés à la main, épurés dans les lavoirs à grains et épurés dans les lavoirs à fines.

Situation actuelle.

Bassins	Main	Grains	Fines
Borinage	2.660	8.650	11.200
Centre	1.800	8.540	7.430
Charleroi	4.050	18.900	5.200
Liège	4.110	13.400	7.800
Campine	7.690	21.630	16.100
Royaume	20.310	71.120	47.730

L'évolution prochaine se traduira par les tableaux XIV et XV et les fig. 26 - 27.

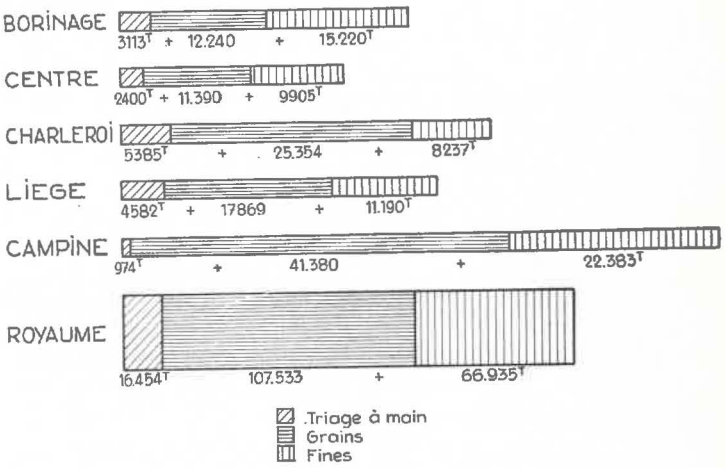


Fig. 26. — Tonnage journalier de produits bruts triés à la main, épurés dans les lavoirs à grains et épurés dans les lavoirs à fines : situation future

TABLEAU XIV

Tonnage journalier de triés à la main, lavés comme grains, de lavés comme fines. Situation future.

Bassins	Main	Grains	Fines
Borinage	2.330	9.170	11.410
Centre	1.800	8.530	7.420
Charleroi	4.020	19.000	6.170
Liège	3.440	13.400	8.390
Campine	730	31.000	16.750
Royaume	12.320	81.100	50.140

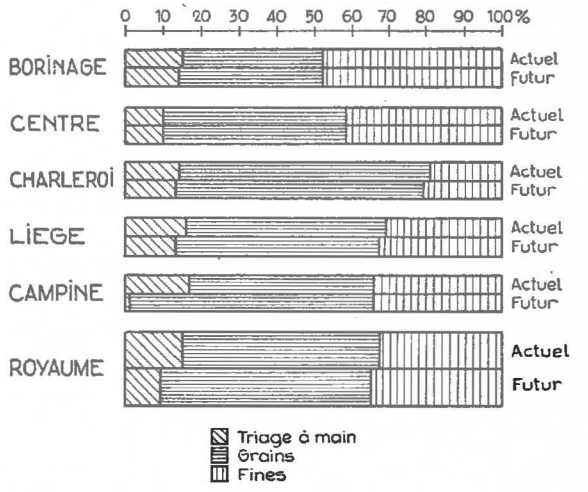


Fig. 27. — Proportion de triés à la main, de lavés (grains et fines) par rapport au total (triés à la main + grains + fines).

TABLEAU XV

Proportion de triés à la main, de lavés (grains et fines) par rapport au total (triés à la main + grains + fines).

	Situation actuelle			*Situation future*		
Borinage	15,1	3,7	48	13	39	48
Centre	10,13	48,07	41,80	10,13	48,07	41,80
Charleroi	14,38	67,18	18,44	13,82	65,05	21,13
Liège	16,24	52,98	30,78	13,62	53,12	33,26
Campine	16,93	47,74	35,33	1,50	63,92	34,57
Royaume	15	51	34	9	56	35

Dans l'ensemble, le triage à main des grosses houilles est remplacé progressivement par l'épuration mécanique.

Le traitement des grains par suspension dense supplante le lavage dans des bacs à pistonnage. Pour les fines catégories, on constate le développement de la méthode de lavage par bacs à air comprimé en remplacement des bacs ordinaires.

La clarification des eaux, la récupération des schlamms fins et l'élimination des argiles sont des problèmes à l'ordre du jour. Ils ont reçu localement une solution satisfaisante. Ailleurs, les installations évoluent en cherchant à réduire les frais et les complications. Il semble que l'on s'oriente vers le recyclage des eaux épurées, un faible appoint d'eau claire compensant les pertes inévitables.

Ici s'achève un aperçu d'ensemble de la situation actuelle de la préparation du charbon en Belgique. Nous l'avons présenté sous forme de tableaux et de diagrammes obtenus par le groupement méthodique des renseignements que les charbonnages ont bien voulu nous confier.

Il est destiné à servir de base à des enquêtes plus particulières dont les objets et les modalités apparaîtront au cours de ces journées.

VI. BIBLIOGRAPHIE

1. G. BURTON : « Résultats de lavage des fines en Belgique ». 2me Congrès international sur la Préparation des Charbons — Essen 20-25 septembre 1954, A III 5.
2. INICHAR : « L'utilisation des schistes de lavoir ». *Annales des Mines de Belgique*. Tome LIII, 4me livraison, pp. 528 seq.
3. A. MEYERS : « L'Industrie Charbonnière pendant l'année 1954. Statistique sommaire et vue d'ensemble sur l'exploitation ». *Annales des Mines de Belgique*, n° 3, mai 1955, pp. 465 seq.
4. A. MEYERS : « Aspects techniques de l'exploitation charbonnière belge en 1954 ». *Annales des Mines de Belgique*, n° 1, janvier 1956, pp. 91 à 141.

DISCUSSION.

M. VEILLET. — En ce qui concerne la perte de carbone dans les schistes, de quelle manière a été déterminé le pourcentage de 7,5 % ?

M. LIEGEOIS. — Ce chiffre de 7,5 % a été calculé sur la base des renseignements fournis par tous les charbonnages belges et des études poursuivies par Inichar dans ses laboratoires.

Inichar a demandé aux charbonnages la teneur en cendres des schistes sortant des lavoirs à fines. Soit *s* cette teneur en cendres, 100 — *s* représente la perte en poids par incinération des schistes dans un four de laboratoire.

Cette perte en poids provient, d'une part, de la combustion du carbone résiduel des schistes et, d'autre part, de la transformation de carbonates, sulfures et sulfates, et du départ d'eau et de matières volatiles.

Lors d'essais de gazéification des schistes, Inichar a déterminé la part de carbone effectivement présent et la part des autres substances intervenant dans la perte de poids par incinération. Les résultats de nombreux essais relatifs à cette question et effectués sur des schistes prélevés dans tous les bassins belges ont été publiés dans les Bulletins techniques d'Inichar et dans les Annales des Mines de Belgique (1).

M. LUSCHER. — En Belgique, un grand nombre d'installations ne travaillent que pendant un poste. Dans le nord de la France, la majorité des lavoirs tournent pendant deux et trois postes. Pourriez-vous expliquer pourquoi ?

M. LIEGEOIS. — La durée de fonctionnement des lavoirs à charbon est liée étroitement à la durée d'extraction qui est soit d'un poste, soit de deux postes, dans un grand nombre de charbonnages.

(1) Bultec Houille et Dérivés n° 7, 1er août 1952 et Annales des Mines de Belgique, juillet 1954.

M. DE GROX. — Je voudrais poser une question d'ordre général, relative à la valorisation des schlamms. Les cokeries achètent de grandes quantités de fines lavées. Or, nous recevons des fines 0-10 mm contenant des schlamms plus ou moins bien mélangés. Quand nous décomposons ces fines lavées, nous nous apercevons, tout au moins pour les fines de provenance belge, que les catégories 1-2, 2-4 mm, ont d'excellentes propriétés cokéfiantes, un pouvoir agglutinant élevé. Par contre, lorsque nous faisons les mêmes analyses sur les fractions plus fines telles que 0-0,1, 0,1-0,2 mm, nous constatons une dégradation de ces qualités cokéfiantes. La question a-t-elle retenu dernièrement l'attention d'Inichar ?

D'autre part, quand nous recevons des fines lavées provenant de la Ruhr, nous ne constatons pas que les fractions les plus fines présentent aussi peu de qualités cokéfiantes. Y a t-il une raison à cela ?

M. LIEGEOIS. — Un laboratoire d'Inichar s'occupe de déterminer pour chaque couche de charbon belge les qualités du charbon, et en particulier le pouvoir cokéfiant (2).

M. VENTER. — En ce qui concerne la question de l'interpellateur, elle sort un peu du cadre de la communication de M. Liègeois, celle-ci donnant un exposé statistique. Nous en reparlerons plus tard quand nous aborderons le problème technique.

(2) Le pouvoir cokéfiant est lié à la nature du charbon, en particulier à ses constituants pétrographiques. Ceux-ci ont des résistances mécaniques variables. Il en résulte que les schlamms d'un charbon n'ont pas les mêmes proportions de constituants pétrographiques et n'ont donc pas nécessairement le même indice d'agglutination que les charbons dont ils sont issus.

M. GY. — En Belgique, il y a 14 installations de flottation. S'agit-il d'installations récentes ou anciennes ?

M. LIEGEOIS. — M. Burton parlera demain d'une façon très détaillée des installations de traitement des schlamms et des eaux.

Il décrira les principales installations de flottation en service en Belgique et vous donnera à ce moment-là les dates et renseignements complémentaires que vous attendez.

M. PIRET. — Existe-t-il des statistiques indiquant pour les différentes installations quelles quantités de produits commerciaux sont perdues au terril ?

M. LIEGEOIS. — On envoie parfois au terril des charbons qui seraient récupérables, soit en contrôlant mieux le lavoir, soit en le renouvelant. Nous ne connaissons pas la quantité de produits commerciaux envoyée au terril.

M. PIRET. — Je désirerais savoir quelles sont les performances qu'on peut espérer de différents appareils.

M. VENTER. — Le travail a été fait individuellement pour une quarantaine d'installations. On a fait le diagnostic du fonctionnement du lavoir et cet examen a donné lieu à un rapport circonstancié qui a été chaque fois envoyé à l'intéressé, c'est-à-dire à l'exploitant. Un exposé d'ensemble a été fait au Congrès d'Essen en 1954 par M. Burton (3).

(3) G. BURTON « Résultat du lavage des fines en Belgique », 2me Conférence internationale sur la préparation des charbons. Essen 20-25 septembre 1954, A III 5.

Deux années de pratique dans le lavage des fines 1/10 par liqueur dense

par H. BAUDOUX,

Ingénieur civil des Mines,

Directeur des travaux de surface au charbonnage de Bernissart.

Le Charbonnage de Bernissart possédait, comme lavoir à fines 2/10, une installation de rhéolaveurs qui donnait des résultats peu satisfaisants ; il y avait production de charbons lavés assez cendreux, de mixtes et de schistes dont la teneur en cendres n'était pas suffisamment élevée.

L'étude de la courbe de lavabilité du brut montrait que le charbon renfermait en réalité peu de mixtes; le traitement à la liqueur dense de ces produits moyens fournis par le lavoir confirmait d'ailleurs cette donnée, ces mixtes étant un mélange de charbons et de schistes avec très peu d'intermédiaires; de même les schistes comprenaient un certain pourcentage de mixtes et parfois du charbon pur.

Le remplacement de cette installation s'imposait et, malgré le peu d'expérience industrielle que l'on possédait à l'époque en la matière, nous nous sommes orientés vers le traitement des fines par liqueur dense, étant persuadés que ce système était le seul capable d'assurer le maximum de rendement.

C'est ainsi qu'en 1951 nous avons commandé à la firme Humboldt un lavoir pour traiter le 1/10 à la magnétite; cette installation a été mise en service au début de l'année 1954 et, après certaines mises au point, elle nous a donné entière satisfaction.

Il est intéressant de connaître tout d'abord la décomposition granulométrique des charbons traités ; voici les chiffres moyens pour le brut 1/10 fourni au lavoir en *1954 :*

+ 10 mm	4 %
5/10	34 %
2/5	45 %
1/2	12,5 %
0,5/1	1,5 %
0,25/0,5	1 %
— 0,25	2 %

La séparation s'opère par tamis à mailles carrées jusque et y compris 1 mm, par tamis à trous ronds au dessus de 1 mm.

La teneur en cendres est de 30 à 35 %.

Le processus de lavage peut être étudié d'après la figure 1.

Pour débuter, signalons que le 0/10 brut est repris à partir d'une fosse d'attente par une chaîne qui déverse le produit en tête d'une vis d'Archimède qui le répartit à une batterie de 16 vibrants; nous avons donc conservé notre installation ancienne de tamisage. Ces vibrants ont chacun une surface utile de 1,5 m² et sont équipés, ou tout au moins l'étaient lors des essais effectués par Inichar, de toiles d'acier à mailles de 1 mm sur 3 mm, inclinées à 30° dans le sens des longues mailles. Le 1/10 refus de ces tamis est repris par des transporteurs qui amènent le charbon brut au crible déschlammeur I et, ici, nous entrons dans la nouvelle installation. Le crible déschlammeur possède un arrosage réglable dont le but est de mouiller le charbon et d'enlever éventuellement une partie des fins égarés par l'imperfection du tamisage.

Le crible déschlammeur, du type à résonance, a une surface criblante de 2,25 m × 1,80 m; il est équipé de 9 grilles (3 rangées de 3 unités) dont l'écartement des mailles était de 1 mm au début; actuellement nous utilisons 3 grilles à 0,5 mm et 6 grilles à 0,7 mm d'écartement des mailles.

Du crible déschlammeur, le charbon tombe directement dans le bac à laver II; le flottant est entraîné par débordement sur le crible à charbon XI, tandis que les schistes sont remontés par air-lift au niveau du crible à schistes III; ces deux appareils sont également à résonance et leurs dimensions respectives sont les suivantes : le crible à charbon a 4,5 m × 1,8 m. Il est garni de 18 grilles disposées par rangées de 3, soit 6 × 3, de mailles à écartements différents et disposées comme suit : 1, 1, 0,5, 0,3 0,5 1 mm dans le sens du cheminement du charbon.

La capacité de cet appareil est de 45 t/h.

Le crible à schistes, lui, a 4,50 m × 1,20 m. Il possède 18 plaques criblantes, également disposées par rangées de 3, dont les écartements des mailles sont : 1, 1, 0,7, 0,5, 0,5, 1 mm. Sa capacité est de 27 t/h.

Ces cribles sont pourvus de rampes d'arrosage à eau récupérée et à eau fraîche. Sous chacun de ces cribles se trouvent deux cônes, l'un d'amont (IV et VI) recueillant la liqueur dense qui est

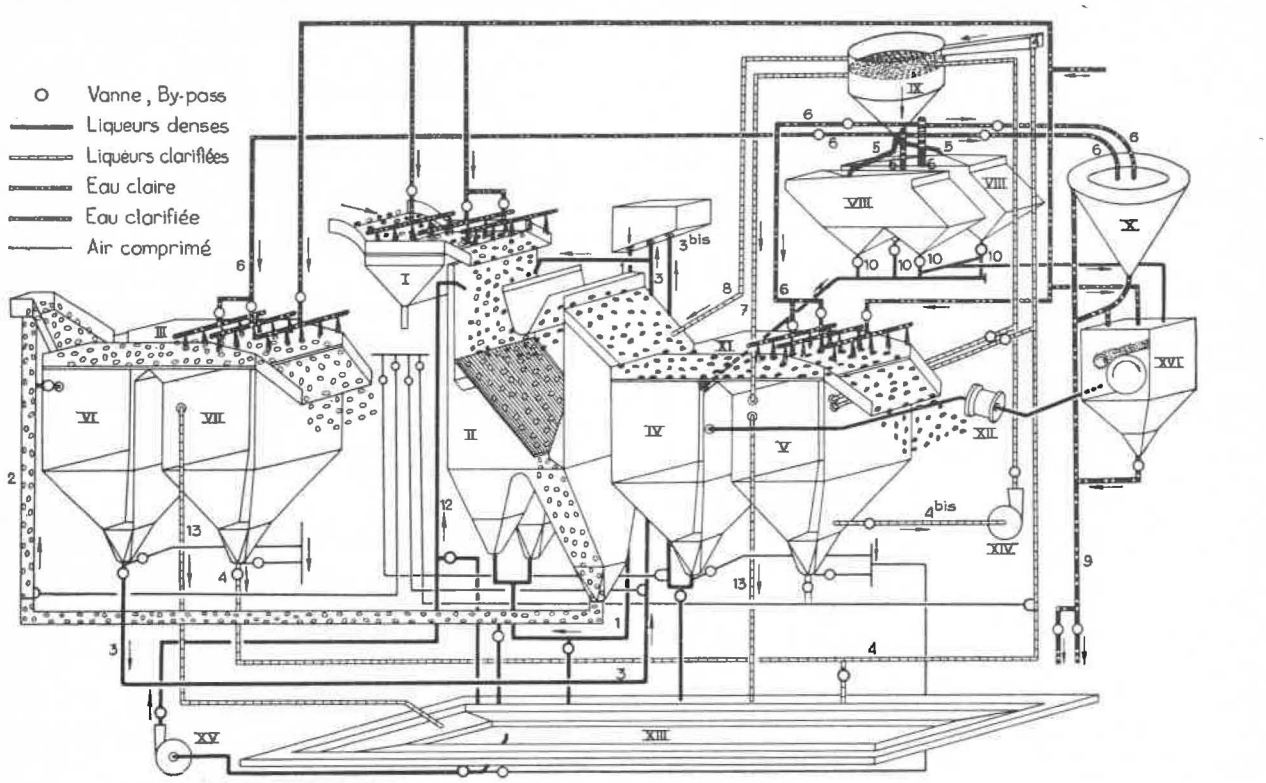


Fig. 1.

renvoyée par air-lift dans un petit réservoir situé à un niveau supérieur à celui de bac à laver, et réintroduite dans celui-ci par gravité (tuyau I); elle crée le courant ascendant. Les cônes situés en aval (V et VII) recueillent une liqueur dense diluée par arrosage et remontée par pompe et air-lift dans un cône IX qui répartit cette liqueur à deux clarificateurs en parallèle (VIII); la pompe est située sous le second étage du crible à charbon, où le liquide véhiculé est très peu chargé.

Les clarificateurs uniquement statiques sont fermés et travaillent sous légère pression. Ils sont constitués par une série de tôles espacées de 10 mm et presque verticales, entre lesquelles la liqueur circule; le concentré recueilli au bas de ces appareils est remis dans le circuit de la liqueur dense, tandis que l'eau peu chargée sortant par le haut sert aux premières rampes d'arrosage (tuyaux 6) sur les cribles. Puisqu'il y a introduction d'eau claire par la dernière rampe de rinçage, il y a surabondance de liqueur diluée qui doit sortir de l'installation. Après les clarificateurs, l'eau en excès passe dans un cône décanteur X. Au pied de celui-ci, une purge continue (tuyau 11) fournit un mélange de schlamms et de magnétite; quant au débordement du cône, il est rejeté à l'extérieur où des bassins opèrent une nouvelle décantation avant la mise à l'égoût (tuyau 9).

L'installation est complétée par un séparateur magnétique XVI; il est alimenté par les produits prélevés sous le cône décanteur et éventuellement par une partie des concentrés venant des clarificateurs.

Une citerne XIII permet d'accumuler le médium lors de l'arrêt du lavoir. Une pompe XV le remet en circulation lors de la mise en marche.

L'installation comporte donc normalement une seule pompe en service, celle située en dessous du second cône à charbon; elle véhicule un liquide très dilué et doit par conséquent s'user très peu; la pompe à magnétite proprement dite marche 1/2 heure par jour, lors de la mise en service. Il y a lieu de signaler que notre charbon qui est très friable n'est soumis à aucune manipulation brutale et passe simplement dans le bac à laver.

Voici quelles étaient les garanties du constructeur à la commande :

1) Capacité horaire de lavage 65 t/h avec garanties respectées jusque 72 t/h, la capacité maximum de l'installation étant de 80 t/h avec certaines tolérances.

2) Analyse granulométrique des charbons à laver : Maximum 4 % de 0/1 — environ 13 1/2 % de 1/2.

3) Pureté des produits : le charbon obtenu tamisé à 0,5 mm ne peut contenir plus de 4 % d'égarés, ceux-ci étant des charbons à haute teneur en cendres.

TABLEAU I

Bernissart — Bac Humboldt — Résultats globaux — Inichar, septembre 1954.

	Brut % cendres	LAVE		SCHISTES		dp	ep	I	°	Flottant des schistes	
		Rendement	% cendres	Rendement	% cendres					1.4	1.6
5 - 10 mm	43,60	49,3	5,05	50,7	81,08	1,675	0,04	0,059	99,82	0	0,076
2 - 5	33,32	62,4	5,85	37,6	78,89	1,675	0,042	0,062	99,81	0	0,180
1 - 2	29,32	68,3	6,60	31,7	78,29	1,680	0,11	0,161	99,65	0,414	2,825
0,6 - 1	30,67	68,8	9,77	31,2	76,75	1,825	0,185	0,224	98,35	1,143	4,254

Le schiste obtenu tamisé à 0,5 mm ne peut contenir plus de 5 1/2 % d'égarés, ceux-ci étant des mixtes à haute teneur en cendres.

4) Consommation de magnétite 900 g/t brute traitée.

A la date du 1er septembre 1954, Inichar nous a écrit pour nous demander de pouvoir effectuer les prélèvements nécessaires afin de déterminer les conditions de fonctionnement de l'installation et les rendements réalisés. Nous avons aussitôt aquiescé à sa demande et nous avons mis notre lavoir à sa disposition; les résultats obtenus ont fait l'objet d'un rapport très complet dont les résultats globaux sont repris au tableau I et à la figure 2. Compte tenu des composants, l'écart probable se situe entre 0,05 et 0.06.

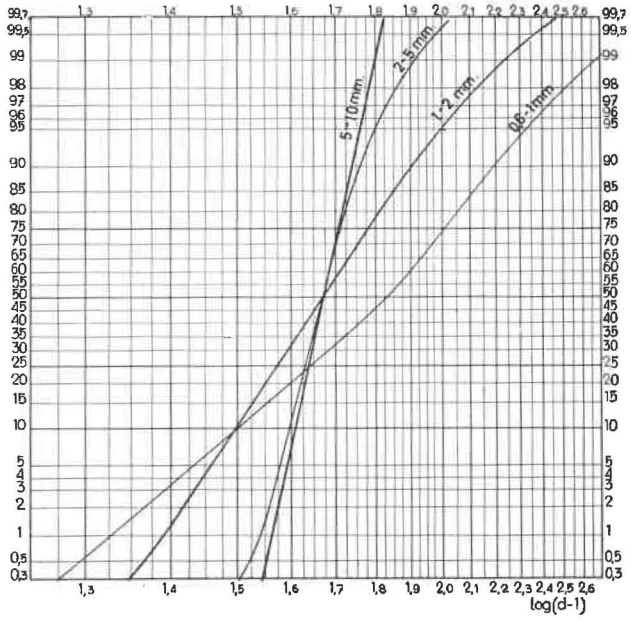


Fig. 2.

Pendant le courant de l'année 1955, nous avons toutefois continué à modifier notre installation dans le quadruple but d'améliorer encore les résultats de lavage, de diminuer les pertes en magnétite, de traiter des charbons plus fins et de réduire la quantité de produit passant au travers du déschlammeur.

Nous en arrivons ainsi à nos conditions de marche actuelles, qui sont les suivantes : 6 tamis vibrants sur 16 sont équipés de toiles de 0,75/2 mm; ces toiles ont été placées au centre de la distribution, afin d'avoir un rendement moyen certain; sur le crible déschlammeur, nous trouvons 3 grilles à l'écartement de 0,5 mm et 6 grilles à 0,7 mm. Le rinçage des produits a été amélioré et a été plus judicieusement ordonné. Des modifications ont été apportées à certaines tuyauteries.

D'autre part, nous avons augmenté sensiblement la densité du bain de lavage et, actuellement, notre densité de partage se situe à 1,8.

Voici quelques résultats que nous obtenons actuellement:

TABLEAU II.

Analyse granulométrique du charbon traité:

5/10	30 %
2/5	48 %
1/2	17 %
0,5/1	3 %
0/0,5	2 %

Les tamis utilisés sont les mêmes que précédemment.

Résultats de lavage moyens pour 3 journées.

TABLEAU III.

Janvier - février 1956

Charbons	5,3 % C	5,3 % C	5,5 % C
Schistes	85,7 % C	85,6 % C	85,2 % C

L'écart probable se situe entre 0,04 et 0,045. Pour la granulométrie 1/2, il est égal à 0,075.

Les charbons ont été passés à la liqueur dense — densité 1,9 — Les résultats sont donnés au tableau IV.

TABLEAU IV.

99,5 %	4,9 C	5,3 % C	99,2 %	4,7 C	5,3 % C	99 %	4,8 C	5,5 % C
0,5 %	77 C		0,8 %	78 C		1 %	76,4 C	

Les schistes correspondants ont été passés à la liqueur dense — densité 1,9 — Les résultats sont donnés au tableau V.

TABLEAU V.

1,9 %	51 C	85,70 % C	2,5 %	53,8 C	85,6 % C	2 3 %	50,4 C	85,2 % C
98,1 %	86,4 C		97,5 %	86,4 C		97,7 %	86 C	

Les garanties techniques du constructeur ont donc été largement dépassées. Nous ne trouvons plus dans les schistes que quelques égarés à très haute teneur en cendres.

Voici des normes de liqueurs denses utilisées chez nous. Par expérience, nous avons été amenés à prélever l'échantillon à une profondeur de 2 m dans le bac de lavage ; la densité de partage est inférieure de 0,2 au résultat trouvé (tableau VI).

TABLEAU VI.

Densité trouvée	Dp.	Matières sèches totales	+ 0,5 mm	Magnétite sur le moins de 0,5	Magnétite sur le global
2	1,8	1.350 g	230 g	66 %	54,8 %
2	1,8	1.350 g	220 g	69 %	57,7 %

TABLEAU VII.

Analyse type de la purge d'un clarificateur :

Densité	Matières sèches	Magnétite 0/10		Cendres du produit
1,380	730 g	13 %	95 g	62 %

Analyse des produits du cône décanteur :

a) Purge :

Densité	Matières sèches	Magnétite		Cendres du produit
1,024	50 g/litre	3,5 %	1,7 g	40 %
b) Trop plein :	10 g/litre	1 %	0,1 g	54 %

Consommation de magnétite.

Rappelons d'abord que la garantie du constructeur était de 900 g/t de brut.

La consommation moyenne pour l'année 1955 a été de 700 g de matière sèche à la tonne de brut traité. Ce chiffre correspond à une densité de partage de 1,7; en portant celle-ci à 1,8, nous constatons une légère augmentation qui reste, en tout cas, inférieure à 10 %.

La récupération pourrait encore être vraisemblablement améliorée. Mais il faut noter que la magnétite perdue est la plus fine, celle qui est la moins intéressante; c'est aussi une magnétite usée.

Il y a lieu de signaler ici que nous utilisons la magnétite telle qu'elle nous est fournie dans le commerce; il n'y a pas de frais de broyage.

Frais d'exploitation.

Pour l'étude de ceux-ci, nous avons groupé tous les postes de dépenses durant la période du 1er janvier au 31 octobre 1955, c'est à-dire pour 10 mois.

Nous arrivons aux résultats suivants, les chiffres donnés se rapportant à la tonne de brut traité :

Personnel d'exploitation + charges sociales	2,01 F/t
Electricité (y compris air comprimé)	2,65 F/t
Magnétite	1,09 F/t
Consommations et entretien (salaires & matières)	1,72 F/t
Total :	7,47 F/t

Il y a lieu de signaler que, durant les dix mois repris pour ces calculs, l'installation n'a pas été utilisée à sa capacité maximum.

Elle aurait pu traiter 20 % de charbon en plus.

Dans ce cas, les frais globaux d'exploitation, d'électricité, de consommation et entretien restant les mêmes, le prix de revient de la tonne traitée aurait pu baisser de 1,25 F environ.

Il aurait donc été de 6,20 F.

Bilan général d'exploitation.

Le fonctionnement du lavoir à liqueur dense, pendant l'année 1955, a fait réaliser au Charbonnage de Bernissart, un bénéfice de 25 à 30 F à la tonne nette extraite. Celui-ci provient d'abord de l'obtention de charbons plus propres, permettant la réincorporation d'une plus grande quantité de poussier brut dans les fines; ensuite, du fait que le tonnage vendu auparavant comme mixtes est écoulé à présent à un prix beaucoup plus élevé.

De plus, l'extraction, en conséquence du meilleur rendement du lavoir, a bénéficié d'une majoration de tonnage qui est évaluée à 2,5 % du 1/10 brut traité.

DISCUSSION.

M. PIFFERT. — Vous n'avez pas donné les résultats de criblage sur votre batterie de 16 tamis.

M. BAUDOUX. — Certainement, j'ai donné la décomposition granulométrique du charbon brut 1-10 à la mise en marche de l'installation (1954) et après le remplacement partiel des tamis (1955).

M. PIFFERT. — Pourquoi avez-vous des tamis de 1 mm sur vos cribles de rinçage des schistes et des charbons après lavage ?

M. BAUDOUX. — Pour permettre à la liqueur de passer plus rapidement dans les premiers cônes. Il y a lieu de signaler que les tamis à 1 mm d'écartement de mailles sont situés à des endroits où il n'y a pas de rinçage.

M. PIFFERT. — Justement, vous lavez du 1-10 mm. N'observez-vous pas le passage de charbon ?

M. BAUDOUX. — Je vous ai donné les analyses des produits qui sortaient de l'installation. Il n'y a pas d'autre évacuation possible.

M. PIFFERT. — Vous employez des tamis de 1, 0,7 et 0,5 mm. Est-ce un résultat d'expérience ?

M. BAUDOUX. — Oui. Je dois vous dire que, quand l'installation a été montée, le constructeur avait prévu des tamis à 0,3 mm. La marche dans ces conditions n'était pas possible.

M. PIFFERT. — Je n'ai pas entendu le pourcentage de cendres de votre dernière année d'expérience.

M. BAUDOUX. — Il se trouve sur le document que je vous ai fait remettre. Je vous ai donné l'analyse du bain évacué par le dernier cône décanteur. Il n'y a que par là qu'un produit puisse sortir de l'installation puisque tout le reste tourne en circuit fermé, à part une très minime quantité de liqueur évacuée par le séparateur magnétique.

M. PIFFERT. — Mais dans votre liqueur qui tourne, vous pouvez avoir des produits qui sont des schlamms. Pourquoi admettez-vous des schlamms qui ont 1 mm de diamètre, dans lesquels il peut y avoir du charbon ? Pourquoi n'avez-vous pas des tamis à 0,8 et 0,7 mm ?

M. BAUDOUX. — La marche est beaucoup plus régulière avec la disposition des tamis telle que nous l'avons adoptée.

M. GY. — Pourriez-vous indiquer la composition de la magnétite utilisée ? Il s'agit d'une magnétite de commerce, mais cela ne suffit pas pour la définir.

M. BAUDOUX. — Nous achetons autant que possible de la magnétite dont la majeure partie est comprise entre 40 et 60 microns et avec le minimum au-dessus de 0,2 mm.

M. GY. — Ce minimum est de combien à peu près ?

M. BAUDOUX. — 5 à 10 %. En général, ce sont les fournisseurs qui vous l'imposent, il faut un peu tergiverser.

M. GY. — Vous dites que la majeure partie est comprise entre 40 et 60 microns. Pouvez-vous chiffrer cette proportion ?

M. BAUDOUX. — Prenez 60 %.

M. GY. — Vous effectuez l'épuration de la magnétite sur une certaine proportion. Pourrions-nous la connaître ?

M. BAUDOUX. — Le débit de la purge du cinquième cône est de 5 m³/h. Lorsque le séparateur marche, il y a donc production de 240 kg de schlamms par heure environ, soit 0,4 % du brut. La semaine dernière, le séparateur magnétique a été mis hors service et le lavage a été aussi parfait qu'avant. Cela ne veut pas dire que ces résultats se maintiendront, mais en tout cas, cela indique que l'on peut se passer du séparateur tout au moins pendant un certain temps.

La consommation de magnétite n'a pas varié. Au lieu d'envoyer la purge au séparateur, elle a été simplement remise dans le bain de lavage. Cela ne signifie pas que le séparateur magnétique n'est pas nécessaire, nous faisons des expériences.

M. JAMOULLE. — Du fait que votre liqueur dense contient 600 g de schlamm/litre, n'avez-vous pas des ennuis dans le bac de lavage ? N'y-a-t-il pas des amas de charbon brut qui tendent à flotter ?

M. BAUDOUX. — Nous ne constatons pas cela. Vous estimez que nous avons trop de schlamm dans le bain de lavage ?

M. JAMOULLE. — Oui. J'estime que la teneur en schlamm ne doit pas dépasser 400 à 500 g/litre. Il est probable que c'est la forme et l'agencement de votre bac de lavage qui vous évitent ces ennuis de flottation.

M . BAUDOUX. — Ce sont des chiffres d'expérience. Nous prenons la densité et nous faisons des décompositions au moins deux fois par jour. Nous respectons des normes que nous avons rigoureusement établies. Dans le cas où la teneur en schlamm du bain augmente, nous n'avons qu'à alimenter notre séparateur magnétique avec une partie des purges de clarificateurs; aussitôt notre bain s'enrichit automatiquement en magnétite.

M. LARCIN. — Pendant la semaine où vous n'avez pas alimenté le séparateur magnétique, comment a varié la pollution de votre liqueur dans le bain de lavage ?

M. BAUDOUX. — Aucune variation n'a été constatée. Cela ne durera peut-être pas, ce sont des essais.

M. LARCIN. — Quelle est la quantité de schlamm qui sort par le séparateur magnétique ? Vous avez donné la concentration, avez-vous donné le débit ?

M. BAUDOUX. — Le séparateur magnétique est alimenté à raison de 5 t/h, purge du cône final; ce qui est plus important, c'est la quantité de produit passant par le crible déschlammeur. Ce crible avait été équipé avec des grilles de 1 mm. Nous avons modifié l'écartement de ces grilles afin de réduire la proportion de charbon entraîné qui va nécessairement à schlamm.

M. LARCIN. — Avez-vous la composition granulométrique du schlamm éliminé par le crible déschlammeur ?

M. BAUDOUX. — Voici une décomposition de marche normale : 1-2 mm → 24 %; 0,5-1 → 18 %; 0,25-0,5 mm → 18 %; 0-0,25 → 40 %. Il n'y a toutefois pas formation de schlamms dans l'installation. Nous avons, en effet, une batterie de lavage des grains voisine de celle-ci où les grains sont reclassés après lavage comme cela se fait normalement; il y a donc un crible reclasseur dont les déchets sont conduits dans une citerne à niveau plein. Une chaîne remonte les charbons dans une tour. Nous avons conduit dans cette citerne la purge du crible déschlammeur et, au lieu d'avoir des produits déclassés à 6, 7, 8 % de cendres, nous avons maintenant un produit qui contient 15, 16, 17 % de cendres (car il renferme tous les schlamms), mais qui est encore très marchand et que nous vendons comme fines.

M. LARCIN. — Quelle est la teneur en cendres du poussier 0-1 mm contenu dans le brut ?

M. BAUDOUX. — 20 % environ.

M. LARCIN. — Le schlamm que vous sortez de l'installation a une teneur en cendres comprise entre 40 et 53 % (la purge du séparateur magnétique a, en effet, 40 % de cendres et le débordement du cône 53 %). A quoi attribuez-vous l'augmentation de la teneur en cendres du schlamm par rapport à celle du poussier ?

M. POZZETTO. — Ce qui est surprenant, c'est que la purge du cône se tient à une teneur en cendres plus faible que le débordement. L'explication vient probablement de la présence d'argile dans le débordement.

M. BAUDOUX. — L'explication de M. Pozzetto est juste.

M. VEILLET. — Vous avez dit qu'un des avantages de l'installation était de laver plus propre, ce qui permettait d'introduire plus de pulvérulent dans les fines lavées. Ne serait-il pas plus intéressant, au contraire, d'utiliser un bac à eau qui lave à partir de 0,3 mm, quitte à obtenir des lavés plus sales au bac, donc à y ajouter moins de pulvérulent, une plus grande proportion du brut serait ainsi lavée et la production de pulvérulent baisserait sensiblement.

M. BAUDOUX. — Nous produisons du charbon 1/2 gras destiné à la chaufferie. Les clients ont toujours eu des exigences au point de vue granulométrie. La décomposition normale du 1-10 mm lavé donne 25 % de 5-10 mm. La clientèle en fines 0-10 mm, demi-grasses demande 20 % de 5-10 mm. Nous ne pourrions pas laver à partir de 0,3 mm, car nous obtiendrions un produit qui ne serait pas marchand.

M. VEILLET. — Vous réincorporez du poussier, par conséquent vous ajoutez déjà des éléments fins. Au contraire, en levant à partir de 0,3 mm, par exemple, on pourrait se contenter d'ajouter moins de poussier donc moins d'éléments fins.

M. BAUDOUX. — La granulométrie en 5-10 mm est normalement imposée. La solution adoptée est celle qui accorde la possibilité du maximum d'écoulement en poussier tout en respectant les exigences des consommateurs.

M. POZZETTO. — Justement. Vous le réincorporez dans les lavés.

M. BAUDOUX. — Oui.

M. POZZETTO. — M. Veillet vous dit : « Si vous laviez avec un bac, vous laveriez à partir de 0,3 mm et, par conséquent, vous feriez automatiquement une incorporation de fins mais qui seraient épurés ». En principe, vous auriez un meilleur produit.

M. VEILLET. — Il est normal que M. Baudoux ne puisse répondre de façon précise. Je pose donc seulement la question suivante : « Est-ce que l'étude a été faite au moment où on a pris la décision de commander cet appareillage » ?

M. BAUDOUX. — Non. Cela ne nous intéresse pas particulièrement, l'obtention de produits marchands étant notre premier objectif.

M. TENEY. — Quelle est la teneur en humidité de vos poussiers bruts ?

M. BAUDOUX. — Entre 3 et 4 %, 4,5 % est un maximum.

Le lavage par cyclones des charbons fins de dimension inférieure à 2 mm.

RESULTATS INDUSTRIELS OBTENUS AU CHARBONNAGE DE RESSAIX

E. PIRE,
Ingénieur Divisionnaire.

La Société Anonyme des Charbonnages de Ressaix a mis en service, en juillet 1954, un lavoir par liqueur dense construit par la Société « Evence Coppée », selon les procédés des Mines d'Etat Néerlandaises (fig. 1).

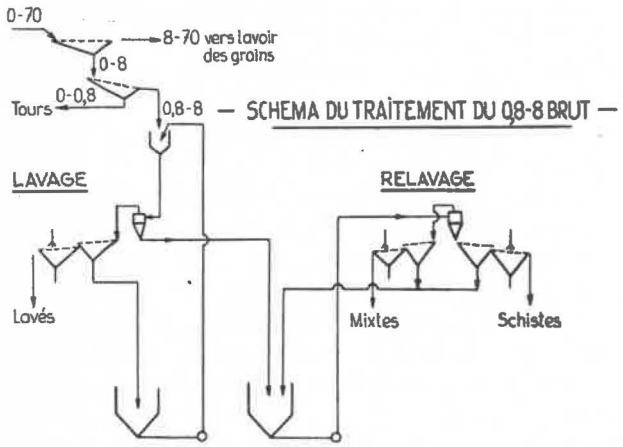


Fig. 1.

Nous traitons les particules supérieures à 8 mm dans des auges. Les charbons 0/8 sont dépoussiérés à 0,8 mm et envoyés dans une batterie de cyclones, après mélange avec la liqueur dense à la densité voulue. Les charbons sont égouttés, rincés et mis en tours. Les mixtes plus schistes, après passage dans une citerne où la densité est relevée, sont envoyés dans 4 cyclones pour être ensuite égouttés et rincés. Les liqueurs égouttées sont recyclées immédiatement et les liqueurs diluées par les rinçages sont envoyées dans des cyclones classificateurs et des séparateurs magnétiques. De là, la magnétite est envoyée dans un épaississeur Dorr d'où elle est tirée automatiquement pour maintenir constants les densités et les niveaux au lavage et au relavage. Les cyclones ont 350 mm de diamètre avec des purges cycloniques de 80 mm au lavage et de 100 mm au relavage.

La hauteur de charge d'alimentation est de 8 mètres au lavage. La pression au relavage est de 1 kg environ. Nous traitons dans ces cyclones des 0,8/8 contenant 5 et 10 % de particules inférieures à 0,8 mm. La tendance actuelle est de demander aux cyclones de laver des particules de plus en plus petites et même des schlamms. L'objet de cette communication est de vous donner quelques résultats obtenus à Ressaix, résultats montrant le comportement des cyclones vis-à-vis des particules inférieures à 2 mm dans un lavoir qui n'a pas été conçu pour traiter des fines inférieures à 0,8 mm.

Les tableaux I et II et la figure 2 vous donnent les résultats d'un échantillonnage fait en mars 1955 en vue d'établir les courbes de lavabilité et de dispersion. On constate que la teneur en cendres des tranches inférieures à 2 mm est pratiquement la même que la teneur en cendres des tranches supérieures et des échantillons totaux.

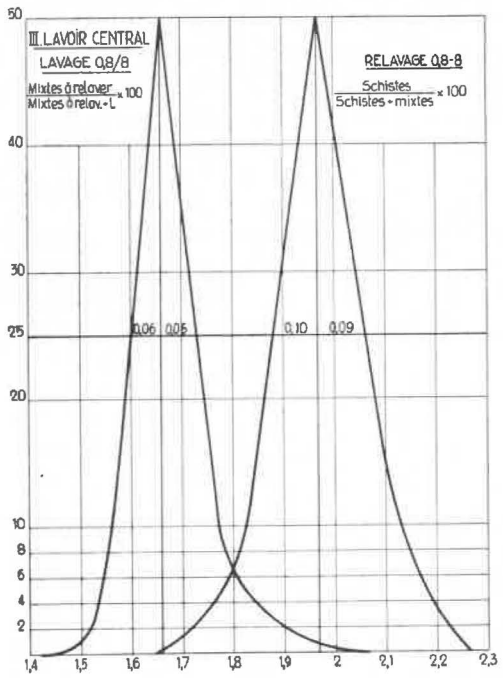


Fig. 2.

La décomposition densimétrique (tableau II) montre également que la séparation des lavés, mixtes et schistes est excellente. D'autre part, les

deux courbes de dispersion nous donnent l'écart probable qui est de 0,06 pour le lavage et 0,095 pour le relavage. L'imperfection est de 0,09 au lavage et de 0,093 au relavage.

Le tableau IV donne les résultats d'une prise d'échantillons sous les cribles rinceurs. La granulométrie de ces particules est comprise entre 0 et 0,8 mm et on constate ici également une bonne séparation des charbons et des schistes.

Les tableaux suivants (V - VI - VII) donnent les résultats du lavage des 0,5-1 et des 1-2 contenus dans les 0,8-8.

En ce qui concerne le 1 2, nous constatons que la teneur en cendres des lavés est de 7,38 % pour une teneur en cendres des 0,8-8 de 7,74 %. L'écart probable est de 0,09 pour une densité de partage de 1,84.

Au relavage, nous avons des mixtes à 55,30 % de cendres et des schistes à 84,85 %, pour des teneurs en cendres respectives pour l'échantillon total de 0,8-8 de 52,02 % et 84,73 %. L'écart probable est de 0,14 avec une densité de partage de 2,22.

Pour les 0,5-1, les cendres sont de 8,93 % pour les lavés, 61,7 % pour les mixtes et 86,04 % pour les schistes.

L'écart probable est de 0,19 au lavage et 0,24 au relavage avec des densités de partage de 2,08 et 2,6. Les rendements organiques sont, pour les 1-2, de 99,21 au lavage et 99,79 au relavage. Pour les 0,5-1, ils sont de 98,99 au lavage et 98,75 au relavage. Nous constatons que les fractions plus fines sont séparées à des densités de partage plus élevées et avec des écarts probables supérieurs. Rappelons ici que la hauteur de charge n'est que de 8 mètres.

Ces essais peuvent d'ailleurs être comparés à ceux effectués à Göttelborn en Sarre (tableau VIII) (Belugou et Lehner, Note technique 18/53 des Charbonnages de France, novembre 1953) avec une hauteur de charge de 14 mètres et qui donnent, pour les 0,3-05, une *dp* de 1,78 et un *ep* de 0,08, pour les 0,5-0,75 une *dp* de 1,74 et un *dp* de 0,08, pour les 0,75-1 une *dp* de 1,75 et un *ep* de 0,06.

Nous pouvons comparer les imperfections de notre essai — qui sont, pour les 1-2, de 0,10 et, pour les 0,5-1, de 0,17 — avec celles du lavage par bacs ou flottation.

M. Burton (Essen 1954, conférence A III 5) signale que, dans le lavage par bacs, l'imperfection moyenne est de 0,20 pour les 1-2 et de 0,22 pour les 0,5-1. D'autre part, pour le lavage par flottation, M. Veillet (Essen 1954, conférence A - IV - 7) cite les chiffres de 0,19 pour les fractions supérieures à 0,7 et 0,33 pour les 0,1-0,7, soit, à mon avis, un peu plus de 0,20 pour les 0,5-1.

Nous constatons donc un meilleur résultat de lavage dans le système par cyclones.

En conclusion, on doit admettre que les particules inférieures à 2 mm sont encore très bien lavées dans les cyclones. On peut donc envisager le traitement des 0-1 et même des schlamms par cyclones, sous réserve évidemment de pouvoir mettre au point leur récupération, mais ceci est l'affaire des constructeurs et non des exploitants.

I

Décompositions granulométriques — Ressaix - 29-3-55.

Catégories	Lavés		Mixtes		Schistes		Brut	
	Masse %	Cendres %	Masse %	Cendres %	Masse %	Cendres %	Masse %	Cendres %
8/+	1,28	8,50	1,32	40,90	2,36	84,00	1,40	50,70
5/8	21,80	5,80	26,00	41,20	36,00	84,00	28,40	34,80
2/5	47,20	5,60	47,28	42,20	39,84	82,50	49,00	29,30
0,99/2	16,20	5,70	14,80	45,60	13,60	81,90	12,40	22,60
0,76/0,99	7,92	5,30	6,04	46,70	4,60	82,90	6,40	20,60
0,51/0,76	3,60	6,10	2,36	46,40	1,84	82,70	1,60	21,00
0,28/0,51	1,20	7,00	1,00	43,60	0,64	81,10	0,38	18,40
0/0,28	0,80	13,00	1,20	41,40	1,12	85,80	0,42	25,30
Global	100,00	5,75	100,00	42,81	100,00	83,04	100,00	29,59
Cendres sur échantillon - Total :		6,20		42,80		82,90		28,80

II

Décompositions densimétriques — Ressaix - 29-3-55.

Densité de la liqueur	Charbon lavé	Mixtes	Schistes	Brut reconstitué
1,30	19,20	—	—	12,75
1,30 - 1,40	65,00	1,07	—	43,25
1,40 - 1,50	11,40	3,26	—	7,77
1,50 - 1,55	1,15	2,30	—	0,96
1,55 - 1,60	1,31	6,00	—	1,27
1,60 - 1,65	0,96	15,60	—	1,48
1,65 - 1,70	0,40	13,03	0,10	1,04
1,70 - 1,75	0,15	17,15	0,18	1,11
1,75 - 1,80	0,09	14,55	0,32	1,17
1,80 - 1,85	0,34	7,20	0,57	0,54
1,85 - 1,90		7,82	1,20	0,90
1,90 - 2,00		8,01	4,23	1,68
2,00 - 2,10		1,91	5,20	1,34
+ 2,10		1,30	88,20	24,51
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Teneur en cendres	5,75	42,81	83,04	29,59
Rendements pondéraux	66,4	6,—	27,6	100,00
Densité de partage	1,67	1,98		

IV

Lavage du 0-0,8 par cyclone 350 mm de diamètre
Hauteur de charge = 8 m.

Granulométrie	I Passé du crible A. C. des charbons (sous premier rinçage)	II Passé du crible A. C. des schistes (sous premier rinçage)
0 - 0,15 mm	16,2 %	22,8 %
0,15 - 0,2	8,8	8,8
0,2 - 0,3	11,5	12,5
0,3 - 0,5	31,5	24,2
0,5 - 0,8	29,—	22,5
0,8 - +	3,—	9,2
	100,— %	100,— %
Cendres moyennes	10,5 %	76,96 %

V

Décomposition granulométrique du 0-8 dépoussiéré après lavage par cyclones. — Ressaix, le 14-2-56.

Catégories	Lavés		Mixtes		Schistes		Brut	
	Masse %	Cendres %	Masse %	Cendres %	Masse %	Cendres %	Masse %	Cendres %
0 - 0,5	0,99	11,02	0,61	55,46	0,7	84,28	0,83	18,34
0,5 - 1	1,50	8,93	0,71	61,7	1,34	86,04	0,69	19,06
1 - 2	32,67	7,38	24,79	55,3	20,82	84,85	23,96	28,54
2 - +	64,84	7,84	73,89	50,88	77,14	84,68	74,52	40,12
0 - 8 dépoussiéré	100,00	7,74	100,00	52,02	100,00	84,73	100,00	37,02

VI

Décomposition densimétrique — Traitement du 1-2 — Ressaix, le 14-2-56.

Densité de la liqueur	Lavés Masse % du brut	Mixtes Masse % du brut	Schistes Masse % du brut	Brut Reconstitué
1,30	38,94	0,07	—	39,010
1,30 - 1,40	19,48	0,08	—	19,560
1,40 - 1,50	5,03	0,08	0,007	5,117
1,50 - 1,60	3,12	0,10	0,002	3,222
1,60 - 1,70	1,92	0,22	0,010	2,150
1,70 - 1,75	0,70	0,17	0,010	0,880
1,75 - 1,80	0,54	0,33	0,026	0,896
1,80 - 1,85	0,40	0,19	0,024	0,614
1,85 - 1,90	0,30	0,44	0,046	0,786
1,90 - 2,00	0,31	0,99	0,151	1,451
2,00 - 2,10	0,1	0,87	0,293	1,263
+ 2,10	0,15	1,46	23,431	25,041
Rendements pondéraux	71,00	5,00	24,000	100,000
Teneurs en cendres	7,38	55,30	84,85	28,54
Densité de partage		1,84	2,22	
Ecart probable . .		0,10	0,11	
Imperfection . . .				
Rendement organique		99,21	99,79	

VII

Décomposition densimétrique — Traitement du 0,5-1 — Ressaix, le 14-2-56.

Densité de la liqueur	Lavés Masse % du brut	Mixtes Masse % du brut	Schistes Masse % du brut	Brut Reconstitué
1,30	38,89	0,06	—	38,95
1,30 - 1,40	28,72	0,15	—	28,87
1,40 - 1,50	7,08	0,08	0,022	7,182
1,50 - 1,60	3,04	0,10	0,007	3,147
1,60 - 1,70	2,04	0,11	0,009	2,159
1,70 - 1,75	0,88	0,10	0,009	0,989
1,75 - 1,80	0,80	0,15	0,009	0,959
1,80 - 1,85	0,76	0,11	0,009	0,879
1,85 - 1,90	0,6	0,16	0,019	0,779
1,90 - 2,00	1,32	0,40	0,047	1,767
2,00 - 2,10	1,20	0,82	0,097	2,117
+ 2,10	0,68	2,25	9,271	12,201
Rendements pondéraux	86,00	4,50	9,500	100,000
Teneurs en cendres	8,93	61,7	86,04	19,06
Densité de partage		2,08	2,6	
Ecart probable . .		0,19	0,24	
Imperfection . . .		0,17	0,15	
Rendement organique		98,99	98,75	

RESULTATS COMPARATIFS

Granulométrie	δ de partage	Ep	Imperfection	Pression
Ressaix — essai du 14-2-1956				
0,5 - 1	2,08	0,19	0,17	8 m
1 - 2	1,84	0,09	0,10	8 m
Göttelborn (Note technique 18/53 — Charbonnages de France)				
0,3 - 0,5	1,78	0,08	0,103	14 m
0,5 - 0,75	1,74	0,08	0,108	14 m
0,75 - 1	1,75	0,06	0,08	14 m
Bac de lavage (Essen 1954 - M. Burton - A III 5)				
0,5 - 1			0,22	
1 - 2			0,20	
Flottation (Essen 1954 - M. Veillet - A IV 7)				
> 0,7			0,19	
0,1 - 0,7			0,33	

DISCUSSION

M. LEHNER. — M. Pire a bien voulu rappeler les essais de longue durée qui ont été faits à Göttelborn, au débit de 15 t/h environ, sur un charbon brut contenant environ 36 % de 0-1 mm. Le dernier tableau qu'il vient de montrer répond à la plupart des questions qu'on pourrait avoir envie de poser. Je voudrais cependant en poser une de plus : j'ai été impressionné par la batterie de 25 tamis vibrants qui précèdent l'installation de cyclones. Que faites-vous de vos poussiers de dépoussiérage ?

M. PIRE. — Le passé des vibrants est vendu comme poussier; sa teneur en cendres est comprise entre 20 et 25 %.

M. LEHNER. — Cette batterie est-elle garantie contre tous risques ? Il faut, pour qu'une telle batterie fonctionne bien, que le brut soit suffisamment sec pour pouvoir être tamisé. Par l'application plus stricte des règlements sur la lutte contre les poussières dans les mines, le procédé risque d'être mis en défaut. Dans ce cas, quelle serait la solution adoptée dans le lavoir à cyclones ? En Sarre, nous traitons du 0-10 mm dans des cyclones et le problème du traitement simultané des ultra-fins s'est posé de soi-même, car non seulement à 1 mm, mais même à 10 mm, nous n'arrivons plus à classer correctement à cause de l'humidité du brut, conséquence de la lutte efficace contre les poussières au fond.

M. PIRE. — L'humidité du brut ne dépasse pas actuellement 4 % et, dans ces conditions, nous lavons des 0,8-8 mm contenant jusque 10 % de déclassés. Il est arrivé que le charbon soit plus humide et la quantité de déclassés a atteint 15 %. Dans ce cas, on peut avoir quelques ennuis, mais le placement de grilles courbes à l'entrée des cribles égoutteurs de charbon nous a permis de laver dans de bonnes conditions des charbons contenant jusque 10 %, au lieu de 7 % précédemment, de déclassés. Nous envisageons même de placer de telles grilles avant les cribles des schistes et des mixtes. Si l'humidité moyenne augmentait sensiblement, il faudrait envisager le placement de sécheurs et de tamis chauffants.

M. GY. — Quelle est la granulométrie de la magnétite utilisée et quelle est la proportion de magnétite épurée dans le circuit ?

M. PIRE. — La magnétite contient 90 % de particules plus petites que 60 μ. Nous la broyons. La quantité épurée est de 20 % environ.

M. GY. — N'avez-vous pas plus de précision au sujet de la composition granulométrique de la magnétite ?

M. PIRE. — La décomposition granulométrique de la magnétite brute est la suivante :

97,1 % passent au tamis de 35 mesh
82,1 % passent au tamis de 65 mesh
53,8 % passent au tamis de 150 mesh
28 % passent au tamis de 325 mesh

M. BAUDOUX. — Comment opérez-vous la décomposition des produits ? Avec quelles mailles opérez-vous vos séparations ?

M. PIRE. — Avec des mailles carrées.

M. POZZETTO. — En ce qui concerne les performances des bacs à pistonnage, M. Pire a fait état des résultats communiqués en 1954 par M. Burton au Congrès d'Essen. Depuis, les réceptions faites par le Cerchar nous ont prouvé que les bacs à pistonnage pneumatique munis d'auto-déschisteurs étaient capables, pour les fines au-dessus de 0,1 et surtout au-dessus de 0,3, de donner de bien meilleurs résultats. De 0,1 à 0,3 mm, on obtient des imperfections de l'ordre de 0,18 à 0,20 mais, au dessus de 0,3 mm, l'imperfection tombe facilement aux environs de 0,15-0,16, c'est-à-dire qu'on obtient des résultats beaucoup plus favorables que ceux notés à l'époque par M. Burton.

M. VEILLET. — M. Pire a reproduit les résultats que j'ai donnés à la Conférence d'Essen en ce qui concerne la flottation. Il faut tout de même souligner que la flottation traite correctement les produits $< 0{,}1$ mm. Souvent, nous avons des alimentations de flottation qui contiennent 40 % $< 0{,}1$ mm; dans de tels cas, la comparaison entre flottation et cyclones n'est donc plus possible.

M. POZZETTO. — En ce qui concerne la constitution des produits bruts, j'ai été étonné, soit par votre communication, soit par celle de M. Baudoux, de voir la progression très rapide de la teneur en cendres du brut avec la granulométrie. Est-ce général pour les charbons belges ? Sur un certain nombre de charbons français, nous avons des écarts du même genre, mais pas de la même importance. Cela tient il au mode d'extraction ou au gisement ?

M. BURTON. — Non, ce n'est pas tout à fait général; cela existe surtout pour les charbons maigres et 1/2 gras, dans certaines parties du bassin. Cela tient surtout au gisement, à la fragilité du charbon.

M. DENOEL. — M. Pire pourrait-il nous donner la consommation de magnétite atteinte.

M. PIRE. — 700 à 800 g/tonne brute traitée.

Criblage et dépoussiérage

Difficultés dues à l'humidité.
Remèdes adoptés et proposés.

par G. BURTON,
Ingénieur à INICHAR.

INTRODUCTION

La précision du classement granulométrique et un bon dépoussiérage en tête d'un lavoir sont des éléments essentiels de la bonne marche et de l'efficacité de ce lavoir.

Une élimination insuffisante du poussier des fines brutes avant lavage entraîne plusieurs inconvénients.

— Dans le cas le plus général de traitement des fines par bacs à feldspath à commande par pistons ou par air comprimé et par rhéolaveurs, les déclassés inférieurs à 0,8-1 mm sont mal lavés et, en tout cas, lavés à une teneur en cendres largement supérieure à celle des éléments normaux supérieurs à 1 mm.

Cette introduction d'éléments cendreux force le laveur, pour maintenir une teneur en cendres globale admissible, à réduire la densité de coupure de son appareil, ce qui entraîne une chute sensible du rendement d'ensemble de l'épuration.

— Dans le cas, qui n'est plus rare à présent, de traitement des fines par suspension dense, le poussier déclassé est éliminé sur les cribles de rinçage et d'égouttage placés à sa suite. Ces schlamms entrent dans le circuit de suspension dense, le polluant et entraînant une baisse de précision de la séparation et un accroissement sensible de la consommation de magnétite.

— Dans tous les cas, les schlamms produits entrent dans le circuit général des eaux de lavage, compliquant le problème de leur clarification. Ces eaux plus chargées en solides entraînent une réduction de l'efficacité de tous les appareils de lavage.

Certains charbonnages, au lieu du dépoussiérage à sec, adoptent la voie humide pour éliminer les produits très fins (déschlammage sur crible ou par courant d'eau ascendant). Les eaux schlammeuses à forte teneur en solide ainsi obtenues ne sont pas déversées dans le circuit général des eaux. Elles peuvent être jointes aux produits de soutirage de spitzkasten pour subir un traitement d'épaississement suivi de flottation ou de filtration.

L'élimination de ce poussier par les méthodes classiques de criblage et de dépoussiérage pneumatique devient de plus en plus difficile par suite de la teneur croissante en humidité des fines brutes.

Certains chantiers sont naturellement humides, mais ces cas sont relativement rares. La cause principale de l'accroissement d'humidité doit être cherchée dans le développement des moyens de lutte contre les poussières dans les travaux souterrains.

Des essais effectués en Allemagne à ce propos ont cependant donné des résultats déconcertants. L'utilisation simultanée de l'injection en veine et de marteaux-piqueurs munis de pulvérisateurs (méthode qui a donné les meilleurs résultats en taille) n'accroît que de 1,2 à 1,5 % la teneur en humidité des fines brutes 0-10 mm.

Cette seule cause est donc insuffisante pour justifier les teneurs élevées des fines brutes arrivant en surface et il faut incriminer, par exemple, un emploi mal contrôlé de l'eau d'arrosage sur les engins de transport.

Comme cette lutte contre les poussières est inéluctable et son développement même souhaitable, il faut, à l'atelier de préparation, prendre les mesures indispensables pour pallier la situation actuelle et prévoir une aggravation pour l'avenir.

CAUSES DES DIFFICULTES DE CRIBLAGE ET DE DEPOUSSIERAGE

Pourquoi l'humidité entrave-t-elle et rend-elle parfois impossible l'élimination des poussiers par criblage ou par voie pneumatique et même parfois le classement à des mailles atteignant 10 et 20 mm?

Avant d'aborder ce problème, il convient de faire deux remarques.

1°) En premier lieu, il est évident que l'humidité superficielle seule joue un rôle dans les difficultés rencontrées en criblage et dépoussiérage. L'humidité totale déterminée par séchage prolongé à l'étuve à 110°-120° comprend, outre cette humidité superficielle, l'humidité interne ou hygroscopique qui est l'humidité résiduelle lorsque

le charbon est en équilibre hygroscopique avec l'atmosphère ambiante après séchage naturel à l'air. La teneur en humidité hygroscopique peut varier de quelque 1/10 % à 2-3 %, et même plus dans les charbons les moins évolués.

Il en résulte que deux charbons ayant une même teneur en humidité totale (valeur généralement déterminée dans les charbonnages) pourraient présenter une différence importante d'humidité superficielle, différence pouvant atteindre 2 % et avoir des comportements très différents au point de vue dépoussiérage.

2°) De plus, ce comportement vis-à-vis du dépoussiérage n'est pas uniquement fonction de la teneur en humidité superficielle, mais dépend également d'autres facteurs tels que la caractéristique de surface des grains, la présence d'éléments argileux, etc... Il semble qu'un caractère plus général de comparaison serait le pouvoir agglomérant des produits fins.

A la fin de cette communication, nous exposerons la situation actuelle en Belgique en matière de dépoussiérage en nous basant uniquement sur les humidités totales des fines, valeurs fournies par les charbonnages. Les deux restrictions ci-dessus montrent que les conclusions tirées peuvent se révéler incorrectes dans certains cas particuliers (teneur très faible ou très élevée en argile — humidité hygroscopique particulièrement élevée, etc.).

L'ingénieur Batel, auteur du film sur le criblage des produits humides qui sera projeté à la fin de cette communication, a publié une étude sur les causes des difficultés de classement dont voici les grandes lignes :

Au point de contact de deux grains humides se forme un petit film d'eau commun à ces deux grains. Les tensions superficielles existant à la limite de ce film créent une adhérence entre les grains et il faut les détruire pour séparer ces grains. Il faut noter que, pour des grains très fins, cette force d'adhérence peut atteindre vingt fois le poids des grains. En dessous d'une certaine humidité superficielle voisine de 2 à 3 %, le film adhérent ne peut se former et les grains sont libres. De même, lorsque tout l'espace entre les grains est rempli d'eau, il n'existe plus d'interfaces eau-air, et donc plus de tensions superficielles, et les grains sont également libres.

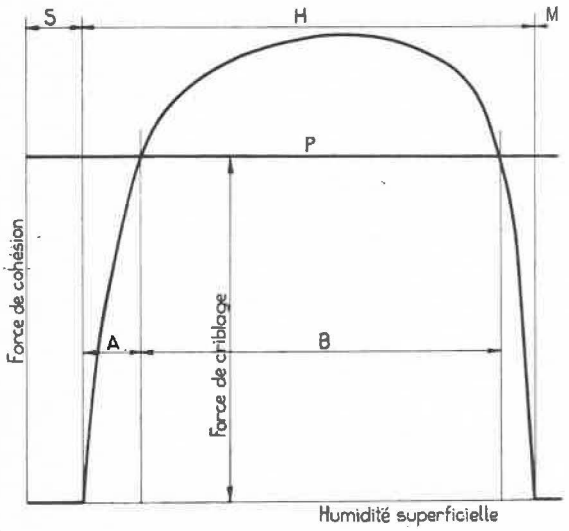


Fig. 1.

Entre ces deux limites existe une zone intermédiaire où se situent les difficultés de criblage.

La courbe de la figure 1 représente schématiquement la force de cohésion entre les grains en fonction de l'humidité superficielle. La première zone S (zone sèche) correspond aux faibles teneurs en humidité pour lesquelles l'adhérence ne se produit pas.

La zone intermédiaire H (zone humide) couvre toute la gamme des humidités provoquant l'adhérence.

La zone M correspond au remplissage complet des vides par de l'eau et donc à la disparition de l'adhérence.

La droite P figure l'effort imparti aux grains par un appareil de criblage déterminé.

Cette droite permet de diviser la zone H en deux sous-zones principales A et B qui nous intéressent principalement.

Dans la zone A, les efforts impartis aux grains par l'appareil de criblage sont supérieurs aux forces d'adhérence entre les grains. Les grains peuvent donc se libérer et le criblage est possible. La capacité du crible est cependant réduite par suite de la difficulté de libération des grains et du colmatage de la surface criblante, si l'on ne prend pas de précautions spéciales. Le dépoussiérage par air froid voit son rendement tomber rapidement, car la force exercée sur les grains par le courant d'air devient vite insuffisante pour les libérer.

Dans la zone B, les forces d'adhérence deviennent supérieures aux forces de criblage, les grains ne sont plus libérés et le produit est par lui-même inapte au criblage. Même si l'on évite le colmatage de la toile, le rendement de criblage sera nettement insuffisant. A ce point, les seuls remèdes sont le séchage thermique préalable ou le criblage sous eau.

La limite entre les zones S et H se situe, nous l'avons dit, aux environs de 2 à 3 % d'humidité superficielle, soit en moyenne à 4 % d'humidité totale.

La limite entre les zones A et B est plus difficile à définir et dépend d'ailleurs de l'appareil de criblage considéré. Pour un appareil vibrant à fréquence élevée et muni d'une toile à mailles assez fines, la pratique a montré que cette limite se situe au voisinage de 5 à 6 % d'humidité superficielle, soit 7 % d'humidité totale.

Ce sont ces limites de 4 à 7 % que nous avons adoptées dans la figure 2 et les classifications ultérieures.

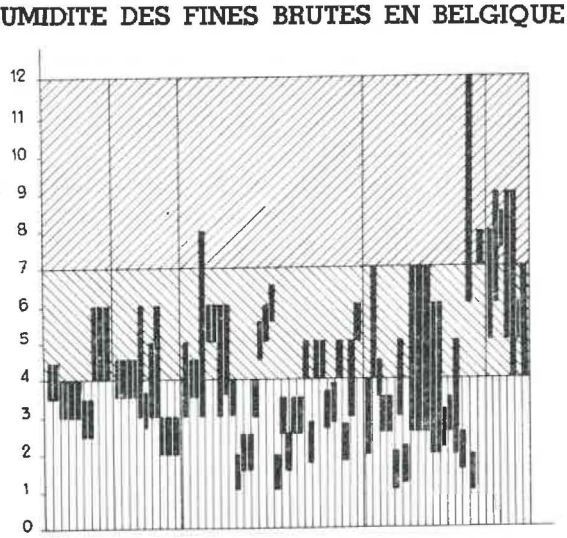


Fig. 2.

Teneur en humidité des fines brutes en Belgique.

Cette figure donne les teneurs en humidité des fines brutes alimentant tous les lavoirs belges. Ces lavoirs sont classés par bassins, soit de gauche à droite : Borinage, Centre, Charleroi, Liège et Campine.

Dans cette représentation, nous n'avons pas tenu compte des tonnages traités et chaque lavoir est représenté par un rectangle de largeur constante dont la hauteur figure la zone de variation de la teneur en humidité des fines brutes dans ce lavoir.

Les ordonnées 4 et 7 % limitent trois zones :

— La zone inférieure où les problèmes de dépoussiérage ne posent aucune difficulté.
— La zone intermédiaire, où le criblage est encore possible, mais où intervient le problème du colmatage.
— La zone supérieure, où le dépoussiérage devient impossible.

La première impression qui se dégage de cette figure est la dispersion importante des valeurs observées, même dans un bassin déterminé. Cette dispersion est due, en partie, à l'humidité naturelle plus ou moins importante des chantiers souterrains, mais pour la plus grande part à la plus ou moins grande extension donnée à la lutte contre les poussières.

La deuxième constatation qui s'impose est le nombre important de lavoirs dont les fines brutes ont une teneur en humidité les plaçant dans les zones critiques et où des mesures particulières s'imposent donc.

Sur 81 lavoirs traitant les fines en Belgique, 33 sont dans la zone S, 9 dépassent légèrement la limite inférieure de la zone critique A et constatent l'apparition des phénomènes de colmatage des cribles et des dépoussiéreurs et 31 sont dans cette zone critique. Cette dernière situation donne lieu à des rendements dérisoires du dépoussiérage et à des difficultés dans la suite du lavage, exigeant des mesures spéciales. Huit lavoirs, dont 5 dans le bassin campinois, se trouvent en présence de fines brutes dont l'humidité dépasse couramment la limite critique de 7 % et que l'on peut, de ce fait, considérer comme pratiquement impossibles à dépoussiérer par voie sèche sans séchage thermique préalable.

Dans la suite de cet exposé, nous donnerons les différents remèdes que l'on peut apporter aux difficultés de dépoussiérage et, pour terminer, nous dirons dans quelle mesure ces différents remèdes sont actuellement appliqués en Belgique.

CRIBLAGE DES CHARBONS HUMIDES

(Zone A).

Nous avons vu que, dans la zone A, deux phénomènes s'opposent au dépoussiérage des fines :

— La difficulté de libération des grains qui adhèrent par suite des tensions superficielles.
— Le colmatage de la toile criblante.

Dans cette zone, la libération des grains est difficile, mais leur adhérence peut cependant être surmontée par les forces de criblage. Cette adhérence entre grains, qui ne pourrait être complètement éliminée que par séchage préalable, se traduit par une réduction de la capacité de criblage de la surface criblante. A condition de consentir à cette réduction et de maintenir ouverte la surface de criblage, on obtient des résultats de dépoussiérage très satisfaisants.

Il est évident que des accélérations de criblage élevées faciliteront la libération des grains et on a donc intérêt à utiliser des cribles vibrants les plus nerveux possible.

La lutte contre le colmatage peut se faire par des moyens mécaniques ou par des procédés thermiques.

A) Moyens mécaniques.

Le début du colmatage est un enrobage des fils de la toile de criblage par des particules fines adhérentes; ce dépôt s'épaissit rapidement, les enrobages de deux fils voisins se rejoignent et forment une nappe continue colmatant la maille.

Les moyens mécaniques de lutte contre le colmatage doivent donc avoir pour effet, soit d'empêcher l'adhérence initiale des grains sur les fils, soit, si ce premier enrobage ne peut être évité, d'empêcher la formation d'une couche continue de produits entre les fils.

Ces solutions mécaniques sont les suivantes :

— Vibration rapide des fils de la maille dans le but d'essayer d'éviter l'adhérence des grains fins.

— Mouvements relatifs verticaux ou horizontaux entre fils voisins, qui éliminent le danger de formation d'une couche continue de produit fin entre ces fils.

— Systèmes par chocs qui donnent naissance à de brusques accélérations des fils de la toile.

1) L'objectif d'obtenir des mouvements relatifs entre les fils de la surface criblante a conduit aux cribles des types Serpa et Duo (fig. 3).

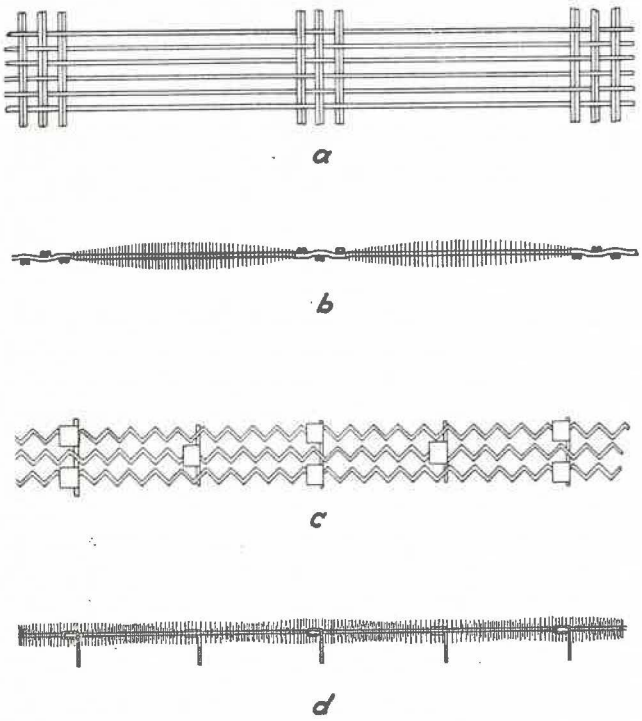


Fig. 3.

La surface vibrante du crible Serpa est constituée par des fils ondulés dont la juxtaposition forme des mailles à peu près carrées (on avait reproché au tamis Harpe à mailles très allongées l'imprécision de leur coupure).

Dans la réalisation initiale de ces toiles Serpa, tous les fils ondulés étaient fixés de distance en distance à des fils transversaux et un danger de colmatage subsistait au voisinage de ces fils. Dans la réalisation plus récente donnée sur la figure, un fil sur deux seulement est alternativement fixé aux fils transversaux et deux fils voisins ont ainsi des mouvements relatifs verticaux sur toute leur longueur.

Le crible Duo représente le dernier stade des mouvements relatifs des fils voisins. Ici, un fil sur deux est fixé à un châssis auxiliaire fixé élastiquement au châssis principal par l'intermédiaire de tampons de caoutchouc. Le châssis auxiliaire, entraîné par la vibration du châssis principal, prend un mouvement de vibration relatif par rapport à celui-ci, ce qui provoque un fort mouvement relatif complexe entre les fils voisins.

Nous extrayons de la communication de M. Thein à la Conférence d'Essen un diagramme montrant le comportement du tamis Duo vis-à-vis des fluctuations de teneur en humidité des produits à cribler.

Il s'agissait du criblage à une maille de 10 mm d'un brut 0-80 mm dont on a augmenté artificiellement la teneur en humidité. Le crible était du type à résonance à fréquence peu élevée (380 t/min) et à amplitude de 35 mm.

Sur la figure 4, la courbe *a* donne la variation de teneur en humidité superficielle des fines 0-6 mm contenues dans le brut 0-80 mm à cribler. La courbe *b* donne le pourcentage de déclassés contenus dans le refus du crible. Les déterminations d'humidité et de déclassés sont faites sur des prises simultanées effectuées de 3 en 3 minutes.

On constate qu'une hausse de la teneur en humidité se traduit, avec un certain retard, par une augmentation sensible du pourcentage de déclassés. Ce retard trahit un colmatage partiel de la surface de criblage, mais l'effet d'auto-nettoyage se fait immédiatement sentir et, si l'humidité revient à des valeurs normales, le pouvoir criblant est rapidement rétabli.

2) Les accélérations brusques de la surface criblante grâce à des chocs peuvent être obtenues, soit par l'emploi de billes de caoutchouc venant frapper directement la toile, soit en transmettant les chocs à la toile par l'intermédiaire du châssis qui, à chaque vibration, vient frapper contre une butée.

Un système à billes de choc a été essayé en Allemagne dans les conditions suivantes :

ouverture : 6 mm;
surface : 1,30 m × 6,60 m;
alimentation : passé d'un étage supérieur muni d'une tôle à perforations carrées de 10 mm.

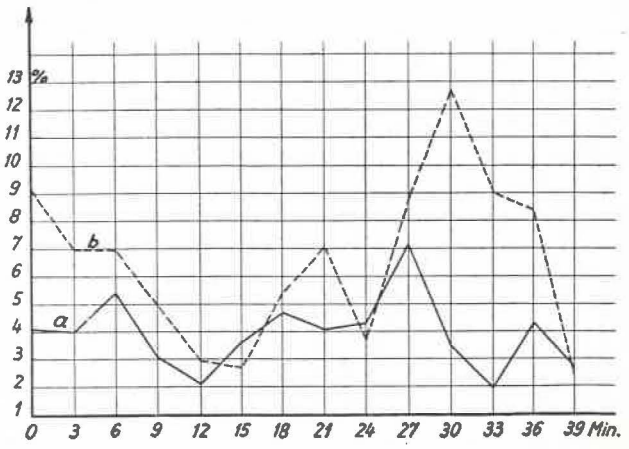


Fig. 4.

Au cours de l'essai, l'humidité *superficielle* du passé 0 - 6 mm a varié de 2,6 à 7 %.

Malgré cette humidité élevée, les résultats de criblage ont été très satisfaisants, le refus du crible muni de billes de chocs à ouverture de 6 mm ne contenant que 5 % de déclassés inférieurs à 6 mm, alors que l'étage supérieur à ouvertures carrées de 10 mm contenait près de 20 % de ces mêmes déclassés.

Nous ne possédons pas de résultats relatifs au criblage de produits humides au moyen de cribles où les chocs sont appliqués au châssis.

B) Procédés thermiques.

Le chauffage de la surface criblante aux environs de 50-60° empêche l'adhérence des grains fins aux fils, ce qui écarte le danger de colmatage. Ce chauffage ne produit pratiquement pas de séchage du produit criblé et ce n'est d'ailleurs pas son but. Son effet est d'éliminer le film d'eau qui se forme entre les fils du tamis et les grains. Les mailles de criblage restant ainsi ouvertes, la limite de possibilité de criblage d'un produit n'est plus conditionnée que par son aptitude même. Le criblage sera possible aussi longtemps que les efforts dus aux accélérations de criblage restent supérieurs aux forces d'adhérence entre les grains. Au-dessus d'une certaine teneur en humidité, ces forces d'adhérence deviennent prohibitives et le criblage devient insuffisant, malgré le chauffage de la toile.

Les premiers essais de chauffage de surface criblante datent de nombreuses années et plusieurs procédés de chauffage ont fait l'objet de recherches (électrique par résistance, par brûleurs à gaz, par gaz chauds).

Le chauffage électrique direct par effet Joule, perfectionné par Bürstlein en 1948 et 1949 à l'occasion d'essais de criblage de fines à coke humides, a connu un grand développement au cours de ces dernières années.

Un système de chauffage indirect par induction, dénommé système Carolus Magnus, paraît également intéressant et promis à un certain développement.

Le chauffage direct par résistance est réalisé en appliquant entre les deux extrémités de la surface de criblage, isolée du châssis, une différence de potentiel réduite, généralement inférieure à 24 volts. L'alimentation se fait au moyen d'un transformateur réglable, permettant d'ajuster la tension de sortie. Le courant de chauffage nécessaire pour maintenir une température constante de la toile dépend en effet du débit et de la teneur en humidité des produits traités.

Nous ne nous étendrons pas ici sur les résultats obtenus au moyen de cribles chauffés, le programme de ces Journées comprenant une communication de M. Massaut à ce sujet.

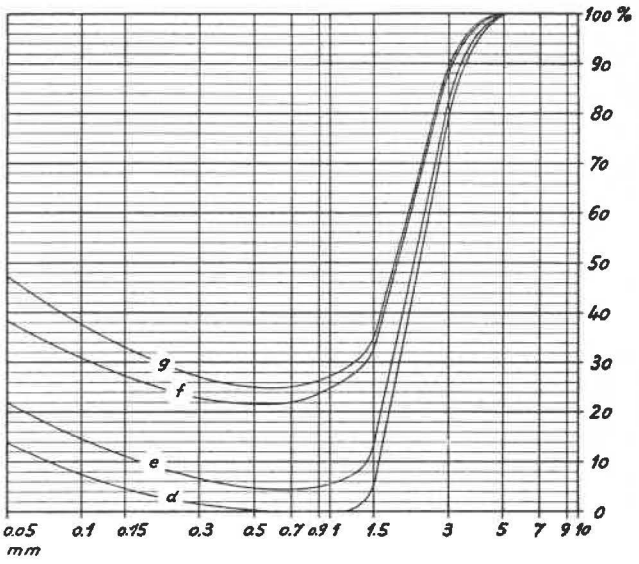


Fig. 5.

Nous ne projetterons qu'une figure (fig. 5) basée sur des essais de dépoussiérage de fines humides effectués en Sarre. Les quatre courbes de partage granulométriques se rapportent au criblage sur toile à mailles rectangulaires de 1,6 × 5,5 mm de fines brutes dont les teneurs en humidité superficielle varient de 2,9 à 3,3 % et les teneurs en humidité totale de 5,7 à 6,1 %. La variable essentielle qui distingue les quatre essais est l'accroissement de débit qui passe de 2,8 t/m²/h pour le premier à 7,6 t/m²/h pour le quatrième. Cette figure permet deux observations :

1) Toutes les courbes se relèvent dans la zone des plus fines granulométries, ce qui traduit une rétention d'un fort pourcentage de grains très fins dans le refus du crible et donc une adhérence de ces grains aux grains plus gros, adhérence qui n'a pu être vaincue par les efforts de criblage.
2) La teneur en déclassés du refus augmente rapidement avec le débit du crible. Aux teneurs en humidité pourtant relativement faibles des produits au cours de ces essais, la difficulté de libération des grains oblige à consentir une réduction de débit si l'on désire un dépoussiérage satisfaisant.

Dans le système Carolus Magnus, le chauffage de la surface criblante est produit indirectement par induction.

Un convertisseur de fréquence, transformant le courant du réseau à 50 Herz en courant à haute fréquence pouvant varier de 200 à 10.000 Herz, alimente une série d'inducteurs placés au-dessus de la surface criblante. Les champs magnétiques à haute fréquence produits donnent naissance à des

courants de Foucault qui échauffent cette surface criblante.

Les inducteurs doivent être placés le plus près possible de la surface à chauffer, la distance varie de 20 à 200 mm.

Les courants induits, d'où la température de la toile, sont réglables dans de très larges limites.

Ce chauffage par induction donne pratiquement les mêmes résultats que le chauffage direct par résistance. Son avantage réside dans la possibilité d'application sur des tamis existants sans modifications importantes.

CRIBLAGE DES FINES BRUTES TRES HUMIDES (Zone B).

Au dela d'une teneur en humidité totale voisine de 7 %, le produit devient complètement inapte au dépoussiérage direct par voie sèche. Il n'y a plus alors que deux remèdes opposés, mais qui tous deux ont pour but de détruire l'adhérence entre grains provenant des tensions superficielles : le séchage thermique et le déschlammage par voie humide. Le choix entre ces deux procédés dépend surtout de conditions locales telles que la nature du charbon, les possibilités de débouchés des produits, la structure du lavoir existant, etc., car, au point de vue économique, elles conduisent à des résultats presque identiques.

Le traitement par voie humide peut cependant parfois s'imposer dans le cas où la teneur en humidité des charbons bruts devient si élevée que les séparations aux mailles de 10 et même 20 mm deviennent aléatoires. Cette situation s'est présentée, entre autres, en Sarre où, après avoir essayé différents remèdes, on a finalement généralisé le classement total ou partiel par voie humide.

Le séchage thermique préalable des fines brutes paraît devoir s'imposer dans les charbonnages qui possèdent des installations d'épuration pneumatique et qui ont de larges débouchés pour leurs poussiers bruts.

Nous disposons de peu de données concernant le prix de revient de ce préséchage, on peut cependant l'évaluer à 15 à 20 francs environ par tonne séchée.

Si l'on évalue à 80 francs par tonne brute les frais entraînés par la flottation comprenant : la flottation, la filtration et le séchage thermique des flottés et le traitement des schistes, on peut établir de la façon suivante un bilan comparatif des procédés par préséchage, dépoussiérage et épuration pneumatique et par déschlammage, épuration par voie humide et flottation.

Soit une tonne de fines brutes 0-10 mm entrant au lavoir. Supposons que ces fines, destinées à la cokéfaction, contiennent 30 % de produit inférieur à 1 mm.

Admettons, en outre, que les différents modes d'épuration donnent, partant d'un brut à 30 % de cendres, uniformément des produits lavés à 6 % de cendres avec des rendements de :

70 % pour l'épuration par voie humide
69 % pour l'épuration pneumatique
et 68 % pour la flottation.

FRAIS DE TRAITEMENT				*VALORISATION*			
Voie sèche		*Voie humide*		*Voie sèche*		*Voie humide*	
Séchage therm. 1 t à 18 F/t	18	Flottation Séchage 300 kg à 80 F/t	24	300 kg poussier à 513 F/t	154	—	
Dépoussiér. Captage des poussières Epuration pneumatique	X	Reprise des schlamms Lavage Egouttage	X	525 kg fines à coke à 691 F/t	363	694 kg fines à coke à 691 F/t	521
				Total	517	Total	521

Il est intéressant de mentionner ici un nouveau type de déschlammeur installé récemment dans un charbonnage du Bassin liégeois. Deux ou trois appareils de ce type fonctionnent déjà dans la Ruhr et en France. Ce déschlammeur fonctionne suivant le même principe que les dépoussiéreurs pneumatiques (fig. 6).

Les fines brutes déversées dans un réservoir conique sont envoyées au moyen d'une roue distributrice dans un conduit où elles sont traversées par un courant transversal d'eau. Les schlamms sont entraînés par ce courant et évacués par la cheminée 1, tandis que les fines déschlammées sont re-

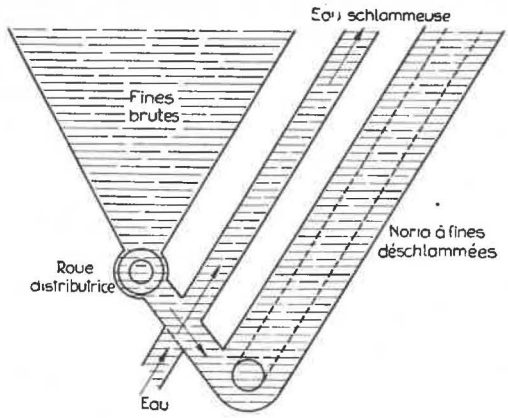


Fig. 6.

prises, à la base du conduit, par une chaîne à godets noyée.

Le schéma de principe de l'ensemble de l'installation est représenté à la figure 7.

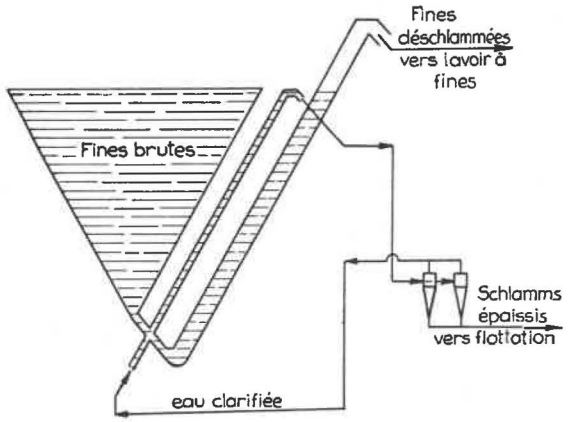


Fig. 7.

DEPOUSSIERAGE PNEUMATIQUE

Il nous reste à dire quelques mots du dépoussiérage pneumatique. Une élévation de teneur en humidité se traduit également ici par une chute rapide du rendement de dépoussiérage et par du colmatage dans le circuit des poussiers.

Le chauffage de l'air de dépoussiérage aux environs de 100 degrés permet d'élever la limite de teneur en humidité admissible de 4 à près de 7 %. Il convient cependant de prendre certaines précautions pour éviter la condensation des buées dans les conduits et les appareils de captage des poussiers. On conseille l'isolation thermique et même le chauffage de certaines parties de l'appareillage.

Le rendement d'un dépoussiéreur est défini par le rapport entre la quantité de poussier éliminé et la quantité de poussier présent dans le produit brut. Tout le problème consiste à définir la maille de coupure entre le poussier et le dépoussiéré. Dans le cas de dépoussiérage pneumatique, cette maille est inconnue a priori et il paraît intéressant de la définir comme étant la maille de partage définie par la courbe de partage granulométrique. Cette courbe de partage est d'ailleurs très intéressante à déterminer, car elle donne une image très suggestive du fonctionnement du dépoussiéreur.

LES TENDANCES EN BELGIQUE

Maintenant que nous avons passé en revue les différents moyens permettant de faire face aux difficultés du dépoussiérage, voyons dans quelle mesure ces remèdes sont ou seront prochainement employés en Belgique.

Nombre lavoirs		*Zone S* $< 4\ \%\ H_2O$ *33*		*Zone A* $4 < H_2O < 7$ *40*		*Zone B* $7 > \%\ H_2O$ *8*	
		Réalisé	Projet	Réalisé	Projet	Réalisé	Projet
Pas de mesure contre humidité	Dépous. pneum. sans préséchage (+ criblage)	14	—	19	—	2	—
	Criblage sans préséchage	18	—	13	—	—	—
	Pas de dépoussiérage	—	—	2	—	—	—
Déschlam.	—	—	—	1	—	2	—
Mesures contre humidité (séchage et cribles ch.)	Dépous. à gaz chaud	—	—	—	1	—	—
	Séch. préalable + criblage	—	—	—	—	1	1
	Séch. préalable + Dépous. (+ criblage)	1	—	2	—	2	—
	Séch. préalable + cr. chauff.	—	—	1	—	—	—
	Cr. Chauffants	—	1	2	8	1	—

33 lavoirs se trouvent encore dans la zone S où le dépoussiérage ne pose pas de problème.

— Un de ces lavoirs dispose cependant d'une installation de séchage thermique préalable, qui ne traite que la partie la plus humide des fines brutes.

— Un autre prévoit l'installation de cribles chauffants. Ce lavoir, qui s'attend à une augmentation de la teneur en humidité de ses fines brutes et a commandé un nouveau lavoir à fines par cyclones à suspension dense, a pris là une sage précaution.

Des 40 lavoirs se trouvant dans la zone critique A et qui éprouvent de plus ou moins grandes difficultés de dépoussiérage, 6 seulement sont actuellement équipés pour faire face à cette situation, 9 autres projettent de le faire ou le désirent. Plusieurs exploitants estiment que l'adoption de cribles chauffants permettra de résoudre leur problème.

Dans la zone B (impossibilité pratique de dépoussiérage), la situation est beaucoup plus nette. Seuls deux charbonnages essaient encore de dépoussiérer à froid, mais l'un de ceux-ci a en commande un nouveau lavoir où les fines brutes seront séchées thermiquement avant criblage.

En conclusion, il semble que trop de charbonnages hésitent encore à prendre les dispositions indispensables pour parer à des difficultés qui risquent de s'aggraver dans l'avenir. Ces remèdes sont évidemment assez onéreux, mais ces dépenses sont compensées par une conduite plus facile et un rendement plus élevé du lavoir et une réduction des pertes vers le terril.

DISCUSSION.

M. EDELINE. — A-t-on fait des essais de produits tensio-actifs pour faciliter le criblage ?

M. BURTON. — Non. En Belgique, je pense qu'aucun charbonnage n'a fait d'essais de produits tensio-actifs à ce sujet. Je crois que ces essais ont été faits en Allemagne, ils ne doivent pas avoir donné beaucoup de résultats.

M. BAUDOUX. — Constatez vous de grandes différences au criblage par l'emploi de tamis à mailles carrées ou rectangulaires quand vous êtes à la limite des possibilités de criblage du charbon ?

M. BURTON. — Non, la différence entre tamis à mailles carrées ou rectangulaires provient surtout du goujonnage des mailles. Avec des mailles carrées, le goujonnage se produit assez facilement, beaucoup plus difficilement avec des mailles rectangulaires. Mais en cas de difficulté de criblage par suite de l'humidité, il n'y a pratiquement pas de différence entre mailles carrées et rectangulaires.

M. LARCIN. — La première figure projetée donnait, en ordonnée, la force de cohérence entre les grains et, en abscisse, le pourcentage d'humidité superficielle. La courbe a-t-elle été obtenue simplement par calcul ou résulte-t elle d'études de laboratoire ?

M. BURTON. — Cette figure est extraite d'une publication de l'ingénieur Batel qui a effectué des calculs très poussés sur ces forces de cohérence dues aux tensions superficielles. Mais le calcul ne conduit pas très loin, car les forces capillaires qui causent ces cohérences entre grains dépendent de la forme et de la dimension de ces grains. La courbe théorique projetée ne donne qu'un ordre de grandeur de la valeur moyenne des forces d'adhérence.

M. LARCIN. — Sur le même diagramme, vous avez aussi porté la force créée par les accélérations du crible. Comment l'évaluer par rapport à la valeur moyenne des forces d'adhérence ? Que doit-on retenir exactement de cette figure ?

M. BURTON. — Cette figure sert uniquement à fixer les idées. On constate qu'au-dessus d'une certaine teneur en humidité, il n'y a plus de mouvement relatif entre grains. Les grains ne peuvent plus se libérer. On estime qu'à ce moment la force de cohérence est supérieure aux efforts fournis par les chocs de criblage.

M. LARCIN. — Je croyais que cette courbe avait pu être vérifiée par la pratique et vous avait permis de déterminer les chiffres 4 et 7 % du second graphique.

M. BURTON. — Ces deux valeurs sont pratiques. Ce sont les valeurs moyennes de teneur en humidité à partir desquelles on constate, soit les difficultés dues au colmatage, soit l'impossibilité de criblage. Le diagramme théorique a donc bien une base pratique.

M. HANOT. — La comparaison que M. Burton a faite entre la méthode humide et la méthode sèche résulte-t-elle d'expériences pratiques ou d'une moyenne sur des expériences pratiques ou ont-elles plutôt un caractère théorique ? Dans cette comparaison, il y a notamment l'entretien qui intervient pour une grosse part dans les installations et qui ne peut s'évaluer que sur un temps relativement long. La comparaison ne peut être qu'approximative.

M. BURTON. — Elle est en effet approximative, principalement pour les problème du séchage préalable des fines. Je ne possède pas encore de chiffres très précis à ce sujet. Les frais afférant

au séchage communiqués par les charbonnages sont d'ailleurs très variables. Ils peuvent varier du simple au double suivant les installations.

M. HANOT. — Les chiffres m'ont paru assez bas.

M. BURTON. — Pour le séchage des fines brutes, le chiffre de 18 F/t est en effet assez bas. Pour la flottation et le séchage des flottés, le chiffre de 80 F/t est assez normal.

M. POZZETTO. — Les calculs de M. Burton montrent que le séchage, suivi de dépoussiérage, assure une meilleure valorisation que le déschlammage associé à la flottation. Cette conclusion est vraie avec les prix actuels des fines et des poussiers. Il faut la considérer comme temporaire. Sans remonter très loin dans le temps, on trouverait des prix de poussiers et de fines qui donneraient l'avantage à la flottation.

M. BURTON. — C'est évident. On assiste depuis quelques années à une augmentation importante de la valeur du poussier brut.

M. LARCIN. — Dans ce même tableau de valorisation, si l'on voulait pousser les choses très loin, d'une part, déterminer le coût de dépoussiérage et de ce qui suit et, d'autre part, évaluer les frais de traitement des eaux, on pourrait arriver à des conclusions contradictoires suivant les installations.

M. BURTON. — Je suis d'accord, j'ai donc pris des chiffres moyens pour montrer qu'on arrive à des solutions de valeur plus ou moins identique. Suivant les caractéristiques du lavoir, le choix peut porter d'un côté ou de l'autre. Je l'ai d'ailleurs bien dit dans ma communication. Si l'on ne considère que les prix du poussier et du schlamm flotté incorporé dans les fines, il n'y a actuellement en Belgique aucun intérêt à mouiller des poussiers pour les épurer. Cette opération n'est rentable que s'il faut sécher les fines brutes pour pouvoir les dépoussiérer. Les frais de ce séchage compensent le prix de la flottation et du séchage des flottés.

Installations de cribles chauffants

par J. MASSAUT,

Ingénieur à la Société Evence Coppée & Cie.

I. — LE PROBLEME DU CRIBLAGE DANS UN CHARBONNAGE DU LIMBOURG

Dans une installation de préparation mécanique, le traitement et la récupération des schlamms sont les problèmes les plus difficiles à résoudre correctement. Les solutions adoptées sont toujours coûteuses en frais de premier établissement et en prix de revient d'exploitation.

Aussi, après des études préliminaires très poussées, la Direction du Charbonnage est arrivée à la conclusion qu'il importait avant tout de produire dans ses installations le moins possible de schlamms. Le criblage avant lavage devait donc être repensé complètement. En outre, la Direction ayant décidé de traiter les grains 10/90 par liqueur dense, les deux questions ont été étudiées simultanément.

Les deux objectifs à atteindre étaient les suivants :

1. — Obtenir un criblage parfait à la maille de 10 mm pour ne pas souiller la liqueur dense et ne pas envoyer dans le système de récupération de la magnétite des fines se transformant en schlamms.

2. — Réaliser un tamisage à très haut rendement à la maille de 1 mm carré pour obtenir le maximum de 1/10 brut contenant le moins possible de 0-0,5 qui se changerait en schlamms.

Pour atteindre le premier objectif, la teneur en eau des charbons étant relativement élevée, deux solutions étaient à envisager :

a) Sécher le charbon brut 0/90 avant criblage à 10 mm.

Cette solution n'était pas défendable. Elle aurait provoqué un bris important du charbon 10/90 et exigé une installation très coûteuse, ainsi qu'une consommation considérable d'énergie thermique. En outre, les grains 10/90 étant destinés aux auges de lavage, auraient été plongés dans l'eau après dépense en pure perte des calories nécessaires à leur séchage.

b) Cribler sur tamis chauffant à 10 mm.

Comme nous le verrons plus loin, le tamisage sur tamis chauffés à mailles de 10 mm est encore possible avec un très bon rendement lorsque le charbon à traiter ne contient pas plus de 10 % d'eau. Aussi, est ce la solution qui fut finalement adoptée.

Quant au deuxième objectif à atteindre, deux solutions étaient possibles :

a) Séchage préalable du 0/10 jusqu'à 2 % d'eau avant tamisage à 1 mm.

Cette solution est parfaite pour obtenir un excellent tamisage, mais présente les inconvénients ci-après :

1) Installation coûteuse ;
2) Prix élevé d'exploitation ;
3) Production de particules ténues dans l'atmosphère.

b) Tamisage sur crible chauffant.

Cette solution est bonne si la teneur en eau ne dépasse pas 6 %. A une teneur plus élevée, le rendement devient très mauvais.

La Direction du Charbonnage, pour préserver l'avenir, a finalement adopté le séchage préalable du 0/10 jusqu'à 3-4 % d'eau, suivi d'un tamisage sur cribles chauffants. Solution intéressante parce qu'elle n'exigeait pas un séchage trop poussé et

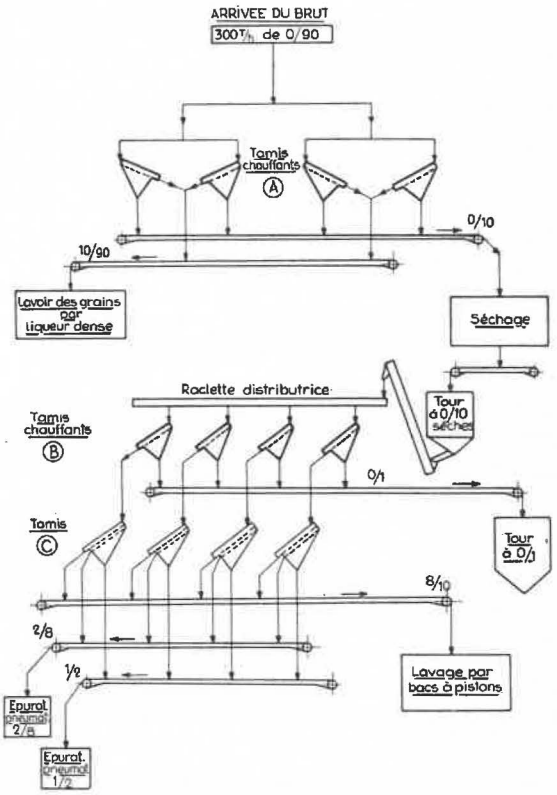


Fig. 1.

qu'elle ne provoquait pas la mise en suspension dans l'atmosphère de fines particules de poussier.

En bref, le schéma adopté, que nous avons reproduit aux figures 1 et 2, présente les avantages suivants :

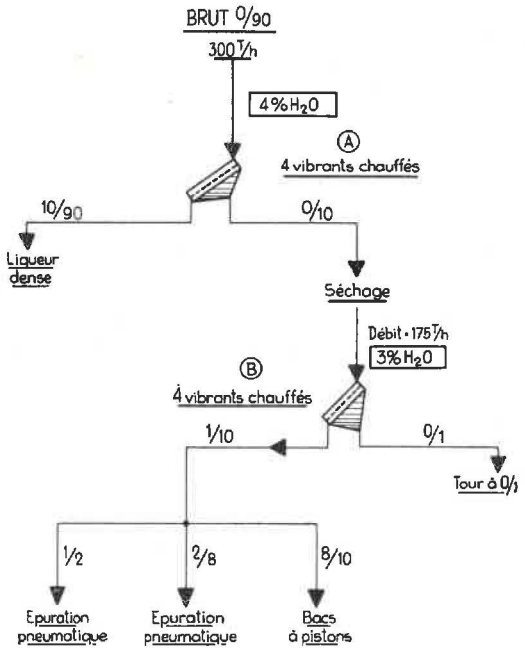


Fig. 2.

1) Obtention de poussier 0/1 destiné à la centrale et ne contenant pas de morceaux de dimensions supérieures à 1 mm, qui sont parfaitement lavables.

2) Production très faible de schlamms qui posent des problèmes difficiles de récupération, surtout en extra-fins.

3) Obtention de 1/10 brut à moins de 3 % d'eau, facilement tamisable en 1/2 et 2/8 pour le traitement par les tables pneumatiques existantes.

4) Possibilité de traiter des charbons bruts à n'importe quelle teneur en eau et de se réserver des possibilités futures.

II. — NOTES GENERALES SUR LE CRIBLAGE DES PRODUITS HUMIDES

Avec du charbon 0/10 à moins de 2 % d'eau, le tamis ou la tôle perforée de criblage demeurent parfaitement propres. Le rendement est bon, les ouvertures étant bien dégagées. Si la teneur en eau augmente, le tamis a tendance à se colmater ou, en d'autres termes, les mailles s'obstruent peu à peu par des fines particules adhérentes entre elles et aux bords métalliques de l'ouverture. Le rendement de tamisage tombe rapidement. Un brossage énergique permet de remédier à la situation, mais le phénomène se reproduit rapidement.

Si la teneur en eau augmente encore, les mailles se bouchent presque instantanément et le criblage devient nul.

Que s'est il passé ? Pour quelles raisons ce phénomène se produit-il ?

Il est dû aux forces qui naissent par suite de la tension superficielle de l'eau au sein du produit lui-même et aux points de contact de ses éléments constitutifs avec d'autres corps tels que la toile tamisante.

La teneur totale en eau d'un charbon est la somme de :

a) la teneur en eau constitutive interne. Cette eau fait partie de la composition même du produit et ne nous intéresse pas ici ;

b) l'humidité superficielle qui est elle-même constituée (fig. 3) :

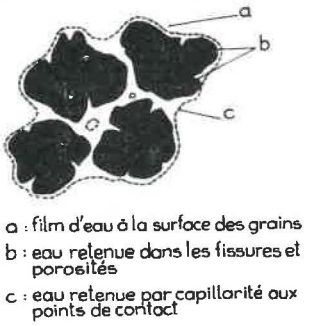


Fig. 3.

1) de l'eau remplissant les fissures;
2) d'un film d'eau « mouillant » toute la surface externe du grain;
3) de particules d'eau retenues par capillarité dans les petits espaces intergranulaires et autour des points de contact des grains entre eux.

Si on envisage, au point où existent les trois phases, solide, liquide et gazeuse, le simple contact de deux grains de charbon supposés, pour simplifier, sphériques (fig. 4), la parcelle d'eau autour du point de tangence prendra, par suite de la tension superficielle, la forme d'un corps de révolution telle que la surface de raccordement du liquide avec les deux particules solides soit formée d'une portion de tore.

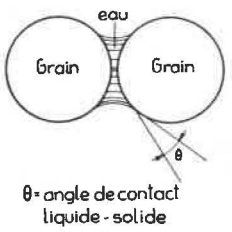


Fig. 4.

La tension superficielle du liquide provoquera la cohésion des deux grains entre eux. La valeur de la force d'adhérence dépend de l'angle θ, dit angle de contact liquide-solide. C'est l'angle que

fait, dans un plan diamétral et en leur point commun, la tangente au grain et la tangente à la particule d'eau adhérente. L'angle θ dépend lui-même de la nature des grains et de celle du liquide.

Un tel phénomène a lieu également au contact du grain de charbon avec les fils d'une toile de crible.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ces idées théoriques. Des développements mathématiques plus poussés permettent de prévoir la quantité d'eau susceptible d'être retenue, l'intensité des forces d'adhérence entre grains, etc. (Voir à ce sujet l'article de M. Dodelet dans le Bulletin de l'A.I.Ms., n° 3 de 1954).

Dans l'opération de criblage d'un produit humide, ces effets d'adhérence de nature capillaire ont deux suites fâcheuses :

1) le colmatage du tamis ;

2) l'agglomération du produit en paquets compacts ou en gâteaux qui glissent sur la toile sans se désagréger.

Le premier phénomène apparaît tout d'abord et rapidement dans le criblage des fines catégories. Il est donc le plus gênant.

Supposons un grain humide de charbon (ou même un amas de grains plus fins rassemblés) retenu par suite d'effet capillaire dans la maille d'un tamis (fig. 5).

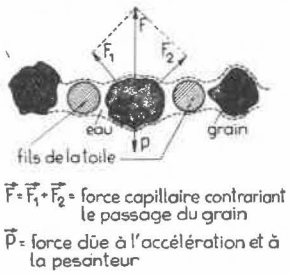


Fig. 5.

Les diverses sollicitations auxquelles il est soumis sont :

a) son poids, force dirigée vers le bas ;

b) la force d'inertie due aux accélérations et décélérations périodiques du mouvement du crible;

c) la résultante F des adhérences capillaires, dirigée vers le haut et s'opposant au passage du grain à travers le tamis.

Les deux premiers efforts sont dirigés simultanément vers le bas lors d'une accélération du tamis dirigée vers le haut.

Désignons par P la valeur maximum de ces deux effets lorsqu'ils s'additionnent dans le même sens.

Si on représente sur un diagramme la valeur de la force F d'origine capillaire en fonction de la teneur en eau du produit, la courbe obtenue a l'aspect indiqué à la figure 6.

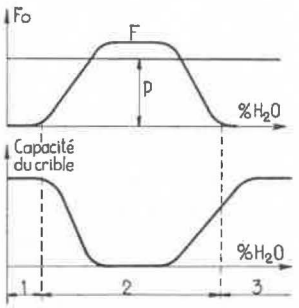


Fig. 6.

Le produit étant sec, on a évidemment $F = 0$.

Si, à l'opposé, le produit était criblé sous l'eau ou très abondamment arrosé, on aurait également $F = 0$. En effet, dans ce cas les trois phases : solide, liquide et gazeuse ne coexistent plus simultanément. La tension superficielle de l'eau est annulée puisqu'il n'y a plus de surface de séparation entre l'eau et l'air.

La courbe F passe donc par un maximum pour une valeur intermédiaire de la teneur en eau.

Superposons à cette courbe, la valeur maximum de P. Si alors on établit un diagramme ayant mêmes abscisses, mais portant en ordonnées un chiffre qui caractérise l'efficacité (ou le rendement) du crible, on constate que, partant d'une valeur maximum, cette courbe décroît jusqu'à une valeur quasi nulle, puis remonte pour retrouver sa valeur première.

Suivant l'axe de la teneur en eau, on peut définir trois zones (fig. 6) :

1) La zone de criblage sec : teneur en eau nulle ou très faible. $P > F$. Le criblage est bon.

2) La zone de criblage humide : teneur en eau moyenne. $F > P$. Les phénomènes d'adhérences capillaires deviennent apparents. Il y a colmatage des toiles et le tamisage devient inopérant.

3) La zone de criblage à l'eau : arrosage abondant d'eau. F redevient plus petit que P. Le criblage redevient bon.

Puisqu'il s'agit en réalité d'un phénomène statistique et non de l'étude de ce phénomène appliquée à une seule particule, il est évident que la séparation entre les trois zones types n'est pas franche et que, de l'une à l'autre, on passe par des zones de transition où, avant de devenir nul, le criblage devient d'abord médiocre et inversement.

Les prévisions théoriques sont d'ailleurs entièrement confirmées par l'expérience.

Il découle de ce qui précède que, dès que le produit accuse un certain degré d'humidité, sa séparation sur un crible ordinaire ne pourra plus se faire, tout au moins avec un rendement suffisant.

Il devient nécessaire, dans ce cas, de recourir à d'autres techniques ou d'utiliser certains artifices.

Parmi les remèdes possibles, il faut citer :

1) le brossage de la toile dès l'apparition du colmatage.

2) L'augmentation de la vitesse et/ou de l'amplitude du mouvement du crible. De ce fait, on augmente le terme force d'inertie dans l'expression de P. Une telle augmentation ne peut pas toujours se faire sans risques. On est rapidement limité dans ce sens par la résistance des pièces mécaniques.

3) Criblage sous l'eau. On se place dans la zone de criblage à l'eau (zone 3 de la fig. 6) par un arrosage abondant du produit sur le tamis. De plus, la force vive de l'eau d'arrosage désagrège, s'il le faut, les paquets ou gâteaux de charbon qui se formeraient sur la toile et contribue à entraîner avec elle les fines particules à travers les mailles.

4) Criblage à l'huile. L'addition d'huile en faible quantité fait varier la tension superficielle et les adhérences qui en résultent en modifiant l'angle de contact liquide — solide θ. Cette méthode est parfois utilisée pour le criblage du poussier de coke utilisé comme amaigrissant dans la pâte à coke. L'introduction d'huile n'y est pas gênante.

5) Utilisation de tamis spéciaux du type « Harpe », « Duo » ou « Serpa ». Dans ces tamis, on prévoit un agencement des toiles, ou un tissage de toiles, tels que deux fils adjacents aient leur vibration propre différente ou déphasée. On évite de la sorte le colmatage de la toile mais, en contrepartie, la précision de la séparation granulométrique en est affectée.

Ces tamis spéciaux coûtent cher et, semble-t-il, ne résistent pas longtemps.

6) Utilisation de tamis superposés avec interposition de billes de caoutchouc pour décolmater par chocs. Ici aussi, la vie des toiles paraît sensiblement raccourcie.

7) Séchage préalable du charbon à cribler.

8) Chauffage des toiles du crible. Nous décrirons plus loin, d'une manière plus étendue, ce remède puisqu'il fait l'objet de la présente conférence.

9) Broyage partiel du refus et recyclage sur le crible de ce produit broyé.

Puisque la teneur en eau du refus est toujours moindre que celle de l'alimentation, on diminuera ainsi dans une certaine mesure l'humidité initiale.

10) Addition de chaux vive en faible quantité.

La chaux absorbe l'eau du charbon par hygroscopicité et par transformation chimique du CaO en Ca (OH) 2. Il faut toutefois que la chaux ajoutée n'ait aucune incidence défavorable sur l'utilisation qui sera faite du charbon criblé.

Le criblage à la chaux est un procédé nouveau qui en est encore au stade expérimental.

Comme nous l'avons dit plus haut, avec l'humidité croissante du produit à cribler, le premier inconvénient qui se manifeste est le colmatage des toiles. Si la teneur en eau est plus élevée encore et surtout si le produit est argileux, il apparaîtra des agglomérations de grains, des amas pâteux ou des gâteaux de charbon qui glisseront sur le tamis sans pouvoir être criblés. Dans ce cas, seules les solutions qui détruisent les forces d'adhérences entre les grains eux-mêmes seront susceptibles d'améliorer le résultat du criblage. L'utilisation de toiles chauffées ne sera plus suffisante. Il faudra s'orienter vers le séchage du produit ou le criblage à l'eau.

Il est très difficile de définir les teneurs en eau qui doivent départager les diverses solutions en fonction du résultat recherché. Deux charbons différents contenant un même pourcentage d'humidité ne se cribleront pas avec la même efficacité. Il est acquis que d'autres facteurs jouent également un rôle dans le résultat de la séparation sur un tamis : forme des mailles, nature du produit, forme des grains, distribution granulométrique, teneur en argile, etc.

Les chiffres recueillis ne doivent être acceptés que comme des indications.

Certains auteurs admettent 10-12 % d'eau pour un criblage à 10 mm et 4 à 7 % pour une maille de 2 mm, sans artifices pour décolmater les toiles.

Pour les charbons anglais, on peut admettre jusqu'à 4 à 8 % pour cribler à 1,5 ou 2 mm.

Le criblage à 0,5 mm de charbons 0/10 peut se faire sans colmatage, même si la teneur en eau atteint 3 à 4 %, selon d'autres sources.

Le tamisage du poussier de coke devient seulement difficile sans chauffage des toiles à la maille de 10 mm et avec une humidité de 13 %, alors qu'avec la même teneur en eau on pourrait cribler facilement à 5 ou même 2 mm en utilisant un tamis chauffé.

Notre expérience nous a fait admettre que, pour cribler du charbon à la maille de 10 mm, la teneur en eau devait rester inférieure à 6 % dans le passé. Sur toile chauffée, on peut encore cribler le même produit jusqu'à 10 % d'eau. Si, d'autre part, l'ouverture du tamis est de l'ordre du millimètre, la teneur en eau maximum admissible est de 4,5 % sur crible non chauffé et de 5,5 à 6 % sur toile chauffée.

III. — REALISATION ET CONDUITE DES CRIBLES CHAUFFANTS

a) *En principe*, un tamis chauffant est un tamis ordinaire, muni d'un système adéquat de chauffage.

Différents modes de chauffage ont été étudiés pour communiquer au tamis une température

correcte : chauffage au gaz, à la vapeur, à l'électricité, par effet joule ou par électro-induction.

Le chauffage électrique par transformation, dans les fils même du tamis, de l'énergie électrique en énergie thermique par effet joule, est le procédé le plus simple et le plus employé. Nous n'envisagerons d'ailleurs que ce seul mode, les autres étant exceptionnels.

Soulignons que le chauffage des toiles d'un tamis chauffant a pour seul but d'empêcher leur colmatage et non celui de sécher le produit pendant son passage sur le crible. Pour satisfaire à cette dernière hypothèse, il faudrait mettre en œuvre des énergies calorifiques considérables et ce procédé de séchage serait anti-économique par suite du mauvais rendement de l'appareil et du prix de l'énergie électrique.

L'idée première des toiles chauffées (1927) visait précisément ce double objectif : cribler le charbon tout en le séchant. Ce fut un échec et le problème du chauffage des cribles ne fut repris plus tard qu'avec la seule idée d'éviter le colmatage.

b) *Température des toiles.*

Pour empêcher un tamis de se boucher, il suffit de porter les fils à une température telle que ceux-ci restent secs sous la couche de produits.

Ainsi, on tend à supprimer les tensions superficielles entre les grains et les fils du tamis et les adhérences d'origine capillaire en résultant.

Nous admettons comme valeur normale de la température de la toile : 70 à 80° à vide, correspondant à 40 à 60° en service.

Certains auteurs indiquent davantage (100 et même 120° à vide). Chaque cas de criblage est un cas d'espèce et les essais seuls permettront de formuler une conclusion.

c) *Puissance de chauffage à prévoir.*

Beaucoup de praticiens s'accordent pour adopter une puissance unitaire de chauffage d'environ 4 kW par m² de surface criblante. Il nous a été possible d'établir, pour le charbon, des données plus précises à ce sujet. Elles sont reproduites sur le diagramme figure 7.

La puissance de chauffage est fonction principalement de la teneur en eau du produit et de la dimension des mailles. Toutefois, elle dépend également de la nature du produit, de la dimension des grains, de la proportion de fins et de gros, etc.

Par ailleurs, les Américains préconisent des valeurs plus élevées allant jusqu'à 7,5 kW par m². Nous avons adopté, pour nos cribles traitant du charbon, une valeur maximum de la puissance de 3,5 à 4 kW par m² de surface criblante. Cette valeur est plus que suffisante pour les circonstances habituelles de fonctionnement du crible.

La puissance réellement utilisée est réglable au transformateur d'alimentation jusqu'à concurrence de cette valeur limite. Dans l'installation décrite, la puissance maximum n'est jamais utilisée. Il est cependant bon de la prévoir dans les projets pour adapter à tout moment, avec une certaine marge de sécurité, la température des toiles aux besoins du criblage.

d) *Alimentation électrique.*

L'arrivée du courant peut se faire sur les côtés de la toile (alimentation transversale, fig. 12) ou par ses extrémités, dans le sens de la longueur du crible (alimentation longitudinale, fig. 8 à 11 et 13-14). Quand la toile d'un crible est chauffée, ses dilatations thermiques doivent être compensées tout en conservant la tension mécanique du tamis nécessaire à sa bonne conservation. Cette compensation est réalisée par l'adjonction de res-

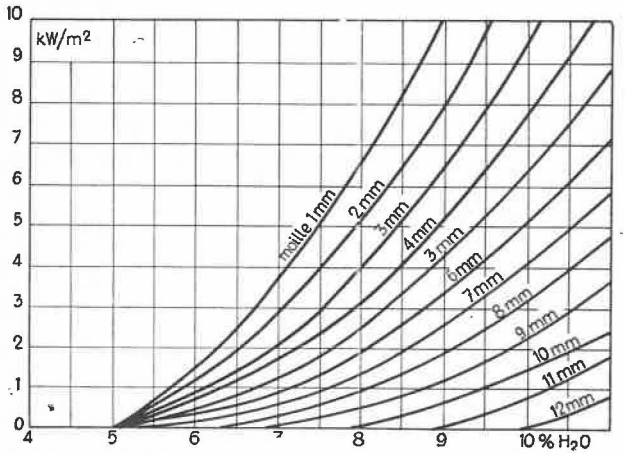


Fig. 7.

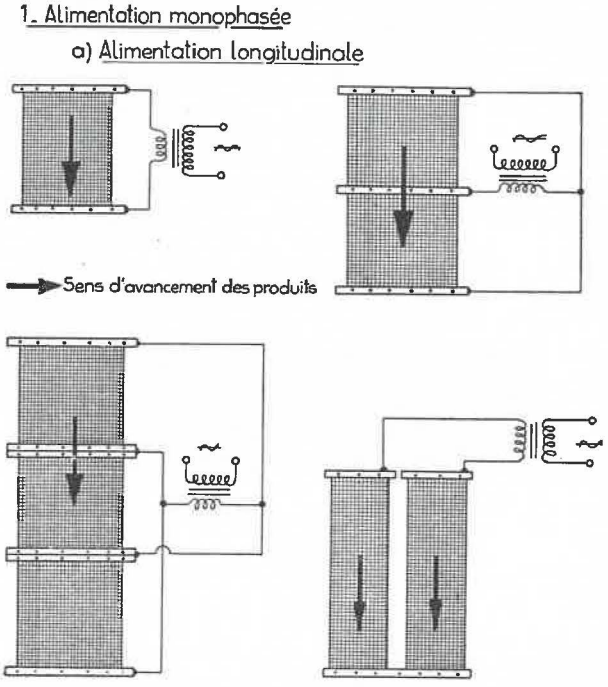


Fig. 8, 9, 10 et 11.

sorts puissants à une des extrémités de la toile. La figure 15 illustre le dispositif adopté par nous.

Les tamis électro-incolmatables sont alimentés en courant alternatif monophasé ou triphasé. L'alimentation triphasée, si elle a l'avantage d'équilibrer les trois phases du réseau, nécessite par contre un appareillage beaucoup plus complexe (e.a. transformateur réglable) et plus coûteux. En général, une alimentation à trois phases ne se justifie pas pour des cribles de dimensions courantes.

Les figures 8 à 12 représentent quelques schémas d'alimentation en tension monophasée, les figures 13 et 14 illustrent le principe de l'utilisation du courant triphasé pour le chauffage des toiles.

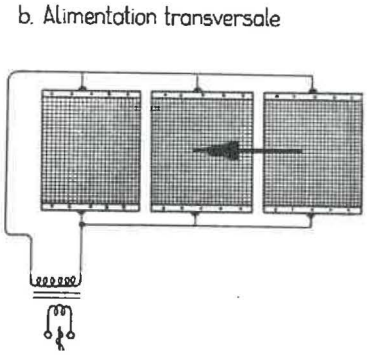


Fig. 12.

Les figures 13 et 14 illustrent également le cas de panneaux successifs qui peuvent être de longueur décroissante dans le sens du cheminement des produits. Chaque panneau ayant la même différence de potentiel à ses extrémités, une même température est maintenue d'un bout à l'autre du crible malgré la diminution de la couche du produit qui contribue au refroidissement de la toile. Disons cependant que la division de la longueur de criblage en différents panneaux complique singulièrement la fixation des toiles. L'ensemble des panneaux est tendu, dans ce cas, à une extrémité du crible seulement par les ressorts dont question

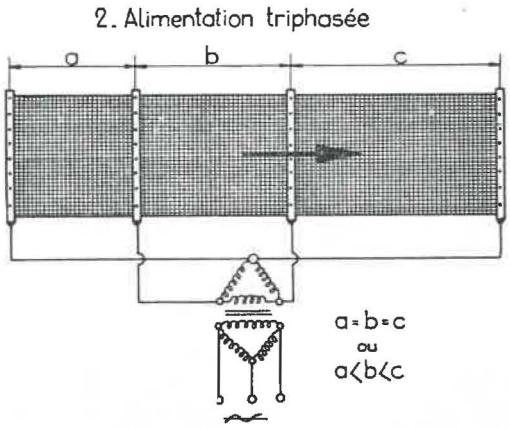


Fig. 13.

plus haut, mais les barres de répartition qui séparent les panneaux entre eux et qui portent les bornes d'arrivée de courant sont montées sur des chariots coulissants isolés.

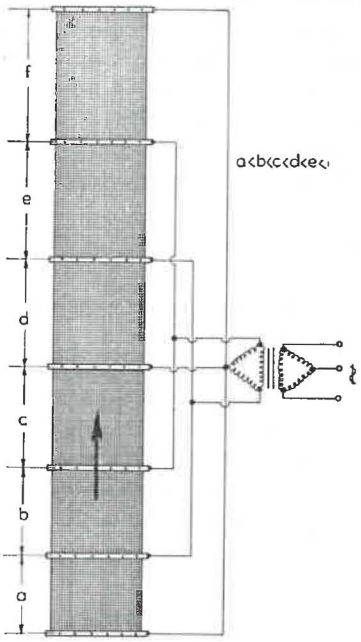


Fig. 14.

La subdivision d'un tamis en plusieurs panneaux ne se justifie que s'il fallait utiliser une tension électrique trop élevée pour alimenter la toile d'un bout à l'autre du crible.

Signalons quelques particularités constructives des tamis électro-chauffés :

— Pour assurer la sécurité du personnel, le voltage à l'alimentation doit rester inférieur à 35 volts (courant alternatif, réglementation belge).

— Toutes les parties sous tension doivent être bien isolées.

— Assurer d'autre part des contacts électriques parfaits et réaliser le circuit d'alimentation électrique par des éléments présentant une résistance ohmique minimum. Les intensités en jeu peuvent atteindre plus d'un millier d'ampères !

— Dans les cribles à plusieurs panneaux, les extrémités adjacentes de deux panneaux doivent être à un même potentiel, sinon une pièce métallique amenée sur les toiles avec le produit à cribler pourrait provoquer un court-circuit et la détérioration des toiles par la chaleur de l'arc.

Dans nos cribles, nous avons adopté l'alimentation électrique représentée à la figure 11.

Les deux toiles sont fixées à côté l'une de l'autre dans le sens longitudinal du crible. Elles sont isolées du châssis et séparées entre elles par une cloison longitudinale, suffisamment haute pour éviter qu'une pièce métallique arrivant avec les charbons ne puisse les mettre en court-circuit. Cette

cloison est visible sur la coupe transversale de l'appareil, figure 15.

L'alimentation électrique est monophasée et les deux bornes d'arrivée de courant sont situées du côté amont du tamis (A et A' sur la fig. 15).

C'est là aussi que se trouve le dispositif de tension mécanique de la toile. Les pièces d'attache sont protégées des chutes de charbon par une bavette de protection en caoutchouc.

A l'autre extrémité du crible (B), une barre de mise en série en laiton réunit les deux toiles. Elle est incorporée dans le dispositif d'attache fixe. Toutes les parties du circuit électrique sont isolées du châssis du crible.

Les tamis de ces cribles sont constitués de toiles en fils d'acier inoxydable 18/8 (18 % Cr, 8 % Ni) qui réunissent les trois qualités suivantes : dureté, inaltérabilité et haute résistivité électrique (ϱ = 0,8 Ω/m $\times$ mm^2 environ). Cette dernière particularité permet de dissiper la puissance électrique avec un ampérage qui n'est pas exagéré.

Dans un projet de crible chauffant, la surface criblante nécessaire est déterminée par l'aptitude au criblage du produit à traiter, indépendamment du colmatage possible.

La puissance du transformateur en découle immédiatement. On réalisera alors la surface par le choix des longueurs et largeurs de toile en appliquant la loi d'Ohm (le diamètre des fils, leur longueur, leur écartement et la résistivité électrique intervenant dans le calcul) et en s'imposant une tension maximum de sécurité pour le personnel.

Fig. 15.

Au charbonnage du Limbourg dont il est question ici, quatre cribles Coppée (licence Burstlein-Longwy) sont disposés en parallèle pour le criblage à 10 mm, quatre cribles Allis Chalmers pour le criblage à 1 mm. Chacun d'eux possède son transformateur monophasé individuel.

Afin d'équilibrer au mieux le réseau triphasé du charbonnage, les cribles sont répartis sur les trois phases. Seuls deux transformateurs ont dû être montés en surcharge sur une des phases. Le déséquilibre qui en résulte est faible et ne justifiait pas les complications et les frais d'installation d'appareils chauffés en courant triphasé.

Les bornes secondaires du transformateur se trouvent à proximité immédiate de l'alimentation du tamis et réunies à celui-ci par des tresses souples en cuivre de forte section. Comme nous l'avons déjà dit, ils sont réglables et prévus pour une puissance maximum de 3,5 à 4 kW par m^2 de surface criblante.

Afin d'avoir une gamme de valeurs assez progressive des températures des toiles, les transformateurs sont prévus avec 8 crans de réglage donnant aux bornes de sortie les tensions suivantes : 34 V, 28 V, 24 V, 20 V, 17 V, 12 V et 10 V.

Les trois crans supérieurs n'ont, jusqu'à présent, pas encore dû être utilisés dans cette installation.

Conduite des cribles chauffés.

Elle est très simple :

1) Le charbon doit être convenablement réparti à l'arrivée sur le crible, sur toute la largeur de la toile.

Si le produit à cribler n'est pas convenablement étalé, certaines zones du tamis resteront nues et l'énergie dépensée pour leur chauffage sera perdue.

En même temps, la couche de charbon deviendra trop conséquente ailleurs et, à cause du refroidissement local trop important qui en résulte, on sera amené à augmenter la tension au secondaire du transformateur pour pouvoir maintenir le régime de température qui empêchera le colmatage.

2) L'arrivée du charbon doit aussi être continue et régulière dans le temps. Une arrivée intermittente laissera par moment la toile vide, d'où aussi gaspillage de calories. En bref, pour être économique d'exploitation, un tamis chauffé demande une alimentation des produits à cribler régulière dans le temps et bien étalée sur la largeur du crible.

3) La tension du transformateur sera réglée à la valeur minimum compatible avec le non-colmatage de la toile. Cette tension peut devoir être modifiée de temps à autre si la teneur en eau du produit ou son débit vient à varier, mais, si ces paramètres restent constants, l'appareil pourra fonctionner sans surveillance.

IV. — ESSAIS DE CRIBLAGE DANS L'INSTALLATION — RESULTATS

Les tamis vibrants ont les caractéristiques reprises au tableau I.

TABLEAU I

Vibrants	Nombre de cribles en parallèle	Ouverture des mailles	Produit à cribler	Surface criblante		Humidité habituelle %		Débits pour les 4 cribles - t/h	
				Par crible	Totale	De l'alimentation	Du passé	Alimentation	Passé
Groupe A	4	10 mm 10 ×	Brut 0/90	4,5	18	3-4 %	4-5 %	300	150
Groupe B	4	1 × 1 mm	Charbon séché 0/10	9	36	3 4 %	4 %	150	60

Différents essais comparatifs ont été faits au lavoir du charbonnage.

Il nous a été possible d'alimenter, en même temps et avec le même charbon, deux cribles du même groupe dont l'un était chauffé et l'autre pas. Nous aurions cependant désiré faire de plus nombreux essais, aussi bien au tamisage à 10 mm qu'au tamisage à 1 mm et avec des teneurs en eau de plus en plus grandes. De cette façon, il aurait été intéressant d'illustrer, pour chaque valeur de l'humidité du charbon, l'amélioration du criblage en fonction du chauffage de la toile.

Tous ces essais ont été faits dans un lavoir en exploitation et leur nombre a dû être limité. Il a fallu accepter les charbons tels qu'ils étaient.

Pour les cribles du groupe A, les bruts titraient 3 % d'eau. Aux vibrants B, la teneur en eau du 0/10 s'élevait à 3,4 % (teneur plus élevée que la teneur habituelle).

Pour réaliser l'essai à 4 % d'humidité, il a fallu amener directement sur les toiles le passé des cribles A en by-passant le séchage.

Pour ne pas contrarier la marche normale du lavoir, nous n'avons pas eu le loisir d'attendre un colmatage très poussé des tamis non chauffés.

Les courbes des égarés et de partage ont été tracées pour chacun des essais. Les résultats et les chiffres déduits de ces courbes sont groupés deux par deux (toile chauffée et non chauffée) dans le tableau comparatif II.

L'analyse de ceux-ci fait apparaître, lorsque le chauffage de la toile est supprimé :

1) Un abaissement de la dimension des mailles de partage et de coupure équivalente.

C'est logique : le colmatage des toiles se traduit par une diminution de leur ouverture.

2) Une augmentation des pourcentages d'égarés à la maille de coupure, tant dans le refus que dans le passé. Ici également, il fallait s'y attendre: certaines mailles sont plus colmatées que d'autres, leur ouverture varie d'un point à l'autre du tamis. On ne peut plus parler d'une ouverture de maille proprement dite, mais d'une « maille moyenne ». Dès lors, certains grains supérieurs à cette maille moyenne traverseraient la toile précisément aux endroits où le colmatage est faible alors que, là

TABLEAU II
TABLEAU COMPARATIF DES ESSAIS

Essai	Crible	Calibre du produit traité	% eau	Chauffage de la toile	Maille mm			Egarés % à la maille de coupure				Rendement %	
								Refus		Passé			
					du tamis	de partage m. p.	de coupure équival. m. c.	en % de l'aliment	en % du refus	en % de l'aliment	en % du passé	A la maille de coupure	A la maille du tamis
1	A	0/90	3 %	Chauffé	10	9,8	8,6	3,2	4,5	3,2	11,4	89	84
1 bis	A	0/90	3 %	Non chauffé	10	8	7,2	3,6	4,7	3,6	15,3	85	77
2	B	0/10	3,4 %	Chauffé	1	0,9	0,88	4	6,5	4	10,1	88	87,5
2 bis	B	0/10	3,4 %	Non chauffé	1	0,84	0,78	5,5	7,9	5,5	18	85	80
3	B	0/10	4 %	Chauffé	1	0,89	0,65	8	11,4	8	26,6	73,5	65
3 bis	B	0/10	4 %	Non chauffé	1	0,74	0,5	10	15,3	10	28,7	72	64

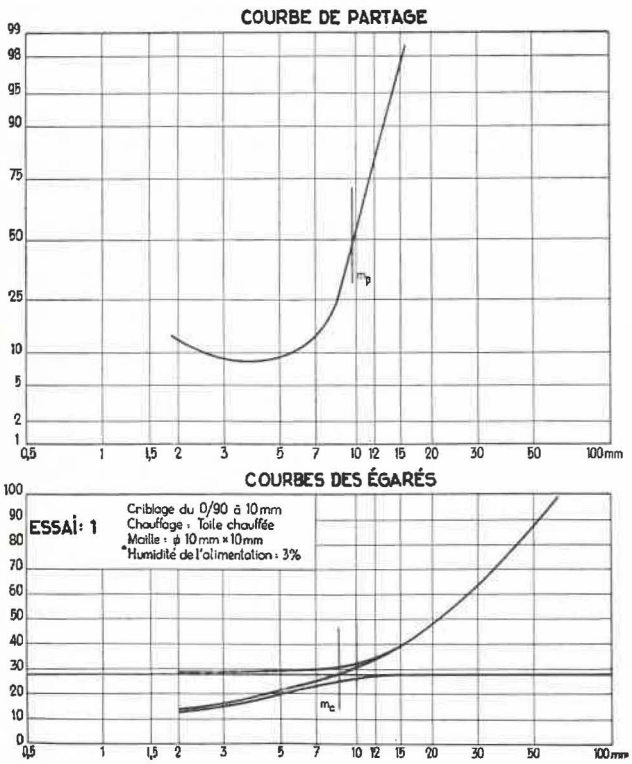
où il est beaucoup plus prononcé, les grains inférieurs à cette dimension ne parviendront pas à passer et se retrouveront dans le refus.

Simultanément, on constate sur les courbes une augmentation de la surface des « triangles d'erreur », indice là aussi d'une coupure moins nette et d'un plus grand nombre d'égarés.

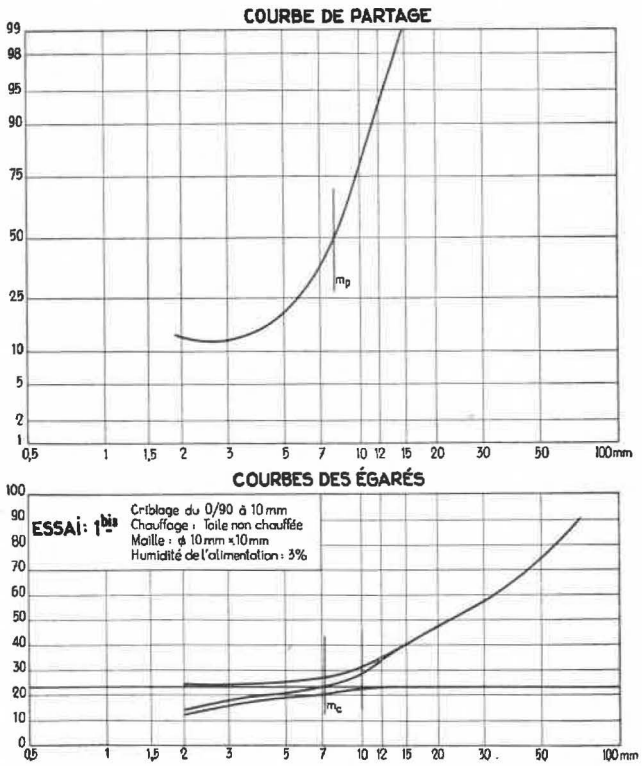
3) Une diminution du rendement à la maille de coupure et à la maille du tamis.

Ce rendement est exprimé par le rapport du poids des particules inférieures et égales à la dimension considérée que l'on retrouve dans le passé au poids de ces mêmes particules dans le produit brut. C'est donc la quantité passée à travers la maille sur la quantité qui aurait dû passer si le criblage avait été parfait.

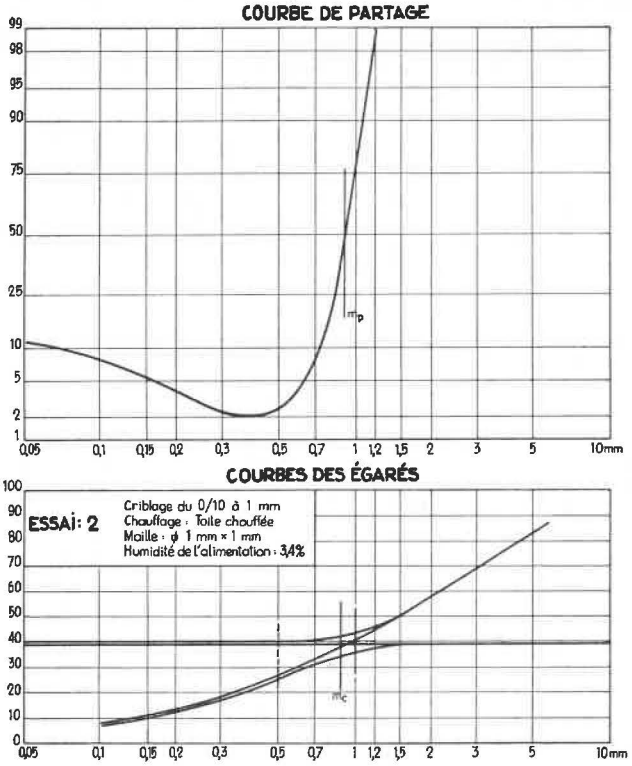
Il est normal de constater une chute de rendement quand la toile n'est pas chauffée. Le colmatage condamne une partie des mailles qui sont, soit totalement, soit partiellement bouchées, d'où une diminution de la surface utile de criblage. Il est à remarquer cependant que, précisément aux essais 3 et 3 bis, là où, au tamis de 1 mm, la teneur en eau est la plus élevée, le rendement ne diminue



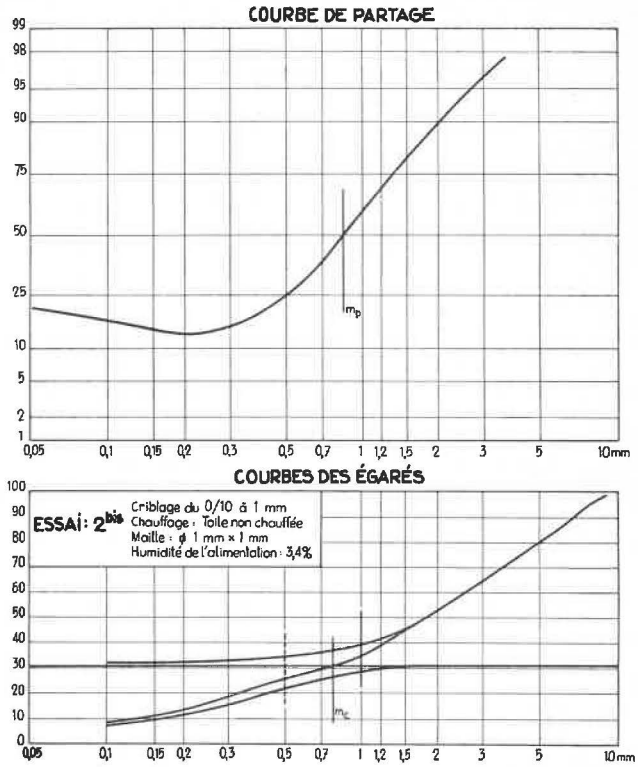
Essai 1.



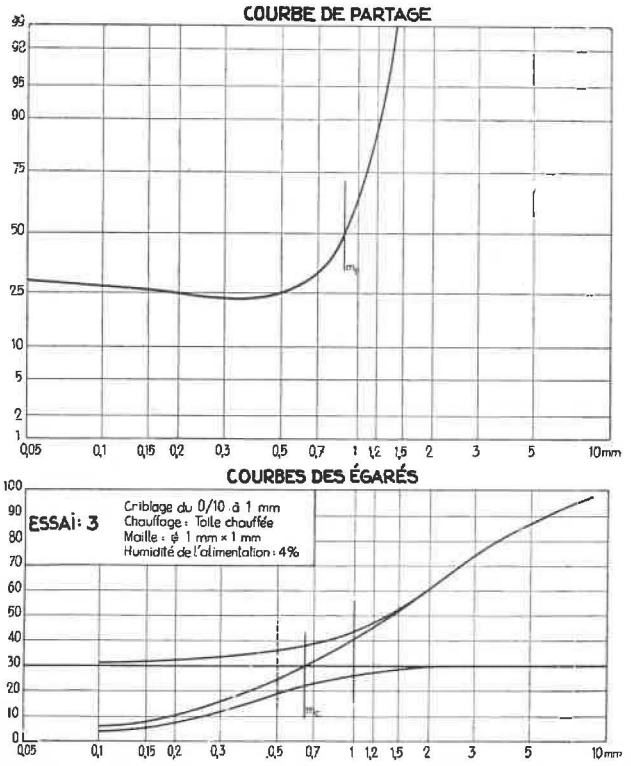
Essai 1bis.



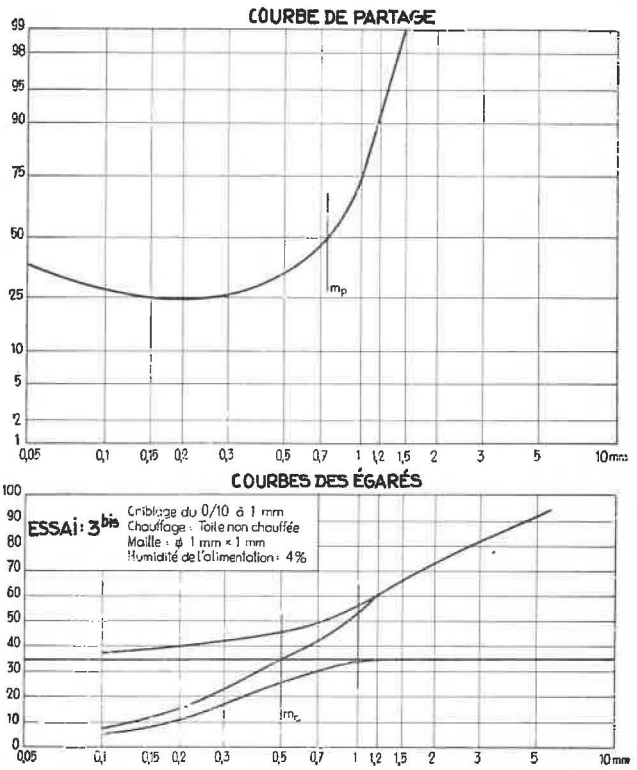
Essai 2.



Essai 2bis.



Essai 3.



Essai 3bis.

pratiquement pas. Il y a à cela une explication : le débit sur le crible, pendant toute la durée de l'échantillonnage, a été nettement inférieur au débit normal. Dans ce cas, la surface des parties non colmatées de la toile était encore suffisante pour assurer un rendement correct.

En négligeant ce dernier chiffre faussé par une cause fortuite dans l'exploitation du lavoir, on peut dire que le chauffage de la toile :

— relève la dimension de la maille de partage ;
— relève également la maille de coupure équivalente;
— diminue le pourcentage d'égarés à la maille de coupure;
— relève la valeur du rendement du criblage à la maille de coupure aussi bien qu'à la maille du tamis.

V. — RESULTATS D'EXPLOITATION

La diminution du pourcentage de déclassés au criblage à 10 mm a comme avantage immédiat une diminution corrélative des fins 0/1 qui seraient envoyés dans les auges de lavage des 10/90 et s'y transformeraient en schlamms. Le chauffage des tamis A permet donc de diminuer la pollution de la liqueur dense du lavoir des 10/90 avec les inconvénients qui en découlent : viscosité du bain, imprécision dans le partage densimétrique, séparation coûteuse des schlamms et de la magnétite.

En supposant même ces schlamms récupérés, leur valeur marchande est inférieure à celle du poussier sec.

Au tamis B, on a également comme avantage majeur à espérer d'un bon criblage à 1 mm : moins de déclassés fins dans le 1/10, d'où moins de risques de formation de schlamms.

L'élimination des schlamms indésirables a été le but poursuivi en Campine lors de l'élaboration du projet de criblage sur toiles chauffées. C'est le but qui a été effectivement atteint.

A titre de conclusion, établissons la plus-value du charbon brut à retirer d'une installation de tamis chauffés.

Soit un charbon brut 0/10 à 4 % d'eau environ.

Suivant les courbes 3 et 3 bis, le refus contient 6 % de déclassés 0/0,5 lorsque la toile est chauffée et 10 % environ si elle ne l'est pas.

Quant aux essais 2 et 2 bis (charbon 0/10 à 3,4 % d'eau), ces chiffres seront respectivement 1,5 % et 4 %.

Si les refus étaient lavés à l'eau (cyclones à liqueur dense ou bacs à piston), ces déclassés 0/0,5 se transformeraient en schlamms et, récupérés, se vendraient, supposons-le, comme tels. Comme passés des toiles, ils seraient vendus comme poussier brut.

La plus-value annuelle est calculée au tableau III pour 15 h de travail par jour, à raison de 288 jours ouvrables par an et pour un débit horaire de 100 t à l'alimentation.

TABLEAU III
PLUS VALUE POUR 100 t/h DE BRUT 0/10

Essai	% déclassés 0/0,5 dans le refus	Gain % de déclassés dû au chauffage	Gain en tonnes pour 1 heure (100 t de brut)	Plus-value par heure	Plus-value annuelle (15 heures par jour, 288 jours ouvrables)
2	1,5 %				
2 bis	4 %	2,5 %	2,5	257,94 F	1.144.290 F
3	6 %				
3 bis	10 %	4 %	4	412,70 F	1.782.864 F

Barème des prix :

schlamms à 20 % d'eau : 338 F/t
poussier brut à 3 % d'eau : 513 F/t

Si une tonne de poussier supposé à 3 % d'eau se transforme en schlamms à 20 % d'eau, ce dernier se vendra à : $388 \times \frac{0,97}{0,80} = 409,825$ F d'où la dévalorisation à la tonne : 513 — 409,825 = 103,175 F.

La plus-value annuelle totale, pour les deux cas envisagés, se chiffrerait par 1.114.290 F pour le charbon à 3,4 % d'eau et 1.782.864 F pour celui qui titre 4 % d'eau.

Ces chiffres sont éloquents et démontrent l'avantage qu'il y a de chauffer les toiles des tamis lorsque l'humidité atteint une certaine valeur.

DISCUSSION.

M. LEDRU. — Avez-vous tenu compte de la consommation d'énergie électrique dans le calcul des profits de l'emploi des tamis ?

M. MASSAUT. — On peut dire qu'en principe les frais de consommation en énergie électrique nécessaire au chauffage des toiles auraient de toute façon été occasionnés d'une autre manière si on avait voulu récupérer les schlamms. C'est pourquoi je n'ai envisagé ici que la plus-value du produit lui-même sans faire intervenir les frais d'exploitation.

M. POZZETTO. — Je ne suis pas persuadé que la dépense d'énergie ne soit pas supérieure dans le cas des tamis chauffés.

M. MASSAUT. — Ce n'est pas sûr, c'est pour cela que je ne l'ai pas fait intervenir. Je ne savais pas évaluer le chiffre exact à introduire dans les calculs.

M. BECKERS. — Le charbon 0-10 est criblé à 1 mm après séchage à 3-4 % d'humidité. Serait-il possible de dépoussiérer pneumatiquement le charbon 0-10 et pourquoi avez-vous choisi le criblage et pas le dépoussiérage pneumatique ?

M. MASSAUT. — Le criblage a été choisi parce que le charbonnage sépare ainsi le 0-1 qui est envoyé directement à la centrale. Le criblage subséquent en 1-2, 2 8 et 8-10 mm classe le brut en trois catégories envoyées dans des bacs de lavage à eau. Le dépoussiérage n'a lieu que pour le 1-8 mm.

M. BECKERS. — Vous n'avez pas compris ma question. Il serait possible de dépoussiérer pneumatiquement le charbon 0 8 mm au lieu de cribler à 1 mm. Pourquoi avoir choisi le criblage et non le dépoussiérage pneumatique ?

M. MASSAUT. — Après avoir étudié le problème, le charbonnage a résolu de cribler à 1 mm. A mon avis d'ailleurs, le rendement d'un dépoussiéreur pneumatique est moins bon que celui d'un crible, la coupure est beaucoup moins nette.

M. LUSCHER. — Vous avez parlé de 4 % d'eau dans le 0-10. Je pense que, avec ce pourcentage, un crible ordinaire nerveux pourrait encore donner des résultats convenables. A 10 mm, 4 % n'est pas une teneur exagérée.

M. MASSAUT. — La différence n'était d'ailleurs pas énorme. On constate une différence dans les résultats pour 4 % d'eau dans l'alimentation 0-90 mm.

M. LUSCHER. — Nous criblons couramment ces produits à 5-6 % d'humidité.

M. MASSAUT. — En tout cas, les essais faits à ce charbonnage donnaient une diminution de rendement.

M. LUSCHER. — Vous n'avez pas précisé le type de crible, sa fréquence de vibrations, sa course et sa pente.

M. MASSAUT. — Pour le criblage à 10 mm, les vibrants sont du type à balourds, à course libre, 1 600 tours par minute, course 3 mm et pente de 26° environ. Quant au criblage à 1 mm, ici également il s'agit de vibrants à balourds, à course libre, 950 tours par minute, course 8 mm et pente 26° environ.

M. POZZETTO. — Il semble que l'on se soit un petit peu trop hypnotisé sur les difficultés que peuvent amener dans les circuits de liqueur dense des déclassés qui résulteraient d'un criblage à 10 mm sur un crible non chauffé. Un petit pourcentage de déclassés, pourvu qu'ils ne soient pas extra-fins, n'est pas gênant dans les circuits de liquide dense. Avec une humidité de 4 à 5 % dans le charbon, le criblage à 10 mm se fait assez bien et ce ne sont en général pas des extra-fins qui restent dans l'oversize.

M. MASSAUT. — Lors des essais, j'ai eu 4 % d'humidité, je ne sais pas si habituellement le pourcentage d'eau reste constant.

M. POZZETTO. — Pour pouvoir comparer aux vôtres les cribles que nous avons en France, voudriez-vous me redire le débit spécifique de vos cribles à 1 mm, c'est-à dire le tonnage qu'on peut passer par m^2 et par heure ?

M. MASSAUT. — A 1 mm, j'ai comme surface criblante 9 m^2 par crible, 36 m^2 au total pour un débit à l'alimentation de 150 t/h, ce qui donne à peu près 37 t/h par crible de 9 m^2, soit environ 4 t/h par m^2.

M. VEILLET. — Il serait intéressant de connaître des résultats de fonctionnement, si vous en avez, pour des humidités beaucoup plus fortes.

M. MASSAUT. — Je ne possède pas ces chiffres, j'ai dû faire les essais pendant une période déterminée et avec le charbon qui se présentait à ce moment-là.

M. VEILLET. — Vous avez dit au début que l'ou pourrait cribler à sec sans chauffer jusqu'à 6 % d'eau, pourtant l'humidité au cours de l'essai se trouve en dessous de cette limite.

M. MASSAUT. — Oui, l'essai a été fait à 3,4 et 4 % d'eau. Le rendement est encore bon, mais il baisse assez nettement.

M. MEILLEUR. — Il me paraît qu'il y a dans l'exposé de M. Massaut une contradiction avec ce qu'a dit tout à l'heure M. Burton. Ce dernier a fixé à 4 % la limite supérieure de la teneur en humidité superficielle des charbons qui peuvent être traités sur cribles ordinaires. Or, M. Massaut nous parle d'un crible chauffé qui traite, si j'ai bien compris, un produit à 4 % d'humidité totale, ce qui reste dans les possibilités des cribles ordinaires.

M. MASSAUT. — Les humidités que j'ai considérées sont des humidités superficielles détermi-

nées en laboratoire par chauffage à l'air en dessous de 100° C.

M. WILLEM. — Les 4 ou 5 % d'eau que l'on trouve dans le charbon venant du fond ne sont pas nécessairement des pourcentages fort réguliers au cours d'une journée. A certains moments, on peut trouver 6,7 ou 8 % d'eau et alors le rendement des cribles à mailles de 10 mm est nettement plus bas. Dans certains cas, avec 7-8 % d'eau, vous pouvez voir flotter du 0 10 au travers des cellules de lavage à liquide dense traitant les classés. Le crible chauffant à 10 mm est une solution bienfaisante qui permet aux installations de surface de suivre les variations du fond là où l'humidité ne peut se situer avec garantie au dessous de 6 %.

M. POZZETTO. — Il paraît, dans ce cas, assez coûteux de se protéger contre ces difficultés par un chauffage à raison de 2,5 ou même 3 à 3,5 kW/m². Or M. Massaut a bien fait ressortir par son bilan que finalement la chose intéressante est le résultat financier.

M. DENOEL. — On reproche habituellement aux cribles chauffants par résistance une variation rapide de la résistance en fonction de l'usure. Est-ce que ce facteur vous a obligé à des remplacements plus fréquents de toiles que sur un crible normal ?

M. MASSAUT. — On est obligé de régler la tension pour conserver un chauffage constant. Il est difficile de dire si c'est dû à une variation de la teneur en humidité des produits ou à une usure de la toile. Le chauffage de la toile est réglé pour la garder sèche sous la couche de produits.

M. HANOT. — Si j'ai bien compris, l'installation en question pour le 0-10 mm suit un séchage calorifique. On se demande s'il est économique d'avoir un séchage calorifique, puis un crible chauffé. Peut être ici, le séchage calorifique était-il insuffisant et alors installer des cribles chauffés était un moyen de fortune. Dans une installation nouvelle viendrait-il à l'idée de placer un séchage thermique qui peut parfaitement aller beaucoup plus loin dans la siccité et puis un crible chauffant ?

M. MASSAUT. — Le charbonnage a installé cela surtout pour se réserver des possibilités d'adaptations futures. On avait envisagé de ne pas chauffer les cribles, mais de pousser le séchage plus haut, jusque 2 % d'humidité. Il ne faut pas oublier que le charbon est épuré en partie sur tables pneumatiques, donc il doit être suffisamment sec. Seulement, ce séchage jusqu'à 2 % d'eau aurait mis en suspension beaucoup trop de fines poussières.

M. HANOT. — La question est de savoir s'il est plus économique de sécher jusque 2 % plutôt que de mettre après coup un crible chauffant. Un sécheur peut aller jusque 2 % sans grand inconvénient.

M. MASSAUT. — Il est facile d'y arriver; le gros inconvénient aurait été la mise en suspension dans toute l'atmosphère du lavoir de beaucoup trop de poussières. C'est ce qui a fait limiter par le charbonnage le séchage à 3-4 %. De plus, les buées qui s'échappaient du charbon à la sortie des sécheurs provoqueraient des condensations sur les fils de la toile et des colmatages des cribles. Ce sont ces trois raisons : éviter les poussières, éviter la condensation des buées sur les fils et se réserver des possibilités d'avenir qui ont déterminé le charbonnage à combiner le criblage sur toiles chauffées avec le séchage du produit.

M. HANOT. — Je ne suis pas convaincu, car il y a d'autres moyens d'empêcher que les poussières se répandent dans l'atmosphère du lavoir. D'ailleurs, quel que soit le mode de séchage, le charbon fin très sec sera toujours poussiéreux, pour éviter la pollution des locaux, c'est sur la manutention qu'il faut travailler.

Une autre raison m'a été suggérée par un participant à ces journées qui aurait envisagé l'installation de cribles chauffants après un sécheur calorifique, dans le but d'éviter la condensation des buées qui accompagnent le produit à sa sortie du sécheur et ont tendance, au contact de l'air froid, à recréer une certaine humidification nuisible à la préparation sur tables à sec.

Cette solution ne paraît pas non plus très judicieuse car il existe des moyens moins onéreux de se débarrasser des buées à la sortie des sécheurs.

Le traitement des schlamms et des eaux résiduaires

par G. BURTON,
Ingénieur à INICHAR.

INTRODUCTION

Le débit en eau des lavoirs à charbon est très important. Il varie suivant le type de lavoir, mais on arrive normalement à des débits globaux de circulation de 1 000 à 2 000 m³/h dans les lavoirs moyens, valeur qui peut monter à 5 000 et même 6 000 m³/h dans certaines installations importantes.

Cette eau, au cours de son passage dans le lavoir, se charge de fines particules provenant

1) d'un défaut de dépoussiérage avant le traitement des produits par voie humide. Ce manque d'efficacité du dépoussiérage est actuellement accentué par l'accroissement du pourcentage de produits fins dans le charbon tout-venant et de la teneur en humidité de ces produits.
2) du bris des produits au cours du traitement. Cette production de produits très fins est spécialement importante dans certains traitements particuliers tels que le concassage des mixtes et l'essorage des fines, mais est toutefois plus ou moins sensible à tous les stades de la préparation : criblage, lavage, manutention.

L'introduction continue de produits fins dans l'eau de circulation entraîne deux problèmes : celui du contrôle de la teneur en solides de cette eau et celui du traitement et de la valorisation des eaux schlammeuses obtenues et de la clarification des eaux résiduaires en vue de leur élimination ou de leur recyclage dans le lavoir.

Le contrôle des eaux de circulation a pour but de maintenir à une valeur admissible la teneur en solides des eaux du circuit général du lavoir.

Lorsque ces eaux deviennent trop chargées, on constate une baisse d'efficacité des appareils de lavage et une fuite importante de schlamms valorisables avec les schistes envoyés au terril.

Ces installations de contrôle fournissent une eau schlammeuse plus ou moins riche en solides de granulométrie plus ou moins fine et à teneur en cendres très variable.

Ces produits dont la valeur marchande est loin d'être négligeable peuvent soit être simplement décantés et égouttés pour les amener sous une forme manutentionnable, soit subir une épuration qui en accroît la valeur ou en facilite l'écoulement sur le marché. Ces différentes opérations laissent une eau plus ou moins chargée en schlamm, schiste et argile qu'il faut clarifier avant son rejet à l'extérieur ou son recyclage dans le lavoir en cas de fonctionnement en circuit fermé.

A) CONTROLE DES EAUX DE CIRCULATION

I) Généralités. — Difficultés actuelles.

Le lavoir introduit dans les eaux de circulation un certain tonnage horaire de produits fins. Il est évident que, pour maintenir la teneur en solides de ces eaux à une valeur de régime, il faut éliminer exactement ce tonnage.

Dans la plupart des lavoirs (71 sur 81), cette opération est confiée à des spitzkasten qui traitent la totalité du débit du lavoir et dont la capacité varie généralement de 5 à 10 m³/heure par m² de surface.

Les autres lavoirs utilisent, soit des épaississeurs Dorr, soit des épaississeurs coniques, soit de petits bassins de décantation avec reprise par chaîne à godets.

Le circuit de contrôle des eaux le plus courant est le suivant (fig. 1).

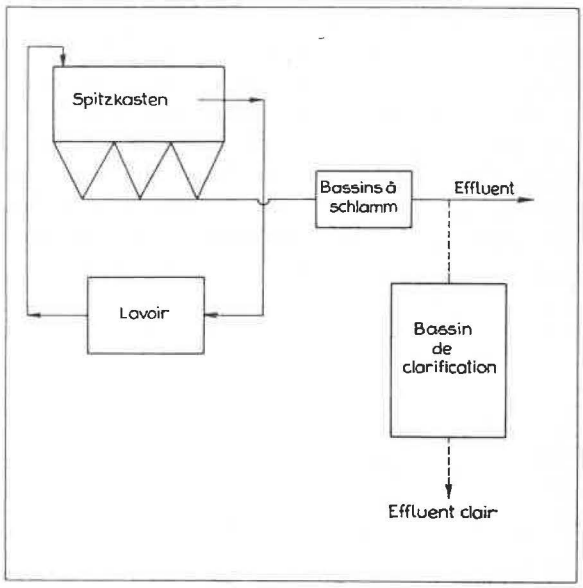


Fig. 1.

Les eaux, à la sortie du lavoir, sont envoyées vers les spitzkasten dont l'effluent alimente la pompe générale de circulation.

Les eaux schlammeuses soutirées aux pointes alimentent une série de bassins à schlamm de dimensions généralement réduites, suivis ou non de bassins de clarification plus importants.

Nous avons évité à dessein d'employer le terme de clarification des eaux car on peut difficilement qualifier de clarification une opération qui consiste à éliminer de ces eaux de circulation une dizaine de pourcents des solides qu'elles tiennent en suspension.

Les difficultés actuelles du dépoussiérage ont pour conséquence une pollution plus importante des eaux au cours de leur passage dans le lavoir et, dans de nombreuses installations, on éprouve de plus en plus de peine à maintenir la teneur en solides à une valeur compatible avec les nécessités du lavage.

Pour résoudre ces difficultés, deux remèdes sont applicables :

1) augmenter le débit des purges soutirées aux pointes des spitzkasten.
2) effectuer une ponction sur le circuit d'eau, ponction qui doit normalement être traitée dans un système de clarification auxiliaire et recyclée dans le circuit général.

II) Effets d'une augmentation de soutirage aux spitzkasten ou d'une ponction sur le circuit.

Un exemple numérique simple permettra d'estimer les améliorations à escompter de ces remèdes.

Soit un lavoir moyen traitant 300 t/h de tout-venant et dont le débit d'eau s'élève à 2 500 m³/h. On peut estimer que ce lavoir déverse dans ses eaux de circulation 20 t/h de solides fins, de répartition granulométrique suivante :

> 0,5 mm	10 %
0,2 — 0,5 mm	30 %
0,1 — 0,2 mm	20 %
50 µ — 0,1 mm	10 %
20 µ — 50 µ	10 %
10 µ — 20 µ	10 %
< 10 µ	10 %
	100 %

Pour maintenir la teneur en solides des eaux en état de régime, il faut donc que les 20 t/h de solides soient soutirées aux spitzkasten.

Admettons, dans un premier cas, que le débit d'eau schlammeuse extraite aux pointes des spitz soit limité à 60 m³/h. Ces 60 m³/h contiennent 20 t/h de solides et leur teneur s'élève donc à 330 g/litre. Dans ce cas, la coupure effectuée dans les spitz peut être représentée par la courbe de partage I de la figure 2.

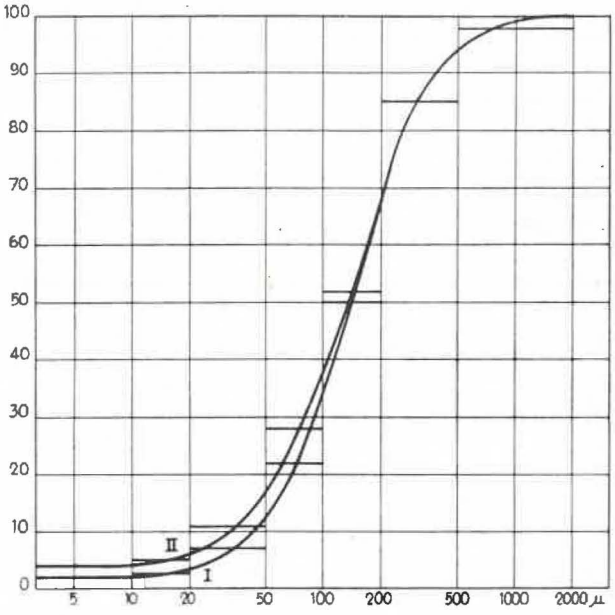


Fig. 2.

A partir de ces données, il est facile de calculer la teneur de régime des eaux de circulation.

Considérons, par exemple, la fraction granulométrique comprise entre 20 et 50 microns. Cette fraction représente 10 % du total des solides et 2 t/h en sont donc introduites dans les eaux de lavoir, soit, pour un débit de 2 500 m³/h, 0,8 kg/m³ ou 0,8 g/litre. Ces 0,8 g/litre de solides 20-50 microns doivent être extraits du spitzkasten.

La courbe de partage indique que, dans le cas I et pour cette granulométrie, la valeur de partage est de 7 %, c'est-à-dire que 7 % des solides 20-50 microns entrant dans les spitz sont soutirés par les pointes. Pour que la purge élimine 0,8 g/litre de ces solides, il faut donc que ces 0,8 g/litre représentent 7 % de la teneur à l'alimentation qui s'élève donc à (0,8 × 100) : 7 = 11,43 g/litre.

En appliquant le même raisonnement aux différentes fractions granulométriques, on obtient les résultats suivants :

Granulométrie	*Solides introduits* t/h	g/litre	*Valeur de partage*	*Teneur des eaux avant les spitz*
0,5 mm	2	0,8	98	0,816
0,2 — 0,5 mm	6	2,4	85	2,824
0,1 — 0,2 mm	4	1,6	50	3,200
50 µ — 0,1 mm	2	0,8	22	3,636
10 µ — 20 µ	2	0,8	7	11,428
20 µ — 50 µ	2	0,8	2,5	32,000
10 µ	2	0,8	2,0	40,000
Total	20	8,0		93,904

La teneur des eaux de circulation se stabilisera donc à 94 g/litre à l'entrée des spitzkasten, soit 86 g/litre après passage dans les spitz et à l'entrée du lavoir.

Si l'on augmente le soutirage aux pointes des spitz, en le faisant passer de 60 m³/h à 100 m³/h (ces 100 m³/h contenant toujours 20 t/h de solides, n'auront plus qu'une teneur de 200 g/litre), on obtient la courbe de partage II de la figure 2. En appliquant à ce second cas le même procédé de calcul qu'au précédent, on obtient les résultats suivants.

Granulométrie	*Solides introduits et extraits aux pointes des spitz*		*Valeur de partage*	*Teneur des eaux avant les spitz*
	t/h	*g/litre*		
0,1 — 0,2 mm	2	0,8	98	0,816
0,2 — 0,5 mm	6	2,4	85	2,824
0,5 mm	4	1,6	52	3,076
50 µ — 0,1 mm	2	0,8	28	2,856
10 µ — 20 µ	2	0,8	11	7,272
20 µ — 50 µ	2	0,8	5	16,000
10 µ	2	0,8	4	20,000
Total	20	8,0		52,844

La teneur des eaux à l'entrée des spitz se stabilise dans ce cas à 53 g/litre et les eaux alimentant le lavoir ne contiennent plus que 45 g/litre contre 86 g/litre dans le cas précédent.

Un calcul analogue montre que l'on peut arriver au même résultat en maintenant le soutirage aux pointes des spitz à 60 m³/h (dont la teneur en solides ne sera d'ailleurs plus que de 280 g/litre) et en effectuant sur le circuit des eaux une ponction de 70 m³/h à 45 g/litre.

Malheureusement, ces deux remèdes entraînent de nouvelles sujétions :

— l'augmentation du débit de soutirage aux spitzkasten et la plus forte dilution de ce soutirage compliquent les problèmes de décantation dans les bassins à schlamm et augmentent les risques de rejet d'eau polluée. Dans le cas de traitement des schlamms par flottation ou filtration, on est amené à prévoir un épaississement préalable.

— une ponction continue sur le circuit d'eau de lavage rend nécessaire l'adoption d'un circuit de clarification auxiliaire. Les solides contenus dans cette ponction sont très fins, contiennent souvent plus de 90 % de grains inférieurs à 50 microns. A cause de cette extrême finesse, les schlamms épaissis obtenus se prêtent mal aux procédés classiques d'égouttage et de valorisation. Leur traitement pose des problèmes très difficiles.

III) Procédés divers de clarification.

1. *Floculation dans des épaississeurs de grande surface.*

Si l'on excepte les bassins de très grande superficie, le seul procédé permettant d'obtenir une clarification complète de l'eau est la décantation dans des épaississeurs de grand diamètre avec emploi de floculants. Ce traitement est assez onéreux et les frais d'établissement de l'installation sont élevés. Il serait pratiquement impossible et d'ailleurs inutile d'appliquer un tel procédé à la totalité des eaux d'un lavoir. Il doit être réservé à des cas particuliers où les débits en jeu sont relativement faibles, comme par exemple la clarification d'une ponction sur les eaux de lavoir ou d'un effluent d'un épaississeur placé en tête d'une installation de flottation ou de filtration.

Il a l'avantage de donner simultanément un effluent pratiquement clair et une purge à teneur élevée en solides, et cela, même dans des cas difficiles où les solides à épaissir sont très fins. Il faut cependant, dans ce cas, satisfaire à certaines conditions et un charbonnage, entre autres, a constaté qu'il n'obtenait une clarification et un épaississement convenables d'un produit contenant plus de 90 % de grains inférieurs à 50 microns que si la teneur à l'alimentation n'excédait pas 40 g/litre.

2. *Cyclones.*

Toute une gamme de cyclones se trouvent actuellement à la disposition des exploitants, s'étendant des cyclones à basse pression aux multicyclones à haute pression.

Par suite des efforts tangentiels et des mouvements tourbillonnaires au sein du cyclone, la formation de flocons est impossible et le cyclone ne peut être considéré comme un clarificateur, mais comme un appareil classificateur effectuant une coupure à une maille d'autant plus faible que les efforts centrifuges mis en jeu sont plus importants.

a) *Cyclones à basse pression.*

Les cyclones à basse pression, c'est-à-dire ceux dont la hauteur d'alimentation ne dépasse pas 5 mètres, ont été étudiés par le Cerchar et les résultats de nombreux essais ont été communiqués dans une note de MM. Belugou et Ait Ouyahia à la Conférence Internationale d'Essen en 1954. Il semble que, pour un cyclone ayant une capacité industrielle (supérieure à 50 m^3/h), on ne puisse descendre sous une maille de coupure de l'ordre du 1/10 de millimètre. Les résultats sont fort analogues à ceux obtenus au moyen de spitzkasten et l'appareil peut se révéler utile comme appoint à des spitzkasten surchargés ou comme moyen de contrôle de la teneur en solides d'un circuit particulier du lavoir si les exigences quant à cette teneur en solides ne sont pas trop sévères.

b) *Cyclones à haute pression et multicyclones.*

Les cyclones à haute pression d'un diamètre de 300 à 500 mm et alimentés sous des pressions de 1 à 3 kg/cm^2 effectuent une séparation à une maille de coupure variant de 30 à 50 microns.

Pour les multicyclones formés d'un assemblage de cyclones travaillant en parallèle et dont le diamètre varie généralement de 70 à 100 mm, cette maille de coupure peut descendre sous 20 microns et même atteindre 10 microns.

Ces cyclones ont donc un effet clarificateur nettement plus poussé que les spitz et les cyclones à basse pression. Mais la force motrice nécessaire à mettre en jeu pour leur alimentation est élevée, ce qui prohibe leur utilisation sur la totalité du circuit d'eau d'un lavoir et limite leur emploi au traitement de débits relativement faibles où l'on désire une clarification plus poussée que dans les spitzkasten sans exiger toutefois un effluent absolument clair.

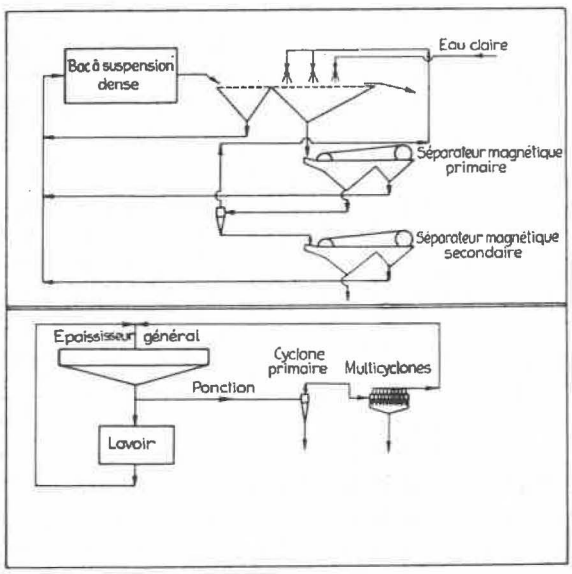


Fig. 3.

La figure 3 donne une application classique du cyclone haute pression dans les lavoirs par liqueur dense. Placé à la suite d'un séparateur magnétique primaire, qui traite la totalité des eaux de rinçage, il fournit, d'une part, de l'eau suffisamment clarifiée qui peut convenir au rinçage primaire et, d'autre part, un produit épaissi traité dans le séparateur magnétique secondaire.

Une pratique assez courante aux Etats-Unis est l'emploi de cyclones suivis de multicyclones pour clarifier une ponction faite sur le circuit d'eau. La clarification obtenue de cette façon n'est pas complète, mais suffisante pour assurer le fonctionnement en circuit fermé du lavoir.

Dans ces deux cas d'application, les cyclones remplacent de façon satisfaisante des épaississeurs beaucoup plus encombrants. Les cyclones haute pression trouvent également des utilisations comme épaississeurs et débourbeurs. Nous donnerons plus loin quelques cas de leur application dans ces domaines.

3. *Centrifugeuses à bol plein.*

Il convient de signaler encore la centrifugeuse à bol plein (Bird-Dynocone). Cette centrifugeuse, comme le cyclone, fonctionne comme appareil classificateur, mais la coupure est faite à une maille inférieure à celle obtenue avec les multicyclones. Cette centrifugeuse n'a pas reçu jusqu'à présent d'applications en Belgique, mais paraît assez répandue aux Etats-Unis. Elle a l'avantage de donner directement un produit épaissi très concentré, à teneur en humidité analogue à celle obtenue par filtration à vide.

B) TRAITEMENT ET VALORISATION DES SCHLAMMS

I) Généralités.

Les installations de contrôle de la teneur en solides des eaux de circulation des lavoirs donnent, comme sous-produits, des eaux schlammeuses, plus ou moins chargées en solides de granulométrie plus ou moins fine.

Sur la base de la composition granulométrique, on peut distinguer deux types principaux de schlamms :

a) Les schlamms grenus, contenant un pourcentage important de grains supérieurs à 0,5 mm et généralement moins de 30 % de grains inférieurs à 50 microns. Ces schlamms proviennent des soutirages faits aux installations principales de contrôle des eaux (spitzkasten).

b) Les schlamms fins, contenant plus de 80 % de grains inférieurs à 50 microns, proviennent de l'épaississement de ponctions effectuées sur le

circuit d'eau, de l'effluent d'épaississeurs placés en tête de certaines installations de flottation et de filtration. Au point de vue de la difficulté de traitement, on peut également ranger dans cette catégorie les eaux schisteuses résiduaires du traitement par flottation.

II) Traitement des schlamms bruts.

1. *Bassins à schlamms.*

Le traitement le plus couramment appliqué aux schlamms grenus est leur simple épandage dans une série de bassins de dimensions réduites. Il est intéressant d'avoir à sa disposition un minimum de trois bassins afin de permettre la rotation : (remplissage, décantation) — (égouttage, drainage) — (vidange).

— L'effluent de ces bassins a encore une teneur assez élevée en solides et son rejet tel quel dans les cours d'eau est à éviter, non seulement pour des raisons de pollution, mais pour la perte d'un produit dont la récupération serait souvent rentable. Ce cas se présente cependant encore dans une vingtaine de lavoirs.

— Plusieurs lavoirs possèdent des bassins à schlamms dont les dimensions sont importantes comparativement aux débits à traiter. Dans ces cas, le temps de séjour dans ces bassins est suffisant pour assurer une décantation à peu près complète et une clarification satisfaisante de l'effluent.

Dans d'autres lavoirs, l'effluent des bassins à schlamm est envoyé dans des dépressions de terrains ou des étangs endigués dont la superficie peut atteindre plusieurs hectares. La décantation y est pratiquement complète et les eaux rejetées à peu près claires.

Ces deux cas groupent également une vingtaine de lavoirs.

— Sept lavoirs qui ne disposent pas d'espace suffisant pour assurer une clarification naturelle de leurs eaux résiduaires ont résolu le problème en incorporant un floculant à leurs eaux schlammeuses en tête de leurs bassins. L'action accélératrice de ces floculants est suffisante pour assurer une clarification suffisante dans un espace réduit.

2. *Filtres à schlamms bruts.*

A la méthode discontinue de décantation et de reprise dans des bassins, on a préféré, dans six installations, un procédé de traitement continu des schlamms bruts par filtration à vide.

Lorsque les schlamms sont suffisamment épaissis au préalable et pas trop argileux, cette opération ne présente aucune difficulté. Certaines difficultés dues à un colmatage partiel de la toile filtrante n'apparaissent que lorsque la teneur en produits inférieurs à 50 microns s'élève au-dessus de 20 à 30 %.

Les filtres utilisés sont des types à tambour ou à disques à auge inférieure. Il semble pourtant que, dans le cas de schlamms bruts, l'alimentation par auge latérale soit plus intéressante. Dans ce sytème, les grains les plus gros se déposent en premier lieu sur la toile et forment surface filtrante pour les particules plus fines. Comme celles-ci n'arrivent pas au contact de la toile, on élimine en grande partie les dangers de colmatage.

Un filtre de ce type, installé en Sarre et traitant un schlamm contenant plus de 30 % de produits inférieurs à 0,1 mm, a une capacité dépassant 600 kg/m^2/heure, capacité à peu près équivalente à celle normalement obtenue avec des schlamms flottés sur filtre-tambour à auge inférieure.

3. *Essorage des schlamms bruts.*

L'essorage des schlamms tant bruts que flottés semble plus séduisant que leur filtration par vide pour deux raisons :

a) La teneur en humidité des produits essorés est inférieure à celle obtenue par filtration.

b) Les frais de fonctionnement sont nettement plus réduits. On peut considérer que les frais totaux de fonctionnement d'une essoreuse (force motrice, graissage, remplacement des grilles, salaires) sont inférieurs à la seule dépense en énergie d'un filtre à vide de même capacité.

Malheureusement, dans l'état actuel de son développement, l'essoreuse est beaucoup plus sensible que le filtre à la nature (granulométrie, concentration) de son alimentation.

En ce qui concerne les schlamms bruts, des essais ont été faits en France et en Sarre au moyen d'essoreuses Escher Wyss des types S 1100 et C 4. Ces essoreuses sont à axe horizontal et évacuent les produits grâce à un mouvement de vibration.

On a constaté que les meilleurs résultats étaient obtenus en plaçant un cyclone avant l'essoreuse, cyclone dont le rôle est d'épaissir autant que possible l'alimentation et d'éliminer une partie des ultra-fins.

Une essoreuse alimentée en schlamm brut épaissi de cette façon à 800-900 g/litre a donné un produit essoré à 13-14 % d'humidité, avec un rendement en solides de 98 %. Le filtrat contenait de 40 à 50 g/litre de solides. Il faut cependant noter que 25 % des schlamms, en majorité des produits ultra-fins, étaient éliminés avec l'effluent du cyclone épaississeur.

Une essoreuse identique, dans un autre lavoir, alimentée de la même façon mais en produits très argileux (le produit sortant de la pointe du cyclone contenait encore 12 à 18 % de produit inférieur à 50 microns) a donné un rendement en solides de 96 %, mais la teneur en humidité est res-

fait, dans un plan diamétral et en leur point commun, la tangente au grain et la tangente à la particule d'eau adhérente. L'angle θ dépend lui-même de la nature des grains et de celle du liquide.

Un tel phénomène a lieu également au contact du grain de charbon avec les fils d'une toile de crible.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ces idées théoriques. Des développements mathématiques plus poussés permettent de prévoir la quantité d'eau susceptible d'être retenue, l'intensité des forces d'adhérence entre grains, etc. (Voir à ce sujet l'article de M. Dodelet dans le Bulletin de l'A.I.Ms., n° 3 de 1954).

Dans l'opération de criblage d'un produit humide, ces effets d'adhérence de nature capillaire ont deux suites fâcheuses :

1) le colmatage du tamis ;

2) l'agglomération du produit en paquets compacts ou en gâteaux qui glissent sur la toile sans se désagréger.

Le premier phénomène apparaît tout d'abord et rapidement dans le criblage des fines catégories. Il est donc le plus gênant.

Supposons un grain humide de charbon (ou même un amas de grains plus fins rassemblés) retenu par suite d'effet capillaire dans la maille d'un tamis (fig. 5).

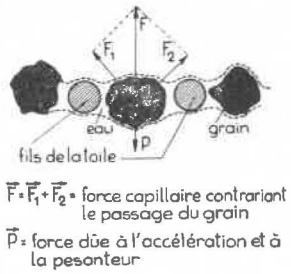


Fig. 5.

Les diverses sollicitations auxquelles il est soumis sont :

a) son poids, force dirigée vers le bas ;

b) la force d'inertie due aux accélérations et décélérations périodiques du mouvement du crible;

c) la résultante F des adhérences capillaires, dirigée vers le haut et s'opposant au passage du grain à travers le tamis.

Les deux premiers efforts sont dirigés simultanément vers le bas lors d'une accélération du tamis dirigée vers le haut.

Désignons par P la valeur maximum de ces deux effets lorsqu'ils s'additionnent dans le même sens.

Si on représente sur un diagramme la valeur de la force F d'origine capillaire en fonction de la teneur en eau du produit, la courbe obtenue a l'aspect indiqué à la figure 6.

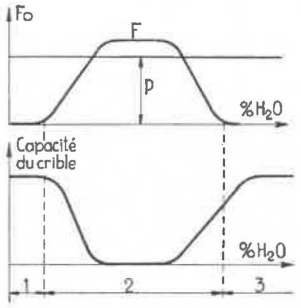


Fig. 6.

Le produit étant sec, on a évidemment $F = 0$.

Si, à l'opposé, le produit était criblé sous l'eau ou très abondamment arrosé, on aurait également $F = 0$. En effet, dans ce cas les trois phases : solide, liquide et gazeuse ne coexistent plus simultanément. La tension superficielle de l'eau est annulée puisqu'il n'y a plus de surface de séparation entre l'eau et l'air.

La courbe F passe donc par un maximum pour une valeur intermédiaire de la teneur en eau.

Superposons à cette courbe, la valeur maximum de P. Si alors on établit un diagramme ayant mêmes abscisses, mais portant en ordonnées un chiffre qui caractérise l'efficacité (ou le rendement) du crible, on constate que, partant d'une valeur maximum, cette courbe décroît jusqu'à une valeur quasi nulle, puis remonte pour retrouver sa valeur première.

Suivant l'axe de la teneur en eau, on peut définir trois zones (fig. 6) :

1) La zone de criblage sec : teneur en eau nulle ou très faible. $P > F$. Le criblage est bon.

2) La zone de criblage humide : teneur en eau moyenne. $F > P$. Les phénomènes d'adhérences capillaires deviennent apparents. Il y a colmatage des toiles et le tamisage devient inopérant.

3) La zone de criblage à l'eau : arrosage abondant d'eau. F redevient plus petit que P. Le criblage redevient bon.

Puisqu'il s'agit en réalité d'un phénomène statistique et non de l'étude de ce phénomène appliquée à une seule particule, il est évident que la séparation entre les trois zones types n'est pas franche et que, de l'une à l'autre, on passe par des zones de transition où, avant de devenir nul, le criblage devient d'abord médiocre et inversement.

Les prévisions théoriques sont d'ailleurs entièrement confirmées par l'expérience.

Il découle de ce qui précède que, dès que le produit accuse un certain degré d'humidité, sa séparation sur un crible ordinaire ne pourra plus se faire, tout au moins avec un rendement suffisant.

Il devient nécessaire, dans ce cas, de recourir à d'autres techniques ou d'utiliser certains artifices.

Parmi les remèdes possibles, il faut citer :

1) le brossage de la toile dès l'apparition du colmatage.

2) L'augmentation de la vitesse et/ou de l'amplitude du mouvement du crible. De ce fait, on augmente le terme force d'inertie dans l'expression de P. Une telle augmentation ne peut pas toujours se faire sans risques. On est rapidement limité dans ce sens par la résistance des pièces mécaniques.

3) Criblage sous l'eau. On se place dans la zone de criblage à l'eau (zone 3 de la fig. 6) par un arrosage abondant du produit sur le tamis. De plus, la force vive de l'eau d'arrosage désagrège, s'il le faut, les paquets ou gâteaux de charbon qui se formeraient sur la toile et contribue à entraîner avec elle les fines particules à travers les mailles.

4) Criblage à l'huile. L'addition d'huile en faible quantité fait varier la tension superficielle et les adhérences qui en résultent en modifiant l'angle de contact liquide — solide θ. Cette méthode est parfois utilisée pour le criblage du poussier de coke utilisé comme amaigrissant dans la pâte à coke. L'introduction d'huile n'y est pas gênante.

5) Utilisation de tamis spéciaux du type « Harpe », « Duo » ou « Serpa ». Dans ces tamis, on prévoit un agencement des toiles, ou un tissage de toiles, tels que deux fils adjacents aient leur vibration propre différente ou déphasée. On évite de la sorte le colmatage de la toile mais, en contrepartie, la précision de la séparation granulométrique en est affectée.

Ces tamis spéciaux coûtent cher et, semble-t-il, ne résistent pas longtemps.

6) Utilisation de tamis superposés avec interposition de billes de caoutchouc pour décolmater par chocs. Ici aussi, la vie des toiles paraît sensiblement raccourcie.

7) Séchage préalable du charbon à cribler.

8) Chauffage des toiles du crible. Nous décrirons plus loin, d'une manière plus étendue, ce remède puisqu'il fait l'objet de la présente conférence.

9) Broyage partiel du refus et recyclage sur le crible de ce produit broyé.

Puisque la teneur en eau du refus est toujours moindre que celle de l'alimentation, on diminuera ainsi dans une certaine mesure l'humidité initiale.

10) Addition de chaux vive en faible quantité.

La chaux absorbe l'eau du charbon par hygroscopicité et par transformation chimique du CaO en Ca (OH) 2. Il faut toutefois que la chaux ajoutée n'ait aucune incidence défavorable sur l'utilisation qui sera faite du charbon criblé.

Le criblage à la chaux est un procédé nouveau qui en est encore au stade expérimental.

Comme nous l'avons dit plus haut, avec l'humidité croissante du produit à cribler, le premier inconvénient qui se manifeste est le colmatage des toiles. Si la teneur en eau est plus élevée encore et surtout si le produit est argileux, il apparaîtra des agglomérations de grains, des amas pâteux ou des gâteaux de charbon qui glisseront sur le tamis sans pouvoir être criblés. Dans ce cas, seules les solutions qui détruisent les forces d'adhérences entre les grains eux-mêmes seront susceptibles d'améliorer le résultat du criblage. L'utilisation de toiles chauffées ne sera plus suffisante. Il faudra s'orienter vers le séchage du produit ou le criblage à l'eau.

Il est très difficile de définir les teneurs en eau qui doivent départager les diverses solutions en fonction du résultat recherché. Deux charbons différents contenant un même pourcentage d'humidité ne se cribleront pas avec la même efficacité. Il est acquis que d'autres facteurs jouent également un rôle dans le résultat de la séparation sur un tamis : forme des mailles, nature du produit, forme des grains, distribution granulométrique, teneur en argile, etc.

Les chiffres recueillis ne doivent être acceptés que comme des indications.

Certains auteurs admettent 10-12 % d'eau pour un criblage à 10 mm et 4 à 7 % pour une maille de 2 mm, sans artifices pour décolmater les toiles.

Pour les charbons anglais, on peut admettre jusqu'à 4 à 8 % pour cribler à 1,5 ou 2 mm.

Le criblage à 0,5 mm de charbons 0/10 peut se faire sans colmatage, même si la teneur en eau atteint 3 à 4 %, selon d'autres sources.

Le tamisage du poussier de coke devient seulement difficile sans chauffage des toiles à la maille de 10 mm et avec une humidité de 13 %, alors qu'avec la même teneur en eau on pourrait cribler facilement à 5 ou même 2 mm en utilisant un tamis chauffé.

Notre expérience nous a fait admettre que, pour cribler du charbon à la maille de 10 mm, la teneur en eau devait rester inférieure à 6 % dans le passé. Sur toile chauffée, on peut encore cribler le même produit jusqu'à 10 % d'eau. Si, d'autre part, l'ouverture du tamis est de l'ordre du millimètre, la teneur en eau maximum admissible est de 4,5 % sur crible non chauffé et de 5,5 à 6 % sur toile chauffée.

III. — REALISATION ET CONDUITE DES CRIBLES CHAUFFANTS

a) *En principe,* un tamis chauffant est un tamis ordinaire, muni d'un système adéquat de chauffage.

Différents modes de chauffage ont été étudiés pour communiquer au tamis une température

correcte : chauffage au gaz, à la vapeur, à l'électricité, par effet joule ou par électro-induction.

Le chauffage électrique par transformation, dans les fils même du tamis, de l'énergie électrique en énergie thermique par effet joule, est le procédé le plus simple et le plus employé. Nous n'envisagerons d'ailleurs que ce seul mode, les autres étant exceptionnels.

Soulignons que le chauffage des toiles d'un tamis chauffant a pour seul but d'empêcher leur colmatage et non celui de sécher le produit pendant son passage sur le crible. Pour satisfaire à cette dernière hypothèse, il faudrait mettre en œuvre des énergies calorifiques considérables et ce procédé de séchage serait anti-économique par suite du mauvais rendement de l'appareil et du prix de l'énergie électrique.

L'idée première des toiles chauffées (1927) visait précisément ce double objectif : cribler le charbon tout en le séchant. Ce fut un échec et le problème du chauffage des cribles ne fut repris plus tard qu'avec la seule idée d'éviter le colmatage.

b) *Température des toiles.*

Pour empêcher un tamis de se boucher, il suffit de porter les fils à une température telle que ceux-ci restent secs sous la couche de produits.

Ainsi, on tend à supprimer les tensions superficielles entre les grains et les fils du tamis et les adhérences d'origine capillaire en résultant.

Nous admettons comme valeur normale de la température de la toile : 70 à 80° à vide, correspondant à 40 à 60° en service.

Certains auteurs indiquent davantage (100 et même 120° à vide). Chaque cas de criblage est un cas d'espèce et les essais seuls permettront de formuler une conclusion.

c) *Puissance de chauffage à prévoir.*

Beaucoup de praticiens s'accordent pour adopter une puissance unitaire de chauffage d'environ 4 kW par m² de surface criblante. Il nous a été possible d'établir, pour le charbon, des données plus précises à ce sujet. Elles sont reproduites sur le diagramme figure 7.

La puissance de chauffage est fonction principalement de la teneur en eau du produit et de la dimension des mailles. Toutefois, elle dépend également de la nature du produit, de la dimension des grains, de la proportion de fins et de gros, etc.

Par ailleurs, les Américains préconisent des valeurs plus élevées allant jusqu'à 7,5 kW par m². Nous avons adopté, pour nos cribles traitant du charbon, une valeur maximum de la puissance de 3,5 à 4 kW par m² de surface criblante. Cette valeur est plus que suffisante pour les circonstances habituelles de fonctionnement du crible.

La puissance réellement utilisée est réglable au transformateur d'alimentation jusqu'à concurrence de cette valeur limite. Dans l'installation décrite, la puissance maximum n'est jamais utilisée. Il est cependant bon de la prévoir dans les projets pour adapter à tout moment, avec une certaine marge de sécurité, la température des toiles aux besoins du criblage.

d) *Alimentation électrique.*

L'arrivée du courant peut se faire sur les côtés de la toile (alimentation transversale, fig. 12) ou par ses extrémités, dans le sens de la longueur du crible (alimentation longitudinale, fig. 8 à 11 et 13-14). Quand la toile d'un crible est chauffée, ses dilatations thermiques doivent être compensées tout en conservant la tension mécanique du tamis nécessaire à sa bonne conservation. Cette compensation est réalisée par l'adjonction de res-

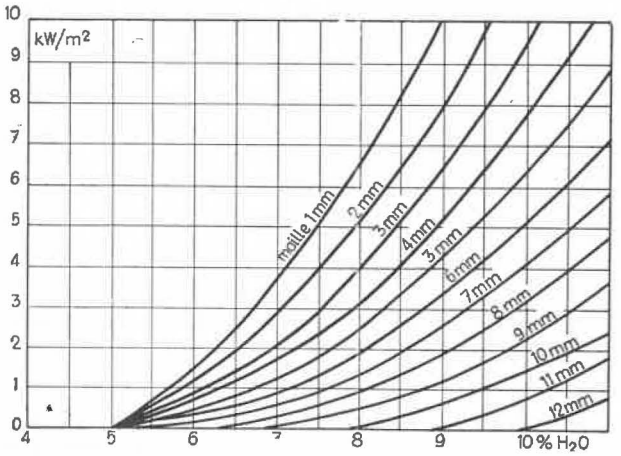


Fig. 7.

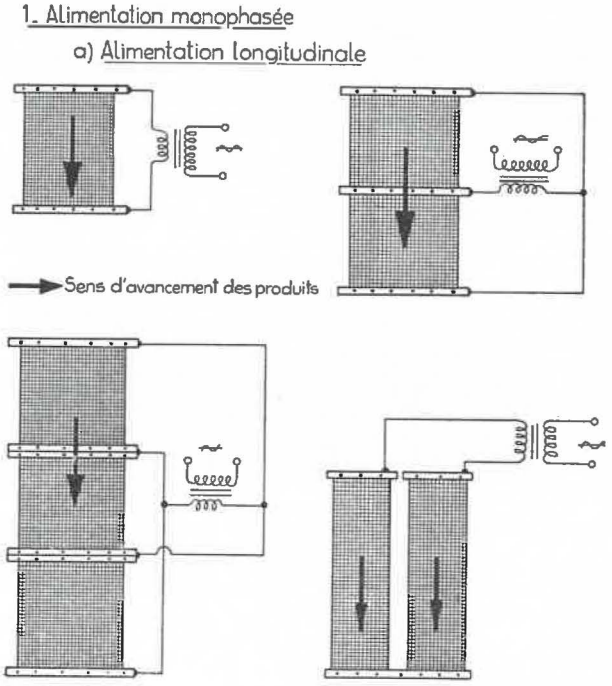


Fig. 8, 9, 10 et 11.

sorts puissants à une des extrémités de la toile. La figure 15 illustre le dispositif adopté par nous.

Les tamis électro-incolmatables sont alimentés en courant alternatif monophasé ou triphasé. L'alimentation triphasée, si elle a l'avantage d'équilibrer les trois phases du réseau, nécessite par contre un appareillage beaucoup plus complexe (e.a. transformateur réglable) et plus coûteux. En général, une alimentation à trois phases ne se justifie pas pour des cribles de dimensions courantes.

Les figures 8 à 12 représentent quelques schémas d'alimentation en tension monophasée, les figures 13 et 14 illustrent le principe de l'utilisation du courant triphasé pour le chauffage des toiles.

b. Alimentation transversale

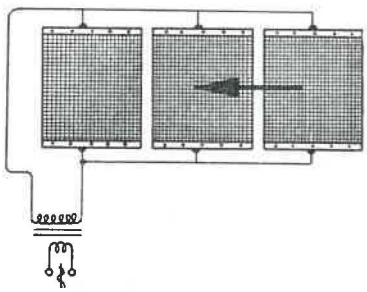


Fig. 12.

Les figures 13 et 14 illustrent également le cas de panneaux successifs qui peuvent être de longueur décroissante dans le sens du cheminement des produits. Chaque panneau ayant la même différence de potentiel à ses extrémités, une même température est maintenue d'un bout à l'autre du crible malgré la diminution de la couche du produit qui contribue au refroidissement de la toile. Disons cependant que la division de la longueur de criblage en différents panneaux complique singulièrement la fixation des toiles. L'ensemble des panneaux est tendu, dans ce cas, à une extrémité du crible seulement par les ressorts dont question

2. Alimentation triphasée

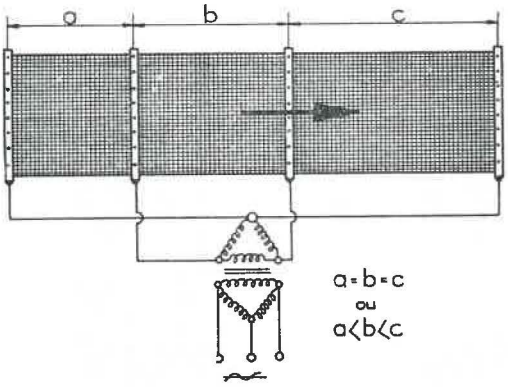


Fig. 13.

plus haut, mais les barres de répartition qui séparent les panneaux entre eux et qui portent les bornes d'arrivée de courant sont montées sur des chariots coulissants isolés.

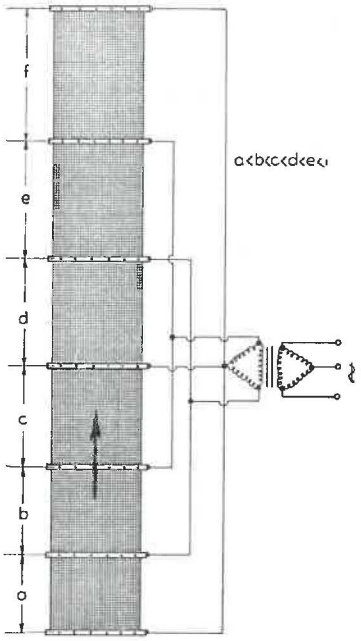


Fig. 14.

La subdivision d'un tamis en plusieurs panneaux ne se justifie que s'il fallait utiliser une tension électrique trop élevée pour alimenter la toile d'un bout à l'autre du crible.

Signalons quelques particularités constructives des tamis électro-chauffés :

— Pour assurer la sécurité du personnel, le voltage à l'alimentation doit rester inférieur à 35 volts (courant alternatif, réglementation belge).

— Toutes les parties sous tension doivent être bien isolées.

— Assurer d'autre part des contacts électriques parfaits et réaliser le circuit d'alimentation électrique par des éléments présentant une résistance ohmique minimum. Les intensités en jeu peuvent atteindre plus d'un millier d'ampères !

— Dans les cribles à plusieurs panneaux, les extrémités adjacentes de deux panneaux doivent être à un même potentiel, sinon une pièce métallique amenée sur les toiles avec le produit à cribler pourrait provoquer un court-circuit et la détérioration des toiles par la chaleur de l'arc.

Dans nos cribles, nous avons adopté l'alimentation électrique représentée à la figure 11.

Les deux toiles sont fixées à côté l'une de l'autre dans le sens longitudinal du crible. Elles sont isolées du châssis et séparées entre elles par une cloison longitudinale, suffisamment haute pour éviter qu'une pièce métallique arrivant avec les charbons ne puisse les mettre en court-circuit. Cette

cloison est visible sur la coupe transversale de l'appareil, figure 15.

L'alimentation électrique est monophasée et les deux bornes d'arrivée de courant sont situées du côté amont du tamis (A et A ' sur la fig. 15).

C'est là aussi que se trouve le dispositif de tension mécanique de la toile. Les pièces d'attache sont protégées des chutes de charbon par une bavette de protection en caoutchouc.

A l'autre extrémité du crible (B), une barre de mise en série en laiton réunit les deux toiles. Elle est incorporée dans le dispositif d'attache fixe. Toutes les parties du circuit électrique sont isolées du châssis du crible.

ples en cuivre de forte section. Comme nous l'avons déjà dit, ils sont réglables et prévus pour une puissance maximum de 3,5 à 4 kW par m^2 de surface criblante.

Afin d'avoir une gamme de valeurs assez progressive des températures des toiles, les transformateurs sont prévus avec 8 crans de réglage donnant aux bornes de sortie les tensions suivantes : 34 V, 28 V, 24 V, 20 V, 17 V, 12 V et 10 V.

Les trois crans supérieurs n'ont, jusqu'à présent, pas encore dû être utilisés dans cette installation.

Les tamis de ces cribles sont constitués de toiles en fils d'acier inoxydable 18/8 (18 % Cr, 8 % Ni) qui réunissent les trois qualités suivantes :

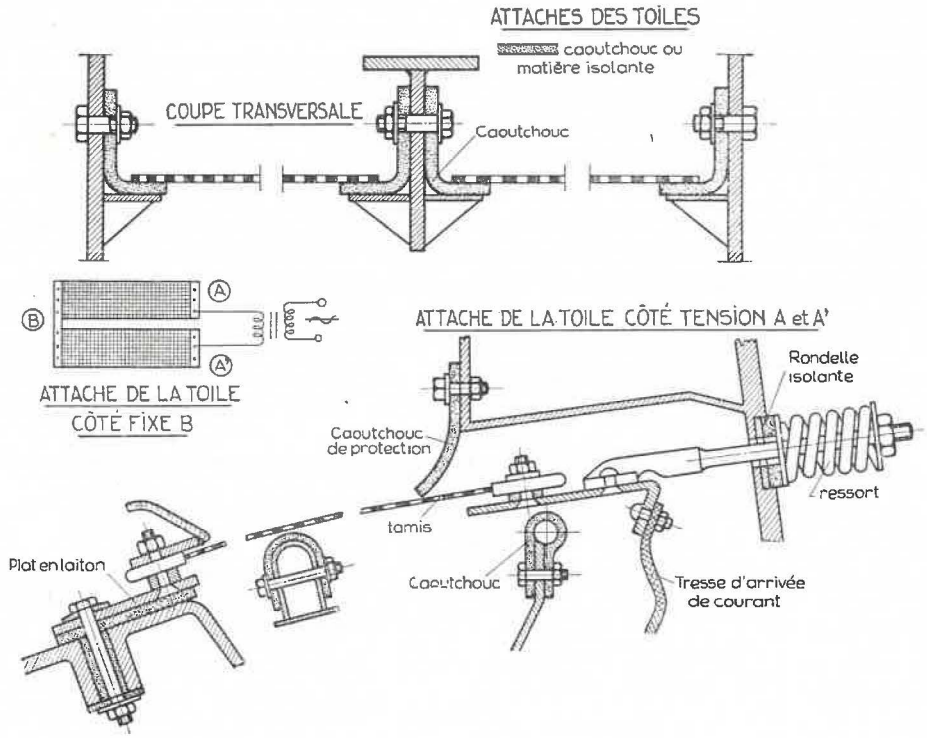


Fig. 15.

Au charbonnage du Limbourg dont il est question ici, quatre cribles Coppée (licence Burstlein-Longwy) sont disposés en parallèle pour le criblage à 10 mm, quatre cribles Allis Chalmers pour le criblage à 1 mm. Chacun d'eux possède son transformateur monophasé individuel.

Afin d'équilibrer au mieux le réseau triphasé du charbonnage, les cribles sont répartis sur les trois phases. Seuls deux transformateurs ont dû être montés en surcharge sur une des phases. Le déséquilibre qui en résulte est faible et ne justifiait pas les complications et les frais d'installation d'appareils chauffés en courant triphasé.

Les bornes secondaires du transformateur se trouvent à proximité immédiate de l'alimentation du tamis et réunies à celui-ci par des tresses sou-

dureté, inaltérabilité et haute résistivité électrique ($\varrho = 0{,}8\ \Omega/m \times mm^2$ environ). Cette dernière particularité permet de dissiper la puissance électrique avec un ampérage qui n'est pas exagéré.

Dans un projet de crible chauffant, la surface criblante nécessaire est déterminée par l'aptitude au criblage du produit à traiter, indépendamment du colmatage possible.

La puissance du transformateur en découle immédiatement. On réalisera alors la surface par le choix des longueurs et largeurs de toile en appliquant la loi d'Ohm (le diamètre des fils, leur longueur, leur écartement et la résistivité électrique intervenant dans le calcul) et en s'imposant une tension maximum de sécurité pour le personnel.

Conduite des cribles chauffés.

Elle est très simple :

1) Le charbon doit être convenablement réparti à l'arrivée sur le crible, sur toute la largeur de la toile.

Si le produit à cribler n'est pas convenablement étalé, certaines zones du tamis resteront nues et l'énergie dépensée pour leur chauffage sera perdue.

En même temps, la couche de charbon deviendra trop conséquente ailleurs et, à cause du refroidissement local trop important qui en résulte, on sera amené à augmenter la tension au secondaire du transformateur pour pouvoir maintenir le régime de température qui empêchera le colmatage.

2) L'arrivée du charbon doit aussi être continue et régulière dans le temps. Une arrivée intermittente laissera par moment la toile vide, d'où aussi gaspillage de calories. En bref, pour être économique d'exploitation, un tamis chauffé demande une alimentation des produits à cribler régulière dans le temps et bien étalée sur la largeur du crible.

3) La tension du transformateur sera réglée à la valeur minimum compatible avec le non colmatage de la toile. Cette tension peut devoir être modifiée de temps à autre si la teneur en eau du produit ou son débit vient à varier, mais, si ces paramètres restent constants, l'appareil pourra fonctionner sans surveillance.

IV. — ESSAIS DE CRIBLAGE DANS L'INSTALLATION — RESULTATS

Les tamis vibrants ont les caractéristiques reprises au tableau I.

TABLEAU I

Vibrants	Nombre de cribles en parallèle	Ouverture des mailles	Produit à cribler	Surface criblante		Humidité habituelle %		Débits pour les 4 cribles - t/h	
				Par crible	Totale	De l'alimentation	Du passé	Alimentation	Passé
Groupe A	4	10 mm 10 ×	Brut 0/90	4,5	18	3-4 %	4-5 %	300	150
Groupe B	4	1 × 1 mm	Charbon séché 0/10	9	36	3 4 %	4 %	150	60

Différents essais comparatifs ont été faits au lavoir du charbonnage.

Il nous a été possible d'alimenter, en même temps et avec le même charbon, deux cribles du même groupe dont l'un était chauffé et l'autre pas. Nous aurions cependant désiré faire de plus nombreux essais, aussi bien au tamisage à 10 mm qu'au tamisage à 1 mm et avec des teneurs en eau de plus en plus grandes. De cette façon, il aurait été intéressant d'illustrer, pour chaque valeur de l'humidité du charbon, l'amélioration du criblage en fonction du chauffage de la toile.

Tous ces essais ont été faits dans un lavoir en exploitation et leur nombre a dû être limité. Il a fallu accepter les charbons tels qu'ils étaient.

Pour les cribles du groupe A, les bruts titraient 3 % d'eau. Aux vibrants B, la teneur en eau du 0/10 s'élevait à 3,4 % (teneur plus élevée que la teneur habituelle).

Pour réaliser l'essai à 4 % d'humidité, il a fallu amener directement sur les toiles le passé des cribles A en by-passant le séchage.

Pour ne pas contrarier la marche normale du lavoir, nous n'avons pas eu le loisir d'attendre un colmatage très poussé des tamis non chauffés.

Les courbes des égarés et de partage ont été tracées pour chacun des essais. Les résultats et les chiffres déduits de ces courbes sont groupés deux par deux (toile chauffée et non chauffée) dans le tableau comparatif II.

L'analyse de ceux-ci fait apparaître, lorsque le chauffage de la toile est supprimé :

1) Un abaissement de la dimension des mailles de partage et de coupure équivalente.

C'est logique : le colmatage des toiles se traduit par une diminution de leur ouverture.

2) Une augmentation des pourcentages d'égarés à la maille de coupure, tant dans le refus que dans le passé. Ici également, il fallait s'y attendre: certaines mailles sont plus colmatées que d'autres, leur ouverture varie d'un point à l'autre du tamis. On ne peut plus parler d'une ouverture de maille proprement dite, mais d'une « maille moyenne ». Dès lors, certains grains supérieurs à cette maille moyenne traverseraient la toile précisément aux endroits où le colmatage est faible alors que, là

TABLEAU II
TABLEAU COMPARATIF DES ESSAIS

Essai	Crible	Calibre du produit traité	% eau	Chauffage de la toile	Maille mm			Egarés % à la maille de coupure				Rendement %	
								Refus		Passé			
					du tamis	de partage m. p.	de coupure équival. m. c.	en % de l'aliment	en % du refus	en % de l'aliment	en % du passé	A la maille de coupure	A la maille du tamis
1	A	0/90	3 %	Chauffé	10	9,8	8,6	3,2	4,5	3,2	11,4	89	84
1 bis	A	0/90	3 %	Non chauffé	10	8	7,2	3,6	4,7	3,6	15,3	85	77
2	B	0/10	3,4 %	Chauffé	1	0,9	0,88	4	6,5	4	10,1	88	87,5
2 bis	B	0/10	3,4 %	Non chauffé	1	0,84	0,78	5,5	7,9	5,5	18	85	80
3	B	0/10	4 %	Chauffé	1	0,89	0,65	8	11,4	8	26,6	73,5	65
3 bis	B	0/10	4 %	Non chauffé	1	0,74	0,5	10	15,3	10	28,7	72	64

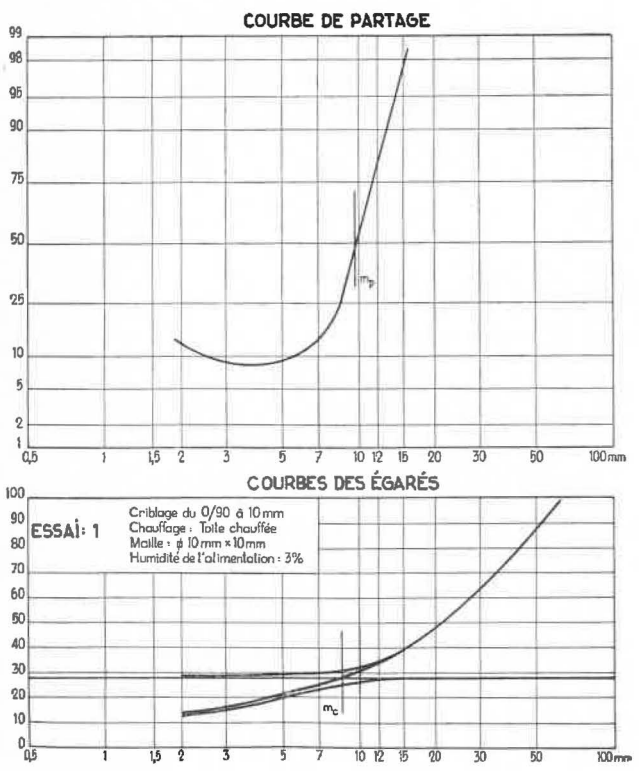
où il est beaucoup plus prononcé, les grains inférieurs à cette dimension ne parviendront pas à passer et se retrouveront dans le refus.

Simultanément, on constate sur les courbes une augmentation de la surface des « triangles d'erreur », indice là aussi d'une coupure moins nette et d'un plus grand nombre d'égarés.

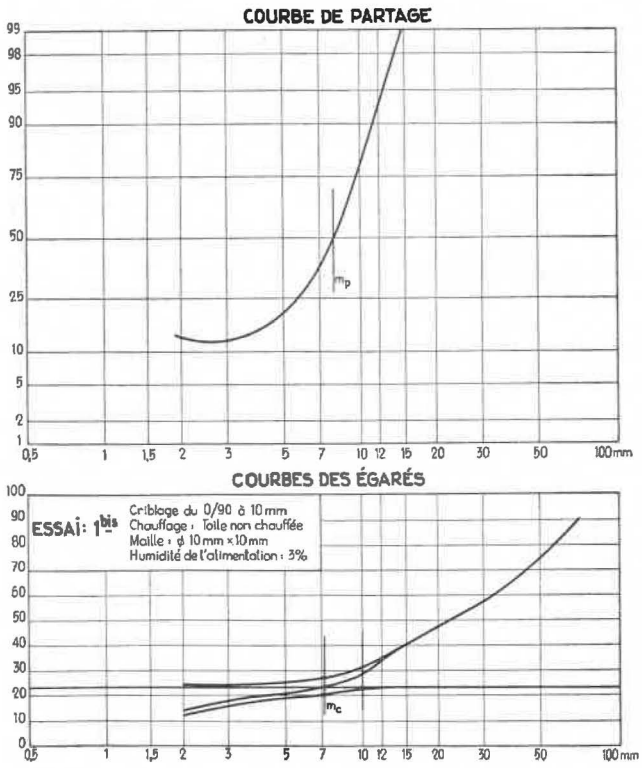
3) Une diminution du rendement à la maille de coupure et à la maille du tamis.

Ce rendement est exprimé par le rapport du poids des particules inférieures et égales à la dimension considérée que l'on retrouve dans le passé au poids de ces mêmes particules dans le produit brut. C'est donc la quantité passée à travers la maille sur la quantité qui aurait dû passer si le criblage avait été parfait.

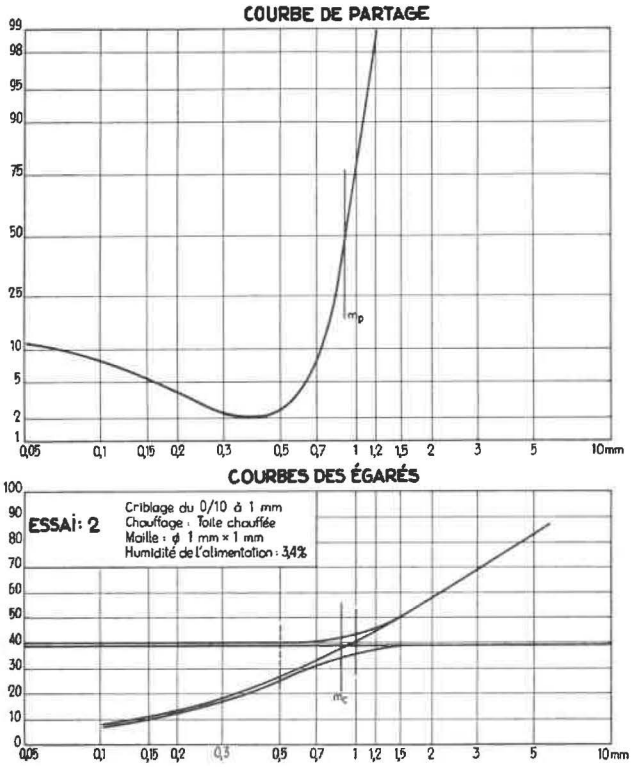
Il est normal de constater une chute de rendement quand la toile n'est pas chauffée. Le colmatage condamne une partie des mailles qui sont, soit totalement, soit partiellement bouchées, d'où une diminution de la surface utile de criblage. Il est à remarquer cependant que, précisément aux essais 3 et 3 bis, là où, au tamis de 1 mm, la teneur en eau est la plus élevée, le rendement ne diminue



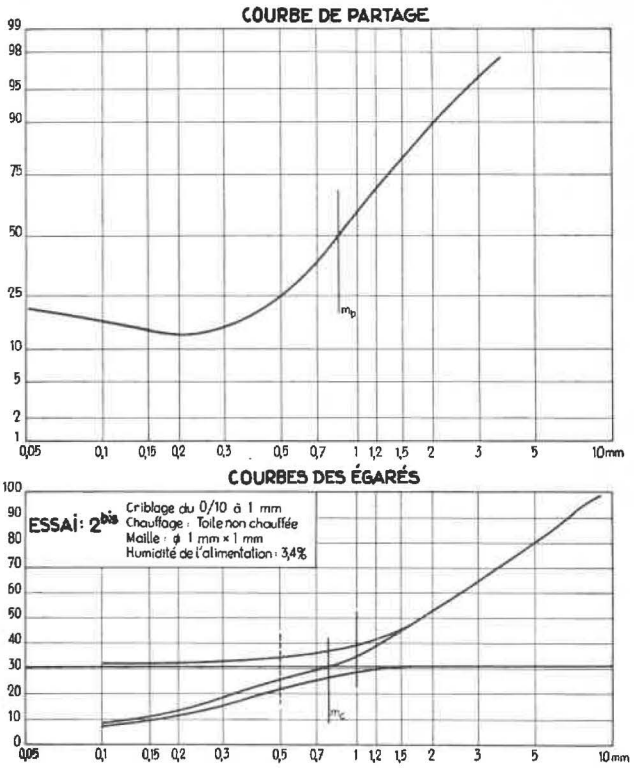
Essai 1.



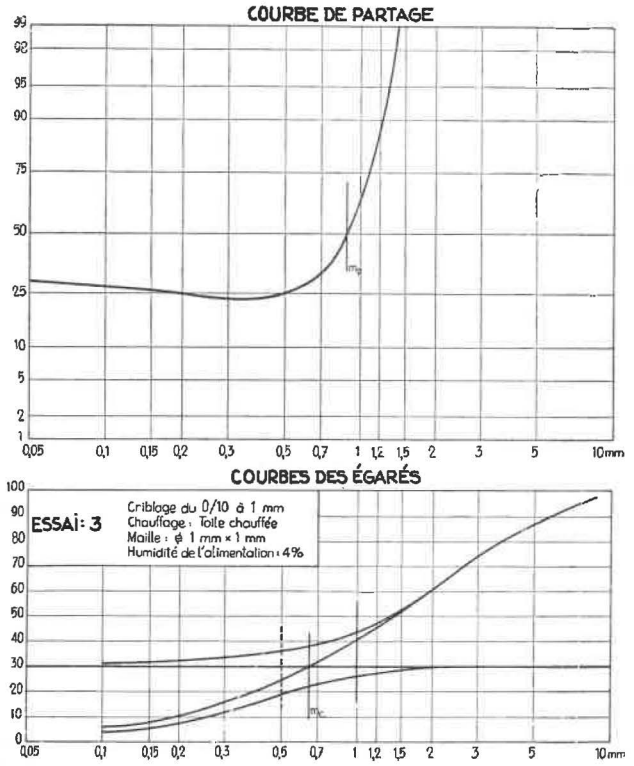
Essai 1bis.



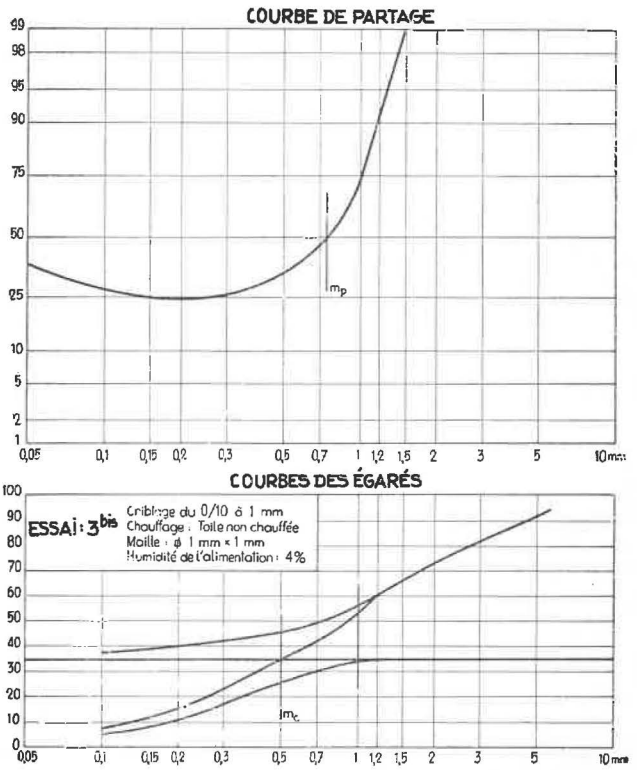
Essai 2.



Essai 2bis.



Essai 3.



Essai 3bis.

pratiquement pas. Il y a à cela une explication : le débit sur le crible, pendant toute la durée de l'échantillonnage, a été nettement inférieur au débit normal. Dans ce cas, la surface des parties non colmatées de la toile était encore suffisante pour assurer un rendement correct.

En négligeant ce dernier chiffre faussé par une cause fortuite dans l'exploitation du lavoir, on peut dire que le chauffage de la toile :

— relève la dimension de la maille de partage ;
— relève également la maille de coupure équivalente;
— diminue le pourcentage d'égarés à la maille de coupure;
— relève la valeur du rendement du criblage à la maille de coupure aussi bien qu'à la maille du tamis.

V. — RESULTATS D'EXPLOITATION

La diminution du pourcentage de déclassés au criblage à 10 mm a comme avantage immédiat une diminution corrélative des fins 0/1 qui seraient envoyés dans les auges de lavage des 10/90 et s'y transformeraient en schlamms. Le chauffage des tamis A permet donc de diminuer la pollution de la liqueur dense du lavoir des 10/90 avec les inconvénients qui en découlent : viscosité du bain, imprécision dans le partage densimétrique, séparation coûteuse des schlamms et de la magnétite.

En supposant même ces schlamms récupérés, leur valeur marchande est inférieure à celle du poussier sec.

Au tamis B, on a également comme avantage majeur à espérer d'un bon criblage à 1 mm : moins de déclassés fins dans le 1/10, d'où moins de risques de formation de schlamms.

L'élimination des schlamms indésirables a été le but poursuivi en Campine lors de l'élaboration du projet de criblage sur toiles chauffées. C'est le but qui a été effectivement atteint.

A titre de conclusion, établissons la plus-value du charbon brut à retirer d'une installation de tamis chauffés.

Soit un charbon brut 0/10 à 4 % d'eau environ.

Suivant les courbes 3 et 3 bis, le refus contient 6 % de déclassés 0/0,5 lorsque la toile est chauffée et 10 % environ si elle ne l'est pas.

Quant aux essais 2 et 2 bis (charbon 0/10 à 3,4 % d'eau), ces chiffres seront respectivement 1,5 % et 4 %.

Si les refus étaient lavés à l'eau (cyclones à liqueur dense ou bacs à piston), ces déclassés 0/0,5 se transformeraient en schlamms et, récupérés, se vendraient, supposons-le, comme tels. Comme passés des toiles, ils seraient vendus comme poussier brut.

La plus-value annuelle est calculée au tableau III pour 15 h de travail par jour, à raison de 288 jours ouvrables par an et pour un débit horaire de 100 t à l'alimentation.

TABLEAU III
PLUS VALUE POUR 100 t/h DE BRUT 0/10

Essai	% déclassés 0/0,5 dans le refus	Gain % de déclassés dû au chauffage	Gain en tonnes pour 1 heure (100 t de brut)	Plus-value par heure	Plus-value annuelle (15 heures par jour, 288 jours ouvrables)
2	1,5 %				
2 bis	4 %	2,5 %	2,5	257,94 F	1.144.290 F
3	6 %				
3 bis	10 %	4 %	4	412,70 F	1.782.864 F

Barème des prix :

schlamms à 20 % d'eau : 338 F/t
poussier brut à 3 % d'eau : 513 F/t

Si une tonne de poussier supposé à 3 % d'eau se transforme en schlamms à 20 % d'eau, ce dernier se vendra à : $388 \times \frac{0,97}{0,80} = 409,825$ F d'où la dévalorisation à la tonne : 513 — 409,825 = 103,175 F.

La plus-value annuelle totale, pour les deux cas envisagés, se chiffrerait par 1.114.290 F pour le charbon à 3,4 % d'eau et 1.782.864 F pour celui qui titre 4 % d'eau.

Ces chiffres sont éloquents et démontrent l'avantage qu'il y a de chauffer les toiles des tamis lorsque l'humidité atteint une certaine valeur.

DISCUSSION.

M. LEDRU. — Avez-vous tenu compte de la consommation d'énergie électrique dans le calcul des profits de l'emploi des tamis ?

M. MASSAUT. — On peut dire qu'en principe les frais de consommation en énergie électrique nécessaire au chauffage des toiles auraient de toute façon été occasionnés d'une autre manière si on avait voulu récupérer les schlamms. C'est pourquoi je n'ai envisagé ici que la plus-value du produit lui-même sans faire intervenir les frais d'exploitation.

M. POZZETTO. — Je ne suis pas persuadé que la dépense d'énergie ne soit pas supérieure dans le cas des tamis chauffés.

M. MASSAUT. — Ce n'est pas sûr, c'est pour cela que je ne l'ai pas fait intervenir. Je ne savais pas évaluer le chiffre exact à introduire dans les calculs.

M. BECKERS. — Le charbon 0-10 est criblé à 1 mm après séchage à 3-4 % d'humidité. Serait-il possible de dépoussiérer pneumatiquement le charbon 0-10 et pourquoi avez-vous choisi le criblage et pas le dépoussiérage pneumatique ?

M. MASSAUT. — Le criblage a été choisi parce que le charbonnage sépare ainsi le 0-1 qui est envoyé directement à la centrale. Le criblage subséquent en 1-2, 2 8 et 8-10 mm classe le brut en trois catégories envoyées dans des bacs de lavage à eau. Le dépoussiérage n'a lieu que pour le 1-8 mm.

M. BECKERS. — Vous n'avez pas compris ma question. Il serait possible de dépoussiérer pneumatiquement le charbon 0 8 mm au lieu de cribler à 1 mm. Pourquoi avoir choisi le criblage et non le dépoussiérage pneumatique ?

M. MASSAUT. — Après avoir étudié le problème, le charbonnage a résolu de cribler à 1 mm. A mon avis d'ailleurs, le rendement d'un dépoussiéreur pneumatique est moins bon que celui d'un crible, la coupure est beaucoup moins nette.

M. LUSCHER. — Vous avez parlé de 4 % d'eau dans le 0-10. Je pense que, avec ce pourcentage, un crible ordinaire nerveux pourrait encore donner des résultats convenables. A 10 mm, 4 % n'est pas une teneur exagérée.

M. MASSAUT. — La différence n'était d'ailleurs pas énorme. On constate une différence dans les résultats pour 4 % d'eau dans l'alimentation 0-90 mm.

M. LUSCHER. — Nous criblons couramment ces produits à 5-6 % d'humidité.

M. MASSAUT. — En tout cas, les essais faits à ce charbonnage donnaient une diminution de rendement.

M. LUSCHER. — Vous n'avez pas précisé le type de crible, sa fréquence de vibrations, sa course et sa pente.

M. MASSAUT. — Pour le criblage à 10 mm, les vibrants sont du type à balourds, à course libre, 1 600 tours par minute, course 3 mm et pente de 26° environ. Quant au criblage à 1 mm, ici également il s'agit de vibrants à balourds, à course libre, 950 tours par minute, course 8 mm et pente 26° environ.

M. POZZETTO. — Il semble que l'on se soit un petit peu trop hypnotisé sur les difficultés que peuvent amener dans les circuits de liqueur dense des déclassés qui résulteraient d'un criblage à 10 mm sur un crible non chauffé. Un petit pourcentage de déclassés, pourvu qu'ils ne soient pas extra-fins, n'est pas gênant dans les circuits de liquide dense. Avec une humidité de 4 à 5 % dans le charbon, le criblage à 10 mm se fait assez bien et ce ne sont en général pas des extra-fins qui restent dans l'oversize.

M. MASSAUT. — Lors des essais, j'ai eu 4 % d'humidité, je ne sais pas si habituellement le pourcentage d'eau reste constant.

M. POZZETTO. — Pour pouvoir comparer aux vôtres les cribles que nous avons en France, voudriez-vous me redire le débit spécifique de vos cribles à 1 mm, c'est-à dire le tonnage qu'on peut passer par m^2 et par heure ?

M. MASSAUT. — A 1 mm, j'ai comme surface criblante 9 m^2 par crible, 36 m^2 au total pour un débit à l'alimentation de 150 t/h, ce qui donne à peu près 37 t/h par crible de 9 m^2, soit environ 4 t/h par m^2.

M. VEILLET. — Il serait intéressant de connaître des résultats de fonctionnement, si vous en avez, pour des humidités beaucoup plus fortes.

M. MASSAUT. — Je ne possède pas ces chiffres, j'ai dû faire les essais pendant une période déterminée et avec le charbon qui se présentait à ce moment-là.

M. VEILLET. — Vous avez dit au début que l'ou pourrait cribler à sec sans chauffer jusqu'à 6 % d'eau, pourtant l'humidité au cours de l'essai se trouve en dessous de cette limite.

M. MASSAUT. — Oui, l'essai a été fait à 3,4 et 4 % d'eau. Le rendement est encore bon, mais il baisse assez nettement.

M. MEILLEUR. — Il me paraît qu'il y a dans l'exposé de M. Massaut une contradiction avec ce qu'a dit tout à l'heure M. Burton. Ce dernier a fixé à 4 % la limite supérieure de la teneur en humidité superficielle des charbons qui peuvent être traités sur cribles ordinaires. Or, M. Massaut nous parle d'un crible chauffé qui traite, si j'ai bien compris, un produit à 4 % d'humidité totale, ce qui reste dans les possibilités des cribles ordinaires.

M. MASSAUT. — Les humidités que j'ai considérées sont des humidités superficielles détermi-

nées en laboratoire par chauffage à l'air en dessous de 100° C.

M. WILLEM. — Les 4 ou 5 % d'eau que l'on trouve dans le charbon venant du fond ne sont pas nécessairement des pourcentages fort réguliers au cours d'une journée. A certains moments, on peut trouver 6,7 ou 8 % d'eau et alors le rendement des cribles à mailles de 10 mm est nettement plus bas. Dans certains cas, avec 7-8 % d'eau, vous pouvez voir flotter du 0 10 au travers des cellules de lavage à liquide dense traitant les classés. Le crible chauffant à 10 mm est une solution bienfaisante qui permet aux installations de surface de suivre les variations du fond là où l'humidité ne peut se situer avec garantie au dessous de 6 %.

M. POZZETTO. — Il paraît, dans ce cas, assez coûteux de se protéger contre ces difficultés par un chauffage à raison de 2,5 ou même 3 à 3,5 kW/m². Or M. Massaut a bien fait ressortir par son bilan que finalement la chose intéressante est le résultat financier.

M. DENOEL. — On reproche habituellement aux cribles chauffants par résistance une variation rapide de la résistance en fonction de l'usure. Est-ce que ce facteur vous a obligé à des remplacements plus fréquents de toiles que sur un crible normal ?

M. MASSAUT. — On est obligé de régler la tension pour conserver un chauffage constant. Il est difficile de dire si c'est dû à une variation de la teneur en humidité des produits ou à une usure de la toile. Le chauffage de la toile est réglé pour la garder sèche sous la couche de produits.

M. HANOT. — Si j'ai bien compris, l'installation en question pour le 0-10 mm suit un séchage calorifique. On se demande s'il est économique d'avoir un séchage calorifique, puis un crible chauffé. Peut être ici, le séchage calorifique était-il insuffisant et alors installer des cribles chauffés était un moyen de fortune. Dans une installation nouvelle viendrait-il à l'idée de placer un séchage thermique qui peut parfaitement aller beaucoup plus loin dans la siccité et puis un crible chauffant ?

M. MASSAUT. — Le charbonnage a installé cela surtout pour se réserver des possibilités d'adaptations futures. On avait envisagé de ne pas chauffer les cribles, mais de pousser le séchage plus haut, jusque 2 % d'humidité. Il ne faut pas oublier que le charbon est épuré en partie sur tables pneumatiques, donc il doit être suffisamment sec. Seulement, ce séchage jusqu'à 2 % d'eau aurait mis en suspension beaucoup trop de fines poussières.

M. HANOT. — La question est de savoir s'il est plus économique de sécher jusque 2 % plutôt que de mettre après coup un crible chauffant. Un sécheur peut aller jusque 2 % sans grand inconvénient.

M. MASSAUT. — Il est facile d'y arriver; le gros inconvénient aurait été la mise en suspension dans toute l'atmosphère du lavoir de beaucoup trop de poussières. C'est ce qui a fait limiter par le charbonnage le séchage à 3-4 %. De plus, les buées qui s'échappaient du charbon à la sortie des sécheurs provoqueraient des condensations sur les fils de la toile et des colmatages des cribles. Ce sont ces trois raisons : éviter les poussières, éviter la condensation des buées sur les fils et se réserver des possibilités d'avenir qui ont déterminé le charbonnage à combiner le criblage sur toiles chauffées avec le séchage du produit.

M. HANOT. — Je ne suis pas convaincu, car il y a d'autres moyens d'empêcher que les poussières se répandent dans l'atmosphère du lavoir. D'ailleurs, quel que soit le mode de séchage, le charbon fin très sec sera toujours poussiéreux, pour éviter la pollution des locaux, c'est sur la manutention qu'il faut travailler.

Une autre raison m'a été suggérée par un participant à ces journées qui aurait envisagé l'installation de cribles chauffants après un sécheur calorifique, dans le but d'éviter la condensation des buées qui accompagnent le produit à sa sortie du sécheur et ont tendance, au contact de l'air froid, à recréer une certaine humidification nuisible à la préparation sur tables à sec.

Cette solution ne paraît pas non plus très judicieuse car il existe des moyens moins onéreux de se débarrasser des buées à la sortie des sécheurs.

Le traitement des schlamms et des eaux résiduaires

par G. BURTON,
Ingénieur à INICHAR.

INTRODUCTION

Le débit en eau des lavoirs à charbon est très important. Il varie suivant le type de lavoir, mais on arrive normalement à des débits globaux de circulation de 1 000 à 2 000 m³/h dans les lavoirs moyens, valeur qui peut monter à 5 000 et même 6 000 m³/h dans certaines installations importantes.

Cette eau, au cours de son passage dans le lavoir, se charge de fines particules provenant

1) d'un défaut de dépoussiérage avant le traitement des produits par voie humide. Ce manque d'efficacité du dépoussiérage est actuellement accentué par l'accroissement du pourcentage de produits fins dans le charbon tout-venant et de la teneur en humidité de ces produits.
2) du bris des produits au cours du traitement. Cette production de produits très fins est spécialement importante dans certains traitements particuliers tels que le concassage des mixtes et l'essorage des fines, mais est toutefois plus ou moins sensible à tous les stades de la préparation : criblage, lavage, manutention.

L'introduction continue de produits fins dans l'eau de circulation entraîne deux problèmes : celui du contrôle de la teneur en solides de cette eau et celui du traitement et de la valorisation des eaux schlammeuses obtenues et de la clarification des eaux résiduaires en vue de leur élimination ou de leur recyclage dans le lavoir.

Le contrôle des eaux de circulation a pour but de maintenir à une valeur admissible la teneur en solides des eaux du circuit général du lavoir.

Lorsque ces eaux deviennent trop chargées, on constate une baisse d'efficacité des appareils de lavage et une fuite importante de schlamms valorisables avec les schistes envoyés au terril.

Ces installations de contrôle fournissent une eau schlammeuse plus ou moins riche en solides de granulométrie plus ou moins fine et à teneur en cendres très variable.

Ces produits dont la valeur marchande est loin d'être négligeable peuvent soit être simplement décantés et égouttés pour les amener sous une forme manutentionnable, soit subir une épuration qui en accroît la valeur ou en facilite l'écoulement sur le marché. Ces différentes opérations laissent une eau plus ou moins chargée en schlamm, schiste et argile qu'il faut clarifier avant son rejet à l'extérieur ou son recyclage dans le lavoir en cas de fonctionnement en circuit fermé.

A) CONTROLE DES EAUX DE CIRCULATION

I) Généralités. — Difficultés actuelles.

Le lavoir introduit dans les eaux de circulation un certain tonnage horaire de produits fins. Il est évident que, pour maintenir la teneur en solides de ces eaux à une valeur de régime, il faut éliminer exactement ce tonnage.

Dans la plupart des lavoirs (71 sur 81), cette opération est confiée à des spitzkasten qui traitent la totalité du débit du lavoir et dont la capacité varie généralement de 5 à 10 m³/heure par m² de surface.

Les autres lavoirs utilisent, soit des épaississeurs Dorr, soit des épaississeurs coniques, soit de petits bassins de décantation avec reprise par chaîne à godets.

Le circuit de contrôle des eaux le plus courant est le suivant (fig. 1).

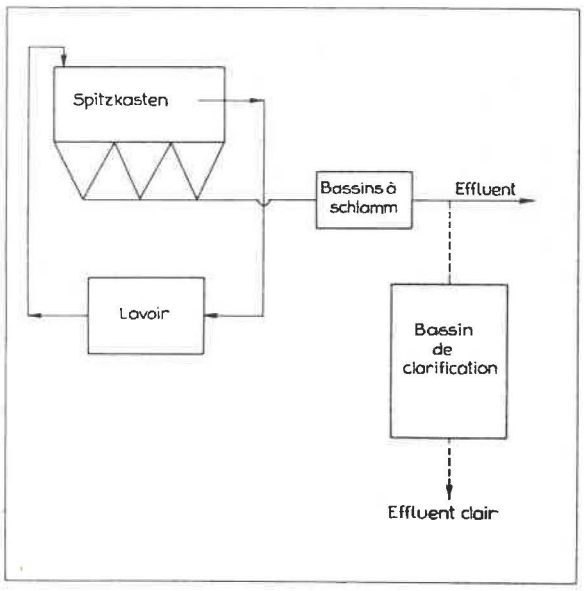


Fig. 1.

Les eaux, à la sortie du lavoir, sont envoyées vers les spitzkasten dont l'effluent alimente la pompe générale de circulation.

Les eaux schlammeuses soutirées aux pointes alimentent une série de bassins à schlamm de dimensions généralement réduites, suivis ou non de bassins de clarification plus importants.

Nous avons évité à dessein d'employer le terme de clarification des eaux car on peut difficilement qualifier de clarification une opération qui consiste à éliminer de ces eaux de circulation une dizaine de pourcents des solides qu'elles tiennent en suspension.

Les difficultés actuelles du dépoussiérage ont pour conséquence une pollution plus importante des eaux au cours de leur passage dans le lavoir et, dans de nombreuses installations, on éprouve de plus en plus de peine à maintenir la teneur en solides à une valeur compatible avec les nécessités du lavage.

Pour résoudre ces difficultés, deux remèdes sont applicables :

1) augmenter le débit des purges soutirées aux pointes des spitzkasten.
2) effectuer une ponction sur le circuit d'eau, ponction qui doit normalement être traitée dans un système de clarification auxiliaire et recyclée dans le circuit général.

II) Effets d'une augmentation de soutirage aux spitzkasten ou d'une ponction sur le circuit.

Un exemple numérique simple permettra d'estimer les améliorations à escompter de ces remèdes.

Soit un lavoir moyen traitant 300 t/h de tout-venant et dont le débit d'eau s'élève à 2 500 m³/h. On peut estimer que ce lavoir déverse dans ses eaux de circulation 20 t/h de solides fins, de répartition granulométrique suivante :

> 0,5 mm	10 %
0,2 — 0,5 mm	30 %
0,1 — 0,2 mm	20 %
50 µ — 0,1 mm	10 %
20 µ — 50 µ	10 %
10 µ — 20 µ	10 %
< 10 µ	10 %
	100 %

Pour maintenir la teneur en solides des eaux en état de régime, il faut donc que les 20 t/h de solides soient soutirées aux spitzkasten.

Admettons, dans un premier cas, que le débit d'eau schlammeuse extraite aux pointes des spitz soit limité à 60 m³/h. Ces 60 m³/h contiennent 20 t/h de solides et leur teneur s'élève donc à 330 g/litre. Dans ce cas, la coupure effectuée dans les spitz peut être représentée par la courbe de partage I de la figure 2.

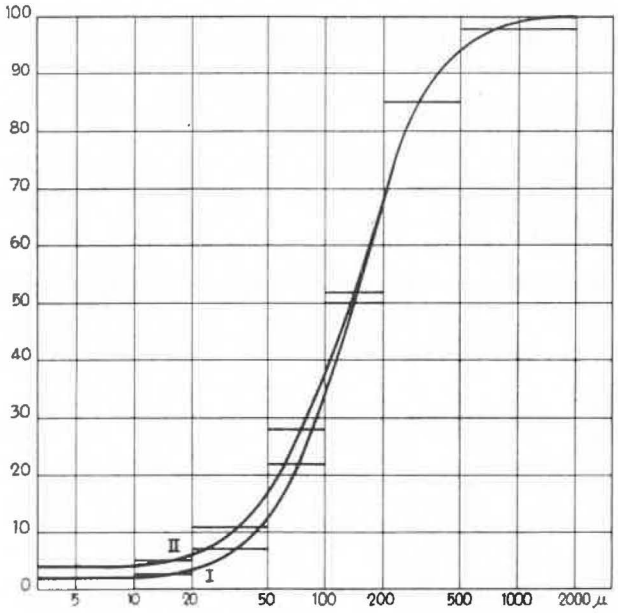


Fig. 2.

A partir de ces données, il est facile de calculer la teneur de régime des eaux de circulation.

Considérons, par exemple, la fraction granulométrique comprise entre 20 et 50 microns. Cette fraction représente 10 % du total des solides et 2 t/h en sont donc introduites dans les eaux de lavoir, soit, pour un débit de 2 500 m³/h, 0,8 kg/m³ ou 0,8 g/litre. Ces 0,8 g/litre de solides 20-50 microns doivent être extraits du spitzkasten.

La courbe de partage indique que, dans le cas I et pour cette granulométrie, la valeur de partage est de 7 %, c'est-à-dire que 7 % des solides 20-50 microns entrant dans les spitz sont soutirés par les pointes. Pour que la purge élimine 0,8 g/litre de ces solides, il faut donc que ces 0,8 g/litre représentent 7 % de la teneur à l'alimentation qui s'élève donc à (0,8 × 100) : 7 = 11,43 g/litre.

En appliquant le même raisonnement aux différentes fractions granulométriques, on obtient les résultats suivants :

Granulométrie	*Solides introduits*		*Valeur de partage*	*Teneur des eaux avant les spitz*
	t/h	*g/litre*		
0,5 mm	2	0,8	98	0,816
0,2 — 0,5 mm	6	2,4	85	2,824
0,1 — 0,2 mm	4	1,6	50	3,200
50 µ — 0,1 mm	2	0,8	22	3,636
10 µ — 20 µ	2	0,8	7	11,428
20 µ — 50 µ	2	0,8	2,5	32,000
10 µ	2	0,8	2,0	40,000
Total	20	8,0		93,904

La teneur des eaux de circulation se stabilisera donc à 94 g/litre à l'entrée des spitzkasten, soit 86 g/litre après passage dans les spitz et à l'entrée du lavoir.

Si l'on augmente le soutirage aux pointes des spitz, en le faisant passer de 60 m³/h à 100 m³/h (ces 100 m³/h contenant toujours 20 t/h de solides, n'auront plus qu'une teneur de 200 g/litre), on obtient la courbe de partage II de la figure 2. En appliquant à ce second cas le même procédé de calcul qu'au précédent, on obtient les résultats suivants.

Granulométrie	*Solides introduits et extraits aux pointes des spitz*		*Valeur de partage*	*Teneur des eaux avant les spitz*
	t/h	*g/litre*		
0,1 — 0,2 mm	2	0,8	98	0,816
0,2 — 0,5 mm	6	2,4	85	2,824
0,5 mm	4	1,6	52	3,076
50 µ — 0,1 mm	2	0,8	28	2,856
10 µ — 20 µ	2	0,8	11	7,272
20 µ — 50 µ	2	0,8	5	16,000
10 µ	2	0,8	4	20,000
Total	20	8,0		52,844

La teneur des eaux à l'entrée des spitz se stabilise dans ce cas à 53 g/litre et les eaux alimentant le lavoir ne contiennent plus que 45 g/litre contre 86 g/litre dans le cas précédent.

Un calcul analogue montre que l'on peut arriver au même résultat en maintenant le soutirage aux pointes des spitz à 60 m³/h (dont la teneur en solides ne sera d'ailleurs plus que de 280 g/litre) et en effectuant sur le circuit des eaux une ponction de 70 m³/h à 45 g/litre.

Malheureusement, ces deux remèdes entraînent de nouvelles sujétions :

— l'augmentation du débit de soutirage aux spitzkasten et la plus forte dilution de ce soutirage compliquent les problèmes de décantation dans les bassins à schlamm et augmentent les risques de rejet d'eau polluée. Dans le cas de traitement des schlamms par flottation ou filtration, on est amené à prévoir un épaississement préalable.

— une ponction continue sur le circuit d'eau de lavage rend nécessaire l'adoption d'un circuit de clarification auxiliaire. Les solides contenus dans cette ponction sont très fins, contiennent souvent plus de 90 % de grains inférieurs à 50 microns. A cause de cette extrême finesse, les schlamms épaissis obtenus se prêtent mal aux procédés classiques d'égouttage et de valorisation. Leur traitement pose des problèmes très difficiles.

III) Procédés divers de clarification.

1. *Floculation dans des épaississeurs de grande surface.*

Si l'on excepte les bassins de très grande superficie, le seul procédé permettant d'obtenir une clarification complète de l'eau est la décantation dans des épaississeurs de grand diamètre avec emploi de floculants. Ce traitement est assez onéreux et les frais d'établissement de l'installation sont élevés. Il serait pratiquement impossible et d'ailleurs inutile d'appliquer un tel procédé à la totalité des eaux d'un lavoir. Il doit être réservé à des cas particuliers où les débits en jeu sont relativement faibles, comme par exemple la clarification d'une ponction sur les eaux de lavoir ou d'un effluent d'un épaississeur placé en tête d'une installation de flottation ou de filtration.

Il a l'avantage de donner simultanément un effluent pratiquement clair et une purge à teneur élevée en solides, et cela, même dans des cas difficiles où les solides à épaissir sont très fins. Il faut cependant, dans ce cas, satisfaire à certaines conditions et un charbonnage, entre autres, a constaté qu'il n'obtenait une clarification et un épaississement convenables d'un produit contenant plus de 90 % de grains inférieurs à 50 microns que si la teneur à l'alimentation n'excédait pas 40 g/litre.

2. *Cyclones.*

Toute une gamme de cyclones se trouvent actuellement à la disposition des exploitants, s'étendant des cyclones à basse pression aux multicyclones à haute pression.

Par suite des efforts tangentiels et des mouvements tourbillonnaires au sein du cyclone, la formation de flocons est impossible et le cyclone ne peut être considéré comme un clarificateur, mais comme un appareil classificateur effectuant une coupure à une maille d'autant plus faible que les efforts centrifuges mis en jeu sont plus importants.

a) *Cyclones à basse pression.*

Les cyclones à basse pression, c'est-à-dire ceux dont la hauteur d'alimentation ne dépasse pas 5 mètres, ont été étudiés par le Cerchar et les résultats de nombreux essais ont été communiqués dans une note de MM. Belugou et Ait Ouyahia à la Conférence Internationale d'Essen en 1954. Il semble que, pour un cyclone ayant une capacité industrielle (supérieure à 50 m^3/h), on ne puisse descendre sous une maille de coupure de l'ordre du 1/10 de millimètre. Les résultats sont fort analogues à ceux obtenus au moyen de spitzkasten et l'appareil peut se révéler utile comme appoint à des spitzkasten surchargés ou comme moyen de contrôle de la teneur en solides d'un circuit particulier du lavoir si les exigences quant à cette teneur en solides ne sont pas trop sévères.

b) *Cyclones à haute pression et multicyclones.*

Les cyclones à haute pression d'un diamètre de 300 à 500 mm et alimentés sous des pressions de 1 à 3 kg/cm^2 effectuent une séparation à une maille de coupure variant de 30 à 50 microns.

Pour les multicyclones formés d'un assemblage de cyclones travaillant en parallèle et dont le diamètre varie généralement de 70 à 100 mm, cette maille de coupure peut descendre sous 20 microns et même atteindre 10 microns.

Ces cyclones ont donc un effet clarificateur nettement plus poussé que les spitz et les cyclones à basse pression. Mais la force motrice nécessaire à mettre en jeu pour leur alimentation est élevée, ce qui prohibe leur utilisation sur la totalité du circuit d'eau d'un lavoir et limite leur emploi au traitement de débits relativement faibles où l'on désire une clarification plus poussée que dans les spitzkasten sans exiger toutefois un effluent absolument clair.

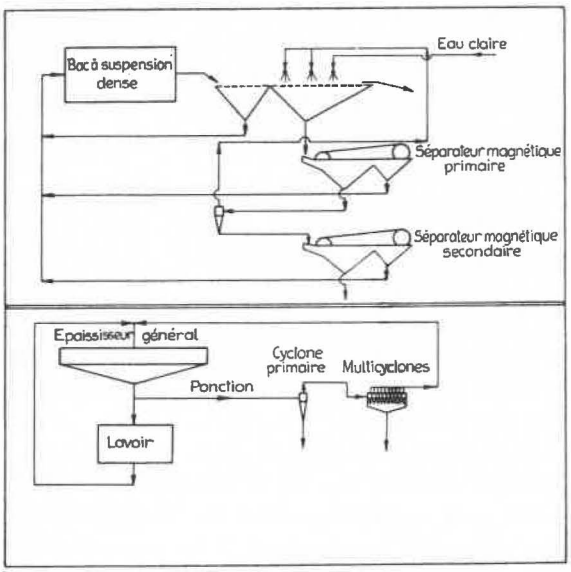


Fig. 3.

La figure 3 donne une application classique du cyclone haute pression dans les lavoirs par liqueur dense. Placé à la suite d'un séparateur magnétique primaire, qui traite la totalité des eaux de rinçage, il fournit, d'une part, de l'eau suffisamment clarifiée qui peut convenir au rinçage primaire et, d'autre part, un produit épaissi traité dans le séparateur magnétique secondaire.

Une pratique assez courante aux Etats-Unis est l'emploi de cyclones suivis de multicyclones pour clarifier une ponction faite sur le circuit d'eau. La clarification obtenue de cette façon n'est pas complète, mais suffisante pour assurer le fonctionnement en circuit fermé du lavoir.

Dans ces deux cas d'application, les cyclones remplacent de façon satisfaisante des épaississeurs beaucoup plus encombrants. Les cyclones haute pression trouvent également des utilisations comme épaississeurs et débourbeurs. Nous donnerons plus loin quelques cas de leur application dans ces domaines.

3. *Centrifugeuses à bol plein.*

Il convient de signaler encore la centrifugeuse à bol plein (Bird-Dynocone). Cette centrifugeuse, comme le cyclone, fonctionne comme appareil classificateur, mais la coupure est faite à une maille inférieure à celle obtenue avec les multicyclones. Cette centrifugeuse n'a pas reçu jusqu'à présent d'applications en Belgique, mais paraît assez répandue aux Etats-Unis. Elle a l'avantage de donner directement un produit épaissi très concentré, à teneur en humidité analogue à celle obtenue par filtration à vide.

B) TRAITEMENT ET VALORISATION DES SCHLAMMS

I) Généralités.

Les installations de contrôle de la teneur en solides des eaux de circulation des lavoirs donnent, comme sous-produits, des eaux schlammeuses, plus ou moins chargées en solides de granulométrie plus ou moins fine.

Sur la base de la composition granulométrique, on peut distinguer deux types principaux de schlamms :

a) Les schlamms grenus, contenant un pourcentage important de grains supérieurs à 0,5 mm et généralement moins de 30 % de grains inférieurs à 50 microns. Ces schlamms proviennent des soutirages faits aux installations principales de contrôle des eaux (spitzkasten).

b) Les schlamms fins, contenant plus de 80 % de grains inférieurs à 50 microns, proviennent de l'épaississement de ponctions effectuées sur le

circuit d'eau, de l'effluent d'épaississeurs placés en tête de certaines installations de flottation et de filtration. Au point de vue de la difficulté de traitement, on peut également ranger dans cette catégorie les eaux schisteuses résiduaires du traitement par flottation.

II) Traitement des schlamms bruts.

1. *Bassins à schlamms.*

Le traitement le plus couramment appliqué aux schlamms grenus est leur simple épandage dans une série de bassins de dimensions réduites. Il est intéressant d'avoir à sa disposition un minimum de trois bassins afin de permettre la rotation : (remplissage, décantation) — (égouttage, drainage) — (vidange).

— L'effluent de ces bassins a encore une teneur assez élevée en solides et son rejet tel quel dans les cours d'eau est à éviter, non seulement pour des raisons de pollution, mais pour la perte d'un produit dont la récupération serait souvent rentable. Ce cas se présente cependant encore dans une vingtaine de lavoirs.

— Plusieurs lavoirs possèdent des bassins à schlamms dont les dimensions sont importantes comparativement aux débits à traiter. Dans ces cas, le temps de séjour dans ces bassins est suffisant pour assurer une décantation à peu près complète et une clarification satisfaisante de l'effluent.

Dans d'autres lavoirs, l'effluent des bassins à schlamm est envoyé dans des dépressions de terrains ou des étangs endigués dont la superficie peut atteindre plusieurs hectares. La décantation y est pratiquement complète et les eaux rejetées à peu près claires.

Ces deux cas groupent également une vingtaine de lavoirs.

— Sept lavoirs qui ne disposent pas d'espace suffisant pour assurer une clarification naturelle de leurs eaux résiduaires ont résolu le problème en incorporant un floculant à leurs eaux schlammeuses en tête de leurs bassins. L'action accélératrice de ces floculants est suffisante pour assurer une clarification suffisante dans un espace réduit.

2. *Filtres à schlamms bruts.*

A la méthode discontinue de décantation et de reprise dans des bassins, on a préféré, dans six installations, un procédé de traitement continu des schlamms bruts par filtration à vide.

Lorsque les schlamms sont suffisamment épaissis au préalable et pas trop argileux, cette opération ne présente aucune difficulté. Certaines difficultés dues à un colmatage partiel de la toile filtrante n'apparaissent que lorsque la teneur en produits inférieurs à 50 microns s'élève au-dessus de 20 à 30 %.

Les filtres utilisés sont des types à tambour ou à disques à auge inférieure. Il semble pourtant que, dans le cas de schlamms bruts, l'alimentation par auge latérale soit plus intéressante. Dans ce sytème, les grains les plus gros se déposent en premier lieu sur la toile et forment surface filtrante pour les particules plus fines. Comme celles-ci n'arrivent pas au contact de la toile, on élimine en grande partie les dangers de colmatage.

Un filtre de ce type, installé en Sarre et traitant un schlamm contenant plus de 30 % de produits inférieurs à 0,1 mm, a une capacité dépassant 600 kg/m^2/heure, capacité à peu près équivalente à celle normalement obtenue avec des schlamms flottés sur filtre-tambour à auge inférieure.

3. *Essorage des schlamms bruts.*

L'essorage des schlamms tant bruts que flottés semble plus séduisant que leur filtration par vide pour deux raisons :

a) La teneur en humidité des produits essorés est inférieure à celle obtenue par filtration.

b) Les frais de fonctionnement sont nettement plus réduits. On peut considérer que les frais totaux de fonctionnement d'une essoreuse (force motrice, graissage, remplacement des grilles, salaires) sont inférieurs à la seule dépense en énergie d'un filtre à vide de même capacité.

Malheureusement, dans l'état actuel de son développement, l'essoreuse est beaucoup plus sensible que le filtre à la nature (granulométrie, concentration) de son alimentation.

En ce qui concerne les schlamms bruts, des essais ont été faits en France et en Sarre au moyen d'essoreuses Escher Wyss des types S 1100 et C 4. Ces essoreuses sont à axe horizontal et évacuent les produits grâce à un mouvement de vibration.

On a constaté que les meilleurs résultats étaient obtenus en plaçant un cyclone avant l'essoreuse, cyclone dont le rôle est d'épaissir autant que possible l'alimentation et d'éliminer une partie des ultra fins.

Une essoreuse alimentée en schlamm brut épaissi de cette façon à 800-900 g/litre a donné un produit essoré à 13-14 % d'humidité, avec un rendement en solides de 98 %. Le filtrat contenait de 40 à 50 g/litre de solides. Il faut cependant noter que 25 % des schlamms, en majorité des produits ultra-fins, étaient éliminés avec l'effluent du cyclone épaississeur.

Une essoreuse identique, dans un autre lavoir, alimentée de la même façon mais en produits très argileux (le produit sortant de la pointe du cyclone contenait encore 12 à 18 % de produit inférieur à 50 microns) a donné un rendement en solides de 96 %, mais la teneur en humidité est res-

tée voisine de 20 %. La concentration à l'alimentation était d'environ 630 g/litre.

A la suite de ces deux séries d'essais, on peut conclure que :

— On ne peut pratiquement pas dépasser une teneur de 15 % en produits inférieurs à 50 microns.
— L'alimentation doit être très concentrée si l'on veut éviter des pertes importantes dans l'effluent et obtenir une capacité intéressante.

III) Epuration des schlamms.

Plusieurs procédés basés sur les différences de densité permettent une épuration partielle des schlamms. On peut citer :

1. *Les tables hydrauliques*

Elles sont très répandues aux Etats-Unis et en Angleterre, mais inconnues en Belgique. Dérivées des tables du type Wilfley utilisées en préparation des minerais, elles ont à peu près le même domaine d'application que les tables pneumatiques.

2. *Les rhéolaveurs à longues pointes*

Il en subsiste quatre installations en Belgique. L'effet épurateur de cet appareil ne se fait sentir qu'au-dessus d'une certaine dimension de grain voisine de 0,1 mm. Le passage, dans une batterie à schlamms, d'un schlamm brut à 25-30 % de cendres donne généralement :

a) du schlamm épuré grenu à 15 % de cendres, égoutté sur grille;
b) un refus grenu à 50-60 % de cendres, repris et égoutté par chaîne à godet;
c) des produits fins, non épurés, dont la grande partie passe avec les eaux d'égouttage et entre dans le circuit du lavoir.

3. *Le cyclonage en eau claire*

Des résultats détaillés d'une installation de ce type au lavoir de Freyming ont été donnés au Congrès d'Essen en 1954.

Tous ces procédés par densité ont un point commun : en dessous d'une certaine dimension de grains, l'effet épurateur devient négligeable. Pour pousser l'épuration jusqu'aux grains les plus fins, il faut recourir à des procédés qui se basent, non sur la densité, mais sur les différences de propriétés superficielles du charbon et des stériles, soit : la flottation et le convertol.

4. *Flottation*

a) *Généralités.*

Il existe actuellement 14 installations de flottation en fonctionnement en Belgique, 2 nouvelles doivent être mises en marche dans le courant de cette année.

La plupart de ces installations sont du type Société Générale des Minerais et sont alimentées en pulpe à concentration assez élevée. Les capacités varient de 10 à 60 t/h (2 × 10 t/h — 5 × 20 t/h — 1 × 30 t/h — 4 × 40 t/h — 1 × 50 t/h et 1 × 60 t/h).

Dix de ces installations avec une capacité totale de 340 t/h traitent des schlamms gras. Les schlamms maigres et 1/2 gras ne totalisent que 4 installations et une capacité totale de 80 t/h.

Tous ces charbons sont faciles à flotter.

Le réactif employé est généralement un mélange de créosote et d'hydrocarbure.

En ce qui concerne la granulométrie des schlamms traités, on peut noter que presque toutes les installations de flottation sont précédées d'un tamis de contrôle qui élimine les grains supérieurs à 0,7 ou 0,8 mm. D'autre part, certains charbonnages éprouvent des difficultés à la flottation et à la filtration consécutive lorsque la teneur de l'alimentation en produits inférieurs à 50 microns s'élève au dessus de 20 %. Ils sont alors obligés de traiter séparément une partie des schlamms les plus fins obtenus par ponction sur le circuit du lavoir ou comme effluent d'un épaississeur placé en tête de la flottation.

b) *Traitement des mousses de flottation.*

1) *Décantation dans des bassins.*

Un seul charbonnage envoie ses mousses de flottation dans des bassins de décantation et d'égouttage d'où ils sont repris par grue et envoyés au séchage thermique.

2) *Filtres à vide.*

Dans toutes les autres installations, les mousses sont traitées par filtres à vide. Dans tous les cas, ces filtres sont du type à disques.

3) *Essorage.*

Un charbonnage essore la totalité de ses concentrés de flottation en mélange avec ses fines lavées et a complètement arrêté son installation de séchage thermique.

A l'actif du procédé, on peut noter :

— une teneur en humidité acceptable pour les fines à coke définitives obtenues, et cela, sans aucun séchage thermique.
— une réduction de 1 % de la teneur en cendres de ces fines entre l'entrée et la sortie de l'essoreuse.

Mais au passif, il convient de signaler une élimination importante de produits fins dans l'effluent de l'essoreuse. Ces produits, assez cendreux, sont renvoyés à l'installation de flottation et comme celle-ci, au charbonnage en question, est très

largement dimensionnée, cette masse circulante assez importante ne cause pas de difficultés.

Outre les essais sur schlamms bruts cités plus haut, certains charbonnages français et sarrois ont fait des essais d'essorage de schlamms flottés sur des essoreuses spéciales :

1) Essorage de schlamms flottés non filtrés sur essoreuse Birtley C 400. Les mousses traitées avaient une concentration de 350 à 450 g/litre et contenaient environ 20 % de produits inférieurs à 0,1 mm. La teneur en humidité des produits essorés a varié de 10 à 18 % et les pertes dans l'effluent de 8 à 20 % suivant le débit, la teneur en produits fins et la concentration de l'alimentation.

2) Essorage de schlamms flottés préalablement épaissis par cyclone sur essoreuse Escher Wys S 1100.

Les schlamms flottés sont préalablement épaissis à 640 g/litre par passage dans un cyclone de 350 mm. Les produits fins éliminés avec l'effluent du cyclone échappent à l'égouttage et sont difficiles à récupérer et à traiter séparément. Dans ces conditions, on obtient un schlamm essoré à 12-15 % d'humidité et la perte dans l'effluent ne dépasse pas 2 %.

3) Essorage sur essoreuse Escher Wys C 4 de schlamms flottés préalablement filtrés sur filtre à vide.

La teneur en humidité des produits essorés varie de 14 à 17 % lorsque la teneur en produits inférieurs à 0,1 mm passe de 20 à 35 %. La perte dans le filtrat est pratiquement négligeable (0,5 à 1 %).

c) *Traitement des eaux schisteuses résiduaires.*

Actuellement, la situation en Belgique du traitement des eaux schisteuses résiduaires de flottation peut se résumer ainsi :

— Dans 8 cas sur 14, les eaux schisteuses sont envoyées telles quelles dans de grandes dépressions de terrain où la décantation se fait naturellement et dont l'effluent est à peu près clair.
— Dans 2 installations, les eaux schisteuses sont tout d'abord épaissies par floculation et les boues épaissies sont envoyées par wagons vers des aires d'épandage. L'effluent des épaississeurs, pratiquement clair, est renvoyé au lavoir.
— 2 installations utilisent un épaississeur suivi d'un filtre à vide du type à disque.

Voici la granulométrie des produits filtrés dans l'une de ces installations :

> 0,5 mm	6,3 %
0,2 — 0,5 mm	8,0 %
0,1 — 0,2 mm	9,4 %
< 0,1 mm	76,3 %

Ces produits donnent, sur un filtre Wedag à toile filtrante en Saran, un gâteau très uniforme d'environ 7 mm d'épaisseur et contenant 30 à 32 % d'humidité.

— Une installation emploie un cyclone épaississeur dont l'effluent est envoyé vers des bassins et le produit de pointe égoutté sur une chaîne vibrante Coppée.

Il faut enfin signaler que :

— Une installation de filtres-presses est actuellement en montage.
— Des filtres à décharge par ficelles sont commandés dans une installation et projetés dans une autre.

5. *Convertol.*

Il semble que le principe du convertol simple (mélangeage suivi d'essorage) soit actuellement abandonné par suite

— de la consommation exagérée en huile
— de l'impossibilité de contrôler la teneur en cendres des épurés
— de l'impossibilité d'éliminer les schistes grenus.

On est passé alors au procédé flottation-convertol avec l'idée d'éliminer par flottation les schistes grenus qui étaient retenus dans le panier de l'essoreuse pour arriver finalement à une flottation à peu près normale avec essorage des mousses obtenues.

Nous avons rapporté plus haut quelques résultats d'essais d'essorage sur des mousses de flottation. On peut constater que les résultats ne sont intéressants que si ces mousses sont préalablement concentrées. Or, on a remarqué que, si l'on utilise comme réactif de flottation 1 à 2 kg/t d'hydrocarbure, on obtient des mousses très sèches qui se prêtent beaucoup mieux à l'essorage que les mousses normales. Malheureusement, on perd de cette façon une grande partie de la sélectivité de la flottation.

CIRCUITS DES EAUX ET DES SCHLAMMS EN CAMPINE

La figure 4 donne les circuits de traitement des eaux et des schlamms dans les différents lavoirs du bassin de Campine. Dans cette figure, les capacités des installations de flottation sont représentées par un certain nombre de carrés, chaque carré équivalant à une capacité nominale de 10 t/h.

Les diamètres des différents épaississeurs Dorr et Pic sont également figurés à l'échelle.

1. Ce lavoir procède au séchage thermique et au dépoussiérage pneumatique de ses fines brutes. Les fines 0,5-4 mm sont épurées pneumatiquement.

Comme il n'y a pas d'épaississeur en tête de l'installation de flottation, le soutirage au spitz est assez concentré et, malgré l'efficacité du dépous-

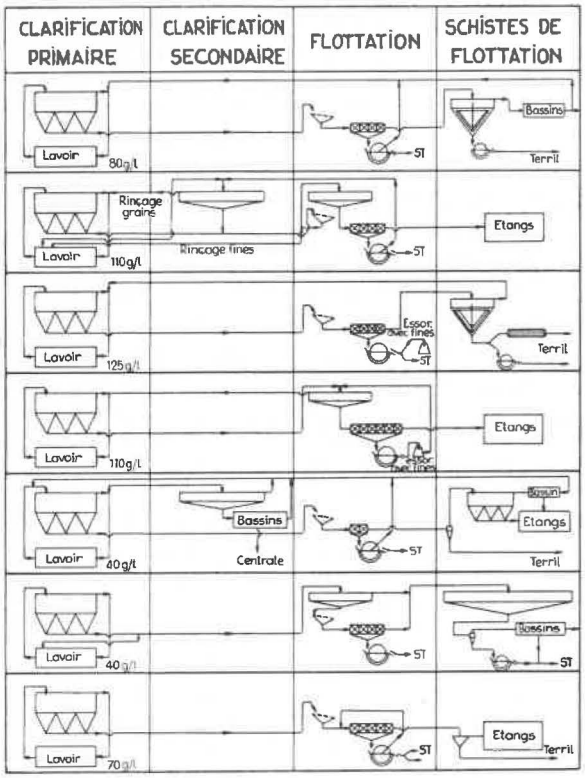


Fig. 4.

siérage, la teneur en solides des eaux de circulation est relativement élevée.

L'installation de flottation a une capacité de 40 t/h. Les mousses sont filtrées et séchées thermiquement. Les eaux schisteuses résiduaires sont clarifiées dans un épaississeur Pic avec un mélange de fécule-soude comme floculant. Les boues épaissies sont filtrées sur un filtre à vide à disques muni de toile en Saran. Le filtrat de ce filtre est renvoyé dans l'épaississeur Pic.

2. Le dépoussiérage des fines brutes se fait, en partie, par séchage thermique et criblage sur tamis chauffés et, en partie, par dépoussiérage pneumatique. Les fines sont épurées sur tables pneumatiques et sur bacs à feldspath.

La teneur élevée en solides des eaux de circulation (110 g/litre) s'explique par le rendement insuffisant du dépoussiérage pneumatique.

Un épaississeur Dorr traite les eaux de rinçage des grains et un autre, placé en tête de la flottation, reçoit les purges des spitz et les eaux d'égouttage des fines lavées.

L'installation de flottation a une capacité de 40 t/h. Les mousses sont filtrées et séchées thermiquement. La chaux ajoutée aux mousses en tête du filtre passe en partie dans le filtrat et agit comme floculant dans le premier épaississeur Dorr. Les eaux schisteuses sont épandues dans un grand étang.

3. Les fines sont dépoussiérées pneumatiquement sans préséchage. Ces fines sont épurées par bacs à feldspath et égouttées sur des essoreuses.

Le rendement insuffisant du dépoussiérage, les schlamms produits par essorage, l'insuffisance de la purge au spitz et l'absence de ponction sur les eaux de circulation expliquent la teneur en solides élevée de ces eaux (125 g/litre).

L'installation de flottation a une capacité de 40 t/h. Après filtration, une partie des mousses est essorée avec les fines lavées, l'autre partie étant séchée thermiquement.

Les eaux schisteuses sont clarifiées dans un épaississeur Pic. Les boues épaissies sont actuellement traitées sur un filtre à vide. Une installation de filtres-presses est en montage.

4. Le dépoussiérage des fines brutes se fait par cribles chauffés sans préséchage.

Un épaississeur Dorr, placé en tête de la flottation, reçoit les purges des spitz et le filtrat des essoreuses à fines et à schlamms flottés. L'effluent de cet épaississeur qui contient 100 g/litre de produits très fins est renvoyé dans le circuit général du lavoir, ce qui explique la teneur élevée en solides (110 g/litre) des eaux de ce circuit.

L'installation de flottation a une capacité de 60 t/h. Les mousses sont filtrées, puis essorées en mélange avec les fines lavées. Une proportion importante des produits fins passe dans l'effluent des essoreuses et retourne à la flottation qui, grâce à sa capacité élevée, accepte facilement ce volant de produits tournant en circuit fermé. Le séchage thermique des schlamms flottés a été complètement abandonné.

Les eaux schisteuses sont envoyées dans un étang de grandes dimensions.

5. Les fines brutes sont dépoussiérées pneumatiquement sans séchage préalable. Les 0-5 mm dépoussiérés sont épurés sur tables pneumatiques.

Malgré le mauvais rendement du dépoussiérage, la teneur en solides des eaux de circulation est maintenue à une valeur faible grâce à une ponction sur l'effluent des spitzkasten. Cette ponction est clarifiée dans un épaississeur Dorr avec adjonction de floculys et de chaux comme floculant. L'effluent de cet épaississeur, pratiquement clair, est renvoyé au lavoir et les boues épaissies sont séchées dans trois grands bassins et constituent une partie de l'alimentation de la centrale électrique.

L'installation de flottation a une capacité de 20 t/h. Les mousses sont filtrées et séchées thermiquement.

Les eaux schisteuses sont tout d'abord traitées par un cyclone dont la purge rejoint directement les schistes du lavoir. L'effluent du cyclone est clarifié, à l'aide de chaux, dans une série de spitzkasten. Les boues argileuses épaissies sont envoyées par wagons dans un étang.

6. Ce lavoir fonctionne complètement par voie humide. Les fines brutes sont déschlammées sur cribles.

Ces eaux de déschlammage et la purge des spitz constituent une ponction importante sur le circuit des eaux, ce qui explique la faible teneur en solides (40 g/litre) de ces eaux.

L'installation de flottation a une capacité de 40 t/h. Les mousses sont filtrées et séchées thermiquement.

Un épaississeur Dorr placé en tête de la flottation donne un effluent contenant des produits très fins et très cendreux (70 g/litre). Cet effluent et les eaux schisteuses résiduaires de la flottation sont clarifiés dans un Dorr de 30 m de diamètre (Floculant : flocgel + chaux) et les boues épaissies sont actuellement envoyées dans des bassins et reprises par grue. L'installation de traitement de ces boues par cyclones, filtres à décharge par ficelles et séchage thermique n'est qu'un projet.

7. Le dépoussiérage des fines brutes se fait partiellement par séchage thermique et dépoussiérage pneumatique et partiellement par déschlammage. L'installation de flottation d'une capacité de 50 t/h permet un soutirage assez important sur le circuit des eaux et la teneur en solides de ces eaux peut ainsi être maintenue à une valeur satisfaisante (70 g/litre).

Les mousses de flottation sont filtrées et partiellement séchées par voie thermique.

Les eaux schisteuses passent par un petit cône de décantation dont le but est d'éliminer les plus gros grains de schistes et surtout de pyrite qui seraient cause d'une usure rapide des pompes. L'effluent de ce cône est pompé vers des étangs.

DISCUSSION.

M. GY. — M. Burton nous a parlé de la situation actuelle dans les charbonnages belges. Pourrait-il nous donner une idée de ce qu'on prévoit à l'avenir au sujet de la flottation dans ces charbonnages ?

M. BURTON. — Il y a actuellement quatorze installations en service. On prévoit la mise en marche de deux installations nouvelles au cours de cette année. Je ne vois pas à brève échéance de développement plus poussé de la flottation. La plus grande partie des schlamms gras sont actuellement flottés et incorporés dans les fines à coke. La flottation des schlamms maigres et demi-gras se développe lentement et, tant que l'écoulement de ces schlamms tels quels est possible, on ne peut prévoir de développement dans ces domaines.

M. EDELINE. — Vous avez parlé tout à l'heure de floculants utilisés pour le traitement des eaux. Quelle est la nature de ces floculants et possédez-vous des points de comparaison entre eux ?

M. BURTON. — A peu près tous les floculants existants ont été employés en Belgique : Flocgel, Floculys, Séparan, etc ...Il est très difficile de donner des points de comparaison; la floculation des produits dépend de la nature des eaux. Le même floculant donne des résultats différents sur deux eaux schlammeuses différentes. Il est très difficile de faire des généralisations dans ce domaine.

M. PIRONET. — M. Burton a parlé tout à l'heure des rhéolaveurs à schlamms. Il signale que les installations de lavage de schlamms par rhéolaveur, en Belgique séparent du schlamm lavé vers 15 % de cendres et des schistes vers 55 à 60 % de cendres.

En effet, les installations de rhéolaveurs à schlamm en Belgique de réalisations anciennes et plus ou moins réglées donnent vraisemblablement du schlamm lavé vers 13 à 15 % de cendres et des schistes vers 60 à 65 % de cendres.

En fait, les résultats cités n'imagent pas les résultats possibles de ces installations.

Le rhéolaveur vaut qualitativement la flottation. Tout comme avec la flottation, les éléments les plus ténus dans les schlamms lavés par rhéos (ou dans les schlamms flottés) sont plus cendreux, moins bien épurés que les grains plus gros. Les tableaux de granulométries avec cendres des produits épurés dans les deux cas sont comparables.

En ce qui concerne les schistes, les éléments les plus ténus sont les plus purs dans les deux procédés et les grains au-dessus de 0,6 ou 0,7 mm comportent un certain pourcentage d'égarés, qui rend souhaitable le préclassement du schlamm brut à traiter à une dimension de cet ordre de grandeur.

Une installation de lavage de schlamms plus moderne, comportant deux couloirs de lavage superposés, et mise en marche récemment en Belgique donne industriellement du schlamm lavé vers 10 à 12 % de cendres avec des schistes qui accusent au moins 72 % de cendres. Il existe une installation similaire en Hollande et l'an dernier, en Espagne — Asturies, une installation identique a été mise en marche et donne des résultats similaires. Dans cette dernière installation, les passés des tamis d'assèchement des schlamms lavés sont dirigés vers la flottation qui existait et les schlamms ténus flottés sont pompés sur la partie d'assèchement des « zimmers » à schlamm lavé où les eaux filtrent. Cette disposition a donné toute satisfaction.

Avec le rhéolaveur, le 0 0,1 mm est amélioré à une teneur en cendres environ égale à la moitié de celle accusée par le schlamm brut, le 0,1-0,2 mm est mieux épuré et le schlamm est bien lavé à partir de 0,2 pratiquement.

Quantitativement, la flottation surpasse le rhéolaveur à schlamm.

Avec les rhéolaveurs, on dispose des schistes de schlamm pratiquement asséchés, avec la flottation, la presque totalité des eaux du flottage accompagnent, à l'extérieur, les schistes de schlamm séparés.

Le lavage des schlamms par rhéolaveurs réclame fréquemment l'envoi au dehors d'un effluent comportant des éléments très ténus et nous préconisons la floculation du tout ou d'une partie du passé des « zimmers » d'assèchement des schlamms lavés, s'il s'avère que cet effluent est nécessaire.

La pratique anglaise en matière de floculation, que nous avons suivie de près en maints lavoirs, veut des petits grains dans le schlamm à floculer et, pour cette raison, by-passe une partie de l'eau de circulation du lavoir vers la floculation plutôt que d'y envoyer un effluent de produit ténu du lavage.

L'utilisation du passé de « zimmer » qui comporte des petits grains de 0,2 et 0,3 mm assure aussi la présence de noyaux pesants autour desquels les flocons de grains ténus s'agrippent avec comme résultat une précipitation et une sédimentation plus rapides de la matière floculée.

Dans de telles conditions opératoires, la floculation ne nécessite pas de « Dorr » de très grandes dimensions comme M. Burton l'a indiqué au cours de son exposé lorsqu'il a fait mention de la floculation des éléments ténus.

M. MEILLEUR. — M. Pironet vient de donner des résultats intéressants sur les rhéolaveurs à schlamm. Il a parlé d'un traitement donnant des lavés à 12 % et des schistes à 72 % cendres. Pourrait il préciser de quel calibre il s'agit ? Et dire quels sont la densité de partage et l'écart probable ?

M. PIRONET. — Nous n'avons pas fait de détermination de densité de partage mais nous avons, comme généralement on le fait dans les lavoirs, de nombreux résultats de détermination de flottant dans les schistes et nous avons de l'ordre de 2 à 3 % de flottant à une densité de 1,4-1,5 suivant les lavoirs examinés. Nous obtenons des résultats qui sont parfois supérieurs aux possibilités de lavage.

Nous évacuons des fins éléments mal épurés en dessous de 0,1 mm, ce qui facilite l'obtention d'un schlamm très propre; par contre, les éléments très fins qui constituent la partie la plus cendreuse des schistes (comme en flottation d'ailleurs) sont retenus. On réalise en fait ainsi une amélioration de lavabilité du schlamm brut effectivement traité. Je ne saurais pas vous citer des densités de partage.

M. MEILLEUR. — Mais le calibre ?

M. PIRONET. — On conseille de traiter des produits en dessous de 0,6-0,7 mm. Dans le refus du lavage, ce sont les éléments les plus fins qui ont la plus forte teneur en cendres.

M. VEILLET. — La comparaison entre flottation et rhéolaveurs à schlamms ne porte que sur l'épuration elle-même. Les problèmes essentiels, égouttage et séchage thermique, sont les mêmes dans les deux cas. D'autre part, M. Burton a souligné le lent développement de la flottation des schlamms maigres. Je désire préciser à ce sujet que, dans le Nord et Pas-de-Calais, la plupart des schlamms maigres seront flottés. Le débouché principal des flottés maigres est l'agglomération.

M. BURTON. — Les charbons maigres et 1/2 gras sont flottés dans 4 ou 5 installations. Les mousses flottées sont séchées thermiquement et vont à l'agglomération. On ne prévoit pas de développement dans ce domaine actuellement en tout cas.

M. MEILLEUR. — Il semble qu'en Belgique la flottation des schlamms maigres ne présente d'autres avantages que d'en faciliter l'écoulement. Si l'on fait la comparaison entre le prix de revient de la flottation et le bénéfice que l'on peut escompter de la fabrication d'agglomérés, on arrive en effet à une opération blanche ou à peu près.

M. LUSCHER. — Vous avez montré tout à l'heure quelques schémas de réalisations. Je voudrais revenir sur le premier sur lequel figurait un filtre à vide alimenté par les purges d'un décanteur chimique. Je n'ai pas vu où est dirigé le filtrat. En outre, je voudrais connaître sa concentration, car c'est par la quantité de matière solide contenue dans le filtrat qu'il est possible de tirer une conclusion sur l'efficacité de la filtration.

M. BURTON. — Le filtrat du filtre à vide est peu chargé. Ce filtrat contient 4 à 5 g/litre de solide. Dans cette installation, le filtrat est renvoyé dans l'épaississeur en tête du filtre.

M. LUSCHER. — A mon avis, la seule solution complète pour le traitement des eaux schlammeuses est pour le moment le filtre-presse, car les gâteaux ne contiennent que 20 à 25 % d'eau et le filtrat est pratiquement clair. En France, nous ne pouvons rejeter des eaux contenant plus de 1 g/litre.

M. BURTON. — Je ne vois pas la nécessité de rejeter ces eaux à l'extérieur. Des eaux contenant moins de 1 g/litre peuvent très bien être recyclées dans le circuit général du lavoir. Un lavoir peut très bien marcher en circuit fermé, sans effluent vers l'extérieur.

Aspects pratiques des recherches du Cerchar sur le traitement des schlamms par flottation

par P. BELUGOU,

Ingénieur en Chef au CERCHAR.

A. — INTRODUCTION

Je dois avouer que j'ai été bien embarrassé en préparant cette conférence car j'aurais aimé vous présenter des résultats définitifs, et je me suis aperçu qu'en l'état actuel de nos recherches je ne peux guère vous donner que des résultats provisoires, vous indiquer des tendances, vous faire part de nos espoirs.

Nous n'avons au Cerchar abordé l'étude de la flottation qu'il y a relativement peu de temps, deux ans environ ; il n'était en effet pas évident qu'il restât de grands progrès à faire en flottation.

Si on installe un circuit de cellules généreusement dimensionné, assurant 1/4 d'heure ou plus de temps de séjour, si on prévoit le relavage des mousses primaires dans les cas difficiles, si on met très peu de réactif en l'ajoutant prudemment en plusieurs points du circuit, on est finalement certain d'obtenir un bon résultat.

N'était-il pas utopique de chercher à améliorer ce résultat quand on sait que, depuis cinquante ans, le procédé de la flottation a été étudié par des milliers de personnes et appliqué dans le monde entier à très grande échelle ?

Il convient de faire ici une remarque : c'est surtout la flottation des minerais métalliques qui a été étudiée et développée. Or, entre une pulpe de minerai métallique et une pulpe de schlamms de charbon, il existe une différence fondamentale: dans la première, le minerai a été en principe libéré de sa gangue par le broyage préalable, et les grains sont composés soit de minerai, soit de stérile ; dans le cas du charbon, au contraire, il existe des grains mixtes en grande quantité, et les grains charbonneux eux-mêmes se présentent sous plusieurs formes pétrographiques. Il existe donc des problèmes spéciaux à la flottation du charbon et leur étude n'est pas à priori vouée à l'insuccès, soit qu'on arrive à obtenir mieux que le circuit classique évoqué précédemment, soit qu'on obtienne le même résultat à moins de frais. C'est pourquoi nous avons entrepris l'étude de la flottation du charbon.

Nous l'avons entreprise, d'une part, sur le plan purement scientifique et, d'autre part, sur le plan pratique.

Je ne parlerai pas ici de nos recherches scientifiques, liées à l'étude des états de surface, et me limiterai aux essais ayant une application pratique plus immédiate.

Après avoir donné quelques indications sur la constitution des schlamms, je parlerai de leur courbe de flottabilité et des moyens que l'on peut mettre en œuvre pour l'améliorer ; je terminerai en donnant quelques exemples d'applications industrielles.

B. — CONSTITUTION DES SCHLAMMS INDUSTRIELS

Nous avons eu l'occasion de faire des essais plus ou moins poussés sur une cinquantaine de schlamms de provenances très diverses. Il nous est apparu que les schlamms sont bien différents sous les trois aspects suivants :

— composition granulométrique ;
— composition densimétrique ;
— répartition des teneurs en cendres suivant la granulométrie.

Nous ne parlerons pas de la constitution pétrographique que nous n'avons pas encore eu le temps d'étudier systématiquement.

α) Composition granulométrique.

La figure 1 donne quelques exemples de courbes de granulométrie que nous avons rencontrés industriellement.

La limite supérieure de la granulométrie d'un schlamm dépend évidemment du procédé employé pour faire la séparation dans le lavoir entre la gravimétrie et la flottation. Nous avons rencontré par exemple au Bousquet d'Orb des pulpes à 97 % de passant à 0,3 mm ; par contre à La Mure, l'installation expérimentale dont nous parlerons plus loin n'est protégée que par une grille à barreaux de 2 mm. En France, le plus souvent, on cherche à faire la coupure aux environs de 0,5 à

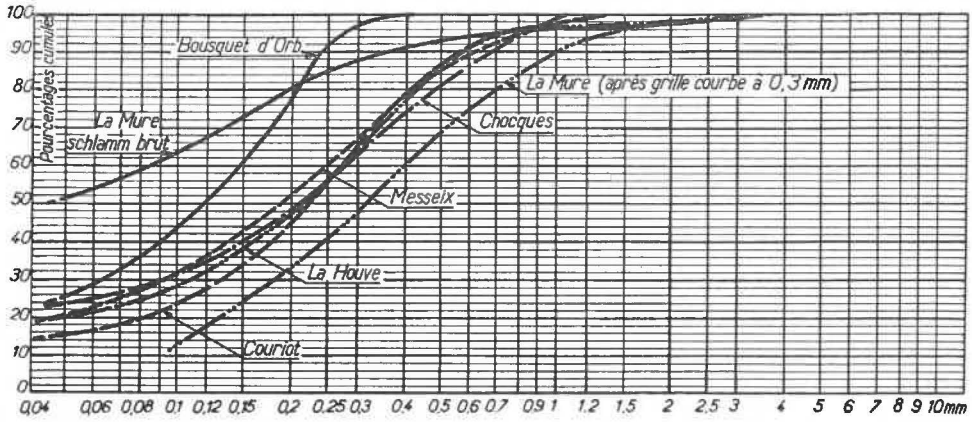


Fig. 1.

0,7 mm, les procédés gravimétriques modernes donnant de bons résultats au dessus de cette maille.

Du côté des faibles granulométries, la proportion des extra-fins est bien moins variable qu'on ne pourrait le supposer à priori.

De la figure 1, on peut extraire les chiffres donnés au tableau I.

TABLEAU I.

Schlamm	$< 0{,}05$	$< 0{,}3$	$\frac{< 0{,}05}{< 0{,}3}$
La Mure	51	88	0,58
Chocques	24	65	0,37
Messeix (brut)	22	68	0,32
La Houve	20	64	0,31
Bousquet d'Orb	26	97	0,27
Couriot	15	65	0,23

Nous avons été surpris de voir — le cas très particulier de La Mure mis à part — combien peu varie le rapport :

$\frac{\%\text{ de } < 50\ \mu}{\%\text{ de } < 300\ \mu}$, le rapport $\frac{\%\text{ de } < 50\ \mu}{\text{alimentation}}$ qui

dépend de la maille supérieure variant naturellement dans de plus grandes limites. Il serait intéressant de faire une étude systématique de toutes les pulpes de flottation afin de vérifier dans quelle mesure cette observation est générale.

b) Composition densimétrique.

Les courbes de lavabilité des schlamms présentent, comme celles des catégories plus grosses, de grandes différences. Rappelons que nous employons, pour déterminer ces courbes, une méthode suffisamment rapide et précise qui consiste essentiellement à sécher n échantillons identiques de 10 grammes, à les introduire dans n fois 500 cm³ de liqueur de n densités échelonnées ($n = 5$ le plus souvent), à agiter les fioles pendant 45 minutes pour assurer une bonne dispersion — c'est là le « secret » de la méthode — et à laisser reposer une nuit ou plus.

La figure 2 donne quelques exemples de courbes de lavabilité en densité que nous avons eu l'occasion d'établir. Nous donnons ces courbes suivant les coordonnées du Docteur Meyer (M Kurve), système tout spécialement avantageux, comme on

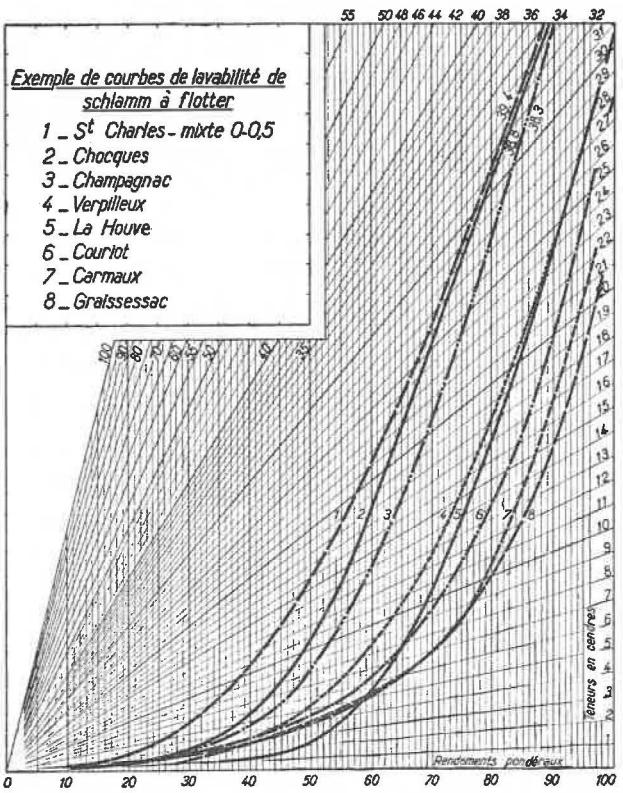


Fig. 2.

le vérifiera plus loin, dans le cas des études de flottation (1).

De tous les schlamms que nous avons examinés, celui qui présente la courbe de lavabilité la moins favorable provient du circuit des mixtes du lavoir Saint-Charles ; même à la maille de la flottation, la plupart des particules sont restées mixteuses : il est évidemment inutile de traiter un tel schlamm. Par contre, la courbe la plus favorable est celle de La Houve : on voit qu'on peut théoriquement extraire de ce schlamm 50 % à 2 % de cendres.

Nous verrons malheureusement plus loin que, du côté des faibles teneurs en cendres, les résultats pratiques s'éloignent beaucoup des résultats théoriques.

c) Répartition des cendres suivant la granulométrie.

On constate que, le plus souvent, la teneur en cendres s'accroît avec la finesse. Mais l'allure de la courbe qui donne la teneur en cendres en fonction de la granulométrie peut avoir des allures bien différentes. Nous allons en donner deux exemples extrêmes (fig. 3).

Les courbes relatives au schlamm du lavoir de Verpilleux montrent combien peut être constante la valeur en cendres de chacune des tranches.

Le schlamm de La Houve, exceptionnellement argileux, correspond à une répartition bien différente. On voit que la fraction $< 0{,}15$ mm a une teneur en cendres de 60 %.

La représentation précédente ne donne que la teneur en cendres globales de chaque tranche, mais dans chacune des tranches la répartition densimétrique est différente : pour faire une représentation complète, il faudrait un diagramme à trois dimensions.

La figure 4 donne deux exemples extrêmes de répartition des cendres.

En A, figurent les courbes de lavabilité des différentes fractions granulométriques d'un schlamm de Pigeot : les courbes sont bien voisines.

Sur la figure B, relative à un schlamm de La Houve, on voit par contre combien les différentes fractions peuvent être dissemblables.

La faible valeur de la teneur en cendres des grenus s'explique par le fait assez fréquent que la séparation entre fines et schlamms a été obtenue, par exemple, par un bassin de reprise qui effectue une séparation par équivalence.

On ne sait malheureusement pas faire industriellement des coupures granulométriques parfaites à faible maille. Si on fait une coupure par équivalence ou une coupure granulométrique imparfaite, le résultat est évidemment moins bon puisque des charbons plus gros passent dans la fraction fine et sale et des schistes plus fins dans la fraction grenue et propre. Ce fait est bien mis en évidence sur la figure 5 qui donne les résultats comparés d'une séparation à 0,2 mm d'un schlamm de Carmaux par tamisage, d'une part, et par élutriation, d'autre part.

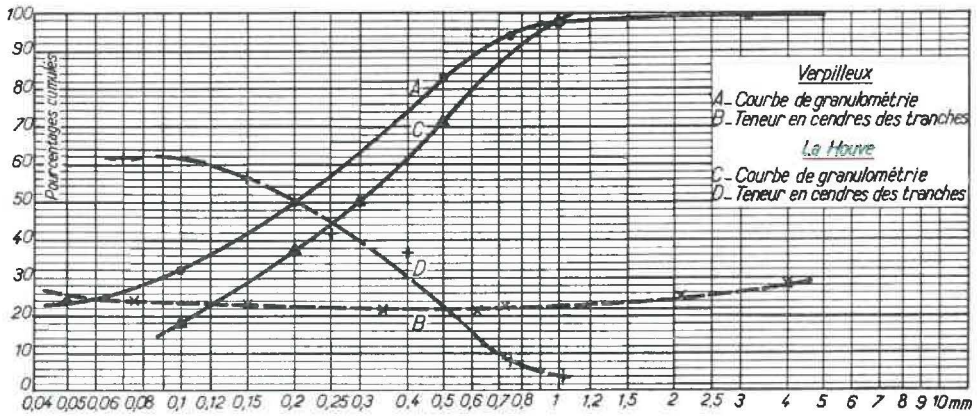


Fig. 3.

Signalons que nous avons eu l'occasion de faire, à La Houve, des coupures granulométriques à l'échelle semi-industrielle, soit à 0,35 mm par cyclone, soit à 0,15 mm par grille courbe hollandaise. Les teneurs en cendres obtenues ont été les suivantes :

Coupure à 0,35 mm :

Par tamisage au laboratoire . .	passant :	54,0 % de cendres
	refus :	18,9 % de cendres
Par cyclone . .	débordement :	29,5 % de cendres
	pointe :	28,5 % de cendres

(1) Voir à ce sujet notre Communication B I 4 au Congrès de la Préparation du Charbon, à Essen, en 1954.

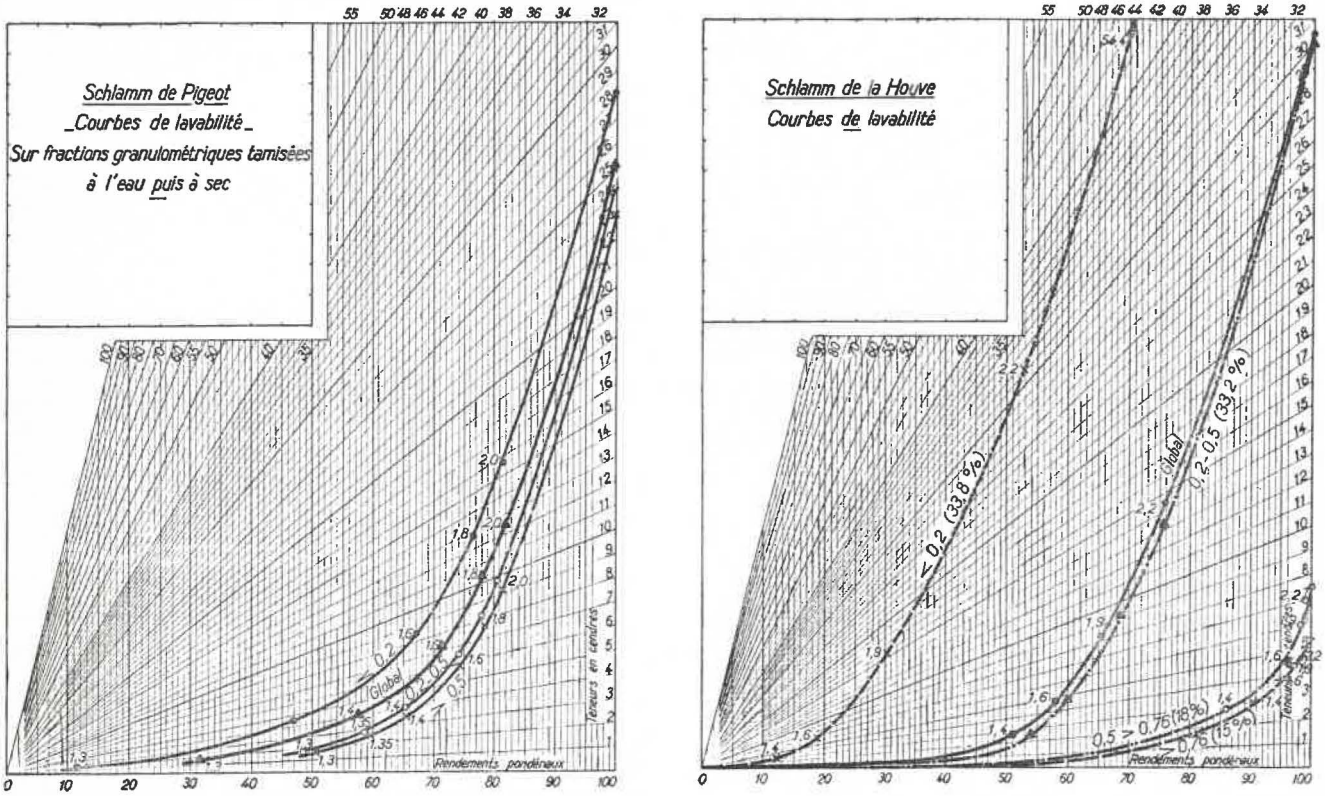


Fig. 4.

Coupure à 0,15 mm :

Par tamisage au laboratoire . .	passant : 59,8 % de cendres refus : 27,9 % de cendres	
Par grille courbe (écartement 0,3 mm)	passant : 46,0 % de cendres refus : 31,0 % de cendres	

Dans un cas comme dans l'autre, la séparation pratique s'est révélée sans intérêt, la fraction fine n'étant pas assez sale pour pouvoir être rejetée.

C. — FLOTTABILITE DES SCHLAMMS

Courbe de flottabilité.

On obtient la courbe de flottabilité pratique des schlamms, soit en discontinu, au laboratoire, en recueillant séparément les mousses par exemple de minute en minute, soit en continu, sur une installation industrielle, en recueillant les mousses des différentes cellules (mais, en ce cas, il est souvent difficile d'évaluer le tonnage de ces mousses).

Il faut faire remarquer que, pour un schlamm donné, il n'existe pas une seule, mais une infinité de courbes de flottabilité, correspondant chacune à un processus opératoire déterminé, dépendant de nombreux paramètres : les principaux sont la concentration de la pulpe, la nature et le débit du

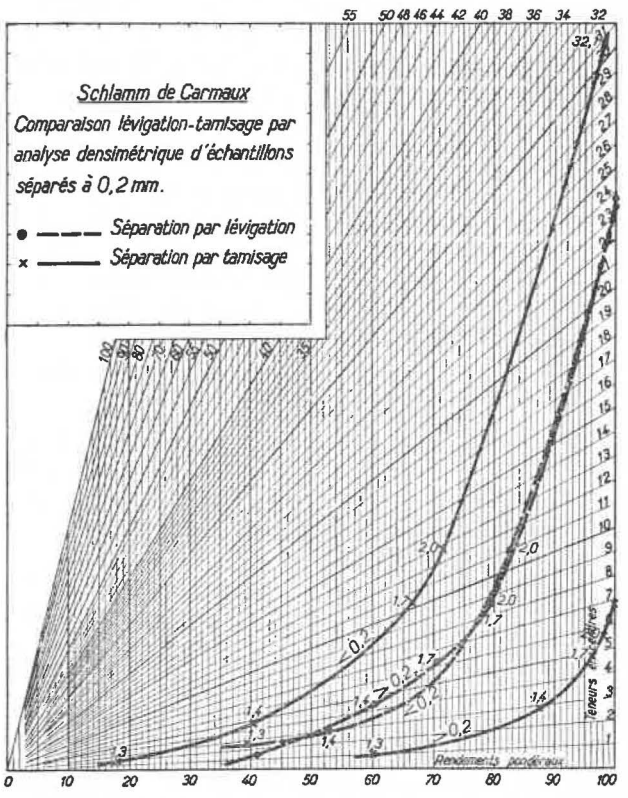


Fig. 5.

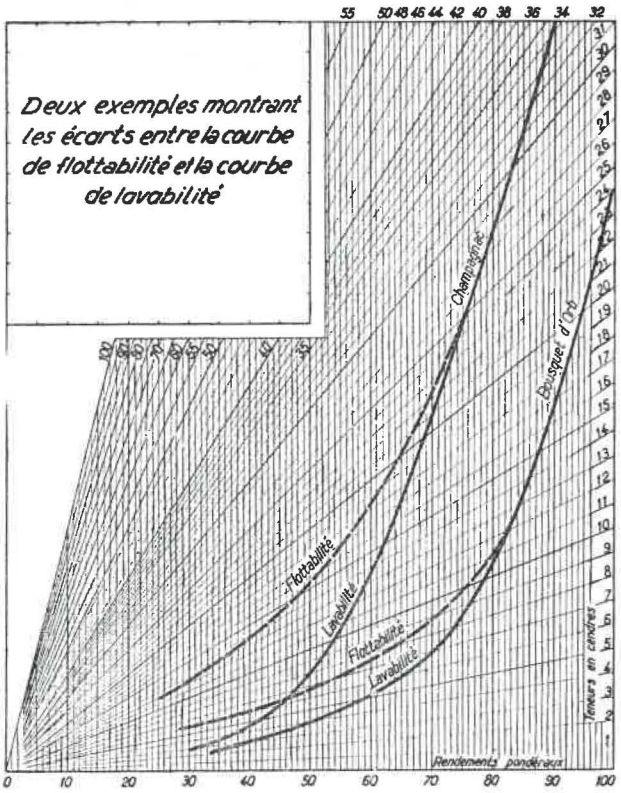


Fig. 6.

réactif ; on peut également relaver les mousses, suivant des schémas bien différents.

A la limite, par un processus de relavages compliqué (méthode que les anglo-saxons appellent « release analysis »), on peut en laboratoire obtenir des résultats voisins de la courbe de lavabilité théorique.

Dans tout ce qui suit, nous ne parlerons que des courbes relatives à un processus classique, simulant ce qu'on peut raisonnablement effectuer industriellement et, sauf avis contraire, sans relavage des mousses.

Dans ces conditions, nous avons constaté des écarts importants entre la courbe de flottabilité et la courbe de lavabilité.

La figure 6 en donne deux exemples bien différents.

Le rendement organique se détermine aisément: on voit qu'il est nul pour des flottés à 10 % de cendres, dans le cas de Champagnac, et à 6 % de cendres, dans le cas du Bousquet d'Orb ; il croît rapidement pour atteindre pratiquement 100 pour des flottés ayant une teneur en cendres de 25 %, à Champagnac, et de 12 %, au Bousquet d'Orb.

L'allure de ces courbes rappelle celles des courbes de Possibilité de lavage ; comparées à nos courbes classiques, tracées pour une imperfection constante, elles indiquent des résultats moins bons pour les faibles teneurs en cendres ; or, de l'ensemble des courbes de partage que nous avons eu l'occasion d'établir se dégage en effet l'impression que les séparations par flottation se font à écart probable constant, et non à imperfection constante. Les séparations à basse densité sont donc désavantagées : elles correspondent à des imperfections qui dépassent 0,5 alors qu'à haute densité l'imperfection peut descendre en dessous de 0,25.

Nous allons maintenant essayer de dégager l'influence sur la courbe de flottabilité de quelques paramètres importants.

Influence de la concentration de la pulpe.

Nos essais nous permettent de formuler une règle générale : moins la pulpe est concentrée, meilleure est la courbe de flottabilité.

Ce fait est bien mis en évidence par les figures 7 A et 7 B relatives à la fraction $< 0{,}3$ mm d'un schlamm de Chocques. La figure 7 A correspond à des consommations en g/t identiques, la figure 7 B à des additions de réactif identiques.

Cette règle est d'autant plus valable que la granulométrie est plus fine. Les fractions supérieures à 0,3 mm, par exemple, s'accommodent de concentrations atteignant 350 g/litre. Les fractions fines au contraire flottent dans les meilleures conditions à des concentrations bien plus basses que celles que l'on a l'habitude de rencontrer industriellement. Au Bousquet d'Orb, dont la pulpe est plus fine que 0,3 mm, les résultats deviennent moins bons au-dessus de 100 g/litre. A Messeix, les cellules alimentées en produits inférieurs à 0,1 mm

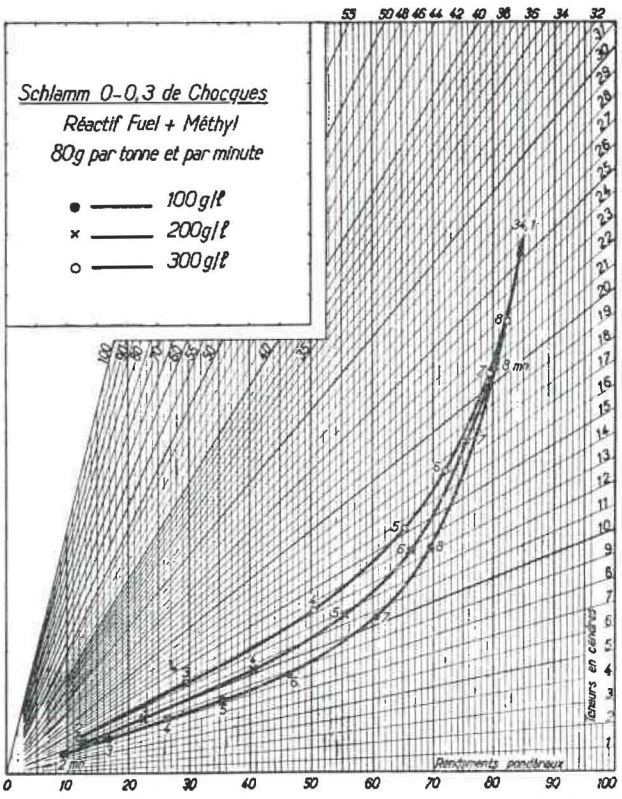


Fig. 7 A.

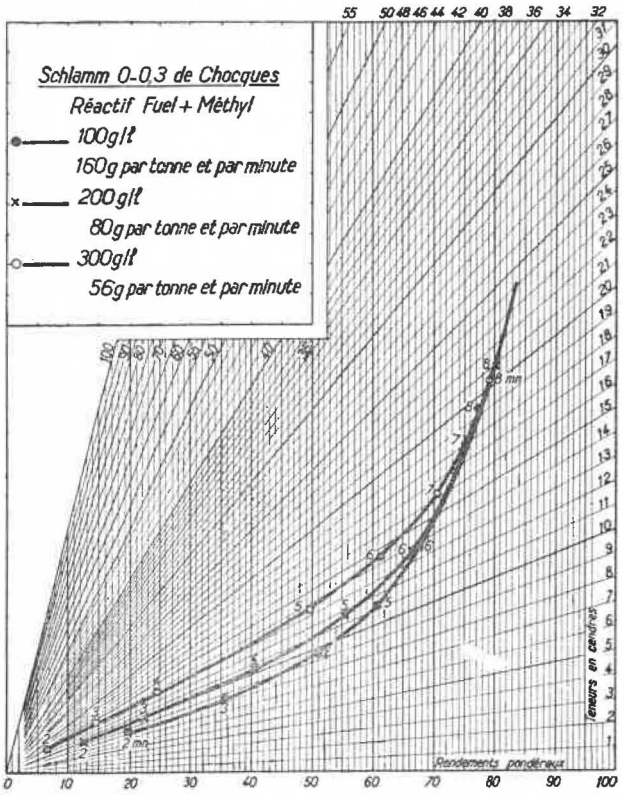


Fig. 7 B.

fonctionnent très bien à une concentration de 40 g/litre ou même moins.

Cette observation est d'ailleurs conforme à la logique si l'on songe que le phénomène qui est à la base du procédé, la capture des particules charbonneuses par une bulle, est liée à la surface totale des particules et non à leur poids.

Nous n'avons pas encore eu le temps d'étudier systématiquement les effets de relavage.

La figure 8 indique les résultats obtenus en relavant des mousses obtenues en épuisant la pulpe à 200 g/litre correspondant à la figure 7 A : on voit que, pour un même rendement pondéral de 60 %, la teneur en cendres du flotté tombe de 12,5 % à 10,5 %. Mais on peut remarquer que c'est précisément la valeur obtenue en traitant le même schlamm à la concentration de 100 g/litre (fig. 7 A). Nous pensons donc que, dans les cas où l'on veut améliorer la courbe de flottabilité, il peut être plus simple d'abaisser la concentration que d'employer un circuit de relavage.

Influence du réactif.

Je regrette d'avouer qu'il m'est actuellement impossible de donner des indications générales. Pendant longtemps, nous avions constaté que le mélange 95 % de fuel + 5 % de méthyl isobutyl carbinol s'avérait supérieur aux autres réactifs : il donne en effet une excellente sélectivité, et les mousses obtenues sont facilement filtrables ; mais deux observations récentes sont venues ébranler notre confiance.

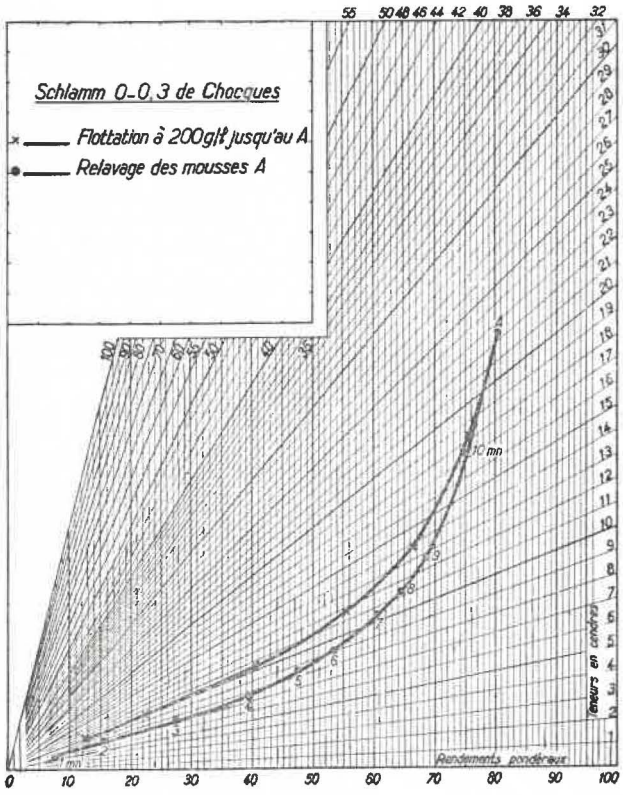


Fig. 8.

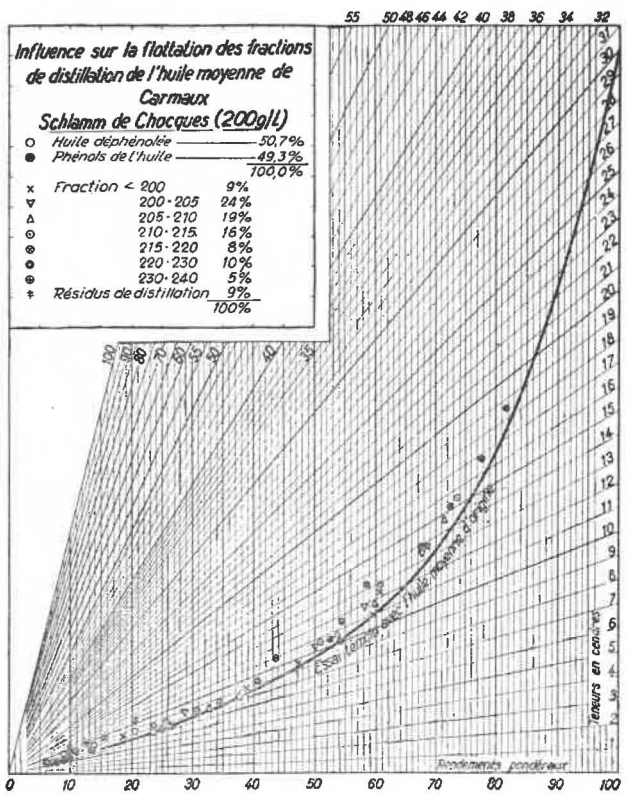


Fig. 9.

— A Chocques, nous avons constaté qu'il fallait ajouter du xylénol en queue du circuit des grenus pour accélérer l'épuisement de la pulpe.

— Au Bousquet d'Orb, nous avons observé la supériorité d'une huile moyenne fournie par la cokerie de Carmaux ; ce réactif n'a d'ailleurs montré aucune vertu particulière pour d'autres schlamms. Une analyse poussée ne nous a permis d'isoler dans cette huile aucun principe actif, le mélange s'avérant meilleur que toutes les fractions que nous avons pu en extraire par voie physique ou chimique.

A titre documentaire, la figure 9 donne la récapitulation de ces essais.

Nous ne nous avouons pas battus et abordons actuellement la question de l'influence du réactif sur un plan scientifique.

Je signale en passant que nous pensons qu'il ne faut attacher aucune valeur absolue au prix du réactif ou à sa consommation en g/t. Seul importe le bilan complet de l'opération, qui tient compte à la fois du rendement organique, des consommations et des immobilisations.

Influence de la vitesse d'addition du réactif et du temps de flottation.

Il est possible d'énoncer qualitativement une règle générale : plus la vitesse d'addition du réactif est lente, plus le temps nécessaire pour que le flotté atteigne la teneur en cendres désirée est long, meilleure est la courbe de flottabilité, moindre la consommation totale du réactif.

La figure 10 donne des renseignements chiffrés relatifs au schlamm du Bousquet d'Orb, que nous avons eu l'occasion d'étudier à fond au laboratoire et à l'échelle semi-industrielle en continu.

En flottation très ménagée, en cellule de laboratoire, la teneur en cendres de 10 % est obtenue en 8 mn avec une consommation de réactif de 200 g/t ; le rendement pondéral correspondant est de 75 %.

En flottation accélérée, la même teneur en cendres est obtenue au bout de 2mn seulement ; la consommation de réactif s'élève à 250 g/t et le rendement pondéral tombe à 67 % : la perte n'est évidemment pas admissible.

On voit d'autre part qu'en flottation ménagée on ne peut obtenir des flottés à moins de 6 % de cendres. En flottation accélérée, la teneur minimum monte à 7,5 %. Notons que la courbe de lavabilité laissait espérer une teneur de 2 à 3 %.

Influence de la granulométrie.

Nous avons été amenés à attacher une importance toute particulière à l'influence de la granulométrie. Il suffit en effet de regarder les mousses montant dans une cellule de laboratoire pour voir que les fins ont tendance à flotter au début et les grenus à la fin de l'opération. La figure 11 traduit ce fait d'une façon frappante.

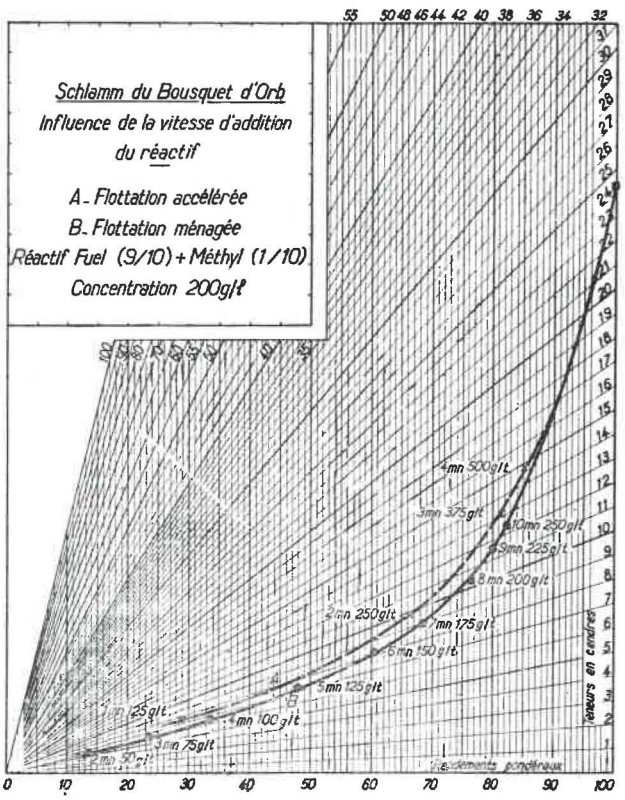


Fig. 10.

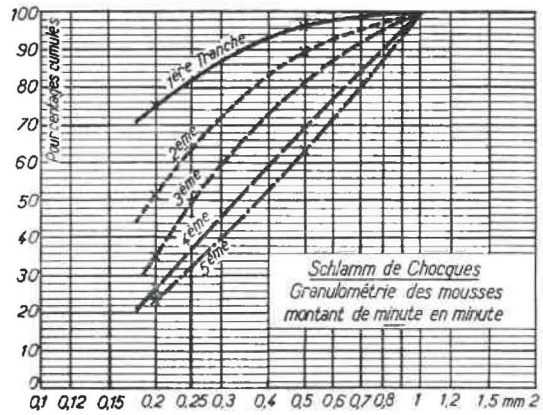


Fig. 11.

Nous allons d'abord exposer avec quelques détails les résultats d'un essai que nous avons analysé en établissant les courbes de partage en densité.

La figure 12 donne les résultats d'un essai de traitement de schlamms du Bousquet d'Orb, à la concentration de 200 g/litre.

La figure 13 donne les courbes de partage relevées lors de cet essai, respectivement pour les fractions $<0{,}2$ mm et $>0{,}2$ mm. On voit qu'au bout de 4 mn, la densité de partage pour la fraction

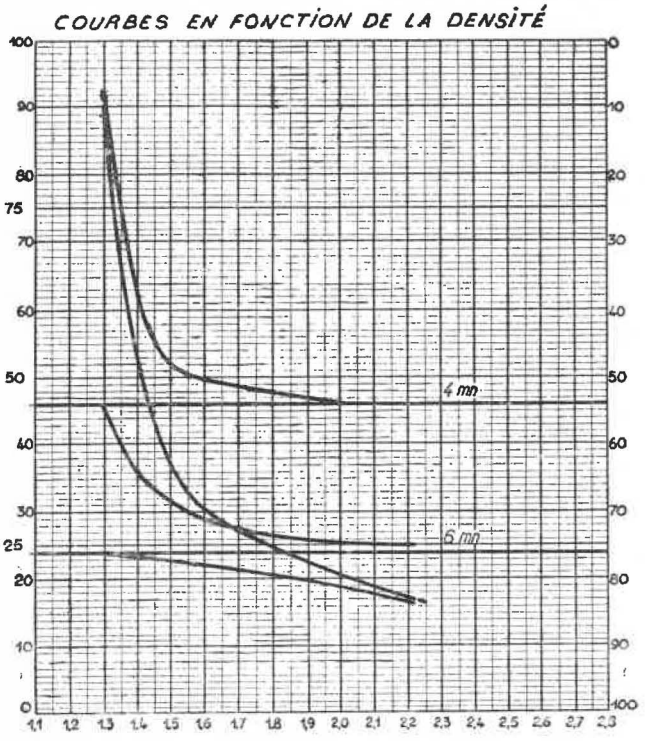


Fig. 12 A.

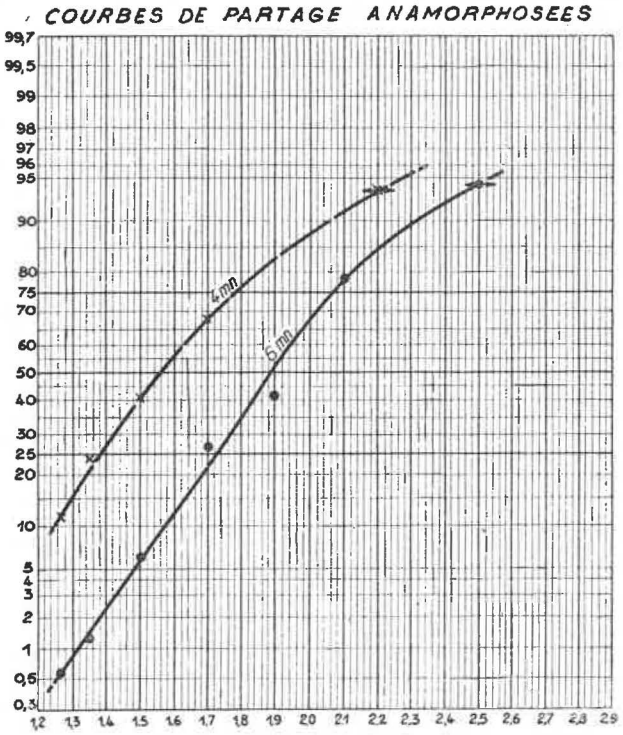


Fig. 12 B.

fine est de 1,6 contre 1,4 pour la fraction grenue. Au bout de 6 mn, la dp pour la fraction fine est de 1,95 contre 1,6 pour la fraction grenue. Or on sait que, pour que le rendement organique d'une séparation soit maximum, il faut que les différentes tranches granulométriques soient séparées à la même densité de partage (1). On voit donc que la flottation des fins aurait dû être arrêtée avant celle des grenus.

(1) Ou plus exactement à la même densité de partage généralisée : les tangentes aux courbes de flottabilité doivent être parallèles.

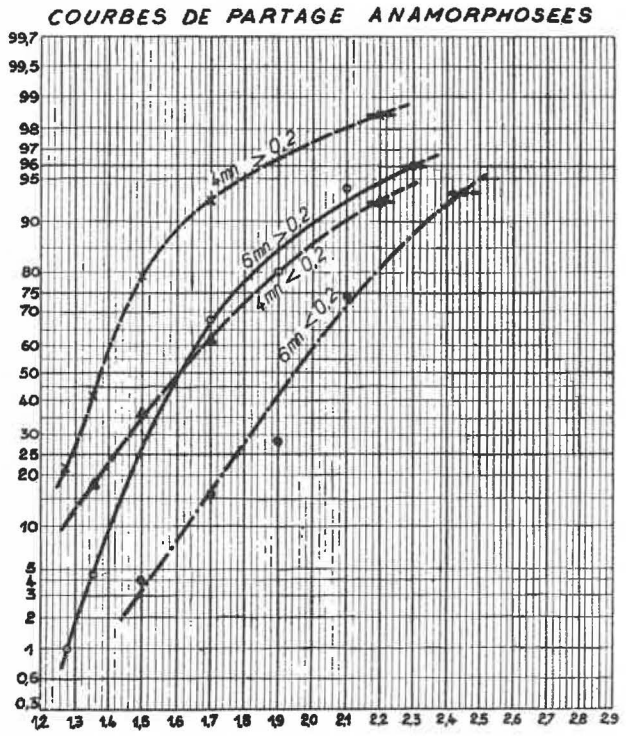


Fig. 13.

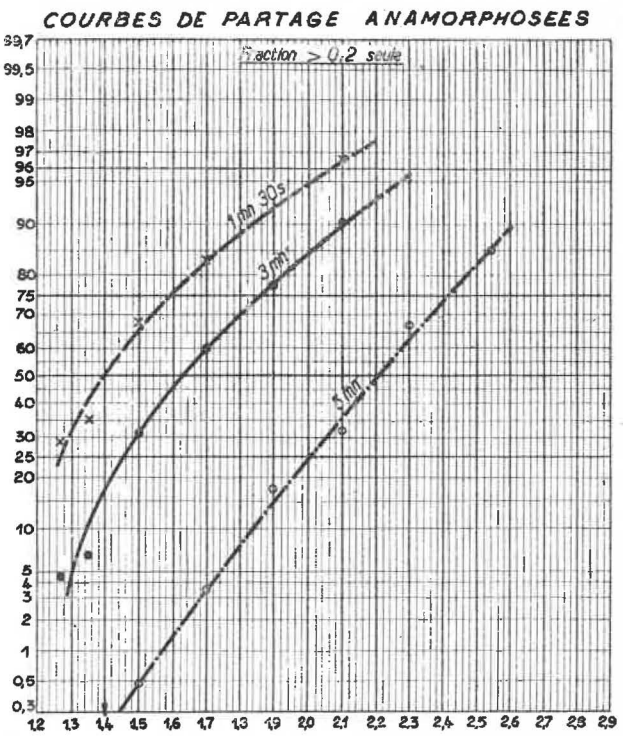


Fig. 14.

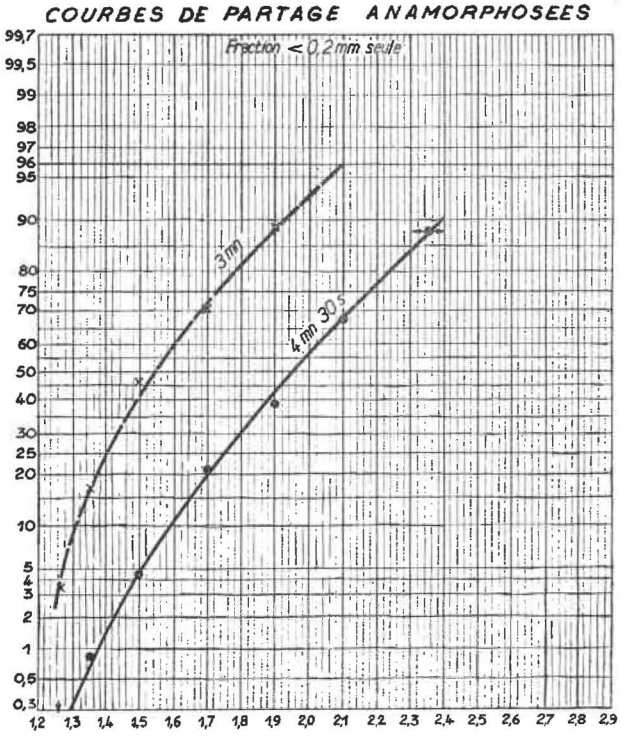


Fig. 15.

La figure 14 montre le résultat de la flottation séparée de la fraction grenue (25 % du brut) à la concentration de 250 g/litre. La densité de partage de 1,6 est obtenue en 3 mn seulement, contre 6 mn précédemment.

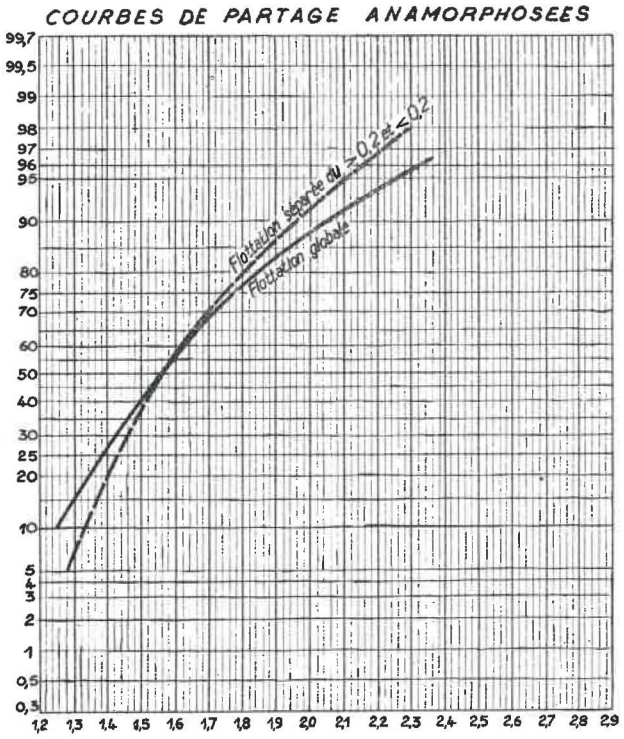


Fig. 16.

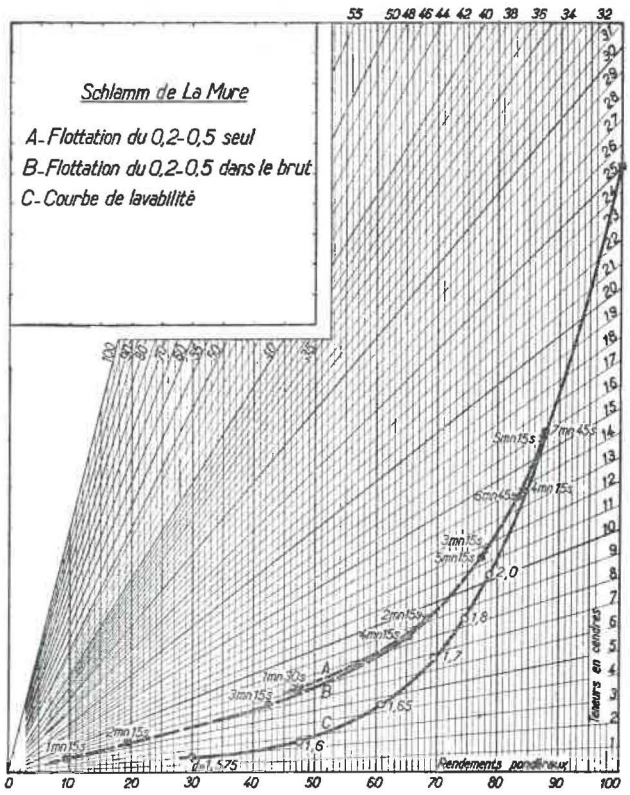


Fig. 17.

La figure 15, relative au < 0,2 mm à la concentration de 100 g/litre, montre que la densité de partage de 1,6 est obtenue en 3 mn contre 4 mn précédemment.

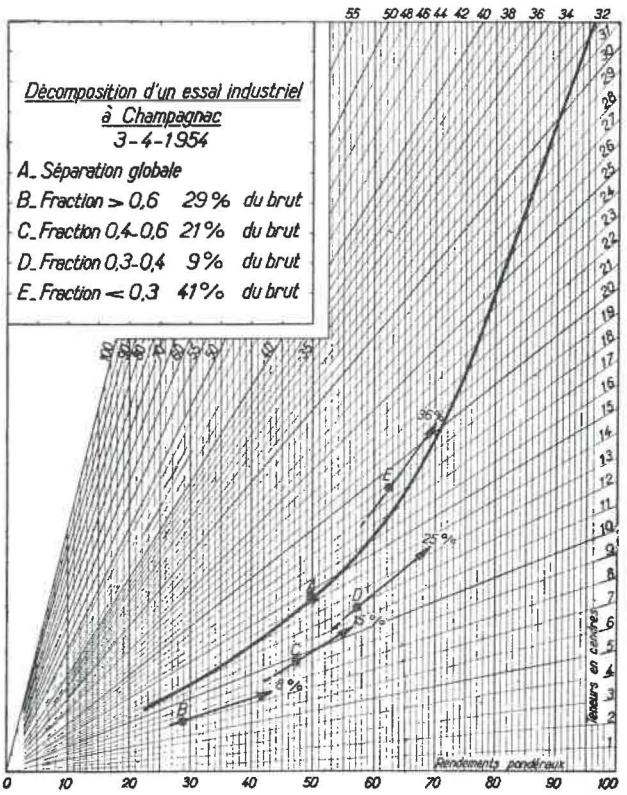


Fig. 18.

La figure 16 donne la courbe de partage résultant de la composition des courbes précédentes de densité de partage 1,6. Son écart probable est de 0,16, alors qu'on avait trouvé 0,20 en flottant le brut global.

On voit sur cet exemple, qui s'applique pourtant à une pulpe très fine (moins de 0,3 mm) qu'en flottant séparément les fractions grenues et fines ont peut avoir un meilleur rendement organique que par une flottation globale. Il faut insister sur le fait que cette amélioration est due, non pas à une meilleure séparation de chacune des fractions granulométriques (nous reviendrons plus loin sur ce point), mais à l'égalisation des densités de partage de chacune de ces fractions.

La figure 17 donne les courbes de flottabilité de la fraction 0,2-0,5 mm de La Mure, traitée soit avec le global 0-1 mm, soit séparément. Les courbes sont pratiquement confondues, ce qui montre bien que la précision de la séparation est la même; elle est d'ailleurs médiocre, comme toujours, pour les faibles teneurs en cendres.

La figure 18 indique les résultats de l'analyse d'un essai à Champagne. Le point représentatif correspondant au fonctionnement industriel est en A; le rendement pondéral est de 50 % de flottés à 14,5 % de cendres. Ce flotté a été décomposé en fractions $> 0{,}6$ mm; 0,4-0,6 mm; 0,3-0,4 mm et $< 0{,}3$ mm dont les points représentatifs B. C. D. E. sont portés sur la figure ; leur centre de gravité pondéré est nécessairement en A, d'après les propriétés géométriques de la représentation.

Les essais de laboratoire ont permis de tracer les courbes de flottabilité relatives aux différentes fractions $> 0{,}6$ mm; 0,4-0,6 mm; 0,3-0,4 mm; $< 0{,}3$ mm et de voir que les tangentes aux courbes (seules portées sur la figure) correspondent respectivement à des teneurs en cendres de 8 % — 15 % — 25 % — 36 % : les dernières mousses sont donc constituées par un mélange de ces différents produits, alors que, pour avoir le rendement organique maximum, ces teneurs en cendres devraient être égales : on voit combien cette condition est loin d'être respectée dans la pratique industrielle.

Nous donnerons plus loin un exemple beaucoup plus complexe relatif au schlamm de Chocques.

Cinématique de la flottation.

Sous le prétexte que nos idées sur la question ne sont pas encore claires, je ne veux pas passer sous silence un aspect important du problème.

Si l'on désire réduire les investissements, il faut chercher à réduire le volume des cellules.

Or, de tout ce qui précède il ressort que, pour obtenir de bons résultats, il faut ajouter le réactif avec précaution, employer des pulpes diluées, flotter séparément les grenus et les fins, au besoin relaver, toutes mesures qui semblent avoir pour effet d'augmenter le volume des cellules nécessaires. Il faudrait savoir prévoir la relation qui existe entre le rendement organique à teneur en cendres de flottés donnée et le volume des cellules, et pour cela il faudrait avoir étudié sous tous ses aspects le problème de la cinématique de la flottation : nous ne l'avons pas encore fait. Mais, dans les exemples d'applications industrielles donnés plus loin, on verra que les précautions préconisées n'ont pas toujours pour effet d'augmenter le volume des cellules nécessaires, mais parfois de le diminuer.

Signalons que nous avons été amenés à mettre en sommeil l'étude des procédés qui permettent d'augmenter dans une grande mesure la vitesse de flottation, c'est-à-dire du procédé Convertol-Flottation et du procédé que nous avons appelé « à préfloculation sélective ». La courbe de flottabilité donnée par ces procédés est moins bonne que celle de la flottation classique et nous n'avons pas eu l'occasion d'étudier un cas où la perte de rendement correspondante soit admissible. On verra pourtant plus loin qu'à Messeix nous faisons une légère préfloculation dans le circuit des extra-fins.

D. — APPLICATIONS INDUSTRIELLES

De l'ensemble des observations précédentes, on peut tirer l'idée suivante : pourquoi chercher à épaissir, à grands frais, les eaux de circulation d'un lavoir et ne pas le traiter directement par flottation, après une simple ponction ? (1).

(1) M. Burton a bien montré, dans sa Communication, combien la teneur des eaux de circulation en produits ultra-fins était peu abaissée par la présence de décanteurs. Seule, une ponction relativement importante permet d'abaisser la proportion de ces produits.

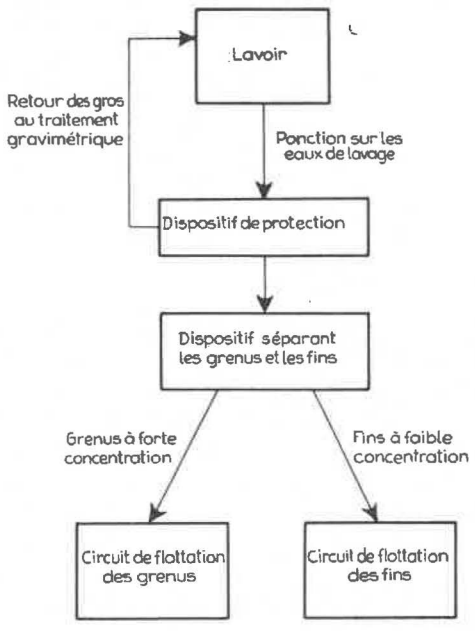


Fig. 19.

Ce système tend à se développer en Grande-Bretagne et nous semble parfaitement logique. Si l'on veut tirer parti de nos observations sur le traitement séparé des fractions fines et des fractions grenues, et de l'influence de la dilution, on en arrive à alimenter une flottation suivant le schéma donné figure 19.

Pour séparer les grenus et les fins, on peut employer, soit un simple cône décanteur, soit mieux un dispositif effectuant une coupure plus nette : cyclone ou grille courbe hollandaise.

Nous avons expérimenté à l'échelle industrielle le premier système à Messeix et le deuxième à Chocques où, à vrai dire, il existait déjà un épaississeur entre le lavoir et la grille courbe.

Dans certains cas, il peut être intéressant de limiter la flottation à la fraction grenue : tel est le cas de La Mure où nous faisons actuellement des essais industriels.

Essais à Messeix.

Le tonnage à flotter est de l'ordre de 11 t/h ; les flottés, destinés à la fabrication de boulets, doivent avoir 10 à 11 % de teneur en cendres ; le lavoir ne comporte pas d'épaississeur, mais de simples cônes de 3 m de diamètre. Or, la nécessité de rincer très soigneusement les produits marchands impose un apport de 100 m³/h d'eau fraîche. Nous n'entrerons pas dans le détail de nos essais et de nos circuits successifs ; la figure 20 donne le schéma final, qui se caractérise par les points suivants:

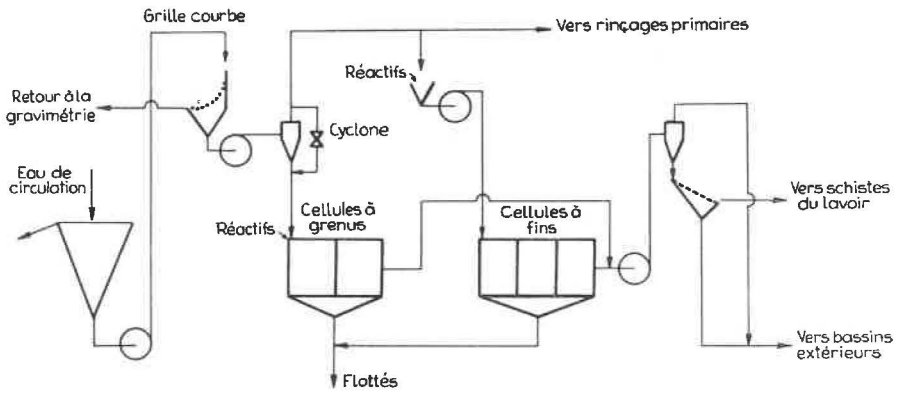


Fig. 20.

a) Le circuit de flottation est protégé par une grille courbe. Un écartement de barreaux de 1,5 mm, assurant une coupure de 0,75 mm, laissait passer trop de grenus difficiles à flotter ; un écartement de 1 mm ne déchargeait pas suffisamment la gravimétrie. Nous nous sommes arrêtés à un écartement de 1,2 mm.

b) La séparation entre les produits grenus et les produits fins est assurée par un cyclone qui effectue une coupure aux environs de 0,1 mm.

c) Les grenus, au débit de 8 t/h et à la concentration de 250 g/litre sont traités dans deux cellules de 1 m × 1 m, fabriquées par nos soins, dont toute la surface est écumée mécaniquement ; les mousses sont en effet très épaisses, et de simples palettes rotatives seraient insuffisantes. La consommation de fuel est de 4 l/t, celle de méthyl isobutyl de 30 g/t. Les flottés ont 9 à 10 % de cendres et les schistes 65 à 70 % de cendres.

d) Les fins < 0,1 mm sont flottés dans trois cellules Minemet classiques de 1 m; le débit est de l'ordre de 90 m³/h. Le temps de séjour est donc de 2 mn seulement. Nous avons vérifié qu'il y a intérêt à mettre les réactifs avant la pompe, comme le montrent les chiffres suivants :

— réactif ajouté à l'entrée des cellules	Tc des flottés :	11,0 %
	Tc des schistes :	50,0 %
— réactif ajouté avant la pompe	Tc des flottés :	11,6 %
	Tc des schistes :	70,0 %

On voit combien le brassage préalable améliore l'épuisement de la pulpe.

La consommation de réactif est de 3 litres/t de fuel et de 20 g/t de méthyl isobutyl.

La capacité moyenne de l'installation s'établit à la valeur de 2 t/h par m³ de cellule. Vu le grand volume d'eau à traiter, il n'aurait pas été possible d'obtenir ce résultat avec un circuit classique. Le résultat industriel global obtenu est pourtant légèrement meilleur que celui que laissaient prévoir des essais de flottation très ménagée en laboratoire.

Essais à Chocques.

Le lavoir de Chocques comporte deux installations identiques, constituées chacune par 10 cellules doubles Minemet de 1,25 m, dont 6 sont employées au lavage et 4 au relavage. La capacité d'une installation est de 30 t/h.

Les produits à flotter, constitués par un mélange de schlamm de lavoir et de poussier de dépoussiérage, traversent une batterie de cribles de protection qui effectuent une coupure aux environs de 0,7 mm. La pulpe ainsi obtenue est exceptionnel-

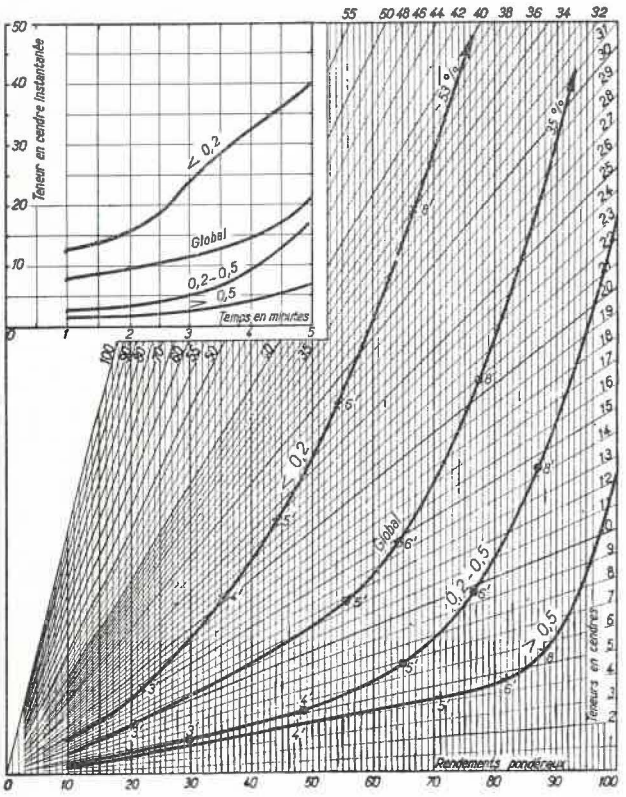


Fig. 21.

lement difficile à flotter, car très mixteuse et très argileuse, comme le montrent les courbes de flottabilité données figure 21.

Les flottés, destinés à la cokéfaction, doivent avoir moins de 10 % de cendres ; aussi est-il indispensable de faire des mixtes. Les mixtes obtenus avec le circuit classique contiennent des fractions grenues propres et des fractions fines sales. Un traitement par granulométrie séparée semblait donc spécialement intéressant.

La figure 22 donne le schéma relativement complexe auquel on s'est finalement arrêté.

La séparation des grenus et des fins est obtenue avec une grille courbe. On a d'abord placé une grille à écartement de 0,3 mm; puis le souci de mieux équilibrer les lignes a fait porter cet écartement à 0,4 mm.

On voit que, tant sur la fraction grenue que sur la fraction fine, le relavage ne porte que sur une partie des mousses primaires.

Les fractions fines sont flottées avec du fuel seul ; les fractions grenues sont flottées d'abord avec du méthyl isobutyl et du fuel, puis dans les dernières cellules avec du xylénol, réactif qui, comme nous l'avons déjà indiqué, a permis un meilleur épuisement de la fraction grenue.

Le circuit est en service depuis le milieu de 1955, en parallèle avec l'un des anciens circuits; l'exploitant a constaté que le nouveau circuit donne, à débit d'alimentation égal et à rendement pondéral égal, des flottés ayant 1 point de cendre en moins. Le fonctionnement des filtres qui traitent plus de grenus et moins de fins est nettement amélioré.

Traitement des grenus de La Mure.

Le problème de La Mure est bien particulier en raison de la haute densité de cet anthracite (d = 1,5 pour 2 % de cendres) ; cette circonstance défavorise le traitement gravimétrique. Aussi, le brut est-il dépoussiéré à 2,5 mm et déschlammé à 2 mm. Le poussier et le schlamm sont destinés à la Centrale.

On nous a demandé d'extraire par flottation des produits à 10 % de cendres, destinés à l'agglomération, aussi peu humides que possible et moyennant une faible immobilisation.

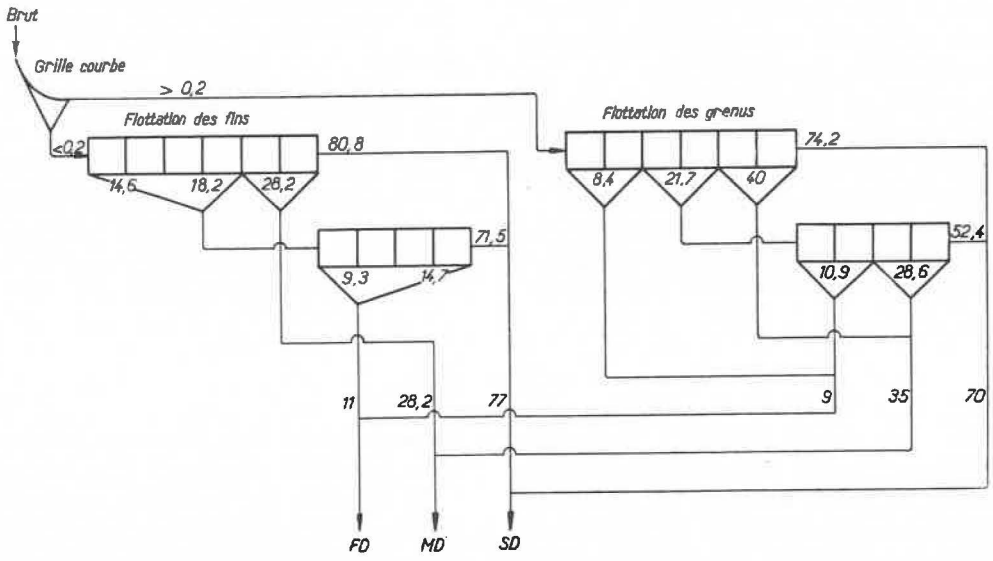


Fig. 22.

Dans ces conditions, nous avons renoncé à traiter les fractions fines et, après protection par une grille à barreaux écartés de 2 mm, nous éliminons le < 0,15 mm avec une grille courbe à écartement de 0,3 mm.

Le 0,15-2 mm est flotté dans deux cellules de 70 cm, semblables à celles de Messeix, et les mousses flottées à 10 % de cendres, remarquablement épaisses, sont envoyées dans une essoreuse qui abaisse leur humidité à 10 %. La capacité de l'installation est de 2 à 3 t/h. Il se pose des problèmes d'usure des cellules et du tamis d'essoreuse en raison de la dureté et de l'abrasivité du charbon de La Mure.

Le réactif le plus intéressant serait l'huile d'anthracène dont la présence diminue la quantité de brai nécessaire à l'agglomération et qui — les essais de laboratoire l'ont montré — donne des mousses propres et abondantes; malheureusement son emploi s'est avéré impossible pendant l'hiver, par suite de la cristallisation de l'anthracène en dessous de 15°. Aussi, employons nous actuellement un mélange de fuel et de méthyl isobutyl carbinol, qui convient même pour des températures voisines de 0°.

Bien qu'en cellule de laboratoire il soit possible de faire flotter la fraction 2,5-3 mm, nous constatons qu'il est difficile d'épuiser industriellement la fraction 1,5-2 mm. Le problème n'est d'ailleurs pas facilité par la haute densité du charbon.

Nous ne pensons d'ailleurs pas qu'en règle générale il soit intéressant de flotter trop grenu : des procédés gravimétriques, moins coûteux, peuvent résoudre le problème; nous en faisons d'ailleurs actuellement l'étude.

CONCLUSIONS

J'étais embarrassé en commençant cette conférence, je le suis encore pour conclure.

La figure 23 me permettra peut-être de résumer nos observations. Elle donne les courbes de flottabilité de deux schlamms, obtenues par flottation ménagée en cellule de laboratoire.

Pour le schlamm A, la teneur en cendres des flottés désirés, supposée égale à 9 %, est très différente de la teneur en cendres de coupure, mesurée par la pente de la tangente à la courbe, et égale à 40 % ; l'angle α est grand : le problème est facile à résoudre industriellement; on peut employer des pulpes concentrées, des réactifs brutaux, des

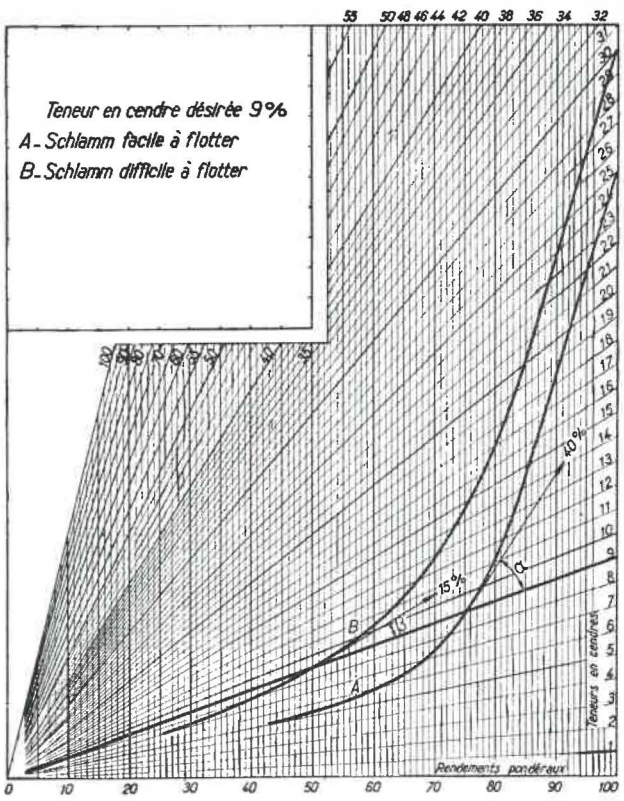


Fig. 23.

circuits courts : il s'agit simplement d'épuiser la pulpe, et les problèmes de sélectivité passent au second plan.

Si au contraire, comme c'est le cas pour le schlamm B, la teneur en cendres de coupure, égale à 15 %, est voisine de la teneur en cendres des flottés, c'est-à-dire si l'angle β est petit (et en ce cas il faudra faire des mixtes), le problème est difficile et il faudra chercher à améliorer la courbe de flottabilité en employant les moyens que nous avons indiqués : faibles concentrations, séparation granulométrique, relavage. Il faut d'ailleurs remarquer que le traitement de A devient difficile si l'on cherche des flottés à moins de 7 % de cendres.

Je terminerai en remarquant que, soit par manque de temps, soit par manque de connaissances, je me suis vu obligé de passer sous silence de nombreux points intéressants : en rédigeant mon texte, je me suis rendu compte de l'étendue du sujet et du nombre de points qui restent à étudier : nous avons encore du pain sur la planche...

DISCUSSION.

M. BRISON. — Il semble ressortir de l'exposé de M. Belugou que l'augmentation de la dilution en flottation des charbons améliore la qualité de l'épuration. Ceci est conforme à ce qu'on observe en flottation minérale. J'aimerais savoir si, dans les expériences citées, la concentration en réactif a été maintenue constante dans la pulpe ou non.

M. BELUGOU. — La vitesse d'addition des réactifs a été à peu près proportionnelle à la concentration. Je ne peux donner de précisions, mais

je veillerai à ce que les figures qui seront publiées donnent tous les renseignements utiles.

M. RAFFINOT. — En ce qui concerne l'influence de la concentration de la pulpe sur la sélectivité, je constate une différence assez nette entre la flottation du charbon et celle des minerais métalliques. Vous avez trouvé que plus la pulpe est diluée, meilleure est la courbe de flottabilité. Ceci n'est vrai pour les minerais métalliques, que jusqu'à un certain point pour lequel on constate un maximum de sélectivité, généralement entre 200 et 300 g/litre. Lorsque la pulpe devient plus diluée, on constate à nouveau un abaissement de la sélectivité. Il est possible que vous constatiez exactement le même phénomène dans la flottation des charbons, mais pour des dilutions beaucoup plus grandes que celles que vous avez étudiées.

M. BELUGOU. — Nous sommes parfois descendus à 20 g/litre. Il serait illusoire de descendre plus bas.

M. RAFFINOT. — Je voudrais enfin faire une remarque au sujet des courbes granulométriques des schlamms. Il n'est peut-être pas étonnant que ces courbes soient toutes à peu près les mêmes étant donné que la pente reste fixe puisqu'il s'agit de produits d'égale dureté et que l'origine (95 % de passé) est sensiblement la même dans la plupart des cas.

M. BELUGOU. — Il ne faut pas oublier que les schlamms qui sortent du lavoir ne sont pas un produit naturel. Il y a des processus qui augmentent la proportion apparente d'extra-fins dans ce qu'on envoie à la flottation mais j'ai été étonné de constater que, finalement, toutes les courbes de granulométrie sont à peu près identiques.

M. de MAGNEE. — Je voudrais demander à M. Belugou si, dans le cas de schlamms très argileux, les essais ont comporté l'addition de dispersants.

M. BELUGOU. — J'ai fait quelques essais de laboratoire, mais je n'ai obtenu aucun résultat. J'ai demandé à pouvoir essayer des produits belges avec lesquels de bons résultats ont été, paraît-il, obtenus.

M. de MAGNEE. — L'addition de silicate de sodium par exemple n'améliore-t-elle pas l'opération ?

M. BELUGOU. — Nous avons fait des essais très soignés et nous n'avons pas constaté d'amélioration. D'ailleurs l'addition de silicate de soude dans un lavoir est bien désagréable, la décantation devenant impossible.

M. de MAGNEE. — Cependant dans le cas de flottation des minerais oxydés, la méthode est d'un emploi courant.

M. GY. — M. Belugou nous a montré tout l'intérêt qu'il y avait du point de vue technique à flotter séparément les fractions grenues et fines. J'aimerais vous faire part d'une expérience comparable dans la flottation des minerais de phosphates. En Floride, à l'usine Sydney, on flotte dans deux circuits de flottation distincts, d'une part la fraction 0,1-0,3 mm, d'autre part, la fraction 0,3-0,8 mm. D'autres installations flottent, d'une part à la mousse et en cellule, des fractions 0,1-0,3 mm et, d'autre part flottent sur table à secousses les fractions 0,3-1,4 mm. Dans le cas des minerais métalliques, il a été montré également qu'il y aurait un intérêt certain du point de vue technique à flotter séparément les fines et les gros (bien que l'échelle des dimensions soit différente de celle du charbon ou des phosphates). Mais les débits mis en jeu ne permettent généralement pas de compliquer les réalisations industrielles en multipliant les circuits. Le cas est évidemment différent pour des industries comme celles du charbon et des phosphates.

M. LIEGEOIS. — En ce qui concerne la flottation séparée des grenus et des fins, le traitement ultérieur du schlamm (la filtration par exemple) présente-t-il plus ou moins de difficultés ?

M. BELUGOU. — Les flottés que l'on obtient, comme l'a montré l'expérience de Chocques, contiennent plus de grenus (puisque le but est d'arriver à les épuiser un peu plus) et moins de fractions fines (puisqu'on cherche à stopper leur flottation). Dans le cas de Chocques, le gain de filtrabilité est extrêmement notable sur les flottés. Pour les mixtes, la question est plus discutable car, comme il y a plus de grenus dans les flottés, il y en a moins dans les mixtes. Actuellement à Chocques, on ne filtre pas les mixtes : il est possible que l'avantage qu'on a eu sur les flottés aurait été perdu sur les mixtes.

M. LUSCHER. — En complément d'information au sujet du problème de Chocques, je signale qu'avant transformation, deux filtres étaient nécessaires pour prendre le débit de mousse; après installation de la flottation sélective des pulvérulents en deux tranches granulométriques séparées, un filtre absorbait tout. Ceci est probablement dû :

a) à la quantité de grains plus importante contenue dans les mousses, grains qui se trouvaient auparavant dans les mixtes.
b) à l'addition massive de fuel, environ 1350 g/t.

M. BELUGOU. — Je pense que l'emploi de fuel en quantités relativement importantes intervient également pour faciliter la filtration.

M. POZZETTO. — Il serait intéressant de comparer la granulométrie du schlamm flotté sans séparation préalable à celle obtenue par flottation séparée des grenus et des fins.

L'application des grilles courbes D.S.M. dans le traitement des eaux de lavage

par Dr C. KRIJGSMAN et J. M. H. BECKERS

Communication du « Centraal Proefstation van de Staatsmijnen in Limburg ».

INTRODUCTION

La grille courbe D.S.M. (*), qui n'est en somme qu'un crible fixe, a été inventée par l'ingénieur F.J. Fontein. Celui-ci l'a décrite pour la première fois dans un article publié à l'occasion de la 2me Conférence Internationale sur la Préparation des Charbons. Depuis lors, plusieurs applications de cet appareil, notamment dans les lavoirs des Mines de l'Etat Néerlandais, ont permis d'établir des données pratiques. La présente communication a pour but de redire en quelques mots le principe qui est à la base des grilles courbes et d'examiner plusieurs cas d'application. Nous examinerons plus en détail l'application et l'influence de cet appareil sur tout le circuit du traitement des schlamms.

Principe de la grille courbe.

La construction schématique de la grille est donnée à la figure 1. Un mélange de particules et de liquide est introduit dans un bac muni d'un déversoir et s'écoule par la cheminée descendante, *tangentiellement* à une surface courbée de tamisage. La grille courbe est un crible à barreaux disposés perpendiculairement à la direction d'écoulement du mélange de liquide et de particules. La couche de liquide et de particules solides en mouvement sur les barreaux de la grille courbe, comme l'indique la figure 2, s'amincit au passage d'une

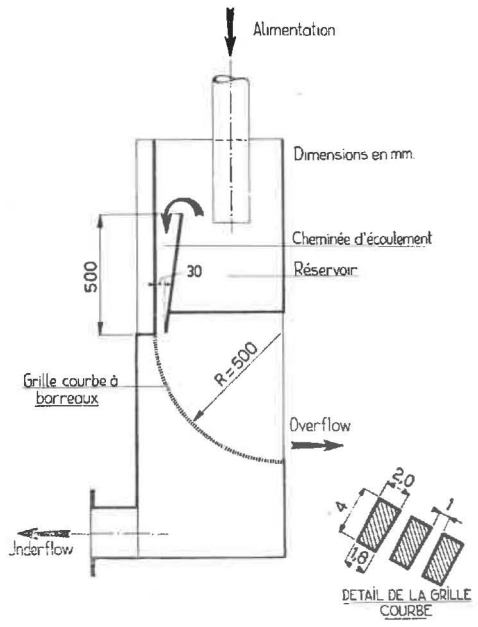


Fig. 1.

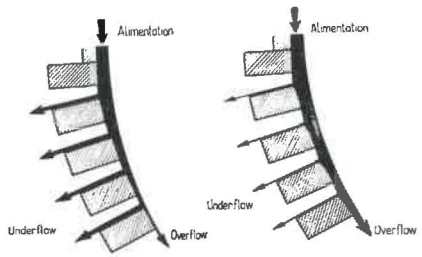


Fig. 2. Fig. 3.

fente du crible. Si la fente est de 1 mm, une mince couche de 0,25 mm d'épaisseur environ jaillit par la fente vers l'extérieur. Les particules inférieures à 0,5 mm de diamètre peuvent encore être entraînées par cette couche mince. Les particules supérieures à 0,5 mm, par contre, passent au dessus de la fente, car la plus grande partie de leur volume se trouve dans le liquide s'écoulant au-dessus de la fente. Ainsi un criblage à 0,5 mm est réalisé avec des fentes de 1 mm.

Nous renvoyons pour une explication plus détaillée à l'article de M. Fontein.

Les avantages de la grille courbe comparée aux tamis à secousses ou vibrants normaux.

La grille courbe présente avant tout le grand avantage d'être un crible fixe. La construction en est extrêmement simple et légère et, étant donné qu'il n'y a pas de mouvement, les colonnes du bâtiment à l'endroit d'utilisation peuvent être d'une construction légère. Les vibrations dans le bâtiment, causées par un tamis mobile, ne sont pas à craindre. Comme la capacité de criblage par m^2 est considérable, l'encombrement est très faible.

(*) Dans un grand nombre de pays, la grille courbe et ses applications ont été brevetées ou des demandes de brevet sont déposées.

Un des avantages les plus importants de la grille courbe est qu'elle se bouche beaucoup moins facilement qu'un tamis vibrant, même si ce dernier est muni d'une grille à fissures.

En voici les raisons :

Quand un produit est criblé à 0,5 mm sur un tamis mobile normal muni par exemple d'une grille à fissures, l'interstice des fentes de ce tamis est d'environ 0,4 mm. Des particules de 0 à 0,5 mm passeront par les fentes de 0,4 mm; elles ont donc à peu près les mêmes dimensions que la largeur de la maille. Il en est tout autrement pour la grille courbe. Pour cribler à 0,5 mm, les fentes ont 1 mm. Les particules qui passent au travers du crible sont donc de dimension beaucoup plus petite que la fente. Ainsi les possibilités de colmatage sont plus réduites comme nous avons pu le constater en pratique. L'usure est acceptable. Pour chaque problème envisagé, nous dirons quelques mots sur la durée de vie de la grille courbe.

L'influence de l'usure sur les résultats de criblage.

Après quelque temps de marche, les barreaux à la surface de la grille courbe s'usent comme indiqué à la figure 3. Il est visible que, dans ce cas, le tamisage sera plus fin et que la capacité sera plus faible que lorsqu'on emploie une grille neuve. En retournant la grille de telle sorte que le côté de l'alimentation devienne le côté de sortie initiale de l'overflow, l'épaisseur des minces couches jaillissant par les fentes est maintenue suffisamment constante. Ainsi la maille de coupure du tamisage le sera également. Le retournement du crible à barreaux peut être réalisé comme indiqué par exemple à la figure 4.

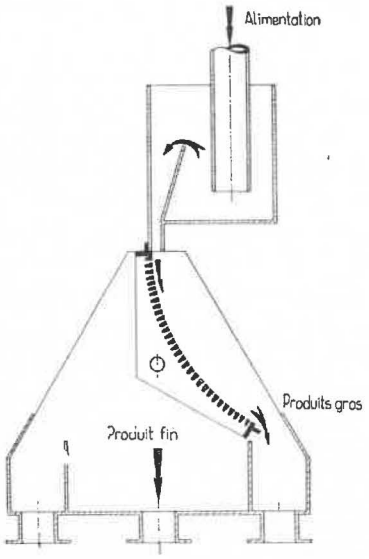


Fig. 4.

La précision du criblage.

La précision du criblage réalisée avec une grille courbe est du même ordre que celle obtenue avec un crible vibrant. Dans les exemples suivants, nous donnerons le pourcentage de déclassés d'après Steinmetzer.

Champ d'application de la grille courbe.

Le produit sortant de la grille courbe est en général plus humide que le produit sortant d'un bon tamis d'égouttage. Si l'overflow du produit tamisé ne peut contenir d'eau libre, un crible mobile sera installé en aval de la grille courbe. Néanmoins, l'avantage de l'utilisation d'un crible beaucoup plus petit n'est pas négligeable.

Cependant nombreux sont les problèmes où un égouttage complet n'est pas nécessaire.

En pareil cas, la grille courbe remplace un crible mobile normal.

Nous donnons ci-après quelques exemples de ces deux applications.

Exemples d'application.

La grille courbe a déjà été appliquée avec plein succès dans de nombreux cas dans les lavoirs des Mines de l'Etat Néerlandais (au total environ 50 pièces). On commence à l'utiliser également dans d'autres lavoirs à charbon et dans certaines industries. A titre d'exemples, mentionnons l'application des grilles courbes dans les cimenteries, les féculeries et les usines de farine de maïs. Nous nous limiterons ici aux applications dans les charbonnages.

Application de la grille courbe dans les lavoirs.

La première grille courbe a été mise en service fin 1953, avec un résultat très favorable, dans un des lavoirs des Mines de l'Etat Néerlandais pour le déschlammage de fines lavées 0-4 mm. Elle a été placée en amont d'un crible vibrant de capacité absolument insuffisante, pour obtenir, en raison des exigences de qualité élevées, un produit très bien déschlammé.

Le placement d'un deuxième crible aurait retardé la production du produit spécial et nécessité une dépense considérable. Le débit de la grille courbe est d'environ 250 $m^3/h/m^2$. La coupure se situe à environ 0,5 mm avec environ 10 % de déclassés.

La grille à fissures (1 mm) a une durée de vie d'environ 5 000 heures. Les grilles courbes sont utilisées dans les secteurs des fines et des schlamms des lavoirs notamment pour :

A. *Le déschlammage préliminaire des fines brutes*

Par cette méthode, on réduit en même temps la quantité d'eau de transport du bac Baum ou la quantité d'eau vers le puisard du charbon brut

pour un lavoir à rhéolaveur, de sorte que beaucoup moins de grosses particules s'écoulent par le trop-plein de ce puisard. On utilise dans ce cas des grilles courbes à fentes de 1 mm. Pour un débit de 200 à 250 $m^3/h/m^2$, la quantité totale d'eau est réduite d'environ 80 %. La coupure est d'environ 0,5 mm avec environ 10 % de déclassés. La durée de vie des cribles est d'environ 3 500 heures. Il est évident que pour le déschlammage préliminaire un crible mobile, placé en aval des grilles courbes, n'est pas nécessaire.

B. *Le déschlammage de fines lavées*

Dans ce cas, on utilise des grilles d'une largeur de fente variant de 0,5 à 1 mm. Si le produit déschlammé doit être véhiculé au moyen d'une installation de transport quelconque, un égouttage complémentaire sur un crible est nécessaire. Toutefois, le crible peut être supprimé si le produit lavé est amené aux essoreuses par simple gravité ou par noria en passant par un puisard. Dans un lavoir où les lavés des bacs de lavage sont traités en passant ensuite par un puisard, la teneur en cendres du produit essoré a diminué de 1 %. La durée de vie des cribles est d'environ 4 000 heures.

C. *La classification de l'effluent de l'essoreuse*

L'overflow retourne au puisard et l'underflow passe à la flottation. L'installation de la grille courbe est simple parce que la hauteur disponible est suffisante. De plus, l'égouttage complémentaire sur un crible n'est pas nécessaire. La coupure se situe à environ 0,4 mm avec environ 20 % de déclassés. La durée de vie de la grille à fissures est d'environ 5 000 heures.

D. *Le lavoir à fines par cyclone*

Les produits sortant du cyclone laveur avec une certaine quantité de liquide dense à magnétite, sont égouttés sur des grilles courbes. Environ 15 % de la suspension débordent avec les produits lavés qui sont ensuite égouttés sur des cribles vibrants de dimension moindre. La durée de vie de la grille à fentes pour une installation de relavage, qui traite un produit très cendreux dans un liquide dense à magnétite avec un poids spécifique de 1,75, est d'environ 1 300 heures. Dans le circuit de régénération du lavoir par cyclone, une grille courbe élimine les grosses particules non-magnétiques.

E. *Pour le retraitement des schlamms de schistes*

Les grosses particules qui ont été mal lavées dans la flottation et qui contiennent un fort pourcentage de particules de charbon et de mixte sont éliminées. Pour un débit d'environ 100 $m^3/h/m^2$, la séparation se situe à 0,35 mm avec environ 13 % de déclassés. La durée de vie des cribles est de 2 500 à 3 000 heures.

La largeur de la fente des grilles courbes utilisées varie de 0,5 à 1 mm. Dans ces cas spéciaux, on utilise aussi des cribles avec une largeur de fente de 0,3 mm.

Traitement de schlamms (purge des spitzkasten) dans le lavoir de la mine Emma par application de grilles courbes.

Le schéma du lavoir est représenté à la figure 5. Le charbon brut 0 80 mm est lavé dans des

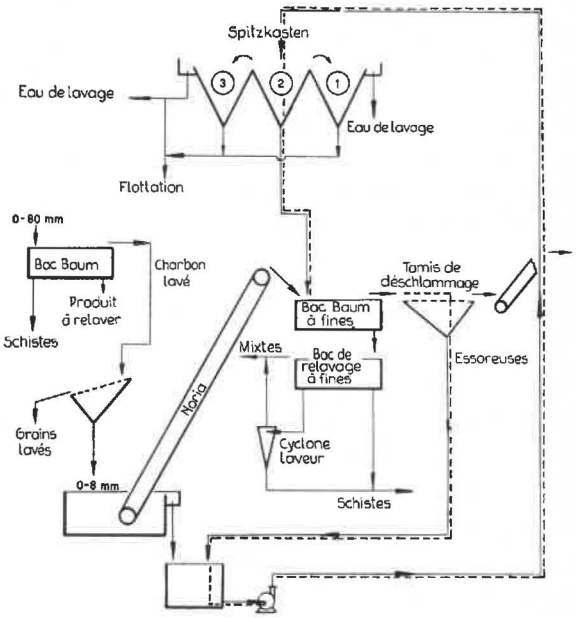


Fig. 5.

bacs Baum. Les fines de ces bacs sont relavées. Les produits 0-8 mm arrivent dans un puisard où ils sont dragués et relavés dans des bacs Baum. Les fines lavées de ces bacs passent sur des tamis d'égouttage, puis sont transportées aux essoreuses, par des courroies qui ont une inclinaison assez forte.

Le passé des tamis d'égouttage est pompé avec le trop-plein du puisard vers le spitzkasten (2) qui déborde vers deux autres spitzkasten (1) et (3). La purge de spitzkasten (2) est ramenée dans les bacs à fines. La purge des spitzkasten (1) et (3) est diluée avec de l'eau de lavage et passe ensuite à la flottation.

Cette méthode présente le désavantage de nécessiter une grande circulation (voir pointillé sur la figure 5) parce que les tamis d'égouttage, placés en aval des bacs à fines, classifient plus haut que le spitzkasten. La perforation des tamis d'égouttage ne peut pas être trop fine pour deux raisons :

a) quand le produit de l'overflow est mal égoutté, des difficultés de transport sur les courroies vers les essoreuses se produisent;

b) les particules fines sont mal lavées dans des bacs Baum.

Les désavantages de cette circulation sont les suivants :

1. abrasion qui se répercute défavorablement dans les traitement des schlamms,
2. surcharge considérable des bacs à fines et des tamis d'égouttage, d'où augmentation de la teneur en cendres des fines lavées,
3. mauvaise séparation des fines,
4. usure des pompes, des tuyaux, des cribles, etc., par suite de la circulation de produits assez gros et cendreux,
5. concentration irrégulière, dans l'alimentation de la flottation et dans l'eau de lavage,
6. augmentation du temps de marche du lavoir.

La solution du problème

Nous avons recherché d'abord la solution par tamisage sur cribles de la purge du spitzkasten.

Des essais ont été effectués sur un crible Allis Chalmers muni d'une grille à fissures de 0,4 mm, de petits couloirs de rinçage et de trois rampes d'arrosage Linkbelt avec et sans eau d'arrosage. Les résultats de ces essais sont repris au tableau I.

TABLEAU I

Données du crible
1 crible A.C. 12' × 5' (5,4 m²) 0,4 mm de fente

Résultats	*Sans eau d'arrosage*	*Avec eau d'arrosage*	*Grille courbe : Largeur : 0,25 m Longueur : 1,00 m Surface : 0,25 m² Largeur de la fente : 1 mm*
Capacité en m³/h	27,8	33,5	60
Idem en m³/h/m²	5,2	6,2	240
Eau claire m³/h	0	20	0
Concentration g/l	295	325	254
Solides en t/h	8,2	10,9	15,2
Overflow du crible t/h humide	5,1	5,1	7,1
Teneur en humidité en %	27,9	27,9	52
Overflow t/h sec.	3,7 = 45 % de l'alimentation	3,7 = 34 % de l'alimentation	3,4 = 22 % de l'alimentation
Pourcentages > 0,5 mm			
dans l'alimentation	33	32	24
dans l'overflow	60	71	64
dans l'underflow	10	11	12
Maille de partage en mm	0,37	0,42	0,39
Déclassés en %	21	18	23

Avec de l'eau d'arrosage sur le crible, la capacité du crible est augmentée d'environ 20 % et le rendement est amélioré. Pour traiter la totalité des schlamms, il faudrait 380/33,5 = 11 à 12 cribles avec environ 60 m² de surface criblante et le débit d'eau claire d'arrosage s'élèverait à plus de 200 m³ d'eau claire p/h.

Le produit de l'alimentation contient un grand pourcentage de grains marginaux, ce qui révèle la faible capacité du crible.

> 0,7 mm	18 %	
0,5 - 0,7 mm	15 %	32 % entre 0,35 et 0,7 mm
0,35 - 0,5 mm	17 %	
0,1 - 0,35 mm	21 %	
< 0,1 mm	29 %	
	100 %	

Entretemps, notre service des recherches avait inventé la grille courbe qui fut installée à côté du tamis Allis Chalmers aux fins d'essais. Les résultats de ces essais sont repris au tableau I en regard de ceux obtenus avec le crible Allis Chalmers. Il en résulte que la grille courbe par m² de surface criblante a une capacité très élevée et pratiquement la même précision de séparation que le crible Allis Chalmers.

Il fut décidé de monter dans le lavoir une installation industrielle de grilles courbes. La disposition d'ensemble est donnée à la figure 6. L'installation fut mise en marche fin mars 1955. Les résultats du traitement des schlamms sur les grilles courbes sont repris à la figure 7.

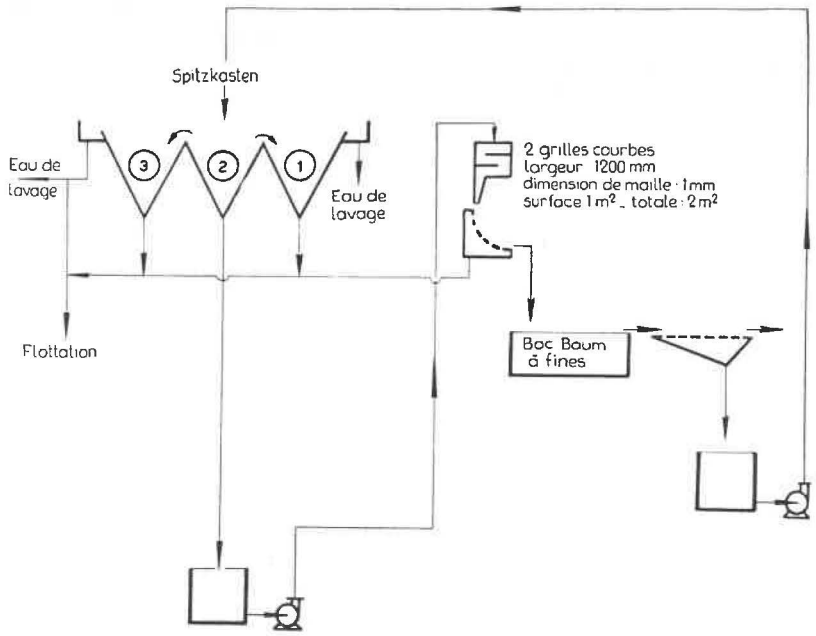


Fig. 6.

Le débit de la purge du spitzkasten s'élève à environ 380 m³/h, avec une concentration de 246 g/litre ou 93,5 t/h solides. Précédemment, le débit de la purge était d'environ 700 m³, avec une concentration d'environ 430 g/litre ou environ 340 t/h. Chaque grille courbe a une largeur de 1 200 mm et une surface de 1 m² ou 2 m² pour les deux grilles courbes. La capacité est donc de 380/2 = 190 m³/h/m².

L'overflow des grilles courbes représente en volume environ 10 % de l'alimentation. Le tonnage de cet overflow qui va aux bacs Baum s'élève à 23 t/h de solides contre 340 t/h autrefois.

Les grilles courbes coupent à environ 0,4 mm avec environ 24 % de déclassés. L'overflow contient donc 24 % solides < 0,4 mm et l'underflow 24 % > 0,4 mm. L'underflow ne contient cependant que 1 % de particules > 0,7 mm de sorte que des particules grenues ne troublent pas l'in-

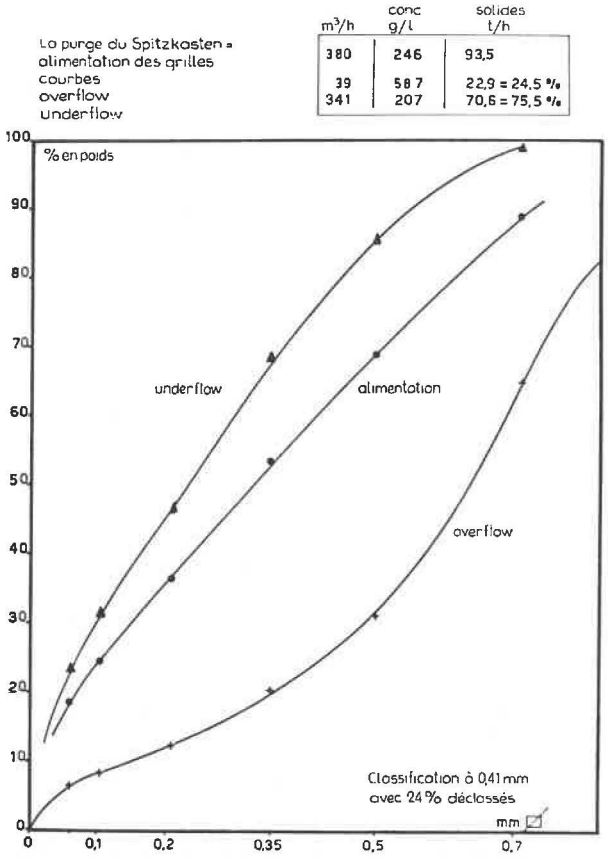


Fig. 7.

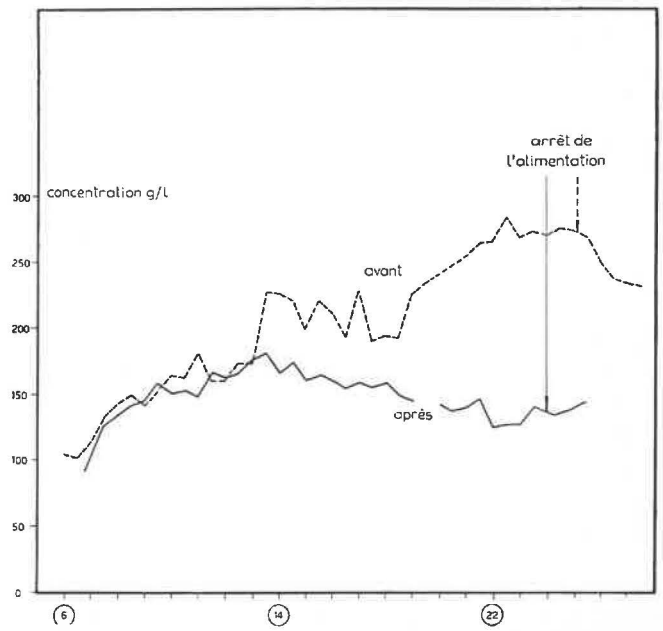


Fig. 8.

stallation de flottation. L'influence de la mise en marche des grilles courbes est montrée très clairement dans ce qui suit.

Variation de la concentration de la purge des spitzkasten et de l'eau de lavage avant et après la mise en marche de l'installation (fig. 8 et 9).

Nous voyons clairement que les concentrations après la mise en marche sont beaucoup plus constantes, ce qui est très favorable à la flottation. La concentration de la pulpe alimentant la flottation est devenue plus régulière. Il est certain que le calibre et la teneur en cendres des produits sont plus constants, les filtres en sont soulagés et la qualité du charbon à coke s'améliore. Autrefois, les concentrations s'accroissaient régulièrement pendant la journée, tandis que celles-ci restent actuellement à peu près constantes. Cela signifie encore que le circuit des schlamms est beaucoup plus rapidement vidé après l'arrêt de l'alimentation du lavoir. La durée du travail au lavoir peut être abrégée.

L'influence de l'installation sur le calibre des fines lavées est très sensible.

Le refus des cribles d'égouttage, c'est-à-dire l'alimentation des essoreuses, contenait autrefois 12,2 % < 0,5 mm à 20,4 % de cendres et maintenant 5,5 % et 20,8 % de cendres. Cela signifie une ré-

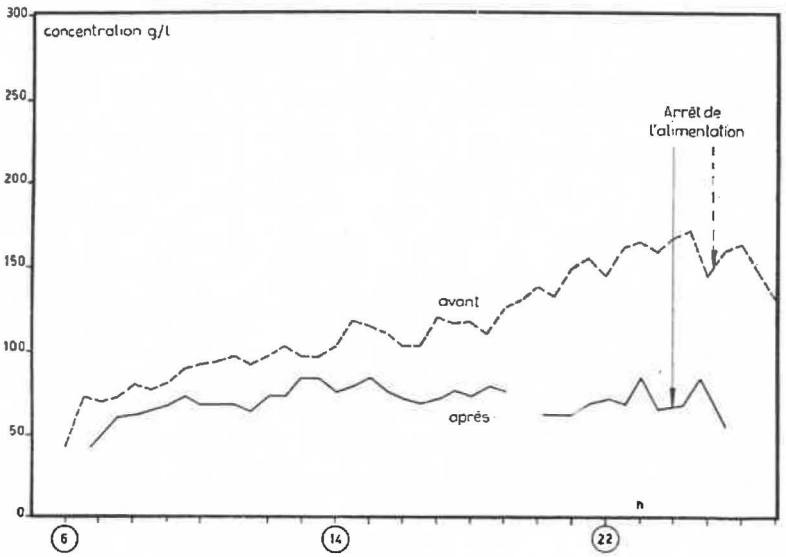


Fig. 9.

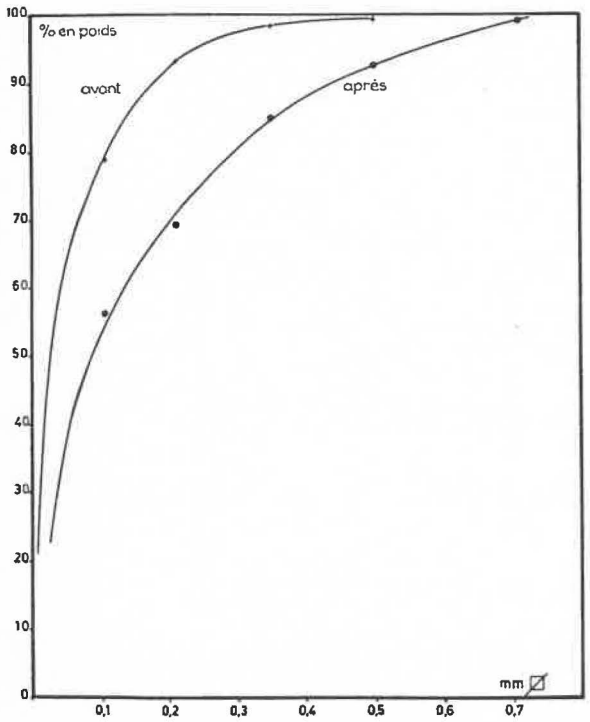


Fig. 10.

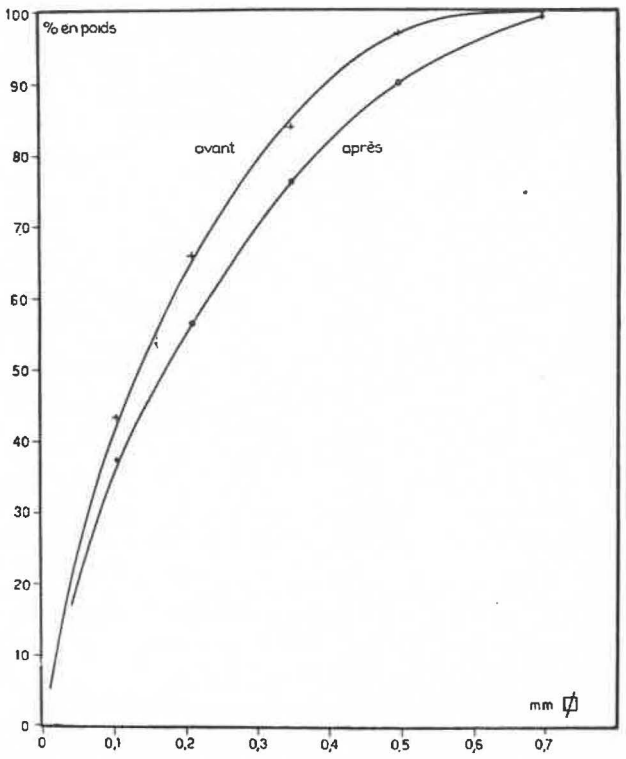


Fig. 11.

duction de cendres des fines lavées d'environ 1 %. Dans les bacs, elles peuvent donc être lavées à une teneur en cendres de 1 % plus élevée, d'où un rendement plus élevé en charbon à cokes et une production moindre de mixtes.

L'influence de la grille courbe sur les produits de la flottation est mise en évidence par les figures 10 et 11.

Le pourcentage de particules > 0,25 mm dans les schlamms schisteux est passé de 5 à 25 %. Il est caractéristique qu'après la mise en marche des grilles courbes on a éprouvé des difficultés avec les tuyaux de purge de l'épaississeur Dorr de l'installation de clarification.

Les particules grenues de schistes, qui sont actuellement évacuées avec les schlamms schisteux, disparaissaient autrefois, soit avec les fines lavées, comme mentionné ci-dessus, soit avec les mixtes ou encore par abrasion.

L'examen des schlamms lavés (fig. 11) donne la même image. Le pourcentage > 0,5 mm est passé de 3 % à 10 % et le pourcentage < 0,1 mm de 40 % à 35 %.

La teneur en humidité du gâteau de filtre (fig. 12) s'en est fortement ressentie. Si la figure 12 indique que la réduction de la teneur en humidité est surtout marquée après quelques mois de marche, cela provient du fait que, par suite des difficultés rencontrées pour l'évacuation des schlamms schisteux épaissis, l'installation des grilles courbes n'a pas pu être entièrement mise en marche dès le début.

ration à *f* 8,— par tonne d'eau, en négligeant les salaires, les matériaux, les intérêts et les amortissements, les frais de séchage diminuent de 0.041 × *f* 8,— = *f* 0,32 par tonne de schlamms secs grâce à la réduction de la teneur en humidité.

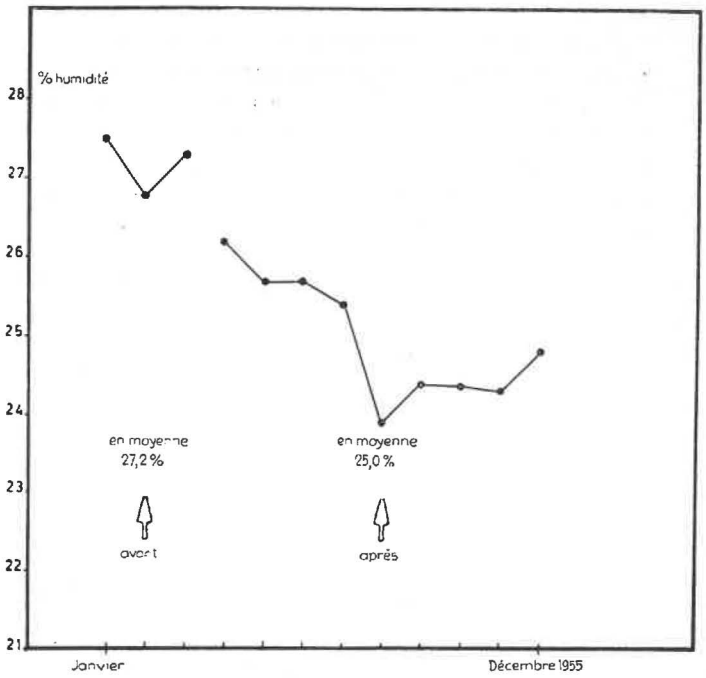


Fig 12.

On pourrait faire remarquer que l'augmentation du calibre des schlamms n'est attribuable qu'à la modification de la classification entre fines et

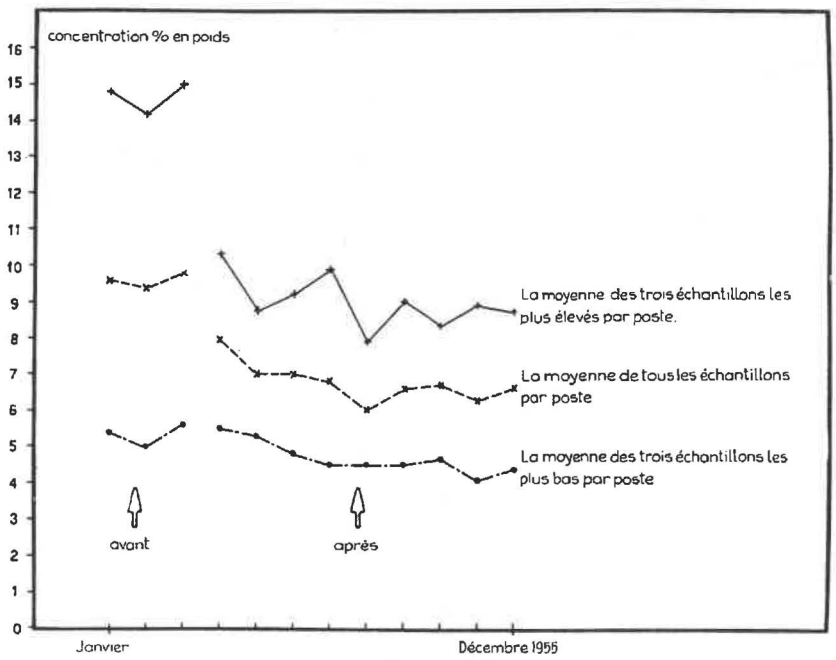


Fig. 13.

La réduction de l'humidité du gâteau des filtres de 2,2 % donne une réduction de la quantité d'eau à évaporer de 0.041 tonne par tonne de schlamms secs. Si l'on estime le coût du combustible d'évapo-

schlamms et ne résulte pas de la réduction de l'abrasion. La composition de la production nette (fig. 13) montre cependant que ce n'est pas le cas. Le fait que, malgré un meilleur déschlammage des

fines lavées, le rapport entre les fines et les schlamms est resté pratiquement constant ne peut être expliqué que parce que les fines > 0,5 mm ont pu être lavées à une teneur en cendres plus élevée, la teneur en particules cendreuses < 0,5 mm ayant diminué, et par la réduction de l'abrasion. En réalité, le pourcentage < 0,5 mm dans le charbon à coke a diminué d'environ 7 %.

Enfin la figure 14 montre la réduction de la concentration en solides de l'eau de lavage. Non seulement la concentration moyenne est passée d'environ 9,5 % à environ 6,5 %, mais encore elle est devenue plus constante.

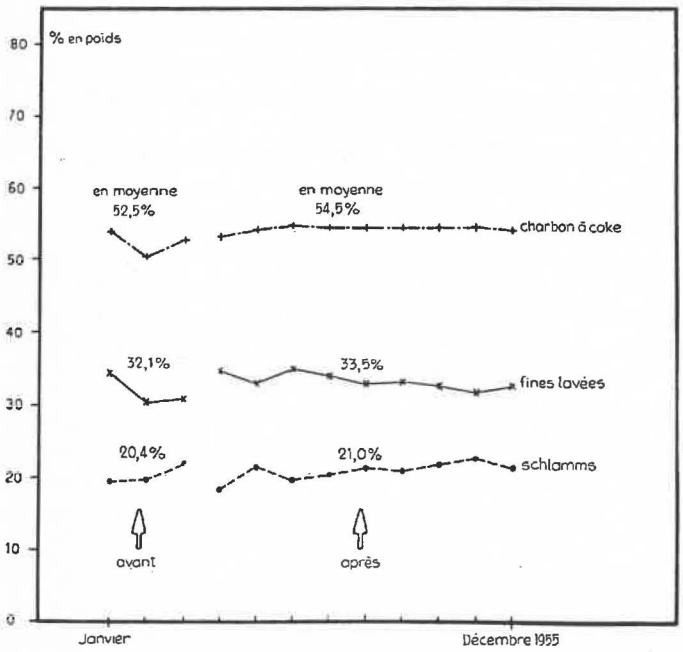


Fig. 14.

Par la mise en marche de l'installation pour la séparation des schlamms grenus, la recirculation énorme de schlamms et d'eau a disparu.

En voici les conséquences :

1. Meilleurs résultats de lavage :
   a) Les bacs Baum à fines ne sont plus surchargés.
   b) La totalité des schlamms grenus non-lavés arrive maintenant à l'installation de flottation, tandis qu'autrefois elle était évacuée pour une certaine partie avec les fines lavées et mixtes.
   c) La flottation est plus régulièrement chargée tant en ce qui concerne la quantité que la qualité des produits. Ces facteurs influencent non seulement le rendement, mais donnent encore une qualité plus constante du charbon à coke.
2. Réduction des frais de fabrication :
   a) Par suite de la réduction de l'abrasion, moins de particules fines sont formées, et la capacité des filtres augmente tandis que la teneur en humidité des schlamms diminue. Il en résulte une réduction des frais de séchage thermique.
   b) Le temps de marche des lavoirs peut être abrégé parce qu'il y a moins de schlamms accumulés dans le lavoir. Le circuit est vidé plus rapidement.
   c) L'usure des pompes, des cribles, des tuyaux, etc., sera certainement diminuée.

La durée de vie des grilles à fentes dans les grilles courbes est d'environ 2 800 heures.

En résumé nous pouvons conclure que, par la mise en marche de l'installation des grilles courbes, le problème du traitement des particules grenues dans le spitzkasten a été bien résolu.

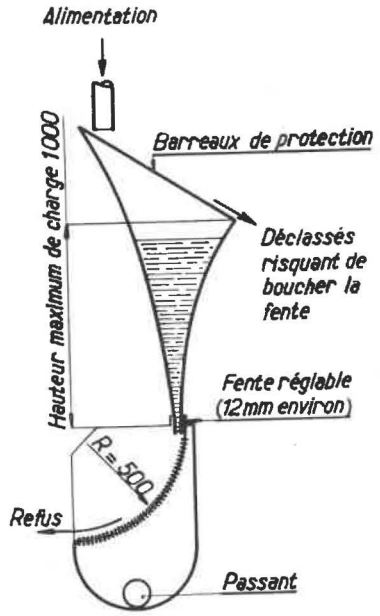
DISCUSSION

M. LEHNER. — Je voudrais demander au Dr Krijgsman s'il peut donner des indications sur le débit spécifique, à d'autres écartements de barreaux que 1 mm et, en particulier, aux faibles écartements de barreaux.

M. KRIJGSMAN. — En général, on peut dire que le débit d'une grille courbe est proportionnel à la surface libre de la grille et à la vitesse de l'alimentation. Pour une ouverture de grille donnée, le débit dépend de la largeur des barreaux.

M. BELUGOU. — Nous avons fait un peu partout des essais assez prolongés sur les grilles courbes et nous avons vérifié l'exactitude de tout ce que vous avez dit dans vos publications antérieures. Le débit est proportionnel à la vitesse d'alimentation et à peu près indépendant de l'écartement des barreaux, à condition que le rapport vide sur plein soit le même. J'ai signalé tout à l'heure qu'à Chocques nous avions une grille courbe de 0,3 mm, du modèle le plus léger, qui a duré 2.000 heures et a été traversée par 20.000 tonnes de produit. Nous n'avons utilisé les grilles courbes que pour le problème particulier de la protection d'une flottation, et non pour le déschlammage de fines lavées. Puisqu'il est démontré que le débit est proportionnel à la vitesse, nous avons été amenés à modifier le dispositif d'alimentation de la grille afin d'accélérer cette vitesse. La figure montre le dispositif que nous employons. Une simple cheminée de mise en pression évite tout tourbillon et tout choc. Pour équilibrer la capacité de la grille et la hauteur d'alimentation, il faut

que l'écartement des lèvres soit de l'ordre de 12 mm, ce qui exclut la possibilité de traiter des fines. Pour éviter tout risque de bouchage, on place des barreaux de protection de quelques millimètres d'ouverture au-dessus de la cheminée, avec une pente de 45°.



M. GY. — Je voudrais demander à M. Krijgsman son avis sur la dimension minimum à laquelle on peut descendre avec des grilles courbes.

M. KRIJGSMAN. — Nous avons fait des essais, non seulement dans les charbonnages, mais aussi dans d'autres industries. Nous avons installé des grilles courbes effectuant des coupures jusqu'à 50 microns, c'est-à-dire avec des fentes de 0,1 mm. Ces grilles courbes s'usent trop vite pour être employées dans les charbonnages. Nous les utilisons dans des applications très intéressantes, par exemple dans les ateliers de préparation de la fécule de pomme de terre. Pour les charbonnages, on peut aisément aller jusqu'à des fentes de 0,5 mm. En dessous, à 0,3 mm par exemple, on obtient toujours des résultats satisfaisants, mais l'emploi commence à devenir plus difficile.

M. BELUGOU. — Nous avons utilisé avec succès des grilles plus fines que celles que vous indiquez, nous avons travaillé à 0,3 mm. J'insiste sur l'importance de retournement des grilles. Ces grilles fines doivent absolument être retournées au maximum tous les deux jours, de préférence tous les jours. Dans un lavoir où cette précaution n'a pas été prise, la grille a été mise hors service extrêmement rapidement par suite de la déformation des barreaux.

M. KRIJGSMAN. — C'est exact, nous utilisons aussi des grilles courbes avec des fentes jusque 0,3 mm dans le circuit de régénération de notre installation de cyclone laveur. Mais, dans ce cas, l'usure devient plus sérieuse et, comme M. Belugou l'a déjà indiqué, l'emploi demande plus de soins.

M. de MAGNEE. — Dans le cas de matériaux quartzeux, le sable par exemple, quelle est la durée de vie moyenne des grilles courbes ?

M. KRIJGSMAN. — Je ne peux pas vous donner de chiffre exact. Avec le sable, l'usure est évidemment plus forte. Des grilles courbes sont en fonctionnement dans les cimenteries et ont une durée moyenne de 450 heures. La société Mechernich (Allemagne) utilise aussi des grilles courbes d'une ouverture de 0,8 mm pour le traitement de ses minerais. Dans ce cas, la durée de vie est d'environ deux mois.

L'essoreuse Humboldt

RESULTATS INDUSTRIELS OBTENUS AU CHARBONNAGE D'HELCHTEREN-ZOLDER

M. DEWEZ,

Ingénieur à Locorail.

La firme Humboldt a mis au point, ces dernières années, une nouvelle essoreuse à panier-tamis oscillant qui, par sa construction simple et la sécurité de marche qui en résulte, a été introduite avec succès dans la pratique (fig. 1).

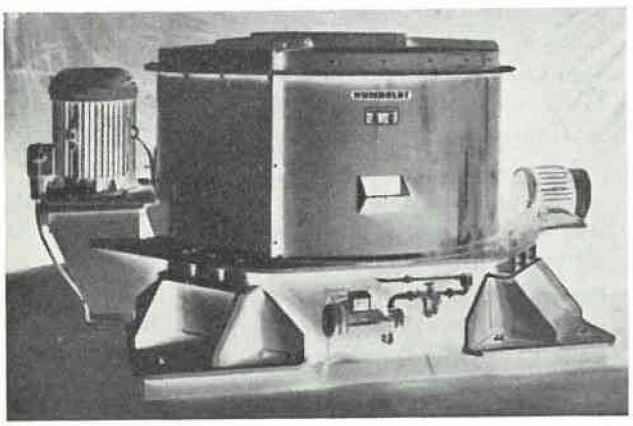


Fig. 1.

Un panier-tamis, faiblement conique et ouvert vers le haut, tourne autour d'un axe vertical et effectue en même temps des oscillations dans le sens de cet axe.

La matière à essorer, qui arrive dans le fond du panier-tamis en mouvement, est projetée, par l'effet de la force centrifuge, sur la paroi intérieure du panier-tamis et transportée par le mouvement oscillatoire, jusqu'à son extrémité supérieure, d'où elle est évacuée.

Dans cette construction, il a été mis à profit le phénomène connu des oscillations rapides, provoquant l'état d'écoulement d'une matière se composant de grains et lors duquel la friction entre les grains et de ceux-ci sur la paroi oscillante est réduite. Le convoyeur à commande électromagnétique est un exemple de ce procédé. L'essoreuse à panier oscillant apporte la preuve que ce phénomène d'écoulement demeure valable lorsque le champ de gravité normal est remplacé par le champ de force centrifuge bien plus élevé. Alors que la matière transportée par un transporteur vibrant ne se trouve pas constamment en contact avec le fond du transporteur — elle se trouve plutôt en état de suspension —, la matière dans l'essoreuse Humboldt ne peut nullement se détacher de la paroi en raison de la pression beaucoup plus élevée, bien qu'il existe également un angle de jet par suite du mouvement axial d'oscillation par rapport au panier-tamis conique. Le transport sous forme de « suspension » se transforme donc en un mouvement de glissement.

L'eau contenue par capillarité dans la matière alimentée se dégage par l'extérieur par les ouvertures du tamis lors du parcours de ce dernier, partant du fond vers le bord d'évacuation. Le produit déshydraté, ainsi que l'eau essorée, sont récoltés dans des récipients concentriques et évacués séparément.

Le mouvement d'écoulement dont il est question plus haut résulte de l'effet de deux accélérations sur la matière alimentée — en négligeant une fois l'influence de l'inclinaison du panier — à savoir l'accélération d'oscillation dans le sens axial. Des commandes séparées pour ces mouvements de panier présentent de ce fait les meilleures possibilités d'un réglage très étendu, étant donné que le choix d'un rapport approprié de ces deux grandeurs d'accélération peut se faire par adaptation à la friction des différentes matières. Les moteurs de commande se trouvent à l'extérieur du corps de l'essoreuse, afin de faciliter le remplacement des poulies à courroies trapézoïdales. Ceci pré-

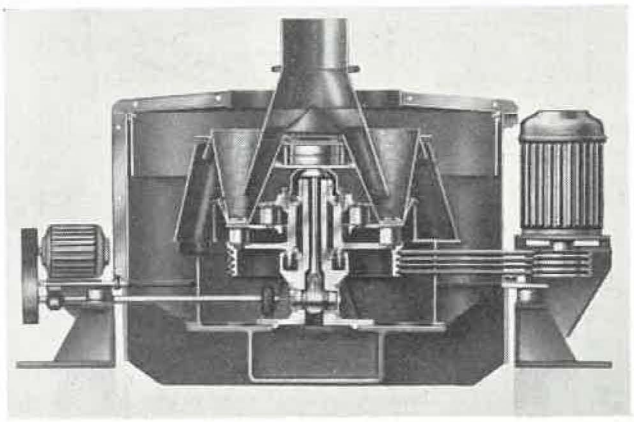


Fig. 2.

sente en même temps l'avantage d'un entretien plus aisé.

La construction de la machine (fig. 2) est facile à comprendre par la comparaison avec un crible à résonance. Pour des raisons d'équilibrage des masses, il a été choisi pour l'essoreuse un système à deux masses, dans lequel le panier-tamis représente la masse utile et le poids restant de la machine, la contre masse. Ces deux masses oscillent l'une contre l'autre et leurs amplitudes sont inversées. Les faibles vibrations qui résultent de la machine, qui est environ 20 fois plus lourde que la masse utile oscillante, sont absorbées par des amortisseurs en caoutchouc spécial et ne sont donc pas transmises aux fondations.

Parmi les principaux éléments de construction de cette essoreuse se trouve un arbre vertical creux, fixé sur le bâti. Sur cet arbre repose un rotor logé dans des paliers robustes, constituant la base du mouvement giratoire. La poulie à courroies trapézoïdales pour la rotation et une série d'amortisseurs en caoutchouc, entre lesquels le panier-tamis est serré élastiquement, sont fixés sur cet arbre. Une commande à manivelle, disposée à l'intérieur de l'arbre, a pour fonction la création des oscillations axiales par l'intermédiaire d'un accouplement élastique. La fréquence de service se situe un peu en dessous de la fréquence de résonance.

Les épreuves faites avec cette essoreuse font ressortir une série de lois physiques intéressantes. Considérées sur la base des index généralement utilisés pour juger de la valeur d'une essoreuse, elles présentent les caractéristiques suivantes :

Le degré de déshydratation dépend de la décomposition des grains et particulièrement des teneurs proportionnelles en grains en dessous de 0,5, 0,3 et 0,1 mm, ainsi que de l'humidité à l'alimentation.

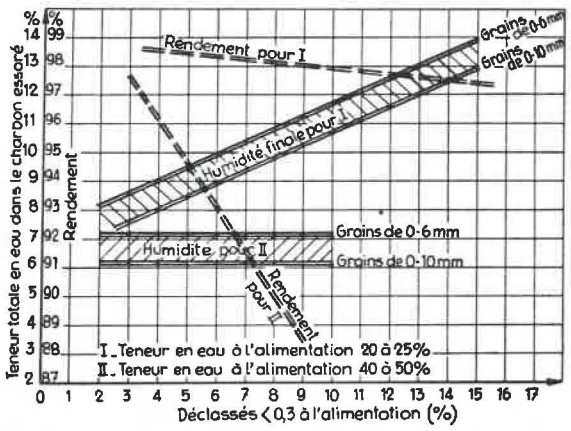


Fig. 3.

Le tableau (fig. 3) représente cette particularité sous forme de diagramme. Les teneurs finales en eau du produit essoré y sont reproduites en fonction de la teneur proportionnelle en déclassés. La courbe ascendante par teneur progressive en déclassés se rapporte à une série de résultats d'essais lors desquels le produit alimenté a été prédéshydraté à environ 20-25 % d'eau. Par contre, la courbe d'un tracé horizontal a été établie pour un produit alimenté d'une teneur en eau particulièrement élevée de 40 à 50 % à l'alimentation. Ce dernier produit est caractéristique pour des installations d'essorage préliminaire par des cribles fixes à fentes sous forme de couloirs ou d'installations de criblage radiales.

D'après ces courbes, on pourrait conclure qu'il faudrait ou bien effectuer un bon déschlammage du produit alimenté lors d'un essorage préliminaire poussé, afin d'obtenir une grande quantité de matière aussi sèche que possible, ou bien laisser dans le produit une certaine teneur en eau, de façon que le processus de déschlammage dans l'essoreuse par le rinçage du plus fin se fasse automatiquement.

La valorisation d'une série d'essais a démontré que la teneur totale en eau du charbon à coke est inférieure lorsque les fines plus grossières et le schlamm brut sont essorés séparément dans des essoreuses. En raison d'un meilleur filtrat, il sera utile d'employer des essoreuses à enveloppe fermée pour l'essorage du schlamm le plus fin.

Au même diagramme figure le deuxième index, le rendement en matière solide. On constate une très faible diminution du rendement lors d'une humidité réduite à l'alimentation et d'une teneur en déclassés progressive dans le produit alimenté, alors qu'il se présente une diminution beaucoup plus prononcée avec un produit d'une teneur en eau plus élevée à l'alimentation lors d'une teneur croissante en déclassés. Il y a donc, d'une part, une augmentation de la teneur finale en eau et une faible diminution du rendement et, d'autre part, une teneur finale en eau presque constante, mais une diminution beaucoup plus importante du rendement.

Un autre index de cette essoreuse est le débit horaire. Il s'est révélé que le degré de déshydratation dans l'essoreuse est indépendant dans des limites très étendues du débit horaire. Pour des quantités alimentées de 30 et 100 t/h par exemple, les mêmes résultats sont obtenus. Le débit maximum horaire de cette machine est de 120 t en produit alimenté. Les variations dans l'acheminement des matières réduisent, bien entendu, la quantité du débit horaire en raison des interruptions temporaires. Le chiffre de la consommation en énergie est de 0,2 kWh/t environ pour un débit de 100 t/h.

to/h matière sèche	ALIMENTATION		CHARBON ESSORE		SCHLAMM ESSORE	
	98.600		97.140		1.460	
Granulométrie	*% du poids*	*% d'alimentation*	*% du poids*	*% d'alimentation*	*% du poids*	*% d'alimentation*
+ 10	1,6	3,5	0,3	4,3		
10 — 6	11,7	4,6	6,0	5,7		
6 — 3	35,7	4,9	26,7	4,4		
3 — 1,5	25,0	5,4	29,4	4,6		
1,5 — 1,0	14,2	6,4	19,4	4,8		
1,0 — 0,5	7,9	6,5	12,5	5,3	1,3	16,6
0,5 — 0,3	1,2	10,9	2,6	5,5	5,0	13,6
0,3 — 0,12	0,2	13,3	0,2	6,0	4,7	12,8
0,12 — 0,06	0,8	16,3	2,0	5,7	16,0	10,0
— 0,06	1,7	24,7	0,9	11,9	73,0	28,6
Total	100,0	5,8	100,0	4,9	100,0	23,9
H_2O	39,2		6,3			
g/l					72	
m^3/h					20,3	

g/l = f (durée de service)

Tôle criblante : Conidur 0,8 mm V 17 F

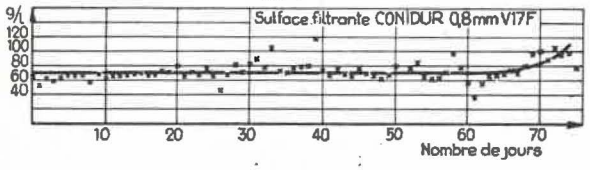


Fig. 4.

L'index « usure » indiqué par tonne débitée, ou bien par heure de service, est particulièrement favorable pour les essoreuses Humboldt. La figure 4 indique, à part un essai d'essorage, les valeurs g/litre mesurées pour une période totale de service d'une garniture Conidur de 0,8 mm d'épaisseur en matière V17F.

Outre le nombre d'heures de services de 1.000 heures approximativement, c'est la constance des valeurs qui est intéressante; elle présente une garantie que le circuit de schlamm ne subisse pas de variations pendant la période d'usure.

En ce qui concerne le bris du produit dans l'essoreuse, il n'existe pas encore d'échelle valable. On propose de mettre en comparaison l'augmentation en grains inférieurs à 1 mm dans le charbon essoré et le filtrat à la teneur en ces mêmes grains dans le produit initial. Pour l'essoreuse, cette valeur (p-po) se situe normalement en dessous de 5 % d'augmentation.

La construction de cette essoreuse, ainsi que les résultats obtenus dans différents lavoirs à charbon, présentent des avantages qui, lors d'une disposition correcte dans le flow-sheet d'un lavoir surtout, amènent une augmentation de la rentabilité de l'installation complète.

Résultats pratiques obtenus au charbonnage de Helchteren-Zolder avec des essoreuses Humboldt (1)

1) *Traitement des fines lavées 0-10 mm.*

a) Teneurs en eau du charbon entrant à l'essorage : 18 à 20 %.

b) Composition granulométrique du charbon :

	Avant essorage	*Après essorage*
+ 10 mm	12,5 %	9,5 %
5-10 mm	40,7 %	34,8 %
2-5 mm	22,8 %	25,3 %
1-2 mm	11,4 %	13,2 %
0,5-1 mm	6,3 %	9,5 %
0-,0,5 mm	6,3 %	7,3 %

c) Humidité du charbon essoré : 7,5 à 9,5 % suivant teneur en très fin.

d) *Filtrat.*

Teneur en matière solide : 170 à 190 grammes par litre (2,5 à 3 % de la matière solide introduite dans l'essoreuse).

(1) Nous remercions ici la S.A. des Charbonnages de Helchteren-Zolder qui nous a aimablement autorisés à communiquer ces résultats.

Granulométrie :

+ 2 mm	2,06 %
1 à 2 mm	7,08 %
0,5-1 mm	12,35 %
0-0,5 mm	78,51 %

e) Teneurs en cendres.

Fines introduites	9 %
Filtrat	30 %
Fines essorées	8,6 %

f) Influence de la proportion de < 0,5 mm sur l'humidité finale : réduction de 1 % lorsque la quantité de très fin est fortement diminuée.

g) Durée des tamis : essorage de 18 à 20.000 tonnes.

h) Capacité ≅ 60 tonnes introduites par heure (à Zolder : 55 t — 65 t — 75 t).

i) Prix de revient à la tonne essorée :

Tamis	0,15 F
Energie	0,18 F
Amortissement	1,25 F (en 2 ans)
Matériel d'entretien et main d'œuvre	0,20 F
	1,78 F

2) *Traitement des mixtes 0-10 mm.*

a) Teneurs en eau des mixtes entrant à l'essorage : 17 à 19 %.

b) Composition granulométrique des mixtes :

	Avant essorage	*Après essorage*
+ 10 mm	1,7 %	1,2 %
5-10 mm	33,7 %	31,1 %
2-5 mm	43,4 %	43,4 %
1-2 mm	9,8 %	11,6 %
0,5-1 mm	5,7 %	6,9 %
0-0,5 mm	5,7 %	5,8 %

c) Humidité des mixtes essorés : 8 à 9 % suivant teneur en très fin.

d) *Filtrat :*

Teneur en matière solide 130 g/litre à 150 g/litre (1,5 à 2 % de la matière solide introduite dans l'essoreuse).

% en cendres des matières solides dans le filtrat : 37 à 45 %.

e) Teneurs en cendres :

Mixtes introduits :	42 %
Filtrat :	40 %
Mixtes essorés :	42,5 %

f) Influence de la proportion de < 0,5 mm sur l'humidité finale :

Réduction de 1 % lorsque la quantité de très fin est fortement diminuée.

g) Durée des tamis : essorage de 6 à 7.000 tonnes.

h) Capacité : ≅ 50 tonnes introduites par heure (à Zolder : 38 t/h).

i) *Prix de revient à la tonne essorée :*

Energie :	0,36 F
Tamis :	0,45 F
Amortissement :	1,25 F (en 2 ans)
Matériel d'entretien et main d'œuvre :	0,80 F
En total :	2,86 F

DISCUSSION

M. VEILLET. — Les humidités que vous renseignez dans vos résultats sont elles totales ou superficielles ?

M. KUHLER. — Il s'agit de l'humidité totale déterminée à 105° C.

Filtration des eaux schisteuses sur un filtre pilote à décharge à fils

par E. POUILLON,
Ingénieur,
Sous-Directeur à la S. A. Cribla.

INTRODUCTION

Durant ces dernières années, la mécanisation a eu comme conséquence d'augmenter la proportion de fines dans les charbons bruts.

De ce fait, le traitement par flottation des charbons de granulométrie inférieure à 1 mm s'est considérablement développé. Le problème de l'évacuation des eaux schisteuses se pose actuellement dans beaucoup de charbonnages. Diverses solutions ont pu y être apportées.

Lorsqu'il s'agit d'eaux schisteuses à forte teneur en produits de granulométrie inférieure à 50 microns, on utilise généralement les bassins de décantation.

Les prescriptions sur la pollution des eaux renvoyées au cours d'eau devenant de plus en plus sévères, on est actuellement amené à augmenter considérablement la surface des bassins pour obtenir une eau de débordement suffisamment claire. Dans de nombreux cas, on manque de place pour réaliser du stockage de plusieurs années de ces refus et on doit vider périodiquement les bassins. Un charbonnage belge a bien voulu nous communiquer le coût de la manutention des schlamms cendreux (50 % cendres environ) depuis les bassins extérieurs jusqu'à l'installation de séchage.

Son prix s'élève à 38 francs la tonne (poids sec).

En raison de ces frais, on est amené à envisager la filtration de ces schlamms très argileux sur des appareils mécaniques, de manière à les rendre manipulables et, en même temps, à obtenir de l'eau claire pouvant être déversée au ruisseau ou réutilisée au lavoir.

Le filtre rotatif, à vide continu, à décharge à fils, représenté à la figure 1, mis au point aux Etats-Unis depuis 25 ans, pour résoudre les nombreux problèmes de filtration qui se posent dans l'industrie chimique, en est une solution.

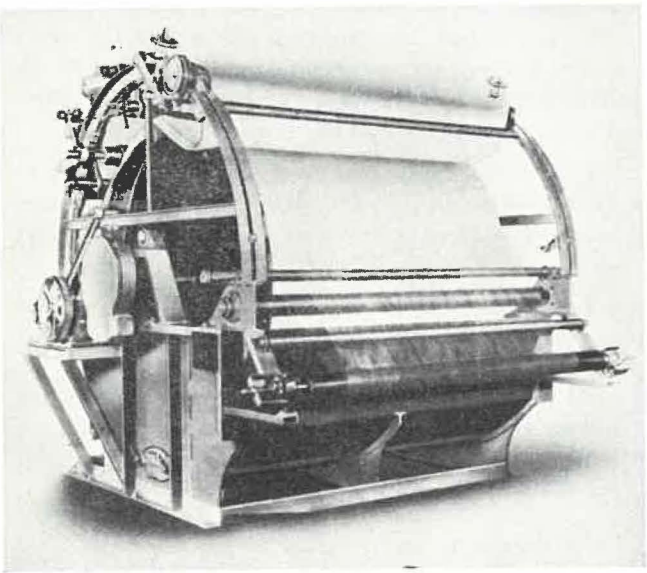


Fig 1. — Vue d'ensemble du filtre.

DESCRIPTION DU FILTRE

Les caractéristiques particulières du filtre sont les suivantes :

— *Le dispositif de décharge à fils* qui a pour but de décoller complètement le produit filtré de la toile.

Sa fonction est bien détaillée à la figure 2.

Ce mécanisme consiste en une série de fils sans fin écartés d'environ 1 cm. Les fils passent autour du tambour, se séparent du tambour en décollant le produit filtré de la toile et passent sur un cylindre de décharge du produit filtré. Ils reviennent à nouveau se placer sur le tambour au moyen du cylindre de retour. Le produit filtré qui se forme sur la toile au-dessus des fils est renforcé par ces derniers, de telle sorte qu'au point de décollement, les fils soulèvent virtuellement le produit filtré en une plaque continue.

La décharge à fils est si efficace que l'air comprimé n'est pas nécessaire pour décoller le gâteau de la toile.

— *La toile filtrante est constituée d'un tissu de texture légère.*

Comme la décharge à fils ne soumet pas le tissu du filtre à un important effort mécanique, ces filtres peuvent fonctionner avec des tissus de texture légère et, en même temps, assurer une longue durée de fonctionnement. En outre, les tissus légers ont des propriétés physiques très proches

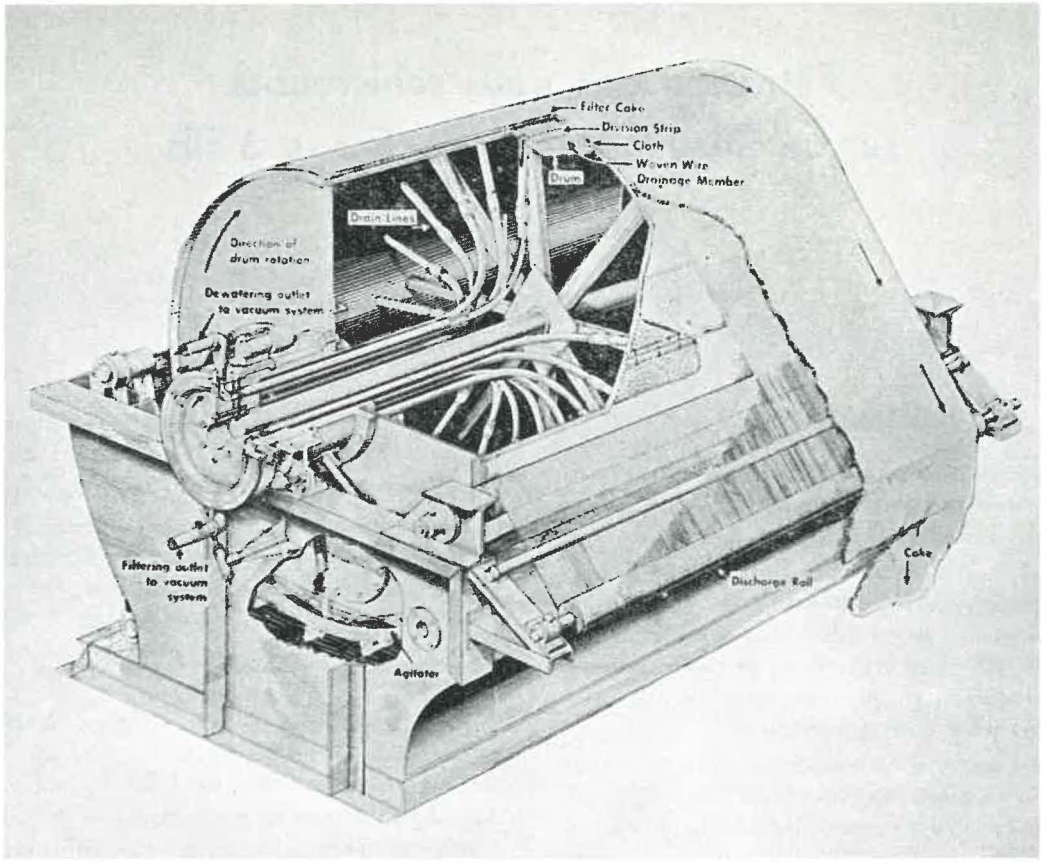


Fig. 2. — Coupe détaillée dans le filtre.

de celles des procédés de filtration utilisés en laboratoire. Ils permettent au produit filtré, plutôt qu'au tissu, d'agir comme moyen de filtration.

Des tissus plus légers sont aussi plus efficaces contre le colmatage que des tissus plus épais, car la chute de pression au travers du tissu est moindre pour le tissu plus léger.

Il est intéressant de signaler que les fils ne sont pas enlevés lorsqu'on doit remplacer la toile.

— *Le mécanisme de compression.*

Il se compose de deux cylindres supportant chacun une série de disques lourds roulant sur une courroie (fig. 3).

Leurs fonctions consistent, tout d'abord, à comprimer le produit filtré pour en réduire la teneur en humidité (généralement de 2 à 6 %, suivant la matière à traiter) et aussi à refermer les craquelures qui se produisent dans le produit filtré au début de la période de déshydratation. La courroie recouvre de plus les craquelures qui peuvent se produire après que la compression a eu lieu.

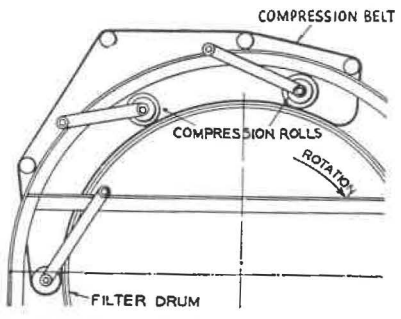


Fig. 3. — Mécanisme de compression.

En refermant et en obturant les craquelures, on réduit fortement la consommation de vide. Cette réduction de consommation peut atteindre 0,5 m^3 d'air aspiré par minute par m^2 de surface filtrante. Cette diminution correspond à une réduction de 10 à 25 CV de la puissance absorbée par la pompe à vide, suivant la dimension du filtre.

Le mécanisme de compression a aussi pour effet de permettre au produit filtré de se présenter sous forme d'un gâteau homogène qui puisse aisément se décoller de la toile.

Le produit filtré tend normalement à se préparer par fissuration, retardant ainsi l'enlèvement continu et provoquant le colmatage. On conçoit qu'il faille décoller entièrement le produit filtré si l'on veut maintenir la toile à l'état propre. Le filtre muni du dispositif de compression résout ces difficultés.

— *Temps nécessaire pour la filtration.*

En général, l'augmentation d'épaisseur du gâteau diminue rapidement après les deux ou trois

premières minutes de filtration. Lorsqu'on prolonge l'immersion, la quantité de matière qui continue à se déposer devient très faible.

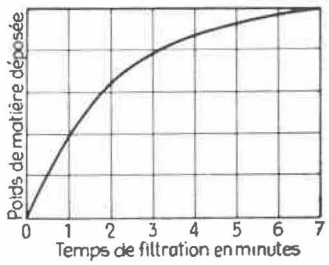


Fig. 4. — Temps de filtration.

La figure 4 représente une courbe de filtration type.

L'humidité contenue dans le produit filtré peut encore être réduite en maintenant le vide après l'achèvement du cycle de filtration.

Le pourcentage d'humidité enlevée diminue également rapidement avec le temps et, après une période relativement courte, on n'obtient plus que des résultats négligeables en continuant la déshydratation (fig. 5).

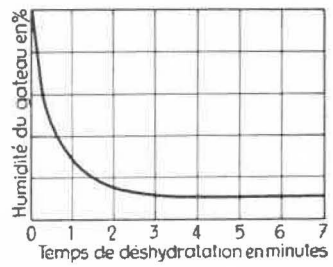


Fig. 5. — Temps de déshydration.

Avec de courtes périodes de filtration et de déshydratation, on peut faire travailler un filtre continu avec une efficacité maximum.

Certains problèmes de filtration exigent de courtes périodes de formation de gâteaux et de longues périodes de déshydratation. D'autres applications exigent de longues périodes de formation de gâteaux et de courtes périodes de déshydratation. Suivant le cas, le filtre est fabriqué tant avec grande qu'avec petite immersion.

RESULTATS DE FONCTIONNEMENT

Des essais ont été effectués en Angleterre, en Belgique et, actuellement, en France avec un filtre pilote ayant une surface filtrante de 1 m^2 environ.

Le filtre d'essai est sensiblement analogue à celui qui est représenté à la figure 6. Il comprend la pompe à vide, la pompe à eau de filtrat et le réservoir à eau de filtrat.

Des essais effectués jusqu'à présent, on conclut que la condition primordiale à réaliser consiste

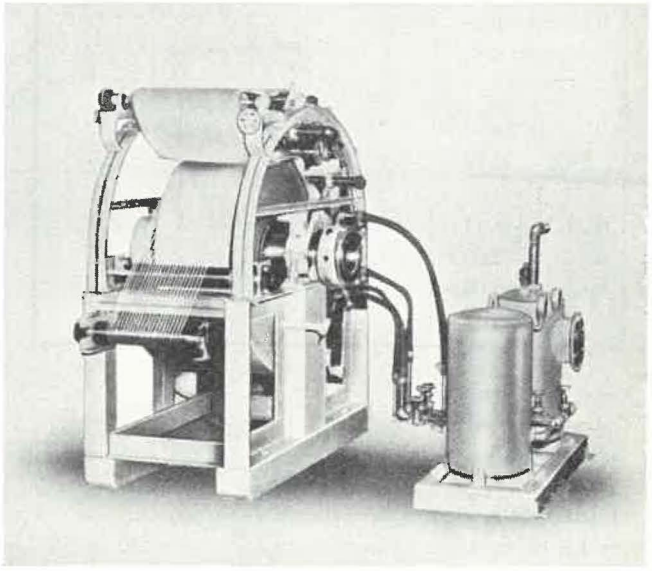
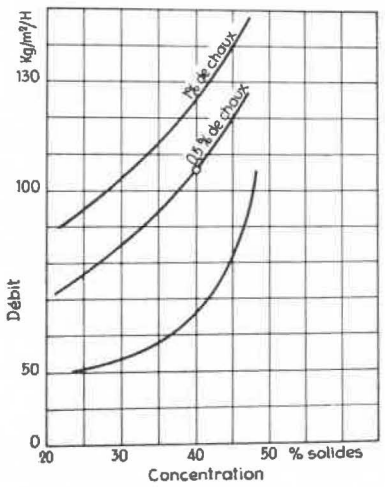


Fig 6. — Vue du filtre pilote.

dans l'alimentation du filtre avec une pulpe suffisamment concentrée.

Les graphiques ci-après montrent la relation entre le débit du filtre et la concentration de la pulpe d'alimentation.

Les analyses correspondant aux figures 7 et 8 sont les suivantes :



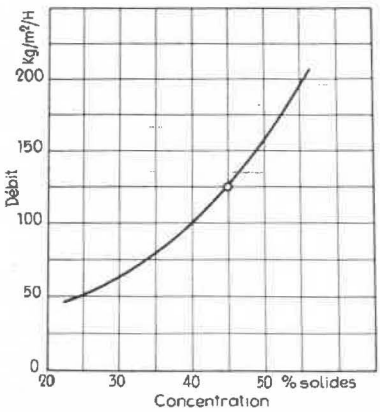


Fig. 7 et 8. — Graphique G.B.A. - G.B.B.

Granulométrie en mm	*Poids en %*		
	A	B	C
+ 0,792	1	0,7	—
0,792 — 0,42	19	7,2	0,8
0,42 — 0,21	30	42	2,9
0,21 — 0,11	20	14,9	8,2
0,11 — 0,053	15	12,5	7,2
0,053 — 0,044	15	22,7	5,1
— 0,044	—	—	75,8

Concentration à l'alimentation — en % de solide	40 %	45 %	16 %
Débit (poids sec) en kg/m²/h. . .	105	125	90
Humidité du gâteau	24 %	19 %	32 %
Concentration des eaux de filtrat	moins de 1 g/litre		

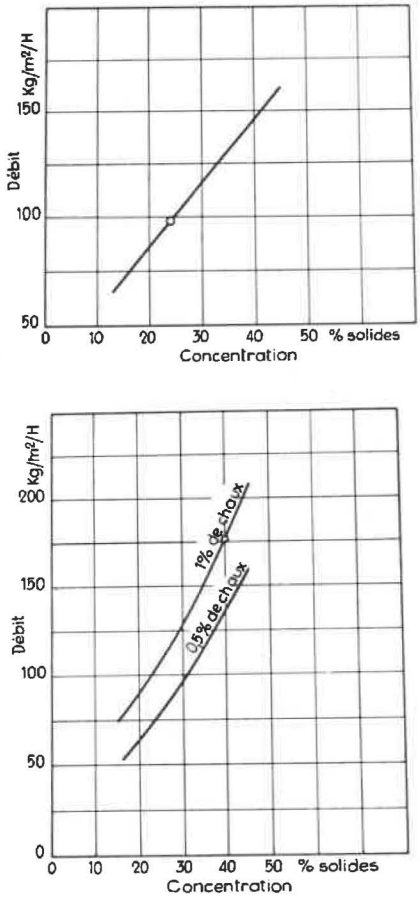


Fig. 9 et 10. — Graphique B.D. - B E.

Les analyses correspondant aux figures 9 et 10 sont les suivantes :

Granulométrie en mm	*Poids en %*	
	D	E
+ 1	2,80	—
0,5 — 1	5,40	6
0,2 — 0,5	9,20	32
0,1 — 0,2	13,60	30
0,05 — 0,1	15,20	20
— 0,05	53,80	12

Concentration à l'alimenta- en % de solide	24	40
Débit (poids sec) en kg/m²/h.	96	175
Humidité du gâteau . . .	25 %	21 %
Concentration des eaux de filtrat en g/l	0,5	1

L'analyse correspondant à la figure 11 est la suivante :

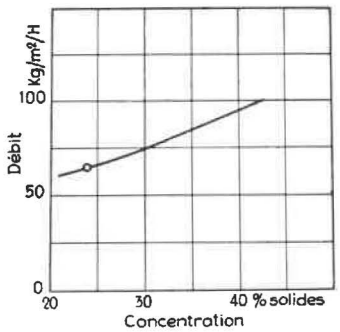


Fig. 11. — Graphique F.

Granulométrie en mm	*Poids en %*
+ 1	—
0,5 — 1	—
0,2 — 0,5	0,5 %
0,1 — 0,2	6,5 %
0,05 — 0,1	32 %
— 0,05	61 %

Concentration à l'alimentation	24 %
Débit (poids sec) en kg/m²/h.	65
Humidité du gâteau	30 %
Concentration des eaux de filtrat	moins de 1 g/litre

APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Une installation de filtration des eaux schisteuses de flottation est actuellement en service en Angleterre, au charbonnage « Mardy ».

Le schéma de cette installation est représenté à la figure 12.

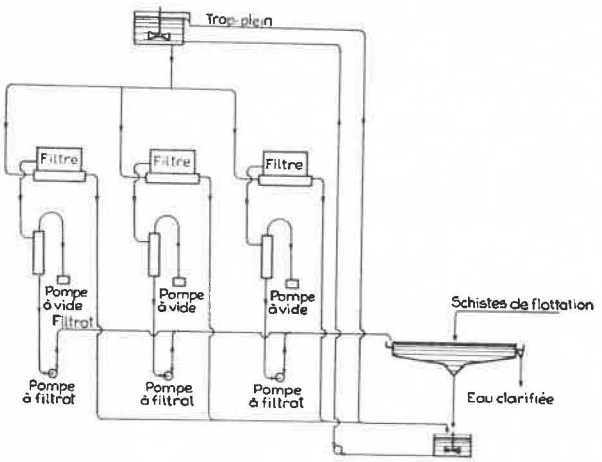


Fig. 12. — Flow-sheet « Mardy Colliery ».

En bref, cette installation consiste en trois filtres de 23 m² chacun, un des filtres servant de réserve aux deux autres. Le débit horaire de l'installation est de 15 tonnes de schistes (poids sec).

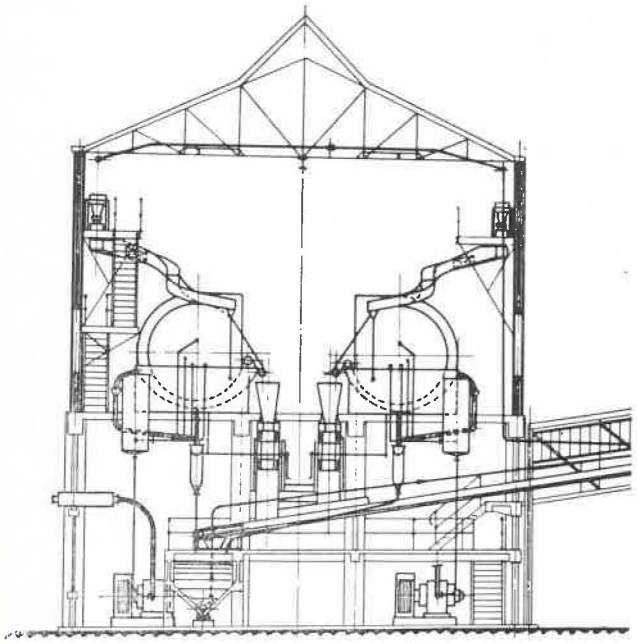


Fig. 13. — Coupe installation de filtration.

Prix de revient.

Le prix de revient pour une installation de filtration, telle que représentée à la figure 13 et comprenant 6 filtres, pouvant traiter ensemble 25 tonnes/heure (poids sec) de schlamms argileux, se décompose comme suit :

Main-d'œuvre	5
Entretien matériel	2,50
Force motrice	11
Amortissement	16,75
Prix de revient total	35,25 FB

Les calculs ci-dessus sont établis pour la filtration d'un schlamm argileux contenant plus de 50 % de produits de granulométrie inférieure à 50 microns et dont la concentration à l'alimentation des filtres ne dépasse pas 24 % de matières solides.

Des essais sont actuellement en cours pour augmenter la concentration à l'alimentation jusqu'à une valeur de 32 % en matières solides. Les essais préliminaires ont donné des résultats très favorables. L'installation pourrait, dans ce cas, être réduite à 4 filtres et le prix de revient à la tonne se ramènerait à 29 F environ.

CONCLUSIONS

Les premiers essais montrent que, dans bien des cas, les schistes de flottation à pourcentage élevé de produits de granulométrie inférieure à 50 microns peuvent être filtrés.

Le produit filtré aura une humidité comprise entre 18 et 35 % et sera manutentionné sans difficultés avec les schistes grenus allant au terril.

Les eaux de filtrat contiendront moins de 1 g/litre de matières solides en suspension.

Le prix de revient à la tonne sera sensiblement réduit lorsqu'on peut alimenter le filtre avec une pulpe de concentration suffisante.

Traitement des eaux polluées des lavoirs à charbon

par E. LECLERC,
Professeur à l'Université de Liège,
Directeur du CEBEDEAU

et

F. EDELINE,
Ingénieur chimiste A.I.Gx.,
Attaché au CEBEDEAU.

Les études et enquêtes entreprises depuis plusieurs années par l'Office d'Epuration des Eaux Usées du Ministère de la Santé Publique et de la Famille, se sont concrétisées par les dispositions légales et réglementaires que vous connaissez :

1) la loi du 11 mars 1950 sur la protection des eaux contre la pollution; c'est une loi de cadre instaurant un nouveau régime pour cette protection, et qui abroge toutes les anciennes dispositions en la matière ;

2) l'arrêté d'application du 29 décembre 1953, fixant les conditions générales de décharge pour les trois classes de rivières;

3) la circulaire du 30 janvier 1951, fixant les conditions de décharge des eaux usées industrielles dans les égoûts communaux.

Certes, le Cebedeau s'est intéressé depuis longtemps déjà aux problèmes généraux et particuliers que pose, pour diverses industries, la mise en vigueur de ces mesures de protection de la rivière, problèmes relatifs aux analyses minutieuses des eaux résiduaires et aux possibilités de traitements.

Si nous avons répondu à l'invitation de l'Institut National de l'Industrie Charbonnière et avons l'honneur d'être présent à cette séance, ce n'est pas avec l'intention d'aborder les problèmes « intérieurs » relatifs à l'eau dans l'industrie charbonnière, mais plutôt pour confronter avec les prescriptions légales déjà en vigueur, et avec celles qui suivront, connues dans leur esprit, les conséquences pratiques des déversements d'effluents en rivière. L'étude des rivières constitue pour nous une préoccupation constante et nous avons eu l'occasion, dans ce domaine, de récolter une documentation très étendue.

Ayant ainsi fixé la portée de cette note, nous nous permettons de rappeler brièvement à quels effluents peut donner lieu l'exploitation charbonnière :

a) les eaux d'exhaure ;

b) les eaux de lavoirs à charbon ;

c) les eaux des bains-douches et installations sanitaires.

A. — Eaux d'exhaure.

Les eaux d'exhaure, dont vous trouverez ci-dessous quelques analyses, prises au hasard, sont tout indiquées pour diluer d'autres effluents trop concentrés. Réglementairement, cette dilution par les eaux d'exhaure est admissible, car ces eaux constituent une nouvelle source d'eau naturelle, d'origine souterraine, et n'est pas un prélèvement dans le cours d'eau.

Eaux d'exhaure d'un charbonnage belge.

Profondeur (m)	90	360	540	650
Matières totales				
sec (mg/litre)	1.404	1.420	2.170	2.260
calciné (mg/litre)	1.152	1.182	2.046	2.148
Matières organiques (mg/litre)	244,8	108,8	340	122,4
Cl - (mg/litre)	24	14,4	211,2	17,6
SO_3 (mg/litre)	177	530	445	1.406
CaO (mg/litre)	59,36	86,24	57,12	141,2
MgO (mg/litre)	26,64	42,12	48,64	54,72
pH	8,22	8,28	8,77	8,72

(Extrait de « Batta & Leclerc — Graissage des câbles de mines » — Annales des Mines de Belgique — 1932 - T. XXXIII, 2e liv.).

Eau souterraine d'un charbonnage de Campine (Irruption).

		A	B
Dureté totale	°F	6,65	7,54
Dureté permanente	°F	6,65	3,87
Résidu sec à 110° C	mg/litre	200	1.860
Résidu calciné	mg/litre	194	1.840
Alcalinité au M.O (TAC)	°F	48,4	—
Alcalinité à la phénolph. (TA)	°F	0	—
Silice	mg/litre	60	—
CaO	mg/litre	34	—
MgO	mg/litre	traces	—
SO_3	mg/litre	185	—
Cl	mg/litre	774	—
CO_2 combiné	mg/litre	0	—
Matières organiques (par oxydation en milieu alcalin)	mg/litre	12	—
pH		6,9	

(Analyse effectuée par M. Leclerc, le 12 avril 1940).

Eaux du charbonnage de Beeringen (puits n° 2, extraction).

Résidu sec à 110° C	4.771	mg/litre
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	28	»
CaO	63	»
SO_3	89	»
Cl	2.264	»
Alcalis : assez abondants		
NaCl	env. 3.700	»
$NaHCO_3$	» 800	»
pH (colorimétrie)	7,5	
Dureté totale	12,3°	All.
	21,96°	F
T.A.C.	52°	F

(Extrait de « E. Leclerc & A. de M. d'Annevoie — Note sur un essai de graissage de câbles d'extraction Koepe » — Annales des Mines de Belgique — 1934 - T. XXXV, 2e liv., p. 375).

Eau souterraine du charbonnage Hasard-Micheroux (étage 700 m).

Na^+	1.640	mg/litre
Ca^{++}	296	»
Mg^{++}	146	»
Cl^-	43,7	»
SO_4^{--}	4.560	»
CO_3	60	»

(Extrait de « Herman — La configuration chimique des eaux souterraines » — Bull. trim. du Cebedeau, n° 27 - 1955/1).

Eaux souterraines de deux mines d'anthracite.

		A	*B*
Volume de décharge			
gall/min		2500	900
pH		3,7	6,2
Acidité libre p.p.m.		124	4
Acidité totale p.p.m.		466	13
SiO_2	p.p.m. sur eau filtrée	14	9,6
Al		17	1,9
Fe		22	0,2
Mn		10	4,6
Ca	p.p.m. sur eau filtrée	95	34
Mg		55	12
SO_4^{--}		746	172
Cl^-		9	2,4
Résidu sec à 103° C		1070	268
Matières en suspension sec à 103° C		131	7,3

(Extrait de « Industrial Wastes » X..., p. 342 — Reinhold, New-York, 1953).

* * *

Cependant, il est possible — et cela dépend de la classification de la rivière — que certaines eaux d'exhaure soient considérées comme indésirables telles quelles dans des cas particuliers.

Leur salinité, par exemple, leur acidité peuvent rendre l'eau de la rivière réceptrice ou du canal inadéquate à l'emploi pour l'alimentation (ou exiger un traitement supplémentaire), ou nocive pour d'autres usages industriels (alimentation des chaudières) ou corrosive vis-à-vis de certains travaux ou ouvrages de génie civil.

En d'autres termes, chaque déversement d'eaux d'exhaure dans une rivière constitue un cas spécial à examiner, compte tenu de la nature de l'eau à déverser, de son débit, du débit du cours d'eau, du classement de ce dernier.

* * *

B. — Eaux de bains-bouches et installations sanitaires.

Les eaux de bains-douches et d'installations sanitaires sont assez analogues en composition aux eaux domestiques couramment déversées en rivière ou en égoût. La pollution organique qui en résulterait ne sera vraisemblablement pas à considérer, ou bien serait combattue par les techniques ordinaires en matière d'eaux d'égoût de ville. Mais les déversements massifs et intermittents qui sont le plus souvent leur caractéristique, pourraient donner lieu à des ennuis par la quantité de savons et de détergents que ces eaux contiennent. Nous nous permettrons tout à l'heure de signaler quelques travaux du Cebedeau à ce sujet.

* * *

C. — Eaux de lavoirs à charbon.

Restent les eaux des lavoirs à charbon. Leur pollution est surtout d'ordre physique : matières décantables et matières en suspension.

Sur le premier point : matières sédimentables, le règlement prévoit que la teneur des matières décantables, ne peut, en aucun cas, dépasser 0,5 ml/litre (mesure faite après une sédimentation statique de deux heures).

Les procédés sont nombreux (décantation, floculation et décantation...) qui sont à l'étude dans l'industrie charbonnière, tant en Belgique qu'à l'étranger.

Les exigences légales paraissent techniquement accessibles.

Nous tenons cependant à attirer plus spécialement l'attention sur le problème des matières en suspension. Des prescriptions particulières à une exploitation sont à prévoir, eu égard à la classe de la rivière réceptrice, au point de déversement, au débit, etc.

Là aussi, comme pour les eaux d'exhaure, il serait éminemment utile de connaître les caractéristiques et le pouvoir auto-épurateur du cours d'eau récepteur, son régime, etc.

Le recyclage des eaux, procédé souvent préconisé, charge celles-ci de matières en suspension non décantables, alors déversées massivement. Il faut donc prévoir des purges, et c'est à ces dernières eaux que se rapportera la clause des matières en suspension. Celles-ci décantant mal ou trop lentement, on pourrait devoir envisager une filtration.

* * *

Sans entrer dans le domaine propre du charbonnage, nous croyons utile de signaler que le Cebedeau a eu l'occasion d'aborder, pour le cas de diverses industries, maints problèmes que pourrait devoir résoudre une exploitation charbonnière. Nous voulons notamment parler de la décantation et de la filtration, de même que de l'action des agents tensio-actifs.

Nous avons eu affaire aux problèmes de décantation dans les sucreries, dans l'industrie sidérurgique, dans certains charbonnages déjà.

Les diverses eaux rencontrées sont de caractères nettement différenciés, en particulier par le fait de l'interférence dans la floculation ou dans la décantation, de réactions biochimiques ou chimiques. Ces mécanismes nous ont amenés à des études sur installations à petite échelle, mais alimentées en continu par les eaux brutes. Ces essais ont notamment permis de dégager les facteurs fondamentaux régissant l'évolution du « floc » et par conséquent son dépôt.

Nous avons été frappés de constater par ces mesures :

— l'utilité et la nécessité parfois de décantations successives ;
— l'avantage d'addition de réactifs différents, successifs, selon le stade de la sédimentation ;
— la difficulté de transposer certains résultats d'essais à *trop petite échelle*, quand il s'agit de flocs fragiles.

Ces flocs fragiles peuvent être améliorés, et des études de laboratoire s'imposent, tant pour le choix du réactif que pour sa préparation, le mode et la durée de mélange avant dépôt, etc.

En supposant achevée une étude convenable de la floculation, il reste le problème du décanteur.

Nous avons appris combien l'étude sur modèles réduits pouvait être précieuse, à condition toutefois d'être guidée par les spécialistes.

De tels travaux ont été entrepris en collaboration par le Cebedeau et le Laboratoire d'Hydraulique de l'Université de Liège. M. le Professeur Schlag, Directeur de ce Laboratoire, a pu, par des études sur modèles à trois échelles différentes, établir des règles de similitude tenant compte, dans ces travaux, de la distinction à faire entre similitude relative à l'écoulement dans le modèle et similitude relative à la décantation.

Plusieurs techniques de contrôle existent, qui font apparaître immédiatement les dispositions les meilleures : pour l'amenée et la distribution de l'eau à l'entrée, pour l'évacuation des eaux clarifiées, pour la détermination des profondeurs optima assurant une décantation convenable, pour l'élimination des zones mortes et des courants préférentiels, pour supprimer ou limiter l'entraînement des dépôts légers au cours des curages, etc.

* * *

Autre sujet d'étude : l'action des produits tensio-actifs, des détergents, sur le comportement des eaux résiduaires. Ces substances sont susceptibles: d'agir sur les processus biochimiques d'épuration ou d'auto-épuration des eaux, tant en station qu'en rivière; de modifier les conditions de floculation, améliorant ou retardant celle-ci; de modifier les conditions de filtration; de provoquer des moussages dangereux, etc.

* * *

Dans le domaine des analyses, nous avons été amenés, en collaboration avec les Services du Ministère de la Santé Publique, à mettre au point les méthodes officielles de contrôle des effluents. Ces mises au point ont exigé des centaines d'analyses, contradictoires souvent, qui ont finalement abouti à une normalisation.

Ces méthodes, dorénavant consacrées et qui sont d'application obligatoire dans les contrôles officiels, concernent :

— dans l'effluent : matières décantables ;
— dans la rivière : pH, matières en suspension, oxygène dissous, B. O. D., substances toxiques (*).

* * *

Disons en terminant en quoi consistent les études de rivière.

La législation nouvelle reposant avant tout sur l'état de la rivière défini par des normes, il importe avant tout de rechercher, pour le cours d'eau récepteur intéressant une usine :

— les caractères actuels, chimiques et biologiques, du cours d'eau et ses variations au cours de l'année ;

(*) Normes d'analyse : Matières décantables : N.B.N. 512 (1953) — Voir Livre de l'Eau, vol. I.
B.O.D. : projet NBN 407.
Oxygène dissous : N.B.N. 390.

— la pollution existant éventuellement, par rapport aux trois classes (si le cours d'eau n'est pas encore classé) et notamment par rapport à la classe 2, supposée, à priori, celle de tous les cours d'eau (sauf dispositions contraires) ;
— la part de pollution revenant à l'usine en cause;
— le degré d'épuration qui pourrait être exigé de l'usine, compte tenu de la classe du cours d'eau, de la pollution due aux autres riverains, du pouvoir auto-épurateur de la rivière (réf. 1).

C'est en vue de déterminer ces diverses grandeurs que des rivières ont été prospectées systématiquement par nos chercheurs avec le concours du Ministère de l'Agriculture (Station de Groenendael) et du Ministère de la Santé Publique (Laboratoires de ce Ministère).

Des publications ont déjà relaté certains de ces travaux et montré la manière de se servir de cette documentation statistique.

Par ailleurs, des études indépendantes ont fourni des données sur les « charges de pollution » de diverses industries, charges ramenées à l'unité de production.

La connaissance de ces charges facilite grandement le bilan des pollutions d'un cours d'eau. En première approximation, ces grandeurs fournissent un premier aspect de la part de pollution d'une usine, dans un cours d'eau dont un minimum de données seulement sont connues.

L'établissement de ces charges a été fait déjà pour la sucrerie, l'industrie sidérurgique, la brasserie, la malterie, les teintureries (réf. 2).

Références 1.

E. LECLERC & I. BEECKMANS : « La détermination pratique du pouvoir auto-épurateur d'un cours d'eau » — Bull. trim. du Cebedeau, n° 22, 1953/IV.

E. LECLERC & P. BEAUJEAN : « Etude du pouvoir auto-épurateur des rivières (courbes de consommation) » — Bull. trim. du Cebedeau, n° 30, 1955/IV.

M. HUET, E. LECLERC, J.A. TIMMERMANS & P. BEAUJEAN : « Recherche des corrélations entre l'analyse biologique et l'analyse physico-chimique des eaux polluées par matières organiques (Geer et Hain) » — Bull. trim. du Cebedeau, n° 30, 1955/IV.

E. LECLERC & P. BEAUJEAN : « Calcul de la réoxygénation d'une rivière — application au Hain » — Bull. mensuel du Cebedeau, n° 51 — janvier 1955.

Références 2.

E. LECLERC et les chercheurs du Cebedeau :

— « Etude des eaux résiduaires de brasseries » : Bull. trim. n° 17, 1952/III — 21, 1953/III — 23, 1954/I.

— « Etude des eaux résiduaires de teintureries » : Bull. trim. n° 23, 1954/I et 27, 1955/I.

— « Etude des eaux résiduaires de malteries » : Bull. trim. n° 26, 1954/IV.

* * *

NOTE

Interprétation des prescriptions du 5°- des articles 2, 3 et 4 de l'Arrêté royal du 29 décembre 1953 fixant les conditions générales de décharges d'eaux usées ne provenant pas d'égouts communaux.

Le 5° — des articles 2, 3 et 4 de cet Arrêté d'application est relatif à la teneur des matières en suspension dans l'eau réceptrice (rivière). Cette teneur ne peut augmenter, du fait de toutes les eaux qui y sont déversées, de plus de 60 mg/litre pour les eaux de la classe I, de plus de 60 mg/litre pour les eaux de la classe II, de plus de 100 mg/litre pour les eaux de la classe III.

L'expression « toutes les eaux » s'applique à l'ensemble des décharges dans la rivière considérée sur tout son parcours en territoire belge. Pratiquement, une décantation normale se fait en rivière, fonction du débit, de la vitesse du courant, de la hauteur d'eau, des zones calmes devant les barrages,...

Ainsi l'augmentation de 60 mg/litre (classes I et II) ou de 100 mg/litre (classe III) de la teneur des matières en suspension de l'eau de la rivière réceptrice est *pratiquement* déterminée entre l'amont et l'aval d'un bassin industriel avec prises d'échantillons d'eau en dehors des zones d'influence des décharges.

Lors de la discussion de la présentation de cette norme à la commission n° 2 du Conseil Supérieur des Eaux Usées, il a été dit (voir séances 19, 20 et 21 des 6 et 20 janvier 1953) :

« M. MINON fait remarquer que dans ce cas on » n'admettra presque rien pour un cours d'eau qui » n'assure pas de dilution.

« M. DE BAENST répond que si, pour une rai» son économique, une dérogation doit être accor» dée, une Commission spéciale sera appelée à » donner son avis.

» M. MINON craint que des difficultés pour » l'application de cette norme puissent se présen» ter. Du fait que cette norme vise le cours d'eau, » l'industriel ignorera la quantité des matières en » suspension tolérée dans l'effluent.

» M. DE BAENST fait remarquer que les nor» mes seront traduites par les conditions de dé» charge et celles-ci viseront exclusivement l'ef» fluent.....

» M. LECLERC préfère la conception de la ri» vière pour les matières en suspension .....

» Dans ces 60 mg/litre, il ne sera pas toléré une » teneur en matières organiques supérieure à » 10 %.

» M. LECLERC ne voit pas la possibilité de » déterminer les 10 % de matières organiques. De

» plus, on ne saura pas déterminer la part provenant d'une décharge, compte tenu de l'évolution des matières organiques dans les cours d'eau.

» M. DE BAENST estime qu'on pourrait limiter les matières organiques dans chaque autorisation de décharge.

» M. LECLERC pense qu'il n'est pas possible de faire le contrôle.

» M. le Président (M. SCHROEYERS) se réserve de revenir sur la question lors d'une prochaine séance.....

A la 22me séance du 3 février 1953, il est jugé absolument nécessaire de limiter les matières organique.

Ce test est retenu pour les eaux de la classe I et il est suggéré d'établir une norme, telle qu'une limitation du B.O.D. 2 j à 4 mg/litre O_2.

DISCUSSION.

M. VENTER. — Au cours de ces deux Journées d'étude où nous avons envisagé les problèmes des produits fins et des eaux résiduaires, il nous a paru nécessaire de faire entendre la voix de l'opposition. C'est pourquoi nous avons demandé à M. Leclerc, qui est en Belgique la personne la plus qualifiée pour traiter ces questions puisqu'il dirige le Centre Belge d'Etudes et de Documentation des Eaux, de bien vouloir nous exposer ici les exigences de la rivière. Il s'agit des exigences actuelles et des exigences futures, car vous savez qu'on n'a pas encore épuisé toutes les ressources de la Loi organique. On n'a pris jusqu'à présent qu'un seul Arrêté Royal et, si je ne m'abuse, le deuxième Arrêté Royal sortira à bref délai.

Il semble qu'au point de vue des matières sédimentables, il n'y ait pas de graves problèmes en ce qui concerne les eaux de lavoir, mais qu'il y ait un problème au point de vue des matières en suspension et les chiffres que vous avez cités semblent indiquer des écarts importants entre ce que la Loi va exiger et ce que vous avez trouvé.

M. EDELINE. — Il est beaucoup plus difficile de résoudre le problème de l'élimination des matières en suspension que le problème des matières sédimentables. En ce qui concerne les effluents, le petit nombre d'échantillons que j'ai pu examiner, accusaient une quantité de matières sédimentables en deux heures, nettement inférieure à 1/2 ml/litre. Toutefois, il reste une suspension stable de carbone et d'argile qu'il est très difficile de floculer.

M. VENTER. — Vous avez cité le chiffre de 500 mg/litre alors que la loi exige 60 mg/litre en deuxième catégorie. Il s'agit peut-être d'un effluent anormal, mais il existe et est rejeté tel quel dans la rivière.

Est-ce que vous considérez que la plupart des charbonnages sont raccordés à des rivières de deuxième catégorie ?

M. PHILIPS. — La deuxième catégorie est celle des rivières piscicoles. On a tendance à déclarer piscicole le maximum des rivières; la Meuse pourrait être déclarée piscicole; il ne faut tout de même pas faire la confusion à propos de la quantité des matières en suspension. L'Arrêté-Loi du 29 décembre 1953 stipule que la teneur des matières en suspension de la rivière réceptrice ne peut augmenter de plus de 60 mg/litre, du fait de toutes les eaux qui y sont déversées, en classe piscicole et de plus de 100 mg/litre en classe industrielle. Ainsi, dans une petite rivière, un effluent important contenant 500 mg/litre pourrait, malgré la dilution, faire dépasser le taux limite de 60 mg/litre ou de 100 mg/litre, selon les classes I et II ou III.

M. VENTER. — Donc, si je comprends bien, il s'agit d'une teneur qui serait située immédiatement à l'aval du point de décharge.

M. PHILIPS. — Je ne saurais vous préciser en quel endroit se font les analyses; mais, en principe, une rivière ne devra pas contenir plus de 60 mg/litre de matières en suspension en classe II (piscicole) et plus de 100 mg/litre en classe III (industrielle).

M. EDELINE. — Le problème est complexe : si l'on veut avoir une répartition homogène de l'effluent dans le fleuve, la prise doit être faite à une certaine distance de l'endroit de la décharge en dehors de la zone d'influence. Or, ceci n'est possible que si d'autres effluents ne s'y sont pas déversés entretemps.

M. MAROT. — N'y a-t-il pas souvent des cas où les rivières piscicoles contiennent elles-mêmes, avant tout envoi d'effluent, plus de 60 mg/litre ? Si je ne me trompe, il y a eu des cas où la rivière était polluée d'avance. Que fait-on dans ce cas-là ?

M. EDELINE. — Ceci est un état de fait et c'est précisément sur cette base qu'on va établir les autorisations de décharge, nouvelles ou en renouvellement. Il est évident que, du jour au lendemain, on ne peut changer les caractéristiques d'un cours d'eau tout entier. Comme la réglementation s'appliquera à toutes les industries riveraines, au bout d'un certain temps les caractéristiques du cours d'eau changeront.

M. VENTER. — Le sens de la réglementation est il bien le suivant : maintenir la totalité de la rivière en dessous d'une certaine teneur de matières en suspension. Par conséquent, si l'on a affaire

à une rivière dont l'eau est parfaitement pure, on peut y déverser sans souci un effluent même très chargé, la teneur finale dans la rivière se maintiendra en dessous de 60 mg/litre.

M. EDELINE. — Cela n'est pas certain. En effet, le classement des rivières dépend de l'Administration et de l'utilisation primordiale de l'eau. Suivant la catégorie, si le seuil demeure le même, les autres exigences sont plus strictes.

M. VENTER. — Le plus défavorisé sera celui qui disposera d'un cours d'eau déjà chargé à 59 mg/litre auquel on ne pourra rien ajouter sous peine de dépasser la limite de 60 mg/litre.

M. UBAGHS. — Il résulte d'analyses échelonnées au cours d'une année entière qu'en période de crue, la Meuse charrie 250 mg/litre de matières en suspension. A ce moment, la Meuse est beaucoup plus sale que ne le permet la Loi. Il y a une chose sur laquelle il est bon d'insister auprès des charbonniers liégeois et des industriels en général, c'est que le classement des cours d'ean n'est pas encore fait et qu'il est imminent. La Meuse à Liège est menacée d'être classée en première catégorie, c'est-à-dire en eau potable; la raison est la suivante : une partie des eaux de la Meuse passe dans le Canal Albert au bout duquel l'eau est pompée pour alimenter Anvers en eau potable. Or, les eaux chargées de la Sambre se déversent dans la Meuse à Namur. En temps normal, l'eau est déjà épurée par les rayons solaires, etc., aux environs d'Andenne. Elle se recharge à la traversée de Liège. Il serait souhaitable d'obtenir que l'eau de la Meuse soit considérée comme eau industrielle, de troisième catégorie, dans la traversée de Liège, alors que le Gouvernement voudrait la classer en première catégorie. Jusqu'à présent, on n'est pas arrivé à un accord. La question n'en reste pas moins sérieuse pour l'industrie liégeoise. En cas d'application de la décision gouvernementale ayant pour effet de classer la Meuse à Liège en première catégorie, la dépense serait, pour l'industrie métallurgique riveraine, de près de 200 millions.

M. HANOT. — Je crois qu'il convient d'attirer l'attention sur le fait que des prescriptions édictées par l'Arrêté Royal du 29 décembre 1953 réglant les modalités d'applications de la Loi de 1950 sur le déversement des eaux résiduaires dans les rivières, une seule est entrée en vigueur depuis juillet dernier.

Il semble cependant que l'on ne s'en soit guère inquiété et que bien peu de charbonnages, s'il en existe, ont vérifié par des expériences au Cône d'Imhoff, échelonnées sur des périodes assez longues, si les eaux qu'ils déversent à la rivière répondent aux prescriptions réglementaires.

Rappelons qu'il s'agit d'une mesure en volume et non en poids du dépôt qui se forme après deux heures dans le fond d'un vase conique parfaitement calibré et gradué. On tolère 1/2 cm^3/litre. Dans ce précipité, la quantité de solide peut être relativement faible.

Cette prescription ne paraît pas extrêmement dangereuse à première vue et beaucoup d'installations sans doute permettront de s'y conformer. Encore faudrait-il cependant s'en assurer.

Les autres conditions imposées ne sont pas encore d'application immédiate, mais elles pourraient le devenir assez rapidement. Elles doivent retenir l'attention.

La modification de la température de l'eau réceptrice concerne spécialement les centrales électriques, qu'elles soient ou non attenantes à un charbonnage. Dans certains cas, il faudra avoir recours à des tours de réfrigération qui entraîneront des dépenses plus ou moins élevées.

Les limites admises pour le pH sont relativement larges et en général les eaux sortant des lavoirs à charbon répondent sensiblement aux conditions imposées, même quand les eaux d'appoint ont un caractère acide. Elles pourront éventuellement être corrigées à peu de frais.

Un point plus grave est celui qui concerne les matières en suspension mesurées dans l'eau réceptrice. Leur teneur ne peut augmenter que de 60 mg/litre ou 100 mg/litre suivant la classification du fait de l'eau déversée à la rivière.

Or, la teneur en matière en suspension de l'eau réceptrice est éminemment variable d'un moment à l'autre; elle dépend du débit et de la saison.

Que dire par exemple des charbonnages qui n'ont d'autre exutoire que de petits ruisseaux ou des rivières à faible débit. C'est un cas général en Campine où il s'agit de charbonnages à forte production. Il est aussi fréquent dans bon nombre de charbonnages moyens ou petits des autres bassins.

Quand il s'agit d'un fleuve comme la Meuse par exemple, dont le régime est aussi variable, et sur le cours duquel s'échelonnent une multitude de décharges, il sera bien difficile d'établir la responsabilité de chacun. Encore ne faut-il pas perdre de vue la classe dans laquelle de tels cours d'eau seront placés. Ce choix dépend du Ministère.

En ce qui concerne le paragraphe visant les matières toxiques et les corps chimiques, pourra-t-on reprocher aux charbonnages d'avoir modifié la teneur en corps chimiques tels que chlorures, sulfates, carbonates, etc ? Il est un fait, qu'au cours de la préparation mécanique par voie humide, cas général, l'eau au contact du charbon dissout des sels de ce genre. On constate qu'à la sortie des lavoirs les eaux en contiennent 0,5 à 1-5 g/litre.

Mais il y a plus, certaines eaux d'exhaure ont des caractéristiques voisines de celles de l'eau de mer; or, le droit d'exhaure est imprescriptible, il

date des temps les plus reculés et, d'autre part, il n'existe aucun moyen pratique de se débarrasser du sel. On peut seulement en atténuer les effets par une forte dilution, mais où trouver de l'eau non saline en suffisance ?

Enfin, les eaux qui ont passé dans les appareils de flottation peuvent contenir des traces de créosote. Celles-ci ne sont pas nocives pour la vie des poissons, mais elles rendent parfois leur chair non comestible. Le cas se présentera là où l'eau réceptrice est peu abondante. Or, il existe des ruisseaux qui alimentent des étangs artificiels où l'on fait de la pisciculture.

Tout cela montre que le problème se présente sous des aspects fort complexes et qu'il est émaillé de cas d'espèce. Pour le résoudre, il faudra beaucoup de bonne volonté et de compréhension, tant de la part des industriels que des représentants de l'autorité publique.

Quoi que l'on fasse cependant, la solution entraînera de nouvelles charges pour l'industrie charbonnière.

M. EDELINE. — A ce propos, je crois utile de préciser que des concentrations limites seront fixées pour chaque matière toxique, en classe II (piscicole) et en classe III (industrielle), de telle façon que l'eau de rivière soit normale pour son usage par l'industrie ou par l'agriculture.

M. RAFFINOT. — On peut se demander si les problèmes posés par la présence de produits chimiques dans les effluents ne sont pas moins graves que ceux posés par la présence de matières sédimentables. Les quantités de réactifs utilisées exprimées en g/t sont faibles et leur concentration ne doit pas dépasser 500 mg/litre au point d'introduction dans la pulpe. De plus, il ne faut pas oublier que la presque totalité des réactifs est fortement absorbée à la surface des grains et est extraite avec le lavé et les schistes. Dans les conditions normales de marche. la concentration dans les eaux jetées à la rivière des produits chimiques utilisés en flottation doit être très faible. Ainsi, dans le cas des minerais métalliques utilisant du cyanure, nous n'avons jamais pu mettre en évidence la présence de ce corps dans les eaux résiduaires.

M. LIEGEOIS. — Au cours d'un récent voyage dans la Ruhr (12 décembre 1955) organisé par le Cebedeau, je faisais partie d'une délégation belge qui fut reçue par l'Emschergenossenschaft.

Cette Association a pour but d'assurer :

1) la lutte contre la pollution,
2) l'approvisionnement en eau potable et industrielle des riverains de l'Emscher, affluent mineur du Rhin.

Il s'agit donc d'un organisme coopératif ayant dans ses attributions l'économie des eaux de tout un bassin industriel groupant en ordre principal des charbonnages et des usines sidérurgiques.

Ne peut-on envisager chez nous la création d'organismes analogues qui prendraient à leur charge l'épuration des eaux résiduaires d'une communauté d'industriels ? On dirigerait les eaux sales par des égouts ou canaux vers une station d'épuration centrale. Celle-ci clarifierait en outre les eaux de rivières en aval d'un tronçon chargé d'effluents industriels et en amont des zones où l'eau doit être potable. Certains industriels ont-ils pensé à s'associer pour faire face aux nouvelles exigences en matière de pollution des eaux ? Le Cebedeau a-t il connaissance de telles associations ?

M. EDELINE. — Personnellement, je n'ai pas connaissance de telles associations en Belgique. La seule précision que je puisse apporter est qu'il existera des dispositions locales qui seront stipulées dans les autorisations de décharge. L'arrêté d'application de 1953 prévoit déjà localement des limites de pH plus étendues.

M. HANOT. — L'idée de la création de coopératives groupant un certain nombre de charbonnages n'a pas échappé aux industriels, mais quand on examine en détail les possibilités de réalisation, on se heurte souvent à des dépenses d'immobilisation fort importantes qui rendent le projet peu économique.

En résumé, si les charbonnages doivent rester vigilants quant à tous les articles de l'Arrêté Royal du 29 décembre 1953, leur attention doit spécialement porter actuellement sur les matières en suspension qui nécessitent des installations de clarification et la teneur en sel ne peut être réduite que par dilution, chose réalisable seulement là où l'on dispose d'eau pure en suffisance.

Quant aux traces de créosote, je répète qu'elles ne sont pas nocives; mais, dans certains cas, elles rendent la chair des poissons non comestible.

L'étude en laboratoire du phénomène de la floculation des eaux argileuses

par R. LECLERCQ,
Ir. Dr. Sc.,

et

R. PAQUET,
(Union Chimique Belge).

I. — INTRODUCTION

L'importance industrielle de la floculation des eaux argileuses dans les charbonnages est grande. Il n'est pas nécessaire d'insister sur ce point devant vous. Nous avons exposé au dernier « Congrès International de Chimie Industrielle », à Madrid, quelques méthodes d'études qui étaient suivies par notre Société. Le but de cette causerie est de reprendre et développer devant des spécialistes quelques-uns de ces points et de les compléter par un apport nouveau.

Le principe de la floculation est simple puisqu'il s'agit en fait d'une neutralisation de particules chargées par d'autres particules ou bien d'une suppression de la solvation en escamotant certaines molécules fixées à une macromolécule. Les deux phénomènes sont liés. La théorie détaillée des phénomènes de ce genre est fort complexe, même pour des macromolécules connues dans un milieu simple (Kruyt (1)). Elle est encore pratiquement inexprimable sous une forme mathématique adéquate dans le cas des mélanges complexes naturels. Or, on ne comprend réellement bien les faits que si on peut les mettre en équation. Nous nous sommes donc bornés à une étude qualitative des phénomènes de base et à des méthodes logiques du choix des floculants optima. Nous croyons néanmoins avoir fait par là un certain progrès sur la méthode purement empirique qui consiste à essayer un floculant sans s'efforcer de comprendre. C'était, avouons-le, l'état à peu près général jusqu'ici dans ce domaine.

II. — ANALYSE DU MILIEU A FLOCULER

Nous avons commencé par analyser les milieux à floculer. Ils vous sont bien connus : schlamm, fines particules de charbon, schiste finement divisé, argiles diverses et sels inorganiques mélangés pêle-mêle dans l'eau.

Cette analyse ne pouvait se faire que chimiquement et électrophorétiquement. Les méthodes sont classiques et ne seront pas décrites. Nous nous bornerons à projeter pour vous la photo d'un des appareils d'électrophorèse utilisés (fig. 1). Le principe en est simple. On place les macromolécules dans un champ électrique. Comme elles sont électrisées, elles se déplacent plus ou moins vite d'après leur masse moléculaire, leur charge, leur forme et la viscosité du milieu. On peut ainsi les séparer.

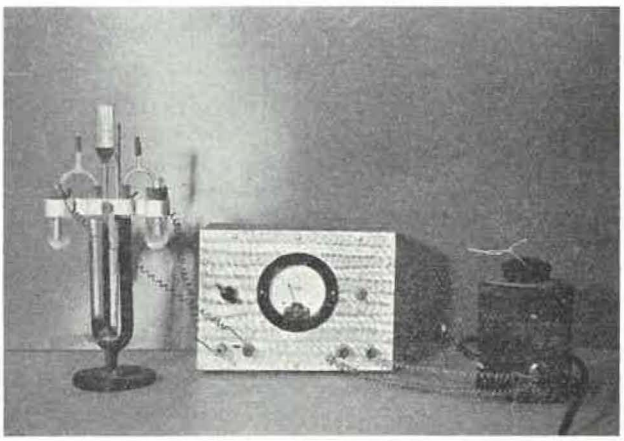


Fig. 1.

Cette analyse à elle seule a pu donner des résultats pratiques. Disposant d'un floculant qui agit très bien pour une eau contenant les produits *a*, *b* et *c* et mal pour une eau ne contenant que *a* et *b*, il suffit d'ajouter *c* à l'eau qui flocule mal pour obtenir des résultats intéressants.

On peut même imaginer l'étude de l'effet de certains floculants sur certains milieux en observant l'électrophorèse après addition de quantités croissantes, mais faibles, de floculant. Cette méthode, qui est théoriquement bonne, n'a malheureusement pas pu encore être mise parfaitement au point.

III. — ACTION D'UN SEUL FLOCULANT

Il y a d'abord intérêt à faire agir tout floculant essayé sur des milieux variables, comptant de plus en plus de composants, allant du simple au compliqué. Cela permet de mettre en évidence les

(1) Kruyt : « Colloïd Science », Elsevier 1952.

interactions entre les composants du milieu. Il faut éviter en effet de faire le raisonnement simpliste qui consisterait à dire que, si un floculant agit séparément sur des macromolécules A et des macromolécules B, il agit certainement sur un mélange de A et de B. Les phénomènes de protection, ou au contraire de sensibilisation, sont bien connus des chimistes qui étudient les colloïdes.

Pour un milieu à floculer donné et pour un floculant choisi, nous faisons les expériences suivantes.

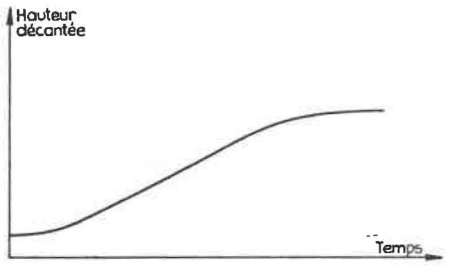


Fig. 2.

Si on ajoute *a g* de floculant à 500 cl d'eau à floculer et qu'on homogénéise, on observe une décantation qui augmente avec le temps. Si la partie surnageante est bien claire, il suffit de mesurer la hauteur décantée en fonction de la durée de décantation pour avoir une bonne idée du phénomène. On obtient ainsi une courbe ascendante (fig. 2) qui devient rapidement droite, puis s'aplatit et devient horizontale. Cela est logique. Après la période de perturbation du début, le floculant agit à une vitesse de régime, puis le tassement des particules se produit et atteint une limite qui varie notamment avec la grosseur des particules floculées. L'interprétation de cette simple courbe nous donne deux chiffres intéressants : la pente de la courbe qui correspond à la vitesse de régime et la hauteur maximum décantée qui nous donne une idée du tassement, donc de la densité des boues à évacuer. Pour que cette mesure du tassement ait une réelle valeur industrielle, il faut prendre un tube suffisamment large pour minimiser l'action des parois. Si la partie décantée n'est pas claire, une simple mesure de hauteur est insuffisante, car ce qui nous intéresse c'est la quantité de matière décantée et non seulement la hauteur clarifiée. Il faut peser et l'expérience devient longue.

La seconde expérience consistera à faire varier progressivement la concentration du floculant et à mesurer la vitesse de régime et le tassement pour chacune des concentrations essayées. On peut représenter les phénomènes observés de deux manières. On peut porter la vitesse de régime en ordonnée et la concentration en abscisse et l'on obtient une courbe qui comporte une partie ascendante, passe généralement par un maximum puis

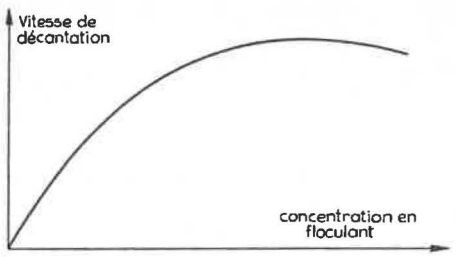


Fig. 5.

redescend (fig. 3). La partie descendante correspond à l'action protectrice du colloïde ajouté. Conclusion pratique : chaque floculant agit au maximum à une certaine concentration qui doit être déterminée. On fait souvent pis que mieux en dépassant cette concentration. On peut aussi porter en ordonnée le tassement en fonction de la concentration. Tout dépend du problème pratique qui se pose dans le charbonnage. Le point de concentration zéro sera obtenu par décantation naturelle, sans floculant, on s'en serait douté aisément.

IV. — ACTION DE PLUSIEURS FLOCULANTS

On sait que des électrolytes ajoutés à des colloïdes augmentent parfois l'action floculante de ceux-ci. On sait aussi que la chaux a une action clarifiante dans bien des cas. Nous avons observé en outre et breveté l'action de mélanges de colloïdes avec ou sans polyélectrolytes (2). Cela veut dire qu'en pratique il conviendra d'utiliser l'action de plusieurs composants, ce qui pose un problème de représentation graphique. La méthode habituelle des tableaux est en effet peu pratique et ne permet pas de diriger les expériences pour obtenir un maximum de résultats avec un minimum d'essais. Nous nous sommes appuyés sur la géométrie descriptive élémentaire pour résoudre ce problème.

La première solution est la suivante (fig. 4).

Soit à étudier l'action d'un mélange de deux produits A et B. Commençons par déterminer l'action de A seul. En portant en abscisse les quantités de floculant A et en ordonnée les vitesses de décantation correspondantes, on obtient une courbe 0, 1^{v}, 2^{v}, 3^{v}, 4^{v}, 5^{v}, 6^{v} en projection verticale et 0, 1^{h}, 2^{h}, 3^{h}, 4^{h}, 5^{h}, 6^{h} en projection horizontale. On obtiendrait de même, dans le plan Oyz, une courbe de vitesse de floculation des mêmes eaux en fonction de la concentration en corps B utilisé seul. Rabattons le plan *yoz* sur *zox* autour de l'axe *z* et nous obtenons la courbe rabattue 0, 7^{rv}, 8^{rv}, 9^{rv}, 10^{rv}, 11^{rv} dont les projections horizontales et verticales sont 7^{h}, 8^{h}, 9^{h}, 10^{h}, 11^{h}, 7^{v}, 8^{v}, 9^{v}, 10^{v} et 11^{v}. Considérons maintenant le mélange de 2 cl de B avec des quantités croissantes de A, on

(2) Brevet belge 528.842.

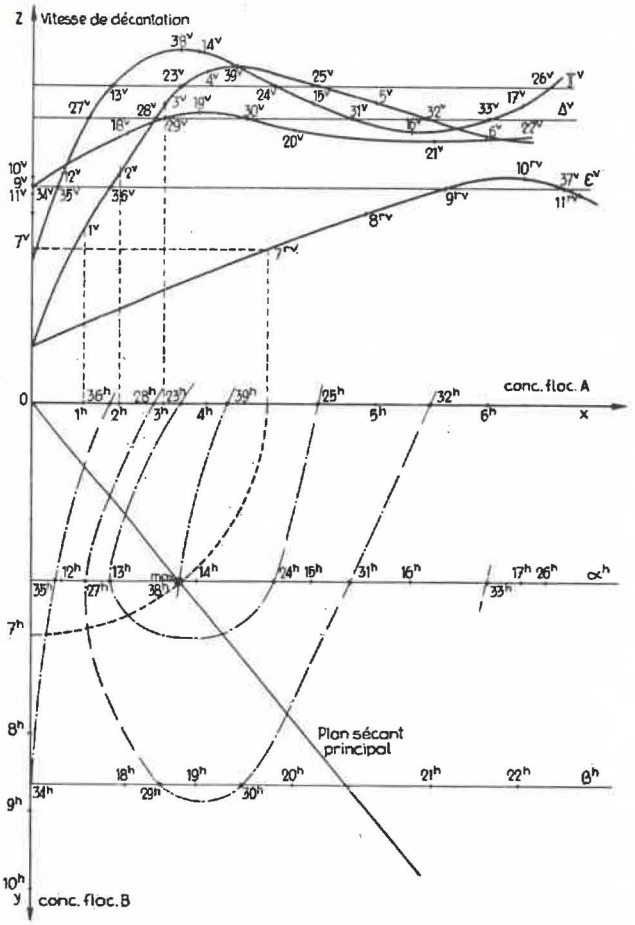


Fig. 4.

obtient une courbe qui est située dans le plan α^h parallèle au plan *ozx*. Cette courbe peut être représentée directement en projection verticale par 12^v, 13^v, 14^v, 15^v, 16^v et 17^v. Les projections horizontales de ces points étant 12^h, 13^h, 14^h, 15^h, 16^h et 17^h. Enfin, considérons le mélange formé par 6 cl de B avec des quantités croissantes de A ; on obtient une nouvelle série de points dans le plan β^h. Ces points portent les numéros 18 à 22 dont les projections s'obtiennent très aisément.

Le choix des plans α et β doit être fait d'après l'allure des courbes (1 2 3 4 5 6) et (7 8 9 10 11). On désire avoir le maximum de détails le plus près possible de la courbe à ordonnée maximum.

Coupons maintenant les courbes précédentes par des plans horizontaux. Soit le plan γ^v. Il coupe la courbe (1 2 3 4 5 6) en 23 et 25 et la courbe (12 13 14 15) en 13, 24 et 26. Ces points donnent en projection horizontale une courbe 13, 23, 24 et 25 qui est une courbe de niveau. Par des sections successives par les plans Δ^v et ε^v, on obtient deux autres courbes de niveaux. L'interprétation de ces courbes de niveau permet de se figurer facilement la représentation spatiale du phénomène. Il est possible dès lors de compléter l'étude par la détermination de quelques points complémentaires utiles, notamment dans le voisinage du maximum. La ligne de crête : 38 - 39 sera déterminée. Il est possible de multiplier les courbes des niveaux et de se représenter le phénomène dans toutes ces nuances. Le choix de ces courbes sera fonction des résultats obtenus.

Enfin, si au lieu de porter en abscisse les concentrations, on porte la valeur marchande du floculant utilisé et en ordonnée la vitesse de floculation correspondante, on peut déduire du graphique le mélange le plus économique.

Si l'on veut passer aux mélanges à trois floculants, il suffira d'utiliser la partie gauche du plan (fig. 5). On coupe la surface représentative obtenue dans la figure 4 par un plan debout α^h passant par le maximum. Cela revient à prendre x constant et on représente dans le quartier Ouy les projections horizontales des expériences faites en faisant varier y et u. Tout point A aura dès lors comme projections A'^h, A^h et A^v. Si le quartier *ozx* est trop encombré, rien ne nous empêche de représenter les projections verticales dans le quartier *uoz*, en A'^v.

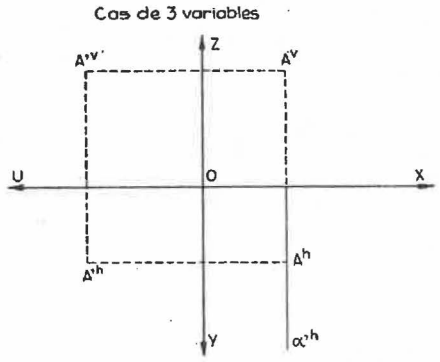


Fig. 5.

Cette méthode est la plus convenable pour une étude, mais ce n'est pas ainsi que procéderaient les gens pour qui l'économie d'expériences doit être poussée à l'extrême. Je ne puis m'empêcher de vous exposer ici une autre méthode que nous avons mise au point pour déterminer par un nombre minimum d'expériences le maximum d'action de deux composants. Cette méthode a évidemment une portée plus générale que celle de l'étude des floculants. Prenons une valeur quelconque de chacune des deux concentrations et déterminons la vitesse de décantation. Soit 1 le point représentatif de cette expérience (fig. 6). Conservons la concentration constante en y et augmentons x d'une quantité faible. Soit 2 le point représentatif. Faisons maintenant l'inverse, conservons x constant et faisons varier y. Nous obtenons le point 3. Les points 1, 2 et 3 définissent un plan sécant de la surface réelle du phénomène. Le maximum se trouvera dans la direction d'une ligne perpendiculaire aux courbes de niveau de la surface. Confondons le plan avec la surface courbe inconnue, ce que nous

pouvons faire si les points 1, 2 et 3 sont assez rapprochés. L'une des courbes de niveau du plan devient l'horizontale *h* facilement déterminable. La direction du maximum est donnée par la perpendiculaire à cette horizontale et, cas heureux, cette perpendiculaire se projette en angle droit avec *h* sur le plan horizontal. Prenons la perpendiculaire passant par le point ayant la plus grande valeur de *z*, soit 3. La droite p^h nous donne la direction la plus probable des nouvelles expériences à faire. Choisissons une expérience 4 sur cette droite et faisons jouer à 4 le rôle de 1. Allant ainsi de proche en proche, nous nous dirigeons vers le maximum. Cette méthode est moins rigoureuse que la précédente, mais elle est moins longue.

Deuxième méthode de représentation

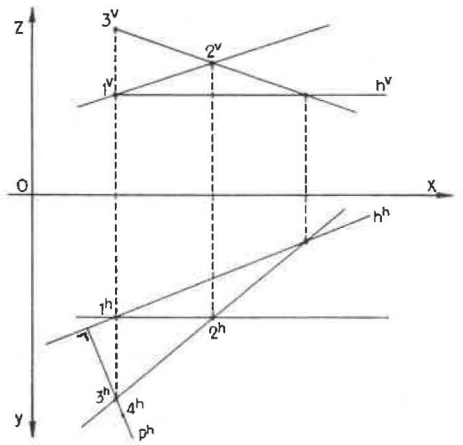


Fig. 6.

Ces divertissements mathématiques ont une portée pratique réelle comme nous avons pu le constater. Ne perdons pas de vue que l'un des buts des mathématiques est de faire une économie de pensée et d'effort. Il y a intérêt à s'en souvenir de temps en temps.

V. — RESULTATS OBTENUS

Nous serons très brefs dans l'énoncé des résultats obtenus pour deux raisons. La première est que ces journées ont un but scientifique et que nous ne pouvons aborder l'aspect commercial de cette affaire. La seconde c'est que notre travail est toujours en cours et que ce que nous donnerons sera fatalement partiel.

L'étude des mélanges de deux floculants nous a conduits jusqu'ici aux observations suivantes :

1) L'action d'un mélange de deux floculants est toujours inférieure à la somme des actions de chacun des constituants pris séparément mais elle est parfois supérieure, dans une certaine zone, à l'action du plus actif des deux constituants pris seul.

Cette observation peut se résumer dans l'inégalité action A + action B > action (A + B) > action A ou action B.

Seule, nous intéresse la zone où action (A + B) > action A ou action B. Nous l'appellerons *zone utile.*

2) Quand l'un des constituants employé seul a une action nulle, le mélange des deux constituants a une zone utile nulle.

3) Le plan sécant principal varie avec l'eau à floculer. Il n'est pas possible de trouver un mélange idéal convenant également pour toutes les eaux et c'est bien dommage.

4) Les mélanges polyélectrolytes de synthèse/colloïde naturels ont des effets floculants remarquables, souvent supérieurs aux polyélectrolytes ou aux colloïdes naturels employés seuls (2).

VI. —CONCLUSIONS

Nous ne nous sommes pas occupés ici du problème de la toxicité des eaux contenant du floculant. Ce problème ne peut guère être résolu que par des services spécialisés comme ceux du Professeur Leclerc à Liège. Une improvisation dans ce secteur peut être dangereuse. Nous n'avons pas parlé des effets du floculant sur la flottation en cas de recyclage, ni de l'influence des mouvements de l'eau dans certains appareils. Tout cela doit être vérifié par la pratique. On peut faire en petit certaines études, mais des expériences de ce genre ne sont jamais qu'analogiques. Elles réduisent les essais pratiques en grand à un nombre restreint mais, à notre connaissance, elles ne les suppriment pas. Telle quelle cependant, l'étude scientifique de la floculation apportera certainement la solution tant attendue de la plupart d'entre vous. Nous progressons à grands pas et espérons que cette solution sera belge, puisque le départ fut belge avec la méthode de Henry.

DISCUSSION.

M. MEERMAN. — Dans le cas de la sensibilisation, lors de la combinaison d'un colloïde avec un électrolyte, l'action de ces deux éléments réunis est meilleure que la somme des deux actions séparées.

M. LECLERCQ. — J'ai dit que l'action de la somme de deux floculants est inférieure à la somme des actions de chacun des floculants. L'action de A + B est inférieure à l'action de A + action de B.

M. MEERMAN. — M. le Docteur Troelstra a montré qu'une suspension qui n'est pas floculée par une petite quantité d'électrolyte peut être floculée par cette quantité d'électrolyte combinée avec un colloïde hydrophilique.

M. LECLERCQ. — Vous faites sans doute allusion à l'article paru dans « Chem. Weekblad » 35, page 117, 1938. Nous ne sommes pas en contradiction avec Van Overbeek. Nos essais ont surtout porté sur des polyélectrolytes et vous parlez d'électrolytes floculant peu.

M. MEERMAN. — Mais c'est le cas pratique dans l'industrie charbonnière.

M. LECLERCQ. — Ici, j'ai pris des floculants. Vous prenez un électrolyte qui n'est pas un floculant puisqu'il ne flocule pas quand il est seul.

M. MEERMAN. — Je considère un électrolyte comme le sulfate ferreux par exemple.

M. LECLERCQ. — Je ne puis que confirmer nos résultats pratiques.

M. EDELINE. — Au début, quand vous avez parlé de l'appareil d'électrophorèse, vous avez dit que la vitesse de migration était fonction de la forme de la particule. Or, la formule classique de Smoluchowsky ne contient pas ce facteur. Toutefois, il est exact que Henry a établi une théorie plus générale où la forme de la particule n'intervient que lorsque la conductivité superficielle de la particule est différente de celle du milieu dans lequel elle migre.

M. LECLERCQ. — D'accord. Notez toutefois que les formules évoluent. Le théoricien est obligé au début de faire des simplifications. Il suppose des particules sphériques, ce qui est erroné, puis il s'approche de plus en plus du phénomène réel. Henry lui-même n'a considéré que les particules sphériques et cylindriques. La forme a une importance même si on en tient difficilement compte dans les équations.

M. EDELINE. — Etant donné cela, il me semble que l'appareil d'électrophorèse ne convienne pas tellement bien pour se faire une idée des pouvoirs floculants.

M. LECLERCQ. — Attention ! Le but de cette électrophorèse a été d'abord de séparer des corps qui sont difficilement séparables. Voyez-vous une autre formule ? A celui qui étudie les colloïdes se présentent trois méthodes principales a priori : 1) la séparation par membrane ou membrane avec charges électriques de part et d'autre; 2) l'électrophorèse; 3) l'ultracentrifugation. Nous avons choisi l'électrophorèse. Il n'y a guère autre chose à faire. L'électrophorèse est la méthode la plus simple et la plus rapide. La méthode des membranes est plus longue. L'ultracentrifugation ne convient guère dans ce cas.

M. EDELINE. — Faut-il comprendre que vous vous basez sur la méthode du potentiel critique pour déterminer l'action du floculant ?

M. LECLERCQ. — Nous avons l'intention de le faire, mais nous ne sommes pas encore parvenus à le réaliser.

M. EDELINE. — J'ai lu justement dans un ouvrage anglais (de Thomas, je pense) que cette argumentation basée sur le potentiel ζ est assez illusoire. En effet, il arrive que l'action d'un floculant *fasse augmenter* la vitesse de migration et, qu'en se basant sur une vitesse électrophorétique, on observe parfois un potentiel ζ qui grandit au lieu de diminuer, comme il devrait le faire normalement.

M. LECLERCQ. — Reprenons la théorie fondamentale : qu'est-ce que précipiter un colloïde ? C'est essayer de changer ses charges électriques. Si ces charges électriques changent en ajoutant du floculant, il y aura un changement de vitesse de migration que l'on pourra suivre. Le tout est de bien interpréter les résultats. L'ouvrage récent de Kruyt, tome I page 81, signale d'ailleurs que la notion de potentiel critique bien que discutée, n'a pas perdu sa valeur intrinsèque.

M. GY. — Pour revenir à des questions plus terre à terre, je voulais signaler le danger qu'il y avait d'utiliser pour l'épuration des eaux des floculants risquant de se comporter en flottation comme des poisons. Je voudrais savoir si vous avez eu l'occasion d'étudier vos floculants en fonction de leur action sur la flottation ultérieure.

M. LECLERCQ. — Certainement, je l'ai dit. Je me suis borné à quelques points originaux et je n'ai pas parlé des choses classiques. Il y a d'ailleurs des floculants qui favorisent la flottation plutôt que de la gêner.

M. BELUGOU. — Nous avons constaté que la carboxyméthylcellulose gênait beaucoup moins la flottation que les autres floculants.

Traitement des eaux de lavoirs par floculation

par H. KOECK,

Docteur en Sciences,

Attaché à la Société Evence Coppée & Cie.

Nous avons connu le temps où l'eau de lavage était grossièrement décantée dans les Spitzkasten qui ne prélevaient que les schlamms les plus grenus. La conséquence de la méthode était un enrichissement des eaux de lavage en produits très fins au cours de la semaine. Le dimanche, on purgeait la nappe d'eau argileuse vers les bassins extérieurs.

Cette pratique est périmée parce qu'on a reconnu l'intérêt de laver le charbon avec de l'eau propre. Dans le cas des lavoirs par liqueur dense, il est nécessaire de disposer d'eau propre pour le rinçage des produits. De plus, la réglementation actuelle contre la pollution des rivières interdit l'évacuation d'eau souillée.

Puisqu'on ne peut évacuer que de l'eau claire et que l'on a besoin d'eau claire dans un lavoir, un lavoir moderne ne devrait pas rejeter d'eau à l'extérieur.

Le problème de l'épuration de l'eau de lavage consiste à en retirer tous les produits qui y sont mélangés au cours des opérations, ainsi que ceux qui se sont formés dans le lavoir par désagrégation d'autres produits.

L'élimination des grains $> 0{,}5$ mm, lavés ou stériles, ne pose qu'un problème d'égouttage. Il n'en est malheureusement pas de même pour les particules $< 0{,}5$ mm.

Débordant de la question que nous avons à traiter ici, nous nous demanderons d'où viennent ces produits.

1. De l'imperfection du dépoussièrage préalable ou s'il n'en existe pas, du charbon brut.
2. Du délitage des schistes et du bris des grains de charbon au cours des opérations de lavage.

Il est remarquable que les schlamms sont toujours plus cendreux que les poussiers bruts provenant du même charbon. Ceci révèle que les schlamms produits dans le lavoir proviennent en grande partie des schistes. Or, un morceau de schiste a tendance à se déliter, formant des argiles très ténues.

Nous disions tout à l'heure que l'épuration de l'eau avait pour but d'en retirer *tous* les produits fins qui s'y mélangent au cours du lavage. Nous insistons sur le mot *tous* car il serait vain de n'en enlever qu'une partie. Tant que ce problème n'est pas entièrement résolu, il ne l'est pas du tout. Même si le lavoir se contente d'eau avec une certaine charge de solides fins, il faudra épurer *complètement* une ponction faite sur le circuit, suffisante pour éliminer les produits préalablement introduits, sous peine de se trouver bientôt dans une impasse. L'épuration des eaux pose également le problème de la récupération des boues sous une forme convenable, mais comme eut dit Kipling : « Ceci est une autre histoire ». Nous aborderons cette question uniquement dans le cadre de la floculation.

Toutefois, il est important de constater que l'on se trouve devant deux problèmes bien distincts. Si l'on peut demander à la floculation de produire, en même temps que de l'eau claire, les boues à la concentration maximum, ces boues ne seront toutefois jamais assez compactes pour être utilisées sous cette forme. Il est remarquable que, ici aussi, il est néfaste de courir les deux lièvres à la fois.

Puisqu'il s'agit d'épurer de l'eau, comment peut-on définir de l'eau sale ? Elle est composée d'un liquide et de solides. Les solides se caractérisent par leur nature, charbon ou schiste, et leur granulométrie. Empiriquement, on peut classer les grains en $< 50\ \mu$ et $> 50\ \mu$ car le comportement des deux catégories diffère en bien des cas.

Quant au liquide, c'est de l'eau. Mais vous savez combien une eau peut différer d'une autre par son pH, les électrolytes dissous, les liquides étrangers telle l'huile de flottation qu'elle peut contenir.

Le moyen normal d'épurer des eaux de lavoir consiste à les décanter. La floculation est une technique qui permet de hâter la décantation en amalgamant les produits les plus fins en flocons qui se comportent comme une particule de plus grand volume.

On constate, en pratique, que les particules de 0 à 20 μ, contenues dans l'eau de lavage et constituées d'argile, ne décantent pas. Celles comprises entre 20 et 50 μ décantent si lentement qu'on peut les assimiler aux premières. Au delà de 50 μ, la décantation devient plus rapide et les surfaces nécessaires de l'épaississeur deviennent acceptables.

Pour donner une idée de l'influence de la floculation sur la granulométrie pratique des produits solides, c'est-à-dire en considérant un flocon

comme une unité, on peut essayer de tracer la courbe granulométrique d'un produit floculé en procédant par lévigation, quoiqu'on détruise ainsi certains flocons et probablement les plus gros.

C'est ainsi que des boues qui, avant floculation contenaient 55 % de < 20 μ et 25 % de 20-40 μ, donnent après floculation 6,5 % de < 20 μ et 79,5 % de 20-40 μ.

On a également constaté qu'une élévation de la température diminuant la viscosité du milieu favorise la décantation. Toutefois, il ne peut être fait usage de ce phénomène en pratique, le coût du chauffage des eaux étant prohibitif.

Théorie de la floculation.

La formation des flocons peut être expliquée, soit par l'adsorption des matières solides en suspension dans l'eau par le floculant colloïdal, soit par la coagulation due à la décharge des schlamms (chargés négativement) par les ions positifs des électrolytes.

Les particules dispersées à faible constante diélectrique se chargent négativement par rapport à la phase à constante diélectrique élevée qui, dans notre cas, est l'eau, dont la constante diélectrique est 81.

Cette charge négative peut être augmentée par l'adsorption des groupements hydroxyles présents ou ajoutés à l'eau.

L'activité des ions floculants dépend de leur valence. Les polyvalents sont les plus actifs. D'après Schulze, le pouvoir floculant des ions monobi- et trivalents sont dans le rapport de 1:40:1 000.

Toutefois, une partie du réactif est fixée par le colloïde précipité.

Ces fixations présentent un caractère sélectif, il n'est pas exclu qu'une sélectivité se présente dans les phénomènes de coagulation. La valence ne peut donc être le seul facteur efficient.

Petersen (1) a obtenu en laboratoire une clarification des eaux résiduaires avec un courant de 2,5 V et 0,4 A. La floculation s'est réalisée autour des électrodes.

Toutefois, le procédé ne présente aucune supériorité sur le traitement à la fécule et le coût de l'énergie électrique le rend prohibitif.

ETUDE DES FLOCULANTS

Des études comparatives entre floculants inorganiques et organiques ont permis de faire un classement parmi les réactifs d'après leur degré d'activité.

Petersen et Grégor (2) ont établi des courbes de la vitesse de décantation en présence de différents floculants.

Samuel (3) a également établi un tableau comparatif du pouvoir floculant des différents électrolytes inorganiques (tableau I).

TABLEAU I.

Réactif de floculation 0,02 gm de sel anhydre dans 100 cc.	*Durée en minute pour décantation de la suspension.*
$Ca(OH)^2$	3,5
$CaCl^2$	23,0
$CaSO^4$	29,0
$Ca(NO^3)_2$	51,0
$Ba(OH)_2$	7,0
$BaCl^2$	33,0
$Ba(NO^3)_2$	67,0
KOH	10,5
NaOH	10,0
NaCl	93,0
Na^2SO^4	110,0
$NaNO^3$	195,0
LiOH	4,0
NH^4OH	23,0
$(NH^4)^2SO^4$	129,0
NH^4Cl	120,0
NH^4NO^3	150,0

L'examen de ce tableau montre que les sulfates, chlorures et nitrates de calcium, de barium, de potassium, de sodium, de lithium et d'ammonium sont beaucoup moins efficaces que les hydrates. C'est pourquoi l'ion d'hydroxyle est le constituant le plus actif pour favoriser la floculation.

L'influence des électrolytes sur la vitesse de floculation des schlamms bruts a été démontrée à l'époque par Petersen (fig. 1 et 2), qui a étudié la floculation en présence et en l'absence d'électrolytes dans l'eau à épurer.

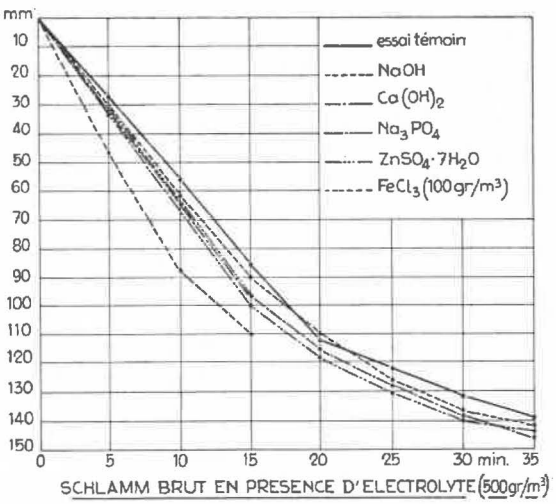


Fig. 1.

Un fait très important se dégage de ces essais.

En l'absence d'électrolyte, la vitesse de décantation sans floculant est de beaucoup supérieure

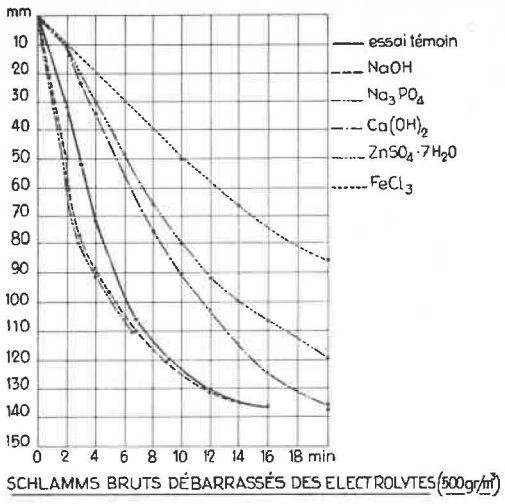


Fig. 2.

à la vitesse de décantation qu'en présence d'électrolyte, également sans floculant. La présence des électrolytes dans l'eau a une action dispersante sur les particules en suspension.

Le comportement des floculants dans les deux cas est différent.

Certains cations diminuent la vitesse de décantation, et surtout l'ion ferrique.

La figure 3 donne les courbes de décantation en présence de floculants organiques de nature colloïdale en solution aqueuse; le plus actif est la fécule de pommes de terre.

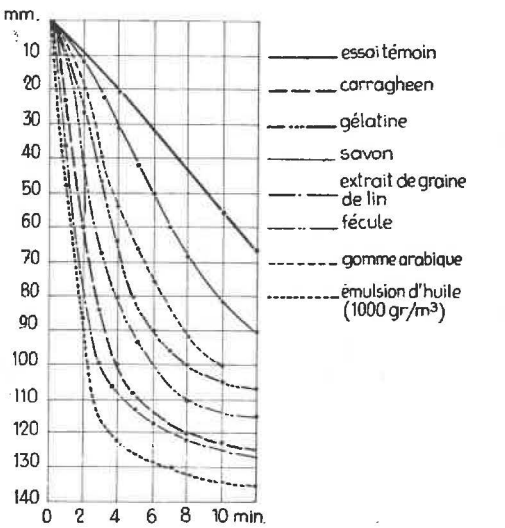


Fig. 3.

Dans les grandes lignes, les floculants organiques de nature colloïdale se classent de la façon suivante. Ceux d'origine animale, comme l'albumine et la gélatine, sont moins actifs que les floculants d'origine végétale, comme le carragheen, les alginates, les émulsions à base d'huile de lin, et la fécule de pommes de terre, cette dernière est très active. Nous avons constaté à différentes reprises qu'elle se laisse presque entièrement adsorber par les matières solides en suspension dans l'eau.

Les flocons à base de fécule résistent bien à la désagrégation provoquée par les remous de l'eau. Ce fait a son importance dans la technique à suivre pour l'introduction des réactifs floculants dans les eaux à épurer.

La fécule de pommes de terre, chauffée dans l'eau en présence d'électrolytes, gonfle, se gélatinise et fait éclater l'enveloppe qui entoure les grains. Deux constituants se distinguent en solution, à savoir : l'amylose caractérisée par sa coloration bleue en présence d'iode, elle est chargée négativement et présente une tendance à floculer quelques jours après la préparation; l'autre constituant est l'amylopectine caractérisée par sa coloration violette avec l'iode. La solution de fécule, après quelques heures de repos, a une tendance à se séparer en deux couches.

D'après Petersen (4) la couche claire supérieure possède des propriétés floculantes plus élevées sur les schlamms que la couche épaisse décantée; une agitation périodique sera effectuée pour tenir la solution homogène.

La préparation de la fécule comme floculant peut se réaliser suivant différents procédés.

1) *Le procédé Henry.*

La fécule est maintenue d'abord pendant quelques heures à la température de — 5° C avant d'être mise en suspension dans une eau maintenue à basse température. La floculation est effectuée en présence d'une solution très chaude de soude. La clarification est achevée en présence d'une quantité importante de chaux. La formule de clarification des eaux, d'après le procédé Henry, pour 1 000 m³ d'eau est de :

CaO	.....	265 kg	soit	265	g/m³
NaOH	.....	16 kg	soit	16	g/m³
Fécule	.....	6,5 kg	soit	6,5	g/m³

La consommation de fécule est très faible, par contre les doses de chaux sont très importantes. Ces dernières peuvent causer des ennuis dans le circuit.

2) *Le traitement de la fécule à l'eau bouillante.* constitue l'autre procédé pour la mise en solution.

D'après Lohmann (5), cette technique améliore sensiblement le pouvoir floculant de la fécule. L'examen microscopique a permis de déceler de petites particules colloïdales collantes, capables de fixer les particules de matières solides et de se réunir entre elles aussi longtemps qu'elles ne sont pas saturées par les matières en suspension.

Les flocons obtenus à partir de la fécule gonflée dans l'eau chaude sont très stables et plus

gros que ceux obtenus à partir de la fécule bouillie dans l'eau.

Petersen a démontré, à l'aide d'essais systématiques, que la fécule traitée à 90° C possède des propriétés floculantes supérieures à celle traitée à 70°, toutes conditions égales. La préparation se fait de la façon suivante :

Une pâte homogène de fécule est d'abord préparée avec 3 à 5 fois son poids d'eau à la température ordinaire, ensuite elle est introduite sous agitation continue dans la quantité d'eau calculée, portée préalablement à la température de 90 à 100° C, en prolongeant l'agitation pendant quelques minutes.

La solution de floculant ainsi préparée est à maintenir dans le voisinage de cette température pendant le traitement des eaux usées.

3) *Pour la préparation selon le procédé habituel.*

Avec les fécules traitées industriellement, il y a lieu d'empâter la fécule avec 2 à 3 fois son poids d'eau à la température ordinaire et de la diluer progressivement, sous agitation continue, avec la quantité d'eau calculée pour la concentration envisagée, qui est de l'ordre de 1 à 2 %.

Dans les qualités commerciales des floculants amylacés, il y a des différences sensibles qui se marquent dans les doses à utiliser. D'autre part, certaines qualités ne sont efficaces qu'avec de l'eau ne contenant pas plus de 60 grammes de matières solides par litre, tandis que d'autres floculants amylacés gardent leur activité avec des eaux usées contenant jusque 125 grammes de matières solides par litre.

L'aspect des flocons est déterminé par la façon d'introduire les réactifs dans l'eau à épurer.

La chaux est introduite en premier lieu, elle commence à floculer après une vingtaine de secondes, c'est le moment indiqué pour ajouter la fécule en un mince filet. Si aucune agitation n'a lieu entre les deux opérations, les flocons de chaux enveloppent la fécule en formant de gros flocons, à noyau de fécule; ils sont capables de résister à la désagrégation due à l'agitation du milieu.

Si au contraire, l'addition de chaux est suivie d'une agitation, les flocons de chaux se désagrègent en petits flocons qui se saturent de matières solides et, pour saturer la fécule introduite par après, il ne reste que quelques petits flocons de chaux et un peu de matières solides, si bien que l'on n'obtiendra pas de gros flocons.

Si la fécule est introduite en premier lieu et la chaux ensuite, il y a formation séparée de flocons de fécule à côté des flocons de chaux, les premiers se saturant avec les matières solides, les seconds prenant le restant et on n'obtient pas des flocons résistants.

Ces faits ont été vérifiés par Lohmann (6).

Donc l'introduction d'un lait de chaux doit précéder l'addition de fécule à un intervalle très court, dans un milieu aussi calme que possible pour obtenir de gros flocons résistants.

Le chenal d'amenée de l'eau polluée sera muni de chicanes. On introduit d'abord la chaux ou le réactif choisi de façon à réaliser le pH approprié à la floculation. A 2,5 m à 3 m plus bas, on ajoute un électrolyte s'il y a lieu (cas des eaux argileuses par exemple, avec du sulfate de zinc) et, 3 m plus loin, le colloïde floculant : cette dernière addition sera à peu près à 5 m de l'épaississeur.

L'efficacité du floculant peut être augmentée en introduisant celui-ci à plusieurs endroits du courant d'eau.

A différentes reprises, la chaux a été citée comme moyen efficace pour favoriser la clarification des eaux, surtout les eaux argileuses. L'épuration à la chaux paraît être économique, ce produit se trouve facilement et à un prix modique.

Les doses préconisées varient de 150 à 300 g/m^3.

Toutefois le traitement à la chaux n'est pas sans inconvénients.

Chaque fois que la chaux a été appliquée, tant dans les essais au laboratoire qu'en pratique, on a obtenu une pulpe décantée, moins concentrée en matières solides que dans le cas d'une floculation effectuée en milieu neutre.

Le traitement à la chaux peut donner lieu à des difficultés dans le circuit telles que colmatage des cribles, incrustation des conduites, etc... par le carbonate de calcium parfois très difficile à enlever.

L'analyse effectuée sur des dépôts prélevés sur des cribles, tamis d'alimentation du Dorr et parois des caisses des schistes du nouveau lavoir de Ressaix, dont les eaux ont été clarifiées en présence de chaux, a donné les résultats suivants :

	Dépôt sur cribles	*Tamis d'aliment. du Dorr.*	*Parois des caisses des schistes 0-10*
Carbonate de chaux	75,51 %	89,28 %	86,25 %
Argile	10,87 %	5,74 %	6,29 %

En outre, la chaux abaisse le point de fusion des cendres des schlamms floculés.

Le point de fusion des schistes floculés devient plus faible, facteur dont il y a lieu de tenir compte si l'on envisage d'utiliser ces schistes comme matière première dans la fabrication des briques.

On pourrait croire que l'introduction de métaphosphate de soude dans les eaux fortement chargées de chaux, remédie à cette situation. Il n'en est pas ainsi à cause des propriétés dispersantes de ce produit par rapport à l'argile.

Dose des floculants.

Chaque eau possède ses particularités. La constitution physique et chimique des schlamms et schistes à précipiter diffère de charbonnage à charbonnage.

Pour une même eau de lavoir, nous avons utilisé 100 g d'un floculant par m³ d'eau usée; 20 g pour un autre et 10 g pour un troisième.

Dans le cas des alginates, 3 g par m³ suffisent dans beaucoup de cas, mais souvent la clarification nécessite l'emploi d'électrolytes.

Seul, un essai d'orientation au laboratoire peut donner une idée de la dose approximative à appliquer.

Les quantités de floculant à introduire sont influencées par la concentration des matières solides en suspension et par la proportion d'impalpables dans celles-ci. La présence de schlamms de charbons jeunes, à teneur plus élevée en composés oxygénés et par conséquent plus hydratés, fait également appel à une dose plus élevée en floculant.

Les particules très cendreuses se laissent mieux mouiller, floculent moins bien et, par conséquent, consomment plus de réactif. L'expérience indique également qu'il n'y a aucun intérêt à augmenter la quantité de floculant au delà d'une certaine dose comme le démontre le tableau II.

TABLEAU II.

Essai effectué avec floculant amylacé sur une eau à 36,6 % de matière solides en suspension, le pH du milieu étant 9 :

Doses du floculant	*Décantation après 1 heure*	*Concentration de la pulpe après 5 heures de décantation.*
5 g/m³	80,5 %	244 g/litre
10 g/m³	80,5 %	244 »
15 g/m³	80,5 %	244 »
20 g/m³	79,5 %	236,5 »
25 g/m³	79,5 %	236,5 »

TABLEAU III.

Un autre essai de confirmation a été effectué avec un autre floculant dont la dose optimum pour la floculation est de 20 g/m³ dans un milieu au pH 10 :

Matières solides	*pH*	*Floculant g/m³*	*Matières solides dans les boues décantées après 5 h. de décantation.*
110 g/l	10	20	282 g/l
110 g/l	10	40	287 g/l
110 g/l	10	60	289 g/l
110 g/l	10	80	289 g/l

La quantité exagérée en floculant peut parfois empêcher une concentration de la pulpe après décantation. Un excès de fécule est nuisible à la flottation. La fécule est entièrement adsorbée par les schlamms floculés, ceux-ci envoyés aux cellules de flottation en diminuent le rendement, car des particules de charbons floculent dans les cellules de flottation et sont évacuées avec les schistes; le fait se remarque immédiatement à la diminution des mousses dans les cellules et à la diminution de la teneur en cendres des schistes.

Des essais pratiques ont été effectués dans un Dorr, dont les produits décantés alimentaient un système de cellules de flottation. La fécule entièrement adsorbée par les matières solides décantées était remise en liberté dans les cellules, sous l'action énergique des agitateurs.

Nous avons constaté que 400 grammes de floculant amylacé par tonne de schlamms ou 80 grammes par m³ d'eau faisaient tomber la teneur en cendres des schistes à 57 %; en réduisant la dose de fécule à 90 grammes par tonne de schlamms ou 12 grammes par m³ d'eau, la teneur en cendres dans les schistes montait à 78 % et la flottation redevenait normale.

La vitesse de décantation des matières solides.

1) *Influence de la concentration des matières solides.*

Le tableau IV présente un essai de laboratoire sur la vitesse de décantation après 1 heure. La teneur en matières solides a été systématiquement augmentée. Les essais ont été effectués en présence de chaux jusqu'à obtention du pH 10.

2) *L'influence de la granulométrie sur la vitesse de décantation des matières en suspension a été étudiée au laboratoire.*

La vitesse de décantation diminue avec l'augmentation de la teneur en impalpables inférieurs à 50 microns. Le fait s'explique par l'augmentation de la viscosité du milieu.

TABLEAU IV.

Matières solides g/l	*Couche d'eau claire après 1 heure de décantation*
60 g/litre	72 %
70 g/litre	60 %
80 g/litre	56 %
90 g/litre	52 %
120 g/litre	44 %
150 g/litre	16 %

Ceci a été vérifié par des essais comparatifs avec deux floculants amylacés et un floculant à base d'alginate, et cela sur une eau dans laquelle les concentrations en impalpables ont été portées progressivement de 20 g/litre jusqu'à 120 g/litre.

Pour ces concentrations, ainsi que pour une série de concentrations intermédiaires, la hauteur de la couche d'eau claire a été notée après 1 heure de décantation, les résultats ont été exprimés en pourcent (tableau V).

Au fur et à mesure que la quantité en matières solides augmente, la vitesse de décantation diminue.

TABLEAU V.

Décantation après 1 heure.

Matières solides 0 à 50 microns	*Décantation après 1 heure*		
	Floculants amylacés		*Alginate*
	1re flocul. 10 g/m³ pH 10	*2me flocul. pH 7-7,5*	*pH 7-7,5*
20 g/litre	84,5 %	93,5 %	92,0 %
40 g/litre	77,5 %	84,5 %	85,5 %
60 g/litre	66,5 %	74,0 %	77,5 %
80 g/litre	56,5 %	66,5 %	67,0 %
100 g/litre	51,5 %	60,5 %	57,0 %
120 g/litre	44,5 %	51,5 %	52,0 %

Pour vérifier l'influence de la présence des grains supérieurs à 50 microns, des essais ont été effectués sur une eau à 80 g de matières solides par litre, constituée d'un mélange connu de particules inférieures à 50 microns et des grenus supérieurs à 50 microns.

Systématiquement, une certaine proportion des impalpables fut remplacée par des grenus d'un calibre supérieur à 50 microns. Pour chaque mélange, le pourcentage de la couche d'eau claire, après une heure de décantation, fut noté.

La floculation était réalisée en présence de trois floculants différents (tableau VI).

TABLEAU VI.

Essais sur 80 g/litre

Matières solides	*Calibre du charbon*		*Cendres*	*Décantation après 1 heure*		
	0 - 50 microns	*50 microns à plus*		*Floculant amylacé pH 10 Dose floc. 10 g/m³*	*Autre floc. amylacé pH 7-7,5 Dose floc. 5 g/m³*	*Alginate pH 7-7,5 Dose floc. 3 g/m³*
80 g/litre	100,0 %	—	55,73 %	56,5 %	66,5 %	64,0 %
80 g/litre	87,5 %	12,5 %	50,3 %	66,5 %	73,0 %	71,5 %
80 g/litre	62,5 %	37,5 %	39,4 %	72,5 %	77,5 %	79,0 %
80 g/litre	37,5 %	62,5 %	28,5 %	76,5 %	81,5 %	83,5 %
80 g/litre	12,5 %	87,5 %	17,6 %	83,0 %	86,0 %	87,0 %
80 g/litre	—	100,0 %	12,1 %	83,0 %	86,0 %	87,0 %

Il en résulte que les grains supérieurs à 50 microns décantent rapidement sous leur propre poids, diminuant ainsi la concentration de la suspension. Les impalpables résiduaires floculés se trouvant automatiquement dans un milieu plus dilué, par conséquent moins visqueux, ne sont plus entravés dans leur chute, ce qui permet d'expliquer l'augmentation de la vitesse de décantation.

Le tassement de la pulpe, après 5 heures de décantation, augmente avec l'accroissement des supérieurs à 50 microns. En effet, les essais signalés dans le tableau VII indiquent systématiquement pour trois floculants que, pour une quantité identique en matières solides en suspension, la concentration des boues décantées augmente au fur et à mesure que le milieu s'enrichit en particules supérieures à 50 microns.

TABLEAU VII.

Matières solides à l'alimentation	*Calibres*		*Concentration des boues décantées avec :*		
	0-50 microns	*50 microns à plus*	*1er floc. amylacé pH 10*	*2e floc. amylacé*	*Alginate*
80 g/litre	100,0 %	—	364 g/litre	364 g/litre	364 g/litre
80 g/litre	87,5 %	12,5 %	308 »	421 »	400 »
80 g/litre	62,5 %	37,5 %	355 »	457 »	500 »
80 g/litre	37,5 %	62,5 %	381 »	500 »	571 »
80 g/litre	12,5 %	87,5 %	500 »	571 »	640 »
80 g/litre	—	100,0 %	485 »	592 »	533 »

Donc, la présence des grains favorise la concentration des boues décantées.

Influence du pH.

D'après différents essais, le pH acide de 4,5 n'a pas donné des résultats intéressants à la décantation, après une heure, la décantation ne présentait en moyenne que 60 %, laissant une couche d'eau trouble surnageante.

Les *Tensioactifs* (appelés aussi mouillants).

L'excès d'huile de flottation dans les eaux à traiter forme des écumes persistantes à la surface de l'eau.

Ces mousses restent indifférentes à l'action des agents floculants.

Un résultat intéressant a été obtenu avec différents tensioactifs, et principalement avec un produit à base d'alcool gras sulfoné qui lui favorise la précipitation des schlamms flottants.

Toutefois, les tensioactifs ne favorisent nullement la vitesse de décantation. Ces faits ont été vérifiés en utilisant comme floculant, soit de l'alginate, soit de la fécule, et cela, en présence des quantités de tensioactifs variant de 2 à 40 g par m^3.

Application de la floculation aux eaux résiduaires du nouveau triage-lavoir du charbonnage de Ressaix.

Comme cas d'application du traitement des eaux par floculation, l'installation réalisée au nouveau triage-lavoir de Ressaix est très intéressante.

Ce lavoir, mis en route en juillet 1954, traite 410 t/h de tout-venant 1/2 gras. Les procédés mis en œuvre sont ceux des Mines de l'Etat Néerlandais au moyen de liqueur dense eau-magnétite. Les 8/250 sont traités dans des auges à bain statique, les 0,8-8 dans des batteries de cyclones après dépoussiérage sur vibrants Coppée à mailles de 0,8 mm.

L'épuration des eaux résiduaires revêt une grande importance dans un lavoir par liqueur dense, en raison principalement de ses besoins en eau claire qui s'élèvent, à Ressaix, à près de 175 m^3/heure.

Les eaux résiduaires ont comme origine :

1. Les tailings des séparateurs magnétiques secondaires du circuit des grains.
2. Les tailings des séparateurs magnétiques secondaires du circuit des fines.
3. Le passé du crible Zimmer qui reprend les rinçages du chargement des grains et les eaux d'égouttage des tours à fines et à mixtes.

La concentration moyenne de ces eaux s'élève à 66 g/litre environ, comportant près de 45 % de particules de 0 à 50 μ. La méthode normale de traitement de ces eaux consisterait à les refouler dans un épaississeur pour y effectuer la décantation par floculation. Le trop-plein de l'épaississeur donnerait de l'eau claire pour les différents rinçages et les produits décantés seraient traités dans des appareils tels que filtres, essoreuses ou vibro-filtres.

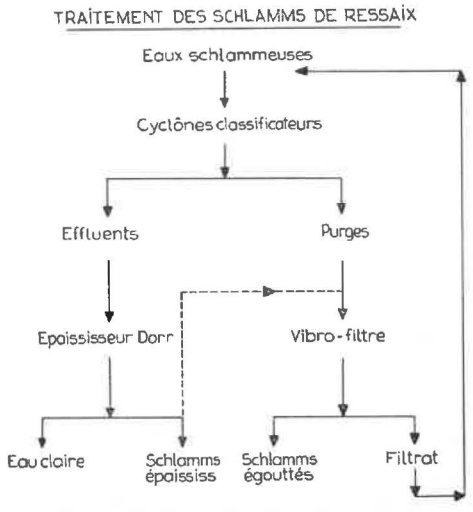


Fig. 4.

Ces appareils ne pouvaient donner des résultats corrects en raison du pourcentage trop élevé d'extra-fins dans les produits décantés. Il fallait, dans l'état actuel de la technique de l'épaississement des boues, consentir une perte d'eau vers des bassins extérieurs, perte d'eau entraînant avec elle une partie importante d'extra-fins et peu de schlamms grenus.

TABLEAU VIII.

Tableau des débits et des concentrations Ressaix.

	Débits m^3/h	*Concentrations g/litre*
Eaux résiduaires	176	66
Effluent des cyclones classificateurs	150	22
Pointe des cyclones classificateurs	26	320
Alimentation de l'épaississeur	150	22
Pointe de l'épaississeur...	11	300
Trop-plein de l'épaississeur	139	0

Consommation de floculant et de chaux.

	Par m^3 *d'eau traitée*	*Total jour*
Floculant amylacé	20 g	42 kg
Chaux	118 g	250 kg

Ce problème difficile a trouvé une solution très élégante dans l'utilisation de cyclones classificateurs placés sur le refoulement de la pompe vers l'épaissis eur (fig. 4).

La coupure se situe à environ 60 µ. Le produit concentré à la pointe des cyclones ne contient plus que 20 % de 0 à 50 µ et est facilement traité dans des vibro-filtres. L'effluent des cyclones comporte 80 à 85 % d'extra-fins et de 3 à 4 % d'éléments supérieurs à 0,2 mm. Il est envoyé au centre d'un épaississeur circulaire de 12 m de diamètre, où s'effectue la floculation suivant la technique décrite plus haut. Les eaux claires sortent à la périphérie, la pulpe décantée, évacuée par la pointe, est dirigée vers des bassins extérieurs. Le filtrat des vibro-filtres est remis en tête dans le circuit des eaux résiduaires.

A noter qu'une partie de la pointe de l'épaississeur peut être mélangée avec la purge des cyclones classificateurs avant les vibro-filtres.

L'installation d'épuration des eaux résiduaires au nouveau triage-lavoir de Ressaix est représentée à la figure 5.

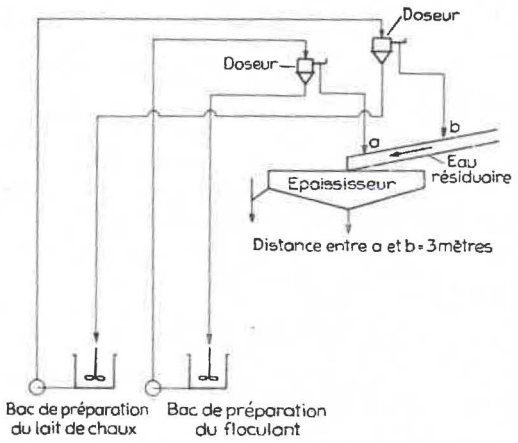


Fig. 5.

Conclusion.

Depuis la mise en route du lavoir, les eaux de débordement de l'épaississeur ont toujours été parfaitement claires.

La hauteur d'eau claire, mesurée au droit de la périphérie, se maintient entre 1,50 m et 2 m.

La mise en œuvre des floculants est simple et ne demande que peu de surveillance.

Le prix de revient par jour s'élève à 800 F ou, à la tonne nette, à 0,32 F.

Notons, pour terminer, que les schlamms définitifs à la sortie des vibro-filtres ont une teneur en eau de 22 % environ et une teneur en cendres de 40 %. Les boues, à la sortie de l'épaississeur, ont une teneur en cendres de plus de 55 %. Cette teneur élevée est due à la présence d'argile provenant du délitage des schistes dans l'eau.

Des essais sont en cours en vue de traiter dans un appareil industriel les boues de la pointe de l'épaississeur.

BIBLIOGRAPHIE

1. PETERSEN, Glückauf, n° 6, février 1934.
2. PETERSEN et GREGOR, Glückauf, n° 28, juillet 1932.
3. SAMUEL, The transac ions of the Institution of Chemical Engineers, p. 47 à 54, vol. 16, 1938.
4. PETERSEN, Glückauf, n° 6, février 1934.
5 LOHMANN, Glückauf, n° 45, novembre 1936.
6 LOHMANN, Glückauf, n° 45, novembre 1936.