

NOTES DIVERSES

Les Nouveaux Procédés de Lavage du Charbon dans des suspensions de matières denses

par

Henri VERDINNE,

Ingénieur en chef, Directeur des travaux
à la S. A. des Charbonnages d'Aiseau-Prezle,
à Farciennes.

L'emploi des liquides denses, — plus denses que l'eau —, pour contrôler la marche des lavoirs à charbon est, depuis nombre d'années, d'un usage courant.

Ces liquides, qui comprennent des solutions de sels dans l'eau (CaCl^2 , ZnCl^2), et des liqueurs typiquement denses (tétrachlorure de carbone pur ou en mélange avec l'essence d'auto ou le bromoforme), permettent de séparer avec la plus grande facilité les différents composants du charbon brut, dont les densités s'échelonnent généralement entre 1,35 et 2,8.

L'idée de tirer de ce procédé de laboratoire le principe d'appareils industriels est venue à l'esprit de bonne heure.

Mais les liqueurs denses de laboratoire sont d'un coût tel qu'on ne pouvait songer un instant à les employer industriellement (1). L'emploi des solutions de sels dans l'eau, d'un prix plus abordable, révéla une foule d'inconvénients : difficulté d'arriver à une densité suffisante, par suite de la limite de concentration; brûlures au personnel et réactions avec les matières des appareils ou les sels contenus dans le charbon; frais élevés de reconcentration après récupéra-

(1) Le tétrachlorure de carbone coûte 7 frs le kg., et il a une densité 1,6. Le bromoforme coûte 192 frs le kg., et le litre pèse 2,85 kgs.

tion du sel par rinçage de tous les produits du lavage, perte coûteuse par entraînement, etc. (2).

Le succès ne couronna les efforts des inventeurs que dès l'instant où ils renoncèrent à utiliser les liquides denses et où ils s'engagèrent dans la voie de l'emploi de *suspensions* de matières denses dans l'eau.

PROPRIETES DES SUSPENSIONS.

Les suspensions sont des systèmes dispersés formés, d'une part, du *milieu de suspension*, qui peut être solide, liquide ou gazeux, et du *corps dispersé*, qui peut être lui-même, et dans chaque cas, solide, liquide ou gazeux.

Les suspensions employées pour le lavage du charbon sont formées d'un milieu de suspension liquide et d'un corps dispersé solide n'ayant aucune affinité pour le premier.

Ce qui importe avant tout pour l'emploi d'un tel système, en vue d'un but déterminé, c'est sa *stabilité*.

En principe, les suspensions sont instables, surtout pour une certaine grosseur des particules du corps dispersé et pour une certaine concentration, et la sédimentation doit être combattue par divers moyens, mécaniques ou autres.

Mais si l'on pousse suffisamment loin la pulvérisation du corps à disperser, on constate que la dispersion prend un certain caractère de stabilité, qui peut durer quelques heures, quelques jours ou même plusieurs mois.

Cette stabilité résulte du fait que pour cette finesse, la pesanteur cesse de faire sentir son action sur les particules, qui sont, au contraire, le siège de mouvements très vifs et désordonnés, découverts en 1827 par le botaniste anglais Brown, et dus aux chocs moléculaires du milieu de suspension sur les granules du corps dispersé.

Les mouvements browniens affectent déjà des particules visibles au microscope grossissant 500 fois.

La stabilité est encore attribuée aux charges électriques des particules résultant du fait que le milieu de suspension n'est pas isolant. L'eau n'est jamais rigoureusement pure : elle contient toujours des

(2) Le procédé anglais Lessing au CaCl_2 n'a jamais connu que deux installations industrielles. Les procédés Clean Coal Co Process et Ougrée basés également sur l'emploi d'une solution de CaCl_2 , ne paraissent pas avoir dépassé le stade expérimental.

ions provenant de la dissociation des corps qui y sont restés dissous. On a vérifié que ces ions, en partie positifs et en partie négatifs, se fixent à la surface des particules de la suspension. Comme celles-ci, dans les mouvements browniens, ne se rencontrent que très rarement, on a supposé que c'était là le fait des signes contraires des charges électriques.

Les mouvements browniens peuvent s'atténuer et même disparaître par l'augmentation du volume des particules dispersées, et la charge électrique de ces dernières peut être annihilée par l'*adsorption* d'ions dont la charge est de signe contraire à la leur. Ces effets ont pour résultat que la suspension perd sa stabilité et que commence la coagulation, généralement précédée de la floculation.

Mais la stabilité d'une suspension obtenue par l'extrême finesse du corps dispersé présente, en contrepartie, un défaut capital : c'est qu'une telle suspension ne permet pas une récupération rapide et économique du corps dispersé dans les eaux de rinçage.

C'est pourquoi on a préféré l'emploi de particules relativement grosses et recourir à un artifice pour maintenir une stabilité suffisante.

Dans le procédé Chance, le corps dispersé est le sable en grains de 0,2 à 0,3 mm., qui ne peuvent être maintenus en suspension que par des courants ascensionnels, complétés par l'action d'un agitateur mécanique à palettes tournant à 12 tours par minute.

Dans le procédé de Vooy's à la baryte, celle-ci est employée à une finesse telle que 98 % passent à travers un tamis à 130 mailles par centimètre linéaire. Le diamètre des grains est ainsi de l'ordre de 0,05 mm.

A ce degré de finesse, la sédimentation dans les eaux de rinçage est encore relativement facile, mais la stabilisation de la suspension n'est obtenue que par l'emploi d'un colloïde protecteur, qui est, en l'occurrence, l'argile.

L'action de ce colloïde est attribuée à un phénomène du genre de l'*adsorption*, la matière colloïdale venant se déposer en couche mince sur la surface des particules du corps dispersé et les faisant profiter de sa propre stabilité.

Par contre, le colloïde protecteur introduit un autre inconvénient : il augmente la viscosité du milieu de suspension, ce qui ralentit la séparation des divers composants du charbon brut.

On est obligé de contrôler la viscosité en même temps que la densité, et on la maintient entre certaines limites, notamment en

limitant le volume de corps dispersé et en chauffant le milieu de suspension entre 30 et 35°.

Nous rapprochons de la suspension de Vooy's, la suspension Staatsmijnen au loess, à cause de la finesse du même ordre du corps dispersé (77 % en dessous de 0,05 mm.) et de la présence d'argile dans la matière elle-même; également aussi parce que c'est une suspension à une seule densité, stable sans l'aide de courants ascensionnels.

Les suspensions réalisées dans les procédés Chance, de Vooy's et Staatsmijnen ont une densité uniforme sur toute l'épaisseur de la cuve.

M. Tromp, Ingénieur à la Domaniale Mijn Maatschappij, à Kerkrade, a réalisé une suspension de magnétite (densité, 4,8) dont la finesse de mouture se trouve entre 0 et 0,1 mm. Cette grosseur des grains du corps dispersé, de même que leur forte densité assurent une récupération facile de la matière dans les eaux de rinçage, mais elle ne rend pas la suspension stable.

L'originalité du procédé Tromp est de ne pas combattre la sédimentation et de tirer parti de la variation de densité qu'elle produit dans le milieu de suspension.

Les densités choisies pour la séparation des charbons et des mixtes d'une part, des mixtes et des schistes d'autre part, sont naturellement maintenues stables par des mélanges appropriés de liquide soutiré à différentes hauteurs de la cuve de lavage.

REALISATION INDUSTRIELLE DES SUSPENSIONS PROPRES AU LAVAGE DU CHARBON.

La préparation industrielle du charbon requiert des procédés la faculté de réaliser à volonté des densités déterminées comprises entre 1,5 et 1,8.

1. — Solutions vraies.

La solution de CaCl_2 dans l'eau est saturée à 15° avec 40,46 % de sel, la densité de la solution étant 1,41 et la viscosité 130 (1). En pratique, on atteint 1,55. Pour maintenir une densité effective

(1) La viscosité est mesurée par le nombre de secondes mises par un volume de 255 cm³ pour passer à travers une ouverture de 2 mm. de diamètre et 25 mm. de longueur.

de 1,5, on doit avoir recours à des courants ascensionnels (3,6 centim./seconde pour du charbon en grains de 1,5 mm).

2. — Suspension à courants ascensionnels.

Quand, au lieu de solutions vraies, il s'agit de suspensions stables, la densité de la suspension est encore le poids d'un décimètre cube de celle-ci. Elle dépend donc de la densité du milieu de suspension, de la densité du corps dispersé et de la concentration de celui-ci.

Dans le cas où la sédimentation est combattue par des courants ascensionnels, il y a lieu de distinguer la densité effective de la suspension. Il ne s'agit plus d'une densité statique que l'on peut peser, mais de l'effet de support que les courants exercent sur le corps dispersé en même temps que sur le charbon brut plongé dans la suspension.

Ce sont alors les courants ascensionnels qui jouent le premier rôle, et ils sont proportionnés au degré de finesse du corps dispersé et à la densité effective que l'on veut obtenir. Celle-ci dépend d'ailleurs aussi du calibrage du charbon traité, puisque les courants qui supportent la suspension de sable agissent aussi sur les grains de charbon dont la densité est près de moitié moindre.

Hirst indique qu'une suspension au sable de densité 1,45, consistant en particules de 0,5 à 0,2 mm. (48 à 65 mailles Tyler), se conduit comme un fluide de densité 1,45 envers des grains de charbon de 6 mm., comme un fluide de 1,5 envers des grains de 3 mm. et comme un fluide de densité 1,55 envers des grains de 1,5 mm.

En dessous de 1,5 mm., la densité effective de la suspension augmente rapidement, étant 1,7 pour des grains de 0,8 mm., 2 pour des grains de 0,4 mm. et 2,8 pour des grains de 0,2 mm. (Il s'agit évidemment de figures calculées, car aucun procédé actuel ne traite en dessous de 3 mm.)

R. A. Mott a donné les courbes de la figure 1, déduites des résultats de Hirst, et montrant les relations entre la vitesse des courants ascensionnels, la finesse du corps dispersé (sable) et la densité effective de suspension.

Pour une grosseur déterminée des grains de sable, on considère trois sortes de courants susceptibles de produire des changements bien définis dans le lit au repos :

Condition I. — La couche supérieure du lit bouge doucement; le volume du lit se dilate d'environ 10 %;

Condition II. — Le lit entier est en mouvement; dilatation : 15 à 40 %;

Condition III. — Le lit entier est supporté par le courant d'eau; dilatation : 30 à 60 %.

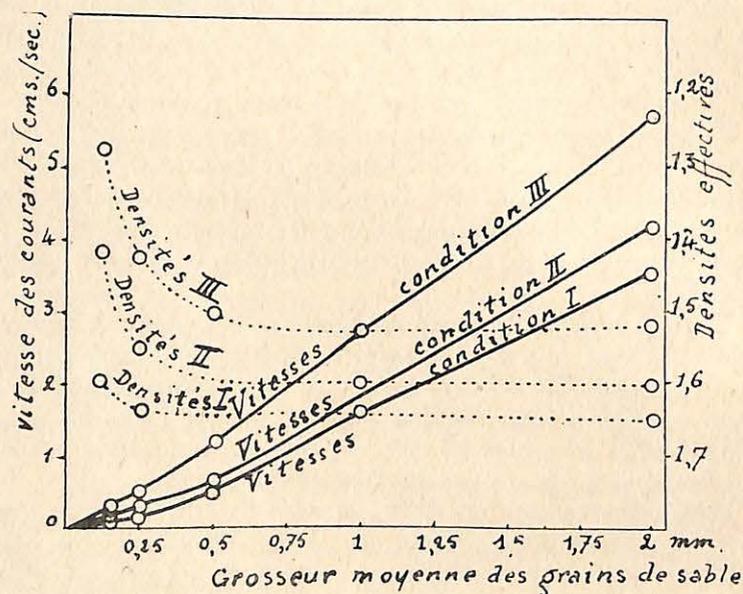


Fig. 1. — Suspension au sable : Relations entre la vitesse des courants ascensionnels, la finesse du sable (densité 2,6), et la densité effective de la suspension.

Des courbes de la figure 1, on déduit les propriétés suivantes :

- 1) Pour les grosseurs de grains inférieures à 0,5 mm., la densité effective tombe rapidement;
- 2) Pour une grosseur déterminée, la densité effective est d'autant plus grande que le courant est plus lent;
- 3) Pour un même courant, on peut avoir trois densités avec trois grosseurs de sable différentes, la densité la plus grande correspondant au sable le plus gros;
- 4) Pour une condition déterminée du lit, le courant doit être d'autant plus fort que le sable est plus gros.

R. A. Mott a donné le tableau suivant, déduit des graphiques et des données de Hirst :

TABLEAU I.

Vitesses des courants d'eau requis pour produire des suspensions de sable de diverses densités.

Dimensions moyennes des grains de sable en mm.	Vitesses en cm /-ec.			Densité effective			
	pour empêcher la sédimentation	Condition			Condition		
		I	II	III	I	II	III
0,625	10,5	0,5	0,7	1,2	1,65	1,6	1,51
0,5	8,5	0,4	0,6	1,0	1,65	1,6	1,51
0,375	7,0	0,2	0,4	0,7	1,65	1,59	1,48
0,25	5,5	0,15	0,3	0,5	1,64	1,55	1,45
0,125	3,0	0,05	0,15	0,25	1,6	1,41	1,28

La grosseur de sable employée habituellement dans le procédé Chance est comprise entre 0,2 et 0,3 mm. On voit que pour du sable de densité normale (2,6), on atteint difficilement une densité effective de suspension supérieure à 1,65. Pour obtenir une densité effective de 1,35, on doit avoir recours à du sable de 0,175 mm., au lieu de sable à grains de 0,2-0,3 mm. Il s'agit là de dimensions moyennes, le rapport entre les dimensions maximum et minimum étant de l'ordre de 1,4. Si ce rapport est trop grand, une classification se produit, suivant les grosseurs, au sommet de la suspension; le charbon descend alors à un niveau inférieur jusqu'au moment où il est supporté, et le sable fin est emporté avec lui par dessus bord.

La proportion de sable employée ne dépasse pas 40 %, ce qui correspond à une densité réelle de suspension de 1,64.

3. — Suspension à colloïde protecteur.

a) Dans la suspension à deux corps dispersés, baryte-argile, on adopte un rapport entre les proportions des deux corps. Dans la suspension considérée plus loin, le volume d'argile est double de celui du BaSo⁴.

D'autres rapports sont possibles, comme l'indique les abaques de la figure 2, empruntés à R. A. Mott, mais il faut tenir compte d'un élément important : la viscosité.

Pour les catégories de charbon au-dessus de 20 mm., la viscosité

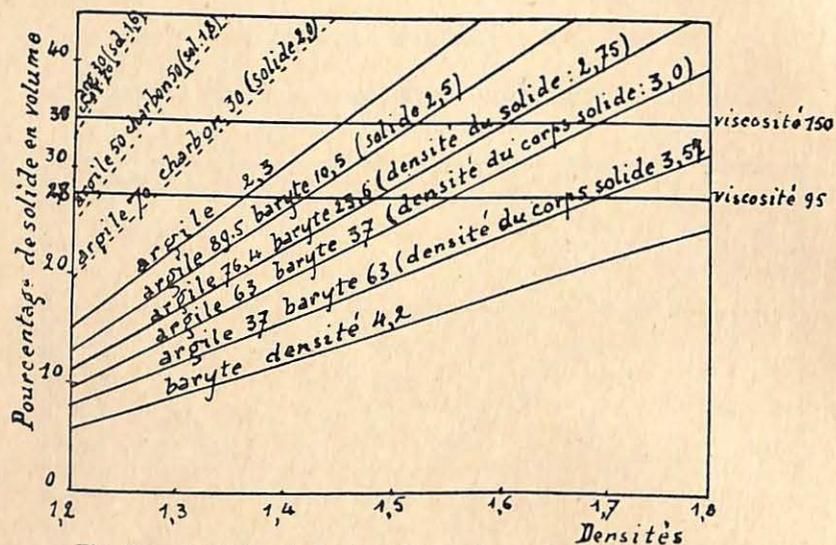


Fig. 2. — Variation de la densité avec le pourcentage de solide, en volume

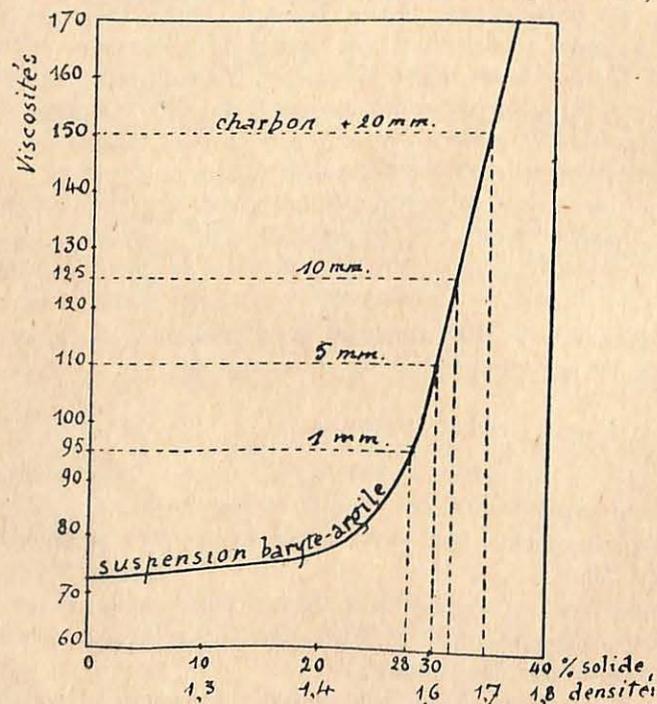


Fig. 3. — Variation de la viscosité avec le pourcentage de solide, en volume.

ne doit pas dépasser 150, tandis que pour du charbon de 1 mm., elle ne doit pas dépasser 95.

D'après la figure 3, la première limite correspond à un pourcentage du corps dispersé, en volume, de 35 %; la seconde a un pourcentage de 28 %.

Sur la figure 2, on voit que le mélange à 65 % d'argile et 37 % de baryte ne pourra dépasser une densité de suspension de 1,55 pour le petit charbon et une densité de 1,7 pour le charbon au-dessus de 20 mm.

Le tableau II montre la manière de réaliser les différentes densités en partant d'un rapport argile-baryte égal à 2,15.

TABLEAU II.

Réalisation d'une suspension de Voovs.

Poids spéc. de la suspension	Volume argile $\delta = 2,5$	Volume baryte $\delta = 4,2$	Rapport des deux volumes	Poids spécifique du solide	Volume du solide par m ³ de suspension en dcm ³
1,3	20,0	9,4	2,12	3,05	146
1,35	23,3	10,9	2,15	»	171
1,4	30,7	12,5	2,15	»	196
1,45	30,0	14,1	2,12	»	220
1,5	33,3	15,6	2,15	»	245
1,55	36,7	17,2	2,15	»	270
1,6	40,0	18,8	2,12	»	294

Plus particulièrement, on a précisé que :

Pour les 5-15, la suspension doit contenir 28 % de solide argile-baryte dont le poids spécifique est 3, et répondre à une densité de 1,55;

Pour les 15-40, la suspension doit contenir 30 % de solide de poids spécifique 2,8 et répondre à une densité de 1,485;

Pour les 40-80, le liquide doit contenir 32 % de solide de poids spécifique 2,6, et répondre à une densité 1,46.

Comme on doit s'y attendre dans des suspensions dont la densité est maintenue constante à la deuxième décimale, l'accumulation des schlamms de charbon (poids spécifique, 1,3) influence cette densité

et des mesures doivent être prises pour remédier à cet inconvénient. Pour les grosses catégories, il suffit d'un bon criblage avant le lavage et de la filtration des eaux de rinçage chargées de récupérer la baryte.

Pour les petites catégories (5-15 mm.), le criblage ne peut effectuer une séparation complète de la poussière, surtout si le charbon est humide. On ajoute alors une petite installation de flottation.

Pour les densités inférieures à 1,55, une plus grande accumulation de schlamms est admissible pour arriver à la proportion habituelle de 30 % de solide dispersé. C'est même un moyen particulièrement économique pour obtenir les basses densités de séparation.

L'argile est ajoutée au départ, mais quand la laverie est en marche, le charbon fournit généralement assez d'argile pour maintenir la quantité requise pour la suspension.

On a expérimenté que les mixtes de densité voisine de celle de la suspension avaient une tendance à s'accumuler dans le lavoir; l'efficacité de la séparation était ainsi réduite.

Pour vaincre cette difficulté, on fait arriver le courant d'alimentation de la cuve à environ 0,90 m. en dessous de la surface. Il en résulte un courant ascensionnel de 0,5 mm. et un courant descendant de 1 mm. par seconde, qui sont suffisants pour rompre l'équilibre des grains dont la densité est exactement celle du liquide, et qui ont une tendance à s'accumuler entre deux eaux. Ils sont suffisants aussi pour accroître la densité effective de séparation de 0,04 à 0,06 au-dessus de la densité de la suspension, et on doit en tenir compte pour fixer celle-ci.

La viscosité de la suspension baryte-argile de densité 1,55 est 130. Pour pouvoir l'employer pour les petites catégories de charbon, la suspension doit être chauffée à 30-35°, température à laquelle la viscosité est réduite à environ 105. Ce chauffage est simplement effectué par une enveloppe de vapeur sur le tank nourricier, employant de la vapeur d'échappement.

Une autre méthode de réduire la viscosité est l'addition de produits comme le Séparin, acide gras oxydé, qui réduisent la grosseur des agrégats colloïdaux de l'argile. Cette méthode est abandonnée parce que ces produits sont coûteux et qu'ils prolongent la durée de la sédimentation dans l'épaississeur Dorr.

Les suspensions baryte-argile entre 1,30 et 1,60 sont stables tant que la concentration est suffisante. Pour provoquer la sédimentation en vue de récupérer la baryte des eaux de rinçage, il suffit de diluer

suffisamment la suspension. Le corps dispersé se précipite rapidement pendant les 3 premières heures, puis plus lentement, pour être complètement déposé après 24 heures.

b) L'idée qui a présidé au choix du loess, comme matière dense, dans le procédé des Staatsmijnen, a été d'utiliser une matière abondamment répandue et de très bas prix.

Le loess est une sorte de limon calcaireux brun clair, qui présente une uniformité remarquable de composition. Une analyse typique est la suivante :

SiO ²	65,80
Al ² O ³	9,0
Fe ² O ³	1,74
CaO	5,63
MgO	1,51
Perte au feu	7,18
Indosés	4,32

Le loess est une formation pléistocène dont l'origine est discutée : éolienne ou d'érosion par les eaux pluviales. Elle est très commune en Europe, dans les vallées du Rhin, du Danube et de leurs affluents. En Chine, le loess existe par endroits sur des épaisseurs de 5 à 600 mètres. En Belgique, il existe surtout en Hesbaye, dans la région délimitée par Louvain, Diest, Hasselt, Liège, Namur et Wavre.

Au point de vue granulométrique, la composition d'un loess convenant pour le lavage du charbon est donnée comme ci-après :

De 0 à 0,01 mm.	10 %
De 0,01 à 0,02 mm.	10 %
De 0,02 à 0,03 mm.	15 %
De 0,03 à 0,04 mm.	20 %
De 0,04 à 0,05 mm.	22 %
De 0,05 à 0,2 mm.	18 %
Substances dissoutes	5 %
	<hr/>
	100 %

Si on trace la courbe de viscosité d'une suspension au loess et qu'on la compare aux courbes correspondantes pour diverses matières : argile, limon, craie (fig. 4), on voit que la première est nettement détachée des secondes, ce qui a pour effet de reporter les points critiques où la viscosité s'élève brusquement presque à la densité 1,6, et est éminemment favorable.

La densité du loess étant, comme celle du sable, de 2,6, une telle densité de suspension n'est atteinte que par une concentration suffisante, et celle-ci n'est possible que parce que la viscosité est relativement faible jusque là.

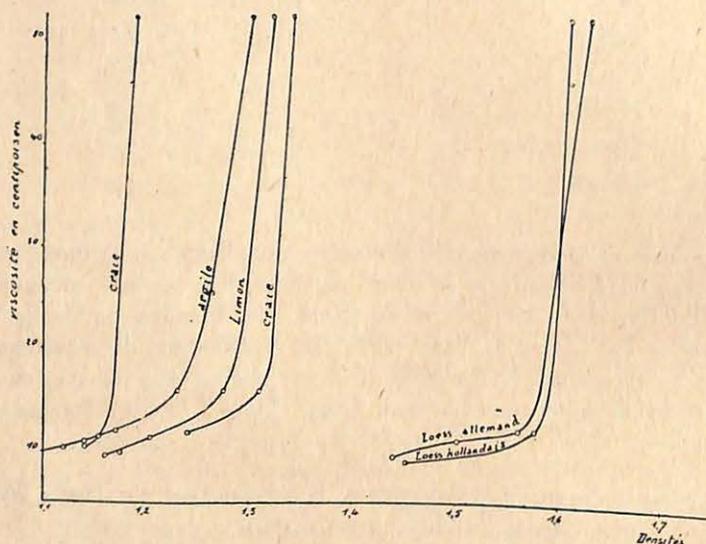


Fig. 4. — Courbes de viscosité du loess comparées à celles de l'argile, de la craie et du limon.

Un mètre cube de suspension de densité 1,55 renferme donc 34,5 % de solide et 65,7 % d'eau. Dans la suspension à la baryte-argile, où la densité du solide est 3,04, les proportions correspondantes étaient 27 et 73 %.

La sédimentation du loess se fait aisément, paraît-il, dans un hydro-cyclone de petite dimension, où la suspension diluée est amenée sous une pression appropriée.

4. — Suspension à densité variable.

Dans la suspension Tromp à la magnétite (ou aux résidus de grillage de la pyrite), la densité varie de 1,55 à la surface du bac à 1,80 au fond de celui-ci.

La pompe de circulation refoule au sommet du bac une suspension à 1,55, correspondant à 14,50 %, en volume, de magnétite à 4,8 de poids spécifique (poids théorique, 5,2).

La sédimentation tend à diminuer cette densité superficielle et elle concentre le corps dispersé jusqu'à dépasser la densité 1,8.

On rend stables deux lignes de coupure, qui correspondent à la séparation voulue entre les charbons et les mixtes, et à celle entre les mixtes et les schistes, de la manière suivante : on soutire en différents points de la hauteur du bac du liquide à différentes densités, et on fait les mélanges nécessaires aux niveaux de coupure.

Ces circulations auxiliaires se font à l'aide de courants horizontaux (0,25 à 0,30 m. par seconde, 20 litres par seconde), produits par de l'air comprimé à 1,5 kg.

On peut, de cette manière et avec la plus grande facilité, modifier la densité de séparation inférieure sans toucher à la densité de séparation supérieure.

D'autre part, le tableau III donne une idée de la précision à laquelle on arrive par ce moyen dans le réglage des densités.

La suspension Tromp à densité variable présente ainsi de nombreux avantages, notamment celui de la simplicité (un seul corps dispersé, pas de viscosité, pas d'interférence avec le calibrage du produit à laver). Elle autorise l'emploi de deux coupures, permettant l'enlèvement des mixtes dans la même opération que celui du charbon; grâce à l'absence de tout courant ascensionnel, ces coupures sont pratiquement statiques et se rapprochent, à une fraction de pourcent, des séparations correspondantes de laboratoire. Par suite de ces qualités, la suspension Tromp possède une grande marge de densité, allant de 1,25 à 2, et se prêtera vraisemblablement au traitement des fines jusqu'à 2 mm.

Enfin, par suite du poids spécifique élevé du corps dispersé et du degré relativement grossier de sa pulvérisation, la récupération hors des eaux de rinçage ne présente aucune difficulté spéciale.

TABLEAU III.

Contrôle des densités de la suspension Tromp.

Toutes les 20 minutes, on prélève un litre dans chaque circuit et on le pèse avec son récipient sur une bascule de précision. Un graphique donne immédiatement la densité correspondante avec trois décimales.

Heure de la prise d'échantillon	Circuit I		Circuit II		Circuit III	
	Poids en grs	Densité	Poids en grs	Densité	Poids en grs	Densité
7 h. 17'	1902	1,537	2075	1,706	2175	1,803
7 h. 37'	1900	1,535	2070	1,700	2180	1,807
7 h. 57'	1901	1,536	2072	1,702	2180	1,807
8 h. 17'	1900	1,535	2068	1,698	2182	1,808
8 h. 37'	1900	1,535	2070	1,700	2180	1,807
8 h. 57'	1900	1,535	2068	1,698	2180	1,807
9 h. 17'	1900	1,535	2078	1,708	2180	1,807
9 h. 37'	1900	1,535	2078	1,708	2182	1,808
9 h. 59'	1900	1,535	2078	1,706	2185	1,812
10 h. 17'	1902	1,537	2070	1,700	2187	1,813
10 h. 37'	1903	1,538	2074	1,705	2187	1,813
10 h. 59'	1900	1,535	2080	1,710	2185	1,812
11 h. 18'	1903	1,538	2085	1,715	2178	1,805
11 h. 37'	1900	1,535	2087	1,717	2180	1,807
11 h. 57'	1902	1,537	2085	1,715	2182	1,808

Densité moyenne :

1,5358

1,8083

Ecart moyen :

+0,0014

+0,0043

-0,0008

-0,0016

METHODES DE CONTROLE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.

Le contrôle des anciens procédés de lavage était basé sur la teneur en cendres et sur les courbes dites de lavabilité, établies pour chacune des catégories à laver.

A l'origine, ces courbes étaient construites à l'aide d'un appareil imaginé en 1910 par M. R. A. Henry, dans lequel l'échantillon de charbon brut était placé et soumis, dans l'eau, à une vingtaine de secousses. Le classement des éléments de diverses densités se faisait ainsi par un setzage qui se rapprochait de celui des bacs à piston. L'échantillon ainsi classé était débité par tranches d'épaisseurs égales, dont les poids étaient portés en ordonnées, et les teneurs en cendres, en abscisses.

La courbe obtenue, dite des *cendres instantanées*, est figurée par ABCD sur la figure 5.

Pour s'en servir pour le contrôle du lavage, on trace : 1°) l'intégrale de la surface comprise entre les axes et la courbe des cendres instantanées, en intégrant de A à D; c'est la courbe caractéristique

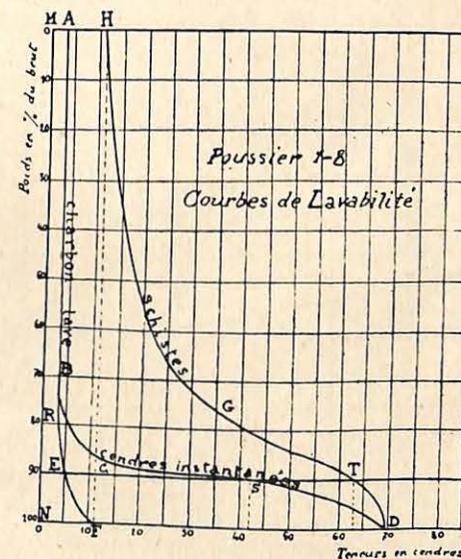


Fig. 5. — Courbes de lavabilité.

du charbon lavé ABREF; 2°) l'intégrale de la même surface en intégrant de D à A; c'est la courbe caractéristique des schistes DTGH.

Ces courbes jouissent des propriétés suivantes : la teneur en cendres du charbon brut est mesurée par NF, et aussi par MH, H et F se trouvant sur une même verticale; si l'on se donne la teneur en cendres à laquelle on veut laver le charbon, soit 5 %, ce point est fixé en E sur la courbe caractéristique du charbon lavé; la parallèle par E à l'axe des abscisses renseigne, par ses intersections avec l'axe des ordonnées, avec la courbe des cendres instantanées et avec la

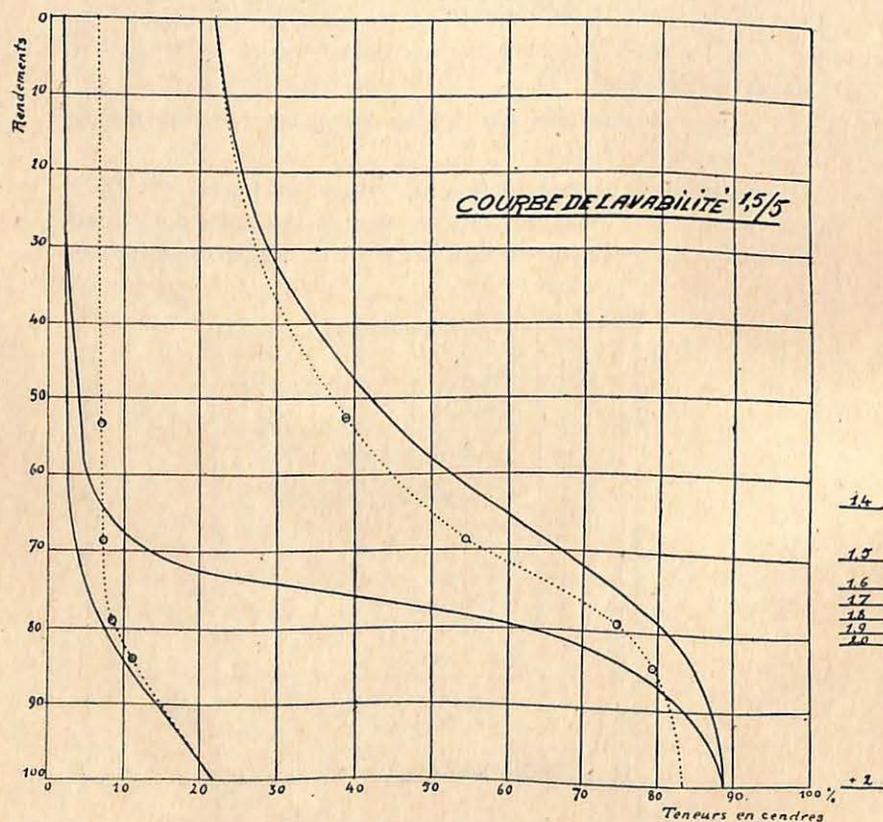


Fig. 6. — Epuration pneumatique d'un poussier 1,5-5 mm. Ecart entre les courbes de laboratoire et celles déduites des produits de séparation.

courbe des schistes, respectivement le rendement du lavage, la teneur en cendres limite des mixtes qui pourront être incorporés dans le charbon lavé, et la teneur en cendres des schistes pour le lavage choisi.

Par la suite, on s'est servi de liqueurs denses pour décomposer l'échantillon du brut en ses diverses fractions densimétriques, dont les poids étaient portés en ordonnées.

On faisait ainsi apparaître la relation entre les teneurs en cendres et les densités de séparation. Mais le procédé de classement des fractions du brut n'avait plus rien à voir avec le principe des lavoirs industriels. Il était basé rigoureusement sur la densité, et les coupures avaient un caractère statique, qui n'est pas même réalisé dans les appareils à suspensions de matières denses, à cause de la continuité de l'opération industrielle.

Les courbes de lavabilité ainsi tracées sont donc des courbes idéales, dont les courbes tracées après coup sur les produits du lavage se rapprocheront plus ou moins, suivant le degré de précision de l'opération.

La figure 6 montre des courbes établies à l'aide des liqueurs denses pour un poussier 1,5-5 mm. Près des courbes caractéristiques du charbon lavé et des schistes sont figurées les courbes (en pointillés) déduites des teneurs en cendres des produits d'une épuration pneumatique. On voit que l'écart entre ces courbes et les courbes théoriques est, en certains endroits, considérable.

La même chose existe pour les procédés à l'eau. Un constructeur de bacs à piston garantit par exemple : 1°) que les teneurs en cendres des charbons lavés ne dépasseront pas en moyenne de plus de 1 % celles indiquées par les courbes, pour un lavage entre 6 et 10 % des catégories au-dessus de 10 mm., et entre 7 et 10 % de cendres des catégories en dessous de 10 mm.; 2°) que l'écart moyen entre les teneurs en cendres de chacune des catégories de schistes définitifs et celles résultant des courbes correspondantes ne dépassera pas 2 %.

Dans les nouveaux procédés de lavage, la densité joue le rôle prédominant.

Dans le procédé de laboratoire, on a surtout en vue de séparer les flottants des plongeants, pour un poids spécifique déterminé.

Mais dans le procédé industriel, il faut considérer que le charbon brut que l'on déverse dans la suspension est un ensemble de grains dont la densité varie insensiblement, par exemple, de 1,35 à 2,6.

Le résultat de cette immersion est un classement densimétrique instantané, par la seule action de la pesanteur, chaque fraction se trouvant à sa place dans l'ordre des densités croissantes.

Or, la proportionnalité entre les teneurs en cendres et les densités n'existe pas. M. Tromp a indiqué que si 1 kg. de la fraction densimétrique 1,5-1,51 a une teneur moyenne en cendres de 18,2 %, un morceau de charbon de la même densité peut très bien avoir une teneur en cendres variant entre 15 et 31 %.

Même pour les teneurs moyennes des fractions densimétriques, il y a des variations importantes d'une couche à l'autre, comme l'indique le tableau IV, résultant de la décomposition d'échantillons de 5-10 mm. prélevés dans différents chantiers d'un des sièges du Charbonnage d'Aiseau-Preisle.

Ce manque de corrélation entre les teneurs en cendres et les den-

TABLEAU IV

Variations des teneurs en cendres d'une même fraction densimétrique.

	Couche Dix Paumes					Couche Gros Pierre		Couche Tatouie	
Flot. sur									
1,4	2,40	2,25	2,40	2,35	2,00	1,70	1,50	3,70	3,00
1,5	9,25	12,20	11,55	13,05	11,50	10,25	9,15	13,75	13,10
1,6	22,30	21,60	22,35	22,10	21,20	18,60	15,65	23,90	21,60
1,7	34,35	32,60	35,90	35,20	33,45	33,35	33,60	35,00	36,65
1,8	42,70	44,55	45,40	45,10	42,60	42,85	42,65	45,25	45,80
1,9	54,00	52,75	53,00	52,35	52,65	53,80	54,50	54,65	55,90
2,0	59,40	57,95	57,96	56,75	61,10	59,25	60,15	60,40	68,50
Dép. dans									
2,0	82,70	83,90	84,75	84,10	84,80	81,35	82,00	85,90	86,40

sités est une des causes de l'écart entre les courbes de lavabilité de la figure 6.

Cet écart provient également de l'écart entre le classement théorique du laboratoire et le classement par le système de lavage considéré.

En effet, les anciens procédés de lavage opèrent ce classement par des moyens dynamiques : pistonnage, alluvionnement, courants ascensionnels, secousses et soufflage d'air, etc.

Il en résulte que des grains ne se trouvent pas à leur place dans l'échelle densimétrique, et qu'ils en sont parfois très éloignés. Ce sont les égarés, dont la quantité, et surtout la nature, déterminent l'imperfection du classement et, par conséquent, du lavage.

D'autres causes contribuent d'ailleurs au même résultat : la nécessité industrielle d'un certain débit, obligeant à travailler avec une certaine épaisseur et un enchevêtrement des grains qui empêche les légers de remonter et les lourds de descendre; les variations dans la composition du brut, dans l'évacuation des schistes, etc.

Le classement opéré par immersion dans une suspension dense peut être considéré comme statique, par rapport aux moyens ci-dessus.

La proportion des égarés est réduite fortement, leur densité est voisine de celle des lignes de coupure. Pour une teneur en cendres imposée, le rendement du lavage sera donc accru.

R. A. Mott exprime cela de la manière suivante : un charbon lavé à 5 % de cendres peut résulter de la coupure ci-dessous :

Lavoir inefficent :

$$68 \% \text{ à } 3,5 \% \text{ de cendres} + 2 \% \text{ à } 50 \% = 70 \% \text{ à } 4,83 \%$$

Lavoir efficient :

$$68 \% \text{ à } 3,5 \% \text{ de cendres} + 4 \% \text{ à } 25 \% = 72 \% \text{ à } 4,70 \%$$

Du fait du meilleur classement, on obtient donc 2 % de rendement en plus d'un produit meilleur.

Pour le contrôle du lavage par les nouveaux procédés, ce qui importe avant tout, c'est la répartition de la densité dans le charbon brut (fig. 7).

On décompose l'échantillon par des liqueurs dont les densités varient de 0,05 en 0,05. On pèse les flottants et on exprime les poids en pourcents du poids de l'échantillon. La courbe de la répartition de la densité peut être déduite de ces données, en totalisant les pourcents de haut en bas.

Au cours du lavage, chaque fraction densimétrique du brut de la figure 7 se répartit entre les fractions densimétriques correspondantes des produits du lavage.

Il en résulte que l'on peut tracer la courbe de répartition de la densité, après lavage, en la déduisant, par le calcul, des fractions de chacun des produits. Si l'on décompose chacun de ceux-ci par les liqueurs, il suffira d'additionner les fractions de même densité, à condition que leur poids soit exprimé en pourcents du brut, c'est-

à-dire que l'essai ait été quantitatif. Quand les poids des produits n'ont pas été déterminés, on obtient les proportions nécessaires par la méthode de Frielinghaus (1).

Le tableau V donne le résultat de ces opérations relatives au lavage d'un poussier 1,5-6 mm. dans un bac à piston à deux compartiments.

Il y a deux produits : le charbon lavé, représentant 95,56 % du brut, et les schistes, représentant 4,438 % de celui-ci.

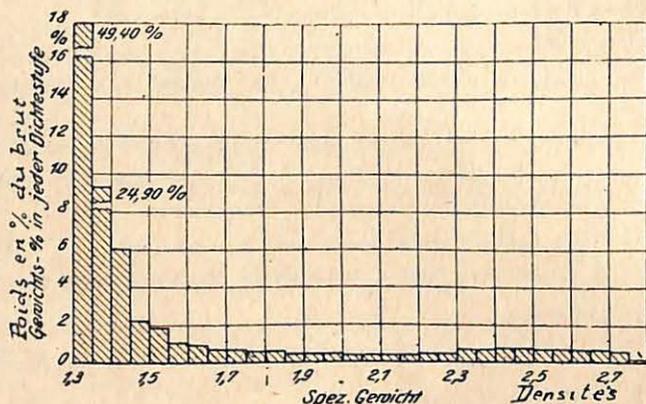


Fig. 7. — Répartition de la densité dans le brut

La colonne a représente la décomposition aux liqueurs du charbon lavé; la colonne b, les mêmes fractions exprimées en pourcents du brut, à l'aide du rendement.

La colonne c représente la décomposition des schistes, et la colonne d, les fractions des schistes exprimées en pourcents du brut.

La colonne e représente la recomposition des fractions du brut suivant la relation $e = b + d$.

Ces données numériques portées en ordonnées, avec les densités correspondantes comme abscisses, permettent de construire la courbe de répartition de la densité.

Sur la figure 8, empruntée à l'étude du Dr. Ing. Schäfer, cette courbe est tracée en pointillé, toujours en portant, en abscisses, les densités, et en ordonnées, les pourcentages du brut.

Les points d'intersection de cette courbe avec les horizontales caractérisant les rendements en charbon lavé, mixtes et schistes, fournissent les densités auxquelles la séparation du charbon et des

(1) Glückauf 1938, page 224.

mixtes d'une part, des mixtes et des schistes, d'autre part, s'est produite effectivement.

On reporte alors sur le même graphique les courbes partielles indiquant la répartition des densités dans les produits du lavage.

On s'aperçoit, dans l'exemple considéré, que le charbon pur contient 0,4 % en poids d'une densité supérieure à la densité de séparation 1,535; les mixtes contiennent à peu près la même quantité de charbon d'une densité inférieure à 1,535; les schistes contiennent 0,5 % de mixtes d'une densité inférieure à 1,835; et les mixtes contiennent environ la même quantité de schistes d'une densité supérieure à 1,835.

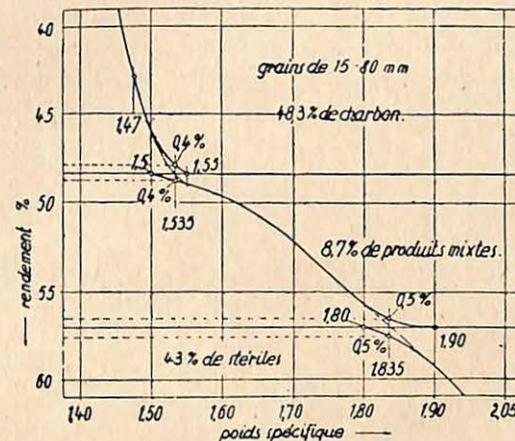


Fig. 8 — Précision de lavage dans un système à suspension de matière dense.

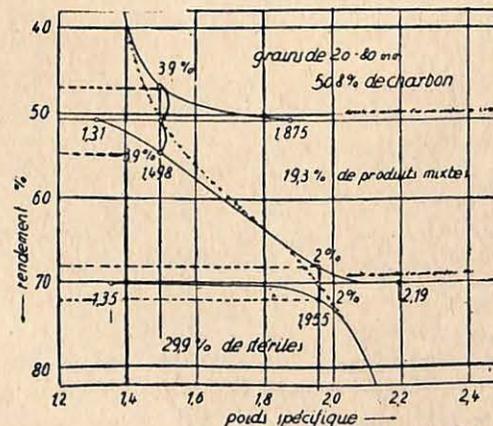


Fig. 9. — Précision de lavage dans un système à bacs à pistons.

La quantité de grains mal classés est remarquablement faible, mais il y a lieu de considérer surtout leur nature, qui importe plus que la quantité.

Les grains mal classés dans le charbon se composent de couches d'une densité de 1,555-1,55, donc de grains qui, au point de vue teneur en cendres et aspect, sont pratiquement équivalents au charbon lavé à la couche limite.

Il en est de même des couches qui sont entrées dans les mixtes. Elles ont un poids spécifique de 1,5-1,535, et se composent donc également de grains limites, qui ne modifient pratiquement pas la teneur en cendres des mixtes.

Il n'existe pas de schistes dans le charbon, et aucun mixte réel.

A la séparation des mixtes et des schistes, la netteté est presque aussi grande : la teneur en grains mal classés, de part et d'autre, est d'environ 0,5 % en poids rapporté au charbon brut.

Les schistes ne contiennent pas de charbon, mais à nouveau exclusivement des couches limites d'un poids spécifique de 1,8-1,835, et les mixtes, exclusivement des couches d'un poids spécifique de 1,835-1,9.

A titre de comparaison, la figure 9 donne les courbes du lavage d'un charbon analogue, dans un procédé de setzage avec dispositif d'évacuation automatique.

On voit que la séparation entre le charbon et les mixtes a été faite à la densité 1,498, et celle entre les mixtes et les schistes, à 1,955. La quantité de grains mal classés dans le charbon est de 3,9 % du brut, près de dix fois celle du lavage précédent. Et il s'agit cette fois de mixtes d'une densité 1,498-1,875, donc de grains qui rendent plus mauvais la teneur en cendres et l'aspect des produits.

Les mixtes contiennent également 3,9 % de charbon lavé, dont la densité va de 1,31 à 1,498, c'est-à-dire qu'il ne s'agit plus seulement des couches limites, mais également de grains de charbon pur.

A l'autre extrémité de la courbe, ils renferment des schistes de densité 2,19.

La teneur en grains mal classés dans les schistes est de 2 %, et la densité de ces grains va de 1,35 à 1,955, ce qui représente du charbon pur et toute la gamme des mixtes.

M. Tromp a cherché à exprimer l'imperfection de séparation qui dépend exclusivement de l'appareil de lavage, du réglage, etc. indépendamment de la nature du charbon. Pour cela, il a introduit la

notion des *chiffres de répartition*, qui indiquent le pourcentage des fractions densimétriques du brut qui passe dans les plongeants.

Pour déterminer ces chiffres de répartition, on procède comme plus haut à un essai quantitatif de lavage, au passage dans les liqueurs des produits de lavage, et à la recombinaison par le calcul des fractions densimétriques du brut (tableau V).

La colonne *f* est celle des chiffres de répartition obtenus par la relation :

$$f = \frac{100 d}{e}$$

Ces chiffres de répartition expriment donc le rapport entre les fractions densimétriques des schistes, exprimées en pourcents du brut, et les fractions correspondantes du brut, exprimées également en pourcents du brut.

TABLEAU V

Calcul des chiffres de répartition dans le cas de grains 1,5-6 mm. prélevés dans le 2^e compartiment d'un bac à piston.

Densités	Décomposition du charbon lavé		Décomposition des schistes		Fractions du brut recomposées $e=b+d$	Chiffres de répartition $f=\frac{100d}{e}$
	en % du charbon lavé a	en % du charbon brut b	en % des schistes c	en % du charbon brut d		
-1,35	54,680	52,210	5,32	0,236	52,450	0,45
1,35-1,40	27,550	26,280	4,06	0,180	26,460	0,68
1,40-1,45	6,450	6,160	1,46	0,065	6,230	1,05
1,45-1,50	2,420	2,307	0,74	0,033	2,340	1,41
1,50-1,55	2,025	1,933	0,95	0,042	1,975	2,12
1,55-1,60	1,173	1,120	0,77	0,034	1,154	2,95
1,60-1,65	0,956	0,914	0,92	0,041	0,955	4,30
1,65-1,75	1,520	1,452	2,66	0,118	1,570	7,50
1,75-1,85	1,130	1,079	3,90	0,173	1,252	13,80
1,85-2,00	0,967	0,924	7,65	0,339	1,263	26,90
2,00-2,10	0,389	0,371	7,42	0,329	0,700	47,00
2,10-2,20	0,279	0,266	8,53	0,378	0,644	58,60
2,20-2,30	0,221	0,211	10,62	0,472	0,683	69,00
2,30-2,40	0,155	0,148	10,62	0,472	0,620	76,00
2,40-2,50	0,037	0,035	11,22	0,498	0,533	84,50
+ 2,50	0,147	0,140	23,16	1,028	1,168	—
	100,000	95,560	100,00	4,438	100,000	—

Ils sont calculés pour les densités successives de $-1,35$ à $+2,5$. Si l'on porte ces densités en abscisses, et des hauteurs proportionnelles aux chiffres de répartition en ordonnées (fig. 10), on obtient un graphique en escalier et, en réunissant les milieux des paliers, une courbe, dite *courbe des chiffres de répartition*, qui possède des propriétés remarquables.

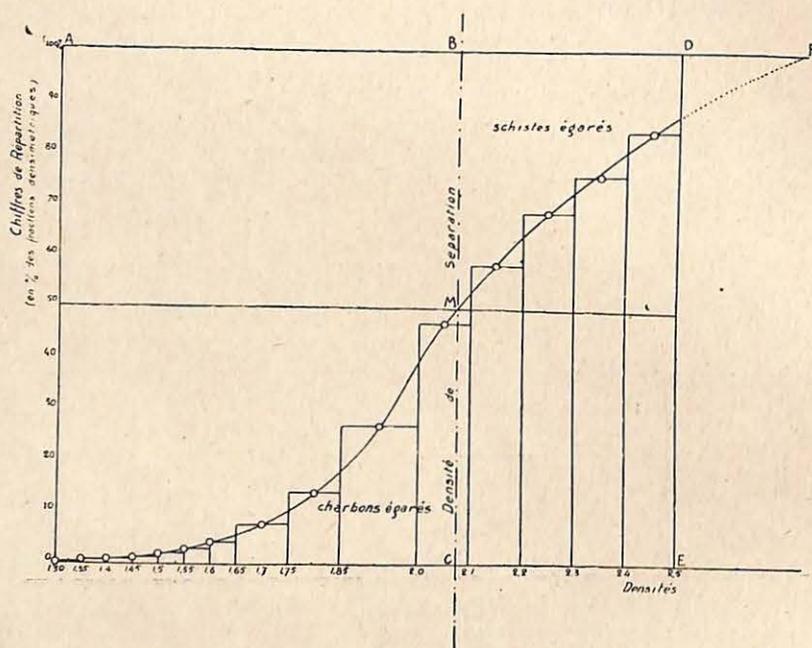


Fig. 10. — Courbe des chiffres de répartition.
Grains 1,5-6 mm. Deuxième lit de setzage d'un laveur Baum
avec piston en bois.

Dans les mêmes conditions techniques de lavage, la forme et l'allure de la courbe est indépendante de la répartition des différentes fractions densimétriques dans le charbon brut, de telle manière que pour le calcul de la formule mathématique de la courbe, M. Tromp se place dans le cas d'un charbon brut dont toutes les fractions densimétriques sont égales à 2 % du poids total.

Lorsqu'on modifie les conditions techniques de fonctionnement du bac laveur, par exemple de manière à évacuer plus de schistes, on obtient une courbe qui présente une plus faible densité de sépa-

ration, c'est-à-dire qu'elle est déplacée à la gauche de la première, dans le sens des densités décroissantes.

La densité à laquelle s'est faite la séparation est donnée par l'intersection de la courbe et de l'horizontale à l'axe des abscisses menée à la hauteur correspondant au chiffre de répartition 50. Cette densité, dans la figure 10, est 2,07.

Dans le tableau V, on voit que pour le chiffre de répartition le plus voisin, 47,0, la proportion d'égarés dans le charbon lavé 0,371 (colonne b) est sensiblement égale à celle des égarés dans les schistes, 0,329 (colonne d).

La figure 10 peut être considérée comme représentant la succession des fractions densimétriques du charbon brut, placées verticalement dans l'ordre des densités croissantes. La séparation de lavage théorique devrait se faire suivant la ligne BC, le charbon lavé se trouvant à gauche de cette ligne et les schistes à droite. Au lieu de cela, la séparation se fait suivant la courbe des chiffres de répartition, la surface BDFMB représentant les schistes égarés dans le charbon lavé et la surface MCOM, les charbons égarés dans les schistes. La précision de séparation d'un laveur sera donc d'autant plus grande que la courbe des chiffres de répartition sera moins couchée sur l'horizontale.

Selon M. Tromp, la courbe des chiffres de répartition permet encore de résoudre les problèmes suivants :

Comme la forme de la courbe est indépendante de la répartition densimétrique du charbon brut, on peut apprécier d'avance les résultats du lavage que l'on peut obtenir dans un bac laveur déterminé avec un charbon d'une composition donnée.

Lorsqu'on a déterminé une fois pour toutes les courbes de répartition de chaque catégorie pour différentes densités de séparation, on peut déterminer l'influence qu'une modification de la densité exercera lors du lavage d'un charbon de composition quelconque.

L'étude mathématique de la courbe des chiffres de répartition a permis d'établir une méthode abrégée de construction qui ne demande que la détermination des chiffres de répartition de trois fractions densimétriques choisies de manière appropriée.

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX SYSTEMES DE LAVAGE EN SUSPENSIONS DENSES.

D'une manière générale, les lavoirs à suspension de matière dense se composent tous d'une cuve de forme variable, munie de dispositifs appropriés pour évacuer les deux ou trois produits formés : chaînes à raclettes, chaînes à godets, racler rotatif, etc.

La cuve est alimentée d'une manière continue par la suspension; le trop-plein s'écoule avec les produits et est repompé par une pompe dans la cuve. C'est le circuit primaire, dans lequel en principe le liquide a la densité de séparation.

D'une manière générale aussi, tous les produits : charbon lavé, mixtes, schistes, sont rincés abondamment pour récupérer la matière dense. Dans les eaux de rinçage, celle-ci est fortement diluée. C'est le circuit secondaire de la suspension.

Pour être réemployée dans le circuit primaire, il faut procéder à une concentration (épaisseur, cône de concentration, etc.). La matière déposée, après deschlammage ou non, est remise par une pompe dans le circuit primaire. L'eau clarifiée est refoulée par une autre pompe et est utilisée pour le rinçage.

Il y a en outre l'atelier de pulvérisation de la matière dense.

Procédé Chance au sable (1921).

Dans le procédé Chance, l'appareil de séparation est un cône à tête cylindrique, d'environ 3 mètres de diamètre (fig. 11).

Un axe central portant des bras horizontaux, chargé de rendre la suspension de sable homogène et d'empêcher les dépôts sur les parois, sert en même temps à pousser le charbon flottant vers une ouverture de décharge, après avoir parcouru les trois quarts de la circonférence de la tête du cône.

Il n'y a que deux produits : le charbon lavé et les schistes.

Ceux-ci sont évacués de façon intermittente à la pointe du cône, par un sas à deux vannes qui est rempli d'eau avant que la purge y pénètre. La manœuvre des vannes et du robinet de remplissage se répète automatiquement, grâce à des pistons à air comprimé et à un dispositif électrique, et la durée de chaque cycle d'opération est réglée d'après la quantité de pierres à éliminer.

Dans le procédé Chance, le circuit secondaire de la suspension n'existe pas; d'abord parce qu'il n'est pas question d'une concentra-

tion de la suspension diluée, le sable se séparant immédiatement de l'eau par suite de la grosseur de grain; ensuite, parce que les courants ascensionnels jouent le rôle principal dans la suspension et que l'alimentation du cône se fait en eau pure, à trois niveaux différents dans la partie conique.

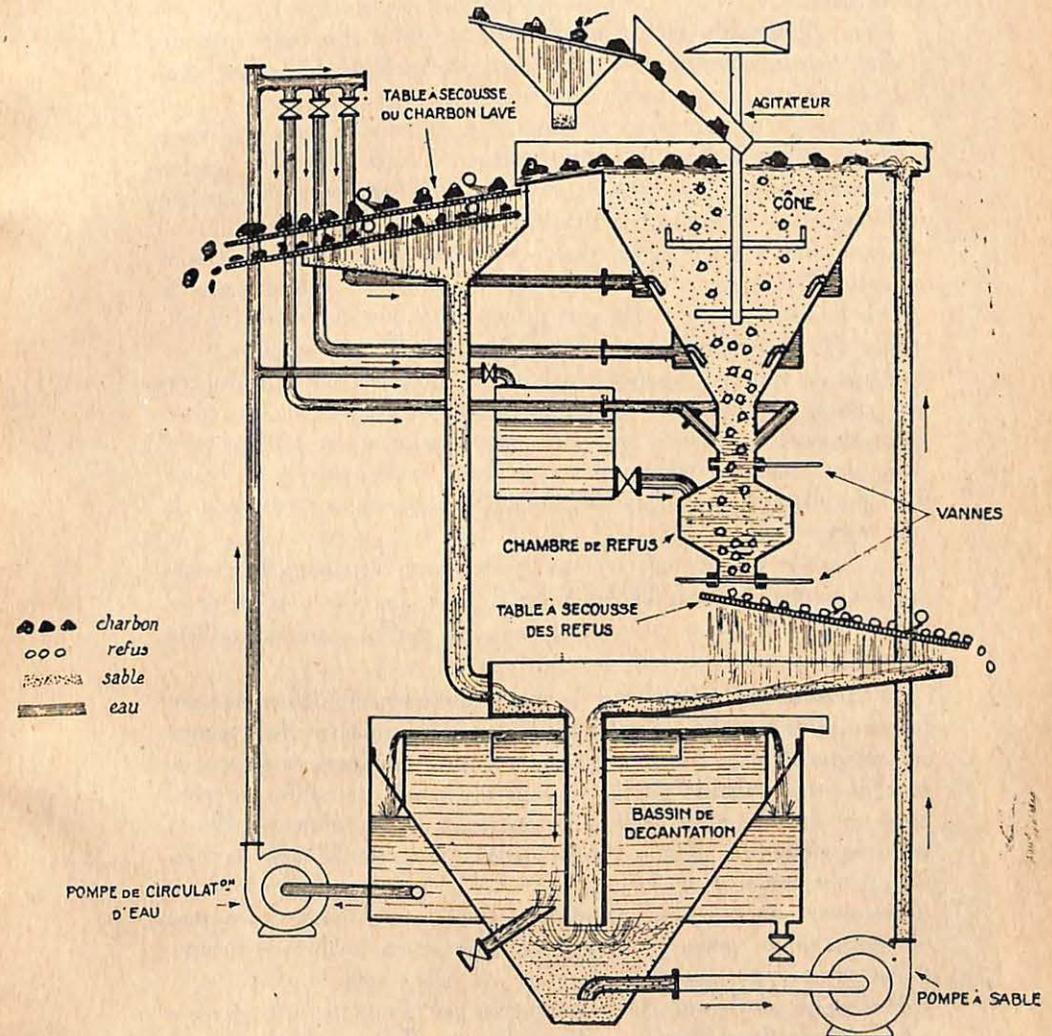


Fig. 11. — Schéma du procédé Chance.

Le sable déposé dans le bassin de décantation est remis en tête du cône par une pompe à sable qui nécessite une construction spéciale pour résister à l'usure. On maintient constante, de la sorte, la position du niveau supérieur de la suspension, car si ce niveau venait à descendre, il se produirait de l'engorgement et le lavage serait défectueux.

Des additions de sable frais doivent en outre être faites périodiquement pour compenser la perte dans les produits de lavage, évaluée à 0,66 kg. par tonne de brut traitée.

Les mixtes ne sont pas éliminés. Ils sont enlevés quand le cône est vidé. En attendant, ils restent suspendus sous le charbon, et le frottement continu des bras de l'agitateur produit des schlamms qui influencent la viscosité et la densité effective du bain.

Dans une installation anglaise, environ 5 tonnes de mixtes sont enlevées chaque samedi, et la quantité de schlamms s'élève à 2,5 % du charbon traité. Il est clair que ni cette pratique, ni le procédé lui-même ne conviendraient pour des charbons réellement mixteux.

Aussi, le procédé Chance n'a pas eu de succès sur le continent. Par contre, en Amérique et en Angleterre, on comptait, en 1936, 41 installations Chance en opération pour charbon anthraciteux, avec une capacité nominale moyenne de 256 tonnes par heure, et 6 installations pour charbon bitumineux, traitant une moyenne de 500 tonnes à l'heure.

Le procédé Chance convient particulièrement bien pour les grosses catégories des charbons faciles à laver. Il est excellent au-dessus et jusque 25 mm., bon jusque 10 mm. et n'offre rien de saillant jusque 1,5 mm.

Le constructeur prétend que la limite inférieure est déterminée par le point pour lequel le sable et le charbon peuvent être effectivement séparés par criblage humide. Cependant, pour les fines catégories, le procédé est handicapé par la grosseur des grains de sable, car pour ce genre de lavage, on doit avoir un écart de granulation suffisant entre le grain le plus gros de la matière dense et le grain le plus fin du charbon.

Les avantages les plus sûrs du procédé sont, en plus de sa simplicité, la faible valeur de la matière dense et sa facilité de récupération.

Par contre, sa densité de séparation ne peut pratiquement dépasser 1,65; comme il ne s'agit que d'une densité effective, due aux courants ascensionnels, celle-ci ne peut être contrôlée.

Si les dimensions maximum et minimum des grains de sable sont trop différentes dans la condition III, une classification se produit suivant la grosseur au sommet de la suspension et le charbon descend à un niveau inférieur jusqu'au moment où il est supporté.

Avec trois niveaux d'alimentation d'eau et la variation de section du cône, un courant ascensionnel *uniforme* ne peut être maintenu, et des différences dans la densité en résultent également.

Le rôle considérable joué par les courants ascensionnels, attesté par le fait que le poids spécifique de la suspension est considérablement inférieur à la densité de séparation, les multiples causes d'altération de la densité, auxquelles il faut ajouter l'influence des schlamms, empêchent en réalité de considérer le procédé comme une véritable séparation par gravité.

Procédé de Vooyo à la baryte (1933).

L'installation de la mine Sophia-Jacoba, près d'Aix-la-Chapelle, dont M. Jan de Vooyo est le directeur technique, qui est représentée schématiquement par la figure 12, a été décrite à diverses reprises.

En mai 1933, le charbonnage a installé, à la suite d'essais semi-industriels concluants, un lavoir à suspension baryte-argile, capable de traiter 200 tonnes/heure de 15-80 mm. d'un anthracite à 5 % de matières volatiles. Le 15-80 était décomposé en 15-40 et 40-80, traités séparément.

En juillet 1934, une cuve permettant de laver 50 tonnes/heure de 5-15 fut adjointe aux deux premières.

Depuis lors, le 15-80 est traité directement dans une seule cuve.

Sur le schéma de la figure 12, on voit un des appareils *a* qui mesure 3 m. de longueur, 2 m. de largeur et 5,50 m. de hauteur.

La partie supérieure est rectangulaire sur 1 m. de hauteur; le dessous converge en pyramide vers le pied d'une chaîne à godets à niveau plein qui évacue les schistes.

Le charbon flottant sur la suspension est raclé de façon continue par un transporteur *b* dont les raclettes occupent la largeur de la cuve, qui l'entraîne sur une grille égoutteuse fixe suivie d'un tamis à ruban *c*, où il est rincé abondamment.

Le charbon passe alors sur le crible reclasser et les cribles à déclassés habituels, sur lesquels il est à nouveau rincé, puis il est chargé à wagon.

Il n'y a que deux produits formés. Les schistes, mélangés aux

mixtes, se déposent au fond de la cuve *a*, d'où ils sont évacués par la noria *e*. Ils sont rincés pour récupérer la baryte, puis envoyés dans l'ancien lavoir à pistons pour y être relavés.

Circuit primaire. — La suspension est alimentée sur toute la périphérie de la cuve, à 0,92 m. en dessous du plan d'eau, de manière à obtenir les petits courants vers le haut et vers le bas dont il a été question au chapitre des suspensions.

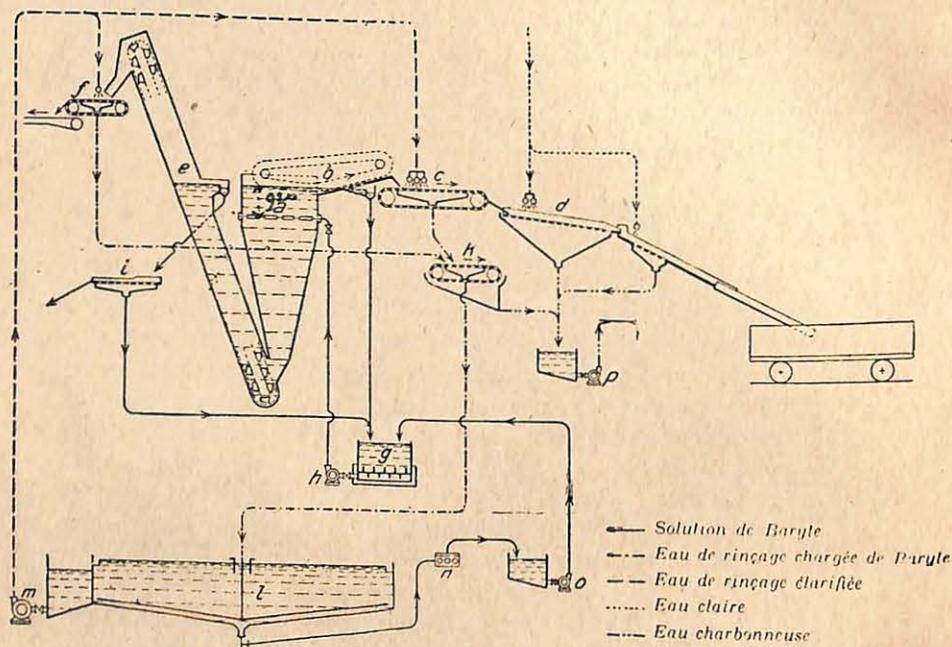


Fig. 12. — Schéma d'une installation de Vooy's à la baryte.

Le trop-plein s'évacue d'une part avec le charbon, d'autre part par la noria des schistes, au niveau du plan d'eau.

Les débits du trop-plein du bac et de la noria sont réunis dans le réservoir d'alimentation *g*, le premier directement, le second après avoir passé à travers les fines mailles ($1/4$ mm.) d'un tamis à ruban *i*, sur lequel restent éventuellement les débris formés dans la chaîne à godets.

Le bac *g* a un double fond, qui permet de chauffer la suspension à environ 30° par de la vapeur d'échappement, afin de maintenir

la viscosité à une valeur admissible. La pompe *h* refoule le liquide dans la cuve séparatrice.

Circuit secondaire. — Les eaux de rinçage provenant des cribles *f* et *c*, contenant de la baryte très diluée, sont débarrassées des déchets et déclassés sur le crible *k* et envoyées à l'épaississeur du type Dorr *l*, auquel aboutissent également les suspensions diluées refoulées par la pompe *p*. L'eau clarifiée est refoulée par la pompe *m* et sert à nouveau pour le rinçage; la purge est soutirée par la pompe à membrane *n* et envoyée dans le réservoir de la pompe *o* où la teneur en baryte est ajustée avant que la pompe ne refoule le liquide dans le bassin principal d'alimentation *g*.

Pour les catégories 5-15, la quantité de schlamms produite est préjudiciable au maintien de la densité de la suspension. Un vingtième environ de la purge de l'épaississeur est envoyée à une petite installation de flottation Ekof qui récupère 6 tonnes de schlamms par jour.

Dans le cas de charbons friables, la quantité de schlamms produite pourrait obliger à flotter toute la purge de l'épaississeur, ce qui augmenterait naturellement les frais d'exploitation.

On a ainsi à contrôler chaque jour la densité, la viscosité et la température de la suspension de la cuve de séparation.

Densité de séparation. — Selon l'inventeur, la suspension de baryte serait en mesure de régler une coupure entre 1,7 et 2. Cependant, il semble que l'emploi de cette matière, à la finesse choisie et à la densité de 1,55, présente déjà des difficultés. Il est probable qu'au delà, l'accroissement de viscosité devrait être combattue par une élévation de température ou par d'autres artifices.

Perte en baryte. — A Sophia-Jacoba, en traitant régulièrement 200 tonnes/heure de 5-80, la perte moyenne sur 6 mois a été de 1,5 kg. par tonne de charbon. Cette perte a été réduite dans une autre installation, au siège Heinrich, à 0,9 kg.

Résultats du lavage. — Des échantillons de 5-15, charbon brut, charbon lavé et schistes, rapportés d'Allemagne, ont été analysés en Belgique; la séparation avait été faite à 1,52; la teneur en cendres théorique était 3,45 %.

Il s'agissait d'un charbon relativement facile à laver, mais la teneur en cendres du lavé était 3,97 %, soit une différence de 0,52 %, ce qui se rapproche fortement du lavage théorique.

En ce qui concerne les schistes, ceux-ci contenaient seulement 0,8 % de produits d'une densité inférieure à 1,5; ces produits pouvaient provenir du bris des mixtes repris par la chaîne à godets et ne constituaient pas nécessairement des grains de charbon égarés. La teneur en cendres trouvée était 67 %, alors que la teneur théorique atteignait seulement 58 %. Cette forte différence a été attribuée à la quantité d'argile et de baryte qui reste collée aux morceaux de schistes et qui constitue la majeure partie de la perte.

Pour le lavage des 15-80, la comparaison ci-après a été faite avec les résultats obtenus, pour des charbons de même espèce, dans l'ancien lavoir à bacs à pistons (Gröppel, Glückauf, 1934, 429) :

	Densité séparation	Charbon brut teneur en cendres	Produits séparés				Égarés		
			%		Teneurs en cendres		Proportion %	Teneurs en cendres	
			d'après courbe lavabilité	des produits obtenus	Ecart des teneurs en cendres				
Bacs à pist.	1,42	20,85	Charbon .	60,0	2,75	4,05	1,30	2,64	25,00
			Schistes .	40,0	47,90	46,00	1,90	11,78	5,69
Baryte	1,47	20,15	Charbon .	68,5	3,27	3,33	0,06	0,91	15,93
			Schistes .	31,5	56,80	56,66	0,14	0,80	10,52

Après lavage dans les bacs à pistons, la quantité d'égarés dans le lavé (c'est-à-dire ce qui plonge à 1,42) est de 2,64 %, et leur teneur en cendres est de 25 %; la quantité d'égarés dans les schistes (c'est-à-dire ce qui flotte à 1,42) est de 11,78 %, et leur teneur en cendres est 5,69 %.

Les quantités correspondantes dans le procédé à la baryte sont :

Dans le lavé, 0,91 % d'égarés à 15,93 % de cendres;

Dans les schistes, 0,80 % d'égarés à 10,52 % de cendres.

Non seulement la proportion d'égarés est fortement réduite, surtout dans les schistes, mais la teneur en cendres indique qu'ils sont constitués par des mixtes voisins de la densité de séparation, 1,47, qui influencent au minimum l'aspect et la teneur en cendres du charbon lavé.

Lavage des fines. — Une installation réduite a expérimenté le traitement du 1-5 mm.

Le succès de l'opération est conditionné par celui du dépoussiérage à 1 mm. La limite inférieure du lavage sera celle où le criblage pourra être réalisé de manière satisfaisante, puisque la finesse du corps dispersé dans la suspension n'impose pas une limite inférieure de séparation.

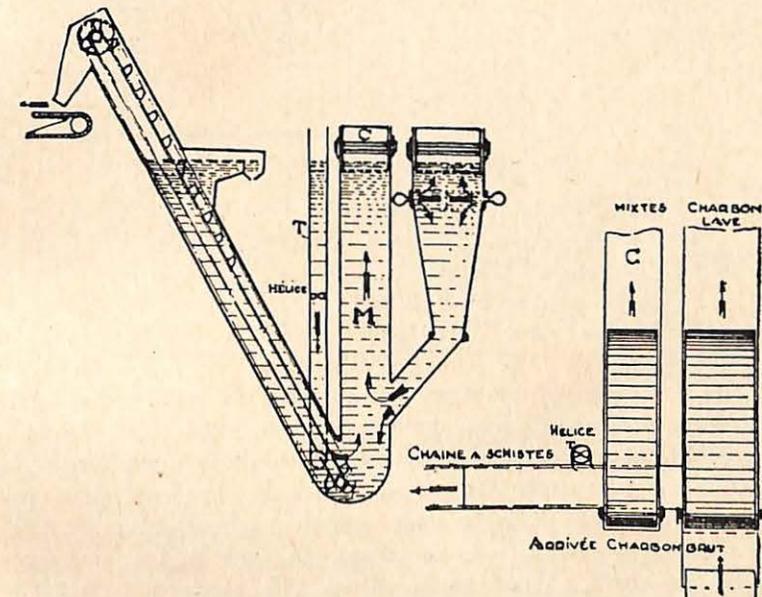


Fig. 13. — Relavage des mixtes dans le procédé de Vooy's.

Récupération des mixtes. — A la cuve principale avec son bain statique, on adjoint un second compartiment M (fig. 13), convenablement disposé, et un tube T pourvu d'une hélice motrice. Celle-ci crée dans le compartiment M un courant suffisant pour faire sommer les mixtes qui sont évacués par le racloir C. La vitesse du courant est relativement peu importante, car elle a seulement pour but de compléter l'effet de la densité du liquide, ce qui réduit les inconvénients habituels des courants ascensionnels.

Comparaison des frais de préparation, par tonne de charbon brut traité (150 tonnes/heure) :

	Baryte (Pfennigs)	Bacs à pistons (Pfennigs)
Salaires	4,0	4,0
Force motrice	2,5	3,9
Eau (500 litres/tonne).	2,4	2,4
Entretien	5,0	8,0
Graissage, etc.	1,0	2,0
Baryte	3,1	—
Vapeur	1,0	—
	18,8	20,3

Le calcul du prix de revient est basé sur :

Salairé unitaire : 8 RM.;
 Énergie : 0,03 M. le kwh.;
 Eau : 0,08 M. le m³;
 Baryte : 31,20 M. la tonne;
 Vapeur : 2,50 M. la tonne.

Ces prix de revient traduisent une complication moindre des installations à suspension dense, qui compenserait, et au delà, les frais supplémentaires nécessités par la préparation de la suspension et la perte en matière dense. Cependant, comme la complexité d'une installation d'un type déterminé peut varier avec son degré d'ancienneté, il nous paraît plus juste de dire simplement que les frais de préparation du charbon dans une suspension à la baryte sont du même ordre que ceux du traitement dans les bacs à pistons.

Procédé Staatsmijnen au loess (1938).

Ce procédé a été mis au point à la Mine Emma des charbonnages de l'État hollandais, avec une installation de 40 tonnes/heure de 15-90.

La commande d'une installation de 125 tonnes/heure traitant le 7-90 mm. a été placée par la Mine Maurits à la firme Evence Coppée et Cie, qui a acquis la licence d'exploitation du procédé pour la Belgique, la France et l'Angleterre.

Rien n'a encore été publié sur le procédé Staatsmijnen (1). Les renseignements que nous avons pu incorporer dans le présent exposé sont dus à la bonne obligeance de M. Camille Petit, Directeur général de Evence Coppée et Cie.

Le schéma de l'installation, remarquable par sa simplicité, est représenté par la figure 14.

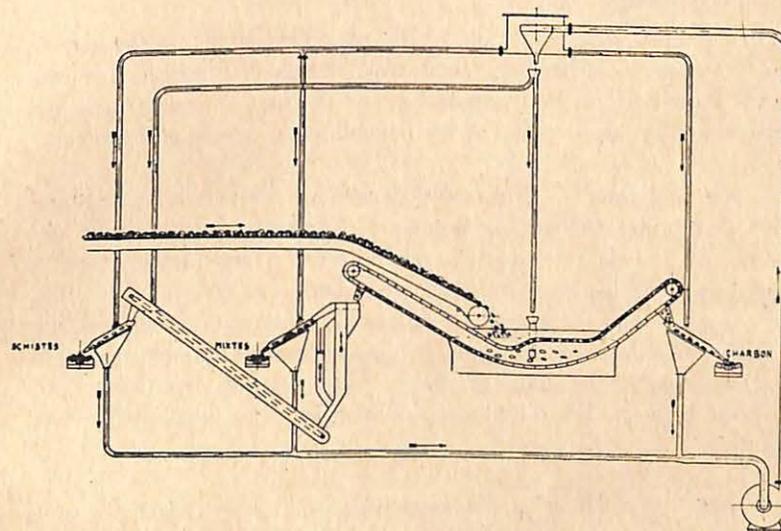


Fig. 14. — Schéma de l'installation Staatsmijnen au loess. (1938).

La cuve de séparation 2 a un fond courbe sur lequel traîne une chaîne à raclettes dont le brin inférieur racle les mixtes et les schistes, et le brin supérieur, le charbon flottant à la surface du bain.

L'appareil relaveur des schistes 5, dans lequel la chaîne déverse le mélange mixtes-schistes, fonctionne avec la même suspension que celle de la cuve principale. Comme cette densité est inférieure à celle des mixtes et des schistes, la séparation ne peut se faire qu'à l'aide de courants ascensionnels créés dans un tube latéral par une

(1) Depuis la rédaction de ces notes (décembre 1938), M. G. DRIESSENS, chef du Service des Recherches Minières des Mines de l'État Hollandais, a décrit le procédé dans le No de mai 1939 de la *Revue Universelle des Mines*.

pompe de circulation 6. C'est la même solution que celle adoptée dans le procédé de Vooyo.

Le courant entraîne les mixtes vers le sommet de l'appareil, où ils sont éliminés par débordement avec le liquide. Une grille fixe 7 reprend celui-ci et le renvoie à l'alimentation de la pompe 6, tandis que les mixtes glissent sur le crible rinceur 8, où ils sont débarrassés du loess entraîné.

Les schistes, qui sont trop lourds pour être supportés ou relevés par le courant ascensionnel, tombent à travers la suspension et sont repris dans le fond de l'appareil 5 par la chaîne à raclettes 9 qui fonctionne à niveau plein et les déverse sur le crible rinceur 10.

Circuit primaire. — Une seule densité de suspension est utilisée. Le circuit, alimenté par la pointe de l'hydro-cyclone, déverse une partie de son liquide dans la cuve, où il compense la quantité entraînée avec les produits, et l'autre, dans la chaîne à raclettes 9, et par elle, dans l'appareil séparateur des mixtes. Le trop-plein de celui-ci déborde avec les mixtes et passe à travers le crible rinceur 8. Le trop-plein de la chaîne à niveau plein déborde avec les schistes et passe à travers le crible rinceur 10, tout en étant dilué par les eaux de rinçage.

Circuit secondaire. — La suspension diluée est reprise par la pompe 11 et renvoyée à l'hydro-cyclone, où elle pénètre sous une pression appropriée. Cette pression et le réglage des sections de sortie du cyclone permettent d'ajuster la densité de chacune des deux fractions de la suspension. Le liquide épaissi passe dans la circulation primaire; l'eau clarifiée retourne aux cribles rinceurs.

Le réajustement de la densité de la suspension permet de réutiliser celle-ci immédiatement, ce qui est un avantage et réduit l'importance de l'installation : à égalité de capacité, le cyclone nécessite une surface de fond 400 fois inférieure à celle d'un épaisseur Dorr.

La sédimentation dans les hydro-cyclones, qui sont d'invention récente, peut être considérée comme dynamique, par opposition aux méthodes statiques appliquées antérieurement. De ce fait, les bouchages des ouvertures de sortie sont pour ainsi dire exclus, la matière solide de la fraction la plus lourde n'ayant pas l'occasion d'adhérer aux parois.

Procédé Tromp à la magnétite (1936).

L'installation de la Domaniale Mijn Maatschappij, à Kerkrade, à laquelle M. K. F. Tromp est attaché en qualité d'ingénieur des services de la surface, traite à l'heure 50 tonnes de 15-80 dans une cuve de 14 m³ à suspension de magnétite.

Une nouvelle installation de 150 tonnes/heure de 20-80 est prévue, le 6-20 étant traité séparément dans une cuve à densité plus forte.

Nous avons vu plus haut que l'originalité du procédé Tromp consistait en ce que la sédimentation de la suspension n'était pas combattue, et que la variation de la densité sur la hauteur de la cuve de séparation était utilisée pour éliminer les mixtes du même coup que le charbon et les schistes.

L'évacuation des charbons purs et des schistes se fait de la manière connue, par raclettes et noria (fig. 15).

Pour l'enlèvement des mixtes, on se sert d'une chaîne à raclettes latérale immergée *e*, contre laquelle les mixtes sont poussés par de lents courants horizontaux qui ne dérangent en rien le processus de classification densimétrique. Le déplacement horizontal du liquide est obtenu par des circuits auxiliaires fermés créés dans la cuve à différents niveaux, en introduisant le liquide d'un côté et le soutirant sur la face opposée, au même niveau. La vitesse des courants est de 0,27 m. à la seconde, et résulte de l'action de pulseurs à air comprimé à 1,5 kg./cm².

Circuit principal de la suspension. — L'alimentation de la cuve se fait au sommet de celle-ci et à la densité choisie pour la séparation du charbon pur.

L'action de la sédimentation a pour effet de concentrer le corps dispersé de plus en plus en profondeur, et quoique alimentée de façon continue par une seule densité, la cuve présente sur sa hauteur des densités croissantes que l'on peut contrôler en soutirant du liquide aux différents niveaux.

A chacun de ceux-ci, le liquide se déverse au sein du bain, sur toute la largeur de la cuve, par des tubes horizontaux à ouvertures hélicoïdales réglables.

Le trop-plein s'échappe avec les mixtes, au même niveau que l'alimentation et retourne au refoulement de la pompe principale *p* qui est branchée sur le réservoir *n*; dans celui-ci, la densité est réa-

justée après réception de la purge du cône de concentration du circuit secondaire.

Circuit secondaire. — Les eaux de rinçage de tous les produits du lavage (cribles *f*, *k'*, *s*) représentent une suspension diluée de magnétite, associée à des schlamms charbonneux et argileux. En outre, elles renferment aussi des déchets de charbon, de mixtes et de schistes, puisque l'écartement des barreaux du crible *f* est de 6 mm. et que celui des deux autres cribles est de 1 mm.

Les eaux sont débarrassées de ces déchets sur des tamis à schlamms à mailles de 0,15 mm., au travers desquels la magnétite passe, et elles sont reprises dans le réservoir *r*, par la pompe *h*, pour être refoulées au sommet d'un cône de concentration *i*.

Dans celui-ci, les grains de magnétite, grâce à leur forte densité et à leur volume relativement gros, se déposent plus vite que les schlamms de charbon et d'argile, au point qu'il ne reste plus que des traces de magnétite dans l'eau du trop-plein qui élimine automatiquement les schlamms.

Ce dépôt aisé de la magnétite et sa séparation automatique des schlamms permettraient, au dire des constructeurs, de traiter sans inconvénient du charbon friable, ou associé à des schistes se délayant dans l'eau.

Il y a lieu de noter que la magnétite, assez grossièrement broyée et d'une densité 4,2, ne se souille pas au contact de l'argile et ne colle pas aux produits lavés. La quantité d'eau nécessitée par le

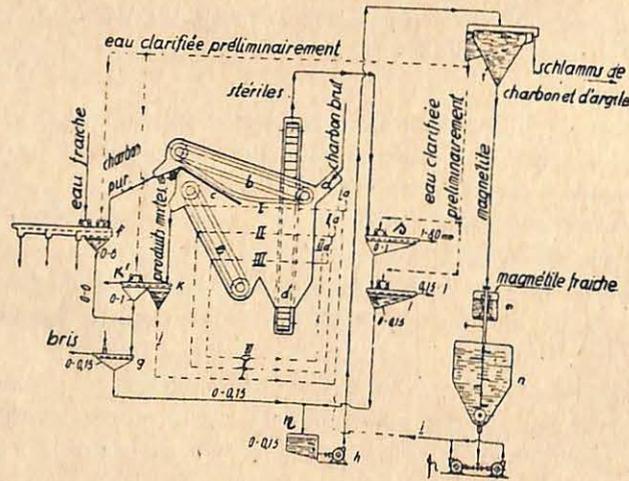


Fig. 15. — Schéma d'une installation Tromp à la magnétite.

rinçage est donc réduite d'autant, ainsi que les dimensions du cône de concentration.

Le dépôt de magnétite à la pointe du cône est purgé périodiquement. La purge tombe dans le réservoir *m* muni d'un agitateur *o*; la densité de la suspension est ajustée par des additions éventuelles de magnétite nouvellement moulue ou d'eau fraîche, avant d'être envoyée dans le réservoir d'alimentation principal *n*.

Circuits auxiliaires. — Si la densité de la suspension, dans la cuve de Tromp, varie en s'accroissant du haut vers le bas, il y a lieu cependant de la rendre stable aux niveaux des deux coupures, où elle est contrôlée toutes les 20 minutes.

Cette stabilité est obtenue par des échanges de liquide entre les différents niveaux, échanges pour lesquels on utilise les courants créés dans l'épaisseur du bain pour le déplacement horizontal des mixtes.

Outre le circuit primaire, dont la densité, dans le cas particulier de la Mine Domaniale, est réglée à 1,53, séparation désirée entre le charbon pur et les mixtes, la cuve est donc parcourue par les deux circuits auxiliaires fermés II et III, dont les densités sont respectivement 1,7 et 1,83, cette dernière étant la densité de séparation choisie entre les mixtes et les schistes. La densité intermédiaire 1,7 n'a d'autre rôle que de faciliter le réglage des deux autres densités. Les circulations I, II et III sont égales en volumes (70 m³/h. à Kerkrade).

Lavage des fines. — A la Mine Domaniale, un essai de plusieurs jours en marche industrielle a montré que le lavage direct du 7-80 était réalisable avec la même efficacité que le 15-80.

D'après les essais du constructeur Humboldt, la limite d'utilisation du procédé Tromp s'établirait actuellement à 5 mm. La limite prévue serait toutefois la même que celle de flottation, c'est-à-dire aux environs de 1 mm.

Densités de séparation. — Le principe même de la densité variable et la grosseur du grain de la suspension éliminant l'écueil de la viscosité font que le procédé Tromp s'adapte à une gamme très étendue de densités, qui irait, selon le constructeur, de 1,25 à 2.

La facilité avec laquelle une densité est maintenue constante à la 5^e décimale (voir tableau III) fait supposer que le procédé a un large champ d'application.

Perte en magnétite. — La perte moyenne par tonne de charbon brut traitée, calculée sur plusieurs mois de marche industrielle à la Mine Domaniale, a été trouvée égale à 0,6 kg.

Le prix de la magnétite ayant subi des fluctuations sensibles et ce produit étant importé, on l'a remplacé avec succès, en Allemagne, par des résidus du grillage de la pyrite, qui ne peuvent plus être traités pour la récupération du fer, par suite de leur teneur élevée en zinc.

Le poids spécifique de ces résidus varie entre 4,3 et 5, et leur prix dans le Reich, où l'on en dispose de grandes quantités, serait moitié de celui de la magnétite.

Précision de lavage. — Les courbes des figures 8 et 9 se rapportent respectivement au lavage du 15-80 par le procédé Tromp et au lavage du 20-80 dans des bacs à pistons.

La comparaison des résultats se fait par le tableau ci-dessous :

	Densités de séparation	Produits du lavage %	Égarés	
			% du brut	Densités limites
Bacs à pistons .	1,498	Charbon . . . 50,8	3,9	1,498-1,875
		Mixtes . . . 19,5		
	1,955	Schistes . . . 29,9	2,0	1,350-1,955
Magnétite . . .	1,535	Charbon . . . 48,3	0,4	1,535-1,550
		Mixtes . . . 8,7		
	1,835	Schistes . . . 43,0	0,5	1,800-1,835

Le procédé Tromp ne faisant usage d'aucun courant ascensionnel, il est naturel que la précision obtenue soit la plus grande possible. Il est remarquable que la précision de séparation soit du même ordre aux deux coupures obtenues simultanément.

Prix de revient du lavage du 15-80 à la Mine Domaniale (en pfennigs par tonne de charbon brut), 50 tonnes/heure :

Salaires	4,0
Force motrice, 0,8 C.V./T.	1,8
Eau, 125 litres/T.	0,5
Entretien	5,0
Craissage	1,0
Matière dense (résidu pyrite), 0,6 kg./T.	1,2
Air comprimé, 4,5 m ³ /T.	0,7
	<hr/>
	14,2

soit 1 fr. 70 environ.

Le poste salaires (2 ouvriers) resterait le même pour une installation de 150 tonnes/heure. Le prix des résidus du grillage de la pyrite était, en juillet 1938, de 15 RM. la tonne, plus 5 RM. pour le transport.

CONCLUSIONS.

D'une manière générale, les nouveaux procédés de lavage du charbon dans des suspensions de matières denses introduisent dans la technique du lavage un progrès de premier ordre, parce que, basés sur la seule action de la pesanteur, ils opèrent instantanément la classification densimétrique du brut, sans l'aide de moyens dynamiques.

Ils arrivent ainsi à une précision qui se rapproche fortement des conditions théoriques.

La précision de classement recule vers le bas, pour une même teneur en cendres, la coupure entre les produits vendables et les autres, c'est-à-dire que le rendement commercial du lavage est accru.

Toujours par suite du caractère statique de la classification — au moins dans les suspensions n'utilisant pas les courants ascensionnels — ces résultats sont obtenus pour de gros tonnages horaires, pour des alimentations irrégulières des appareils et avec des limites de criblage extrêmement étendues.

Ces propriétés fondamentales entraînent une simplification des

installations de lavage, malgré l'adjonction d'opérations supplémentaires, relatives à la préparation de la matière dense, à sa récupération et à la régénération de la suspension après usage.

Il n'y a donc aucune raison pour que les frais d'établissement d'un lavoir à suspension dense ne soit pas du même ordre que ceux d'un lavoir à eau ordinaire.

Les frais d'exploitation, là où ils ont pu être comparés à ceux des lavoirs d'ancien type, se sont montrés aussi du même ordre.

Les installations réalisées en quelques années, qui toutes se différencient par quelque côté original, montrent les ressources que présente la nouvelle technique.

Il est vraisemblable qu'une étude systématique des propriétés des suspensions, finesse, densité, concentration, viscosité, etc., en relation avec leur stabilité et leur sédimentation — conjuguée avec la pratique des suspensions industrielles — conduira à porter le lavage du charbon à son plus haut degré de perfection, et permettra d'obtenir, de façon économique, les produits purs réclamés par l'hydrogénation et les industries chimiques de l'avenir.

BIBLIOGRAPHIE

1. Dipl. Ing. Gröppel. — *Préparation des houilles au moyen des liqueurs denses suivant le procédé Sophia-Jacoba.* (« Glückauf », n° 19, 1954.)
2. R. A. Mott, D. Sc., F. I. C. — *The de Vooy's process of coal cleaning.* (« Colliery Engineering », February 1955.)
3. Ch. Hanot, Ingénieur civil des Mines A.I.Lg. — *La préparation industrielle des charbons par liquides denses.* (« Revue Universelle des Mines », avril et juin 1955.)
4. R. A. Mott, D. Sc., F. I. C. — *The cleaning of coal using dense media.* (« Institute of Fuel », February 1956.)
5. Dipl. Ing. K. F. Tromp. — *Neue Wege für die Beurteilung der Aufbereitung von Steinkohlen.* (« Glückauf », 6 et 7, 1957.)
6. Dr. Ing. Schäfer. — *Le lavage du charbon suivant le procédé par liquide dense système Tromp.* (« Glückauf », 27, 9 juillet 1958.)
7. G. Driessens. — *Un nouveau progrès dans le lavage du charbon par liquides denses.* (« Revue Universelle des Mines », mai 1959.)

Matériaux pour l'Étude du Bassin de Namur

(5^e partie) (1)

Le Bord nord du Bassin, entre Fleurus et Gosselies

par

X. STAINER,

Professeur émérite à l'Université de Gand.

Dans les nombreuses cartes des concessions minières du Hainaut qui ont été publiées, coloriées, on a vu, pendant longtemps, deux angles rentrants dans le bloc des concessions. Ces angles brisaient la continuité du bord nord du bassin. Le fait ne pouvait manquer d'attirer l'attention des chercheurs toujours à l'affût d'endroits où l'on pouvait espérer découvrir des gisements et en obtenir la concession (2).

Aussi, à chaque période de prospérité industrielle, on pouvait être sûr que les chercheurs s'abattaient sur la région. En 1857, en 1875 et en 1900, la prospection fut très active, mais, dans les deux premiers cas, sans résultat. L'insuccès est facile à comprendre quand on suit l'histoire, très instructive, de ces tentatives. Les connaissances géologiques étaient des plus maigres et les facultés techniques à peu près au même niveau.

Cependant, malgré la pauvreté évidente du gisement, les chercheurs s'acharnaient, car les recherches étaient facilitées par le peu de profondeur des quelques couches reconnues. Chose curieuse, mais très explicable, l'eau, ce redoutable ennemi des chercheurs, est rare dans la région où l'on a le plus fouillé, à Wangenies, où beaucoup

(1) La première partie de ce travail a paru : *Bull. Soc. Belge de Géol.* t. XXXII, 1922, p. 162. La deuxième et la quatrième dans : *Annales des Mines.* t. XXVII, 1926, p. 491 et t. XXIX 1928, p. 81. La troisième dans : *Ann. Soc. Scient. de Bruxelles.* t. XLVIII 1928, p. 22.

(2) Nous ne nous occuperons pas, dans ce travail, du second angle rentrant, toujours existant, sur le territoire de la ville de Rœulx.