

Contribution à la connaissance du processus de lavage par bacs à piston

par le Dr. Ing. Otto SCHAFER,
Gelsenkirchen (Klöckner-Humboldt-Deutz A.G. Köln).

RESUME

La stratification du tout-venant, dans un bac à piston, est due à l'équivalence de chute dans un liquide dense instable qui se forme dans le lit de setzage par suite des pulsations et du courant d'eau ascendant provoqué par l'alimentation du fond. Pratiquement, la stratification se fait d'après la densité.

La séparation du brut stratifié est réglée dans les bacs à piston au moyen d'une vanne de sortie, par la loi de l'équivalence de chute dans un liquide dense très léger. Il en résulte que la précision de séparation n'est pas parfaite.

Dans les bacs à lit filtrant également la séparation n'est pas parfaite, si la composition du tout-venant est irrégulière.

Quant au bac à piston, il ne suffit pas que le brut soit stratifié correctement d'après la densité. Il faut également que l'évacuation des produits stratifiés soit caractérisée, pour une densité de coupure désirée, par une séparation précise et un minimum d'égarés.

Il est impossible d'atteindre ce but tant que l'évacuation des produits lourds est réglée par l'ouverture de la vanne de sortie. Il est préférable que celle-ci reste ouverte et que l'évacuation des produits se règle par la vitesse avec laquelle le lit avance derrière la vanne de sortie. Ce réglage doit être assuré par une désaération automatique de la caisse d'évacuation et, en même temps, un affaiblissement des pulsations devant la vanne de sortie.

Jusqu'à présent, en Allemagne, le bac à piston a prédominé sur les procédés de traitement les plus récents. L'emploi des lavoirs à couloirs (Rhéolaveurs) est resté limité à quelques installations seulement. Ils ont maintenant, en majeure partie, été transformés en lavoirs à bacs à piston. Ces derniers temps, des lavoirs par voie sèche ont été installés dans les triages pour le traitement des 5-80, sans toutefois donner un résultat bien positif.

Seul le procédé de séparation en liqueur dense est susceptible de concurrencer les bacs à piston et, particulièrement, pour la catégorie supérieure à 80 mm.

Malgré la grande vogue du bac à piston, le processus de fonctionnement de cette machine n'est pas encore bien éclairci.

Jusqu'à présent, on supposait qu'il reposait sur la loi de l'équivalence de la chute des corps dans l'eau.

Des corps sont équivalents quant à la chute dans l'eau, si leur diamètre est en raison inverse de leur densité diminuée de 1, soit :

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_1 - 1}$$

où d = diamètre et γ = densité.

Jusqu'ici pour expliquer le processus de setzage, on se basait sur la vitesse finale de chute ou sur la vitesse initiale de chute des corps solides dans l'eau soumise à des mouvements ascendants et descendants.

La stratification résulterait de la vitesse finale de chute dans l'eau selon la formule (Rittinger) :

$$V = 2,4 \sqrt{d(\gamma - 1)}$$

Si l'on calcule cette vitesse finale de chute dans l'eau pour le quartz $d = 2$ mm et $\gamma = 2,4$, on obtient :

$$V = 12,9 \text{ cm/sec.}$$

Pour la houille d'un diamètre de 80 mm et de 1,4 de densité, la vitesse finale de chute est de 45,5 cm/sec.

Cependant, un essai au bac à piston démontre que, déjà après une pulsation, la houille flotte au-dessus du quartz, bien que la vitesse finale de chute dans l'eau soit trois fois plus grande que celle du quartz.

Ainsi la stratification dans un bac à piston ne peut en aucun cas être due à la vitesse finale de chute dans l'eau.

Un essai simple montre que la stratification peut aussi se produire sans mouvements ascendants et descendants de l'eau à une grande vitesse.

Si l'on dépose des grains de houille de 35 mm de diamètre et de 1.4 de densité dans un récipient et au-dessus du quartz de 10 mm de diamètre et de densité 2.4 et si l'on remplit ensuite d'eau, il suffit d'une courte agitation pour que les grains de houille flottent au-dessus du quartz, bien que tous les grains soient à chute équivalente ($V = 29 \text{ cm/seconde}$).

On peut se rendre compte de l'importance des forces séparant les corps équivalents quant à la chute, par le fait qu'il est difficile de ramener, à la main, les grains de houille qui sont au fond du récipient, sous les grains de quartz.

Ces forces interviennent aussi dans le processus du setzage et rendent possible la séparation, dans le bac à piston, des grains présentant une équivalence de chute.

L'essai de séparation mentionné rappelle beaucoup le procédé par liquide dense de Chance, procédé dans lequel on obtient, par une agitation horizontale et un léger courant ascensionnel, un liquide dense instable au moyen d'un mélange de sable fin et d'eau.

Dans ce liquide, le grain de houille subit une perte de poids égale au poids du liquide déplacé.

Si le poids du liquide déplacé est plus grand que le poids primitif du grain de houille, celui-ci sera soumis à une poussée vers le haut, c'est-à-dire qu'il essayera de passer à travers les grains de quartz pour flotter au-dessus d'eux.

Si la densité de la liqueur dense formée de quartz et de sable est de 1.5 et celle du grain de houille de 1.4, on peut alors calculer :

le volume du grain de houille = 268 cm^3
 le poids du volume du liquide déplacé = 402 g
 le poids du grain de houille = 375 g

La perte de poids du grain de charbon dépasse de 27 g le poids primitif. Le grain est soumis à une poussée ascendante qui correspond à cette diminution de poids.

La vitesse théorique avec laquelle monte le grain, qui se trouve dans un milieu dense, peut être calculée et cela selon la formule :

$$V = 2.44 \sqrt{d(\gamma - \delta)}$$

où d = diamètre du grain de houille; γ = densité du grain de houille; δ = densité du liquide dense.

La vitesse finale de chute du grain de charbon est de 21.9 cm/sec; $d(\gamma - \delta)$ est négatif. Il en résulte que l'on obtient un mouvement ascensionnel.

Dans ce qui précède, on n'a pas tenu compte de la viscosité du liquide dense, c'est-à-dire, dans le cas actuel, de la résistance des grains de quartz environnants.

Si l'on répète l'essai de stratification par agitation, dans le récipient contenant la houille et le quartz, en employant du quartz de 10 mm et de la houille de 0.5 — 1 mm, on n'obtient aucune séparation. Le même fait se produit dans le bac à piston. Comment cela s'explique-t-il ?

Une liqueur dense se forme quand, dans un liquide, on maintient en suspension des grains plus denses et cela par action d'une force telle que mou-

vement ascensionnel ou agitation. Les grains de densité moindre flottant sur une telle liqueur ne subissent alors une perte de poids ou une poussée vers le haut que s'ils déplacent du liquide dense. En conséquence, les grains de plus faible densité, pour recevoir une poussée vers le haut, doivent être plus volumineux que les interstices entre les grains qui forment le liquide dense. Dans le cas contraire, ils ne déplaceraient pas un liquide dense mais de l'eau.

Au cours des deux essais dans un récipient, une liqueur dense s'est formée, par agitation et pour une courte durée.

Dans le premier cas, les grains de houille sont plus gros que les interstices entre les grains de quartz. Dans le second, ils sont plus petits. Par suite, dans ce dernier cas, ils ne subissent pas de poussée ascensionnelle.

Si, dans le bac à piston d'essai, on place quelques grains de quartz de 30 mm sur la couche de sable quartzueux de 2 mm, les grains de quartz plus gros pénètrent dans la couche de sable parce qu'ils sont plus lourds que le liquide dense qu'ils déplacent.

Celui-ci, au début du mouvement ascendant de l'eau, se compose d'environ :

65 % en volume de corps solides de 2.4 de densité;
 35 % en volume d'eau de 1.0 de densité

et sa densité est de 1.9 alors que les gros grains de quartz ont une densité de 2.4; ils s'enfoncent donc.

Pour se faire une idée du processus de classification, on doit d'abord envisager des produits granuleux de même grosseur, par exemple de 10 mm, formés de quartz de densité 2.4 et de houille de densité 1.4.

Des essais ont montré que la relation entre le volume des corps solides et celui des interstices ne dépend que très peu des dimensions des grains. En conclusion, nous obtenons 65 % du volume composé de corps solides et 35 % du volume en interstices.

Au commencement de la première pulsation, on peut donc calculer dans le cas envisagé la densité du liquide pour un rapport de quartz/houille égal à 1, de la manière suivante :

eau 35 % en volume avec densité 1.0
 houille 32.5 % en volume avec densité 1.4
 quartz 32.5 % en volume avec densité 2.4.

La densité du liquide est 1.585.

Immédiatement après le début de la pulsation, ce n'est pas la formule suivante qui s'applique pour déterminer la vitesse finale de chute théorique :

$$V = 2.44 \sqrt{d(\gamma - 1)}$$

mais c'est :

$$V = 2.44 \sqrt{d(\gamma - 1.585)}$$

Le mouvement de la houille vers le haut est de	10,5 cm/sec
La vitesse finale de chute du quartz est	22,0 *

La différence est 32,5 cm/sec

La résistance au mouvement de séparation, opposée par les grains environnants, n'est pas prise en considération, elle sera vaincue par la répétition des pulsations.

La différence entre les diverses vitesses finales de chute théoriques dans un liquide dense peut servir à démontrer l'intensité des processus de setzage.

On doit admettre qu'au moment où l'eau atteint son point le plus haut, le lit s'est désagrégé au point que la densité du lit en suspension est de 1,54. Alors on peut calculer :

la vitesse finale de chute du grain de houille	6 cm/sec
la vitesse finale de chute du grain de quartz	25 cm/sec

la différence est seulement encore de 19 cm/sec au lieu des 32,5 cm/sec du commencement de la pulsation.

La différence entre les vitesses finales de chute des grains de houille et de quartz diminue donc pendant la montée de l'eau et, par conséquent, l'intensité de séparation diminue aussi, c'est-à-dire que la stratification sera d'autant plus rapide que le mouvement ascensionnel de l'eau sera plus court et que le nombre des pulsations sera plus grand.

Si entretemps, dans la partie inférieure du lit de setzage, il s'est formé une couche de quartz pur, la densité du liquide lourd formé par cette couche de quartz au commencement de la pulsation, sera 1,91.

Théoriquement, un grain de houille qui s'égare dans cette couche du lit subit une poussée vers le haut avec une vitesse $V = 17$ cm/sec au lieu des 10,5 cm/sec du début des pulsations. Un grain de stérile égaré dans la couche la plus haute de charbon pur qui s'est formée entretemps, tranche d'une densité de 1,26, aura une vitesse finale de chute de 26 cm/sec au lieu des 22 cm/sec du début des pulsations.

L'intensité du processus de setzage augmente donc de pulsation en pulsation, conformément au progrès de la stratification.

Pour un rapport quartz/houille égal à 1,2, la densité est, au début des pulsations, $\delta = 1,47$.

La vitesse finale de chute du grain de quartz est	25,5 cm/sec
La poussée vers le haut du grain de houille	6,5 cm/sec

La différence n'est que 50,0 cm/sec au lieu des 32,5 cm/sec pour le rapport quartz/houille = 1.

Il en résulte que le processus de stratification s'accomplit d'autant plus lentement que la teneur en stériles du tout-venant est moindre.

Si les grains de quartz et de houille sont de la catégorie de 50 mm et le rapport quartz/houille est égal à 1, on peut calculer comme suit :

la vitesse finale de chute du grain de quartz	52,6 cm/sec
la vitesse de poussée vers le haut du grain de houille	14,4 cm/sec

en ce cas la différence est 67,0 cm/sec tandis qu'elle était 32,5 cm/sec pour les fractions de 10 mm des grains de quartz et de houille.

Plus les grains sont gros, plus rapidement s'accomplira leur séparation, c'est-à-dire que le rendement du bac à gros grains est supérieur à celui du bac à fines.

Le tout-venant à laver se compose de grains dont la densité varie entre 1,25 et 2,80. Au commencement des pulsations, la stratification étant terminée, la densité du liquide dans les différentes couches varie entre 1,16 et 2,17.

Les grains de la même pesanteur spécifique forment une liqueur dense dans laquelle tous les grains moins denses subissent une poussée vers le haut, tandis que ceux d'une pesanteur spécifique supérieure tombent. Dans une liqueur dense formée de grains de la même densité, ceux-ci se stratifient d'après leur grosseur (abstraction faite de la forme du grain).

Ceci ne vaut que pour autant que les intervalles entre les différents grains ne soient pas plus grands que les grains un peu plus petits et que le ralentissement dû à la viscosité ne dépasse pas l'accélération due à la pesanteur. Mais vu le fait que, dans le tout-venant à laver de 0-80 mm, toutes les fractions granulométriques entre 0 et 80 sont représentées et que la proportion entre les corps solides et les interstices est à peu près égale au début des pulsations, même dans le cas d'une composition granulaire différente, la stratification dans le bac à piston correspond presque parfaitement à la densité.

De ce fait on peut stratifier dans un seul bac à piston les 0-80 mm d'après leur densité, abstraction faite des fines de 0-0,25 mm.

En pratique cependant, les résultats du lavage au bac à piston semblent contredire cette conclusion, car on sait bien qu'en lavant, dans un seul bac laveur, un produit brut de 0-80 mm, il faut relaver les 0-10 mm pour obtenir dans les fines la teneur en cendres désirée.

En faisant une analyse en liqueur dense dans un milieu de même densité de coupure, on constate que la teneur en cendres des gailletins est supérieure à celle des noisettes tandis que le contraire se produit pour les lavés. Les 50-80 mm ont une teneur en cendres de 4 %, les 10-15 mm de 7 %. Comment cela s'explique-t-il ?

La stratification du brut dans le bac à piston s'effectue grâce à des pulsations qui sont dues :

- 1° aux mouvements ascendants et descendants de l'eau;
- 2° à un courant d'eau additionnel et égal, venant du fond.

Cette alimentation inférieure ne suffirait pas pour désagréger le lit, parce que sa vitesse est inférieure à 5 mm par seconde; pour la même raison elle ne peut augmenter ou retarder sensiblement le mouvement vers le haut respectivement vers le bas. Néanmoins, elle est d'une importance extraordinaire.

Au cours d'un essai dans un bac à piston on pouvait constater, au moment où l'eau avait atteint le niveau maximum, que par suite de la désagrégation de la tranche de quartz composée de grains de 1-2 mm, le lit tout entier s'était élevé :

de 2,8 cm au début du pistonage à 6,3 cm sans alimentation du fond;

de 2,8 cm au début du pistonage à 7,8 cm avec alimentation du fond.

Il faut probablement expliquer cela par le fait que l'alimentation du fond empêche un tassement du lit, à la fin de la pulsation, car plus les passages libres dans le lit se rétrécissent, plus la vitesse de l'eau ascendante s'accroît. De cette façon, l'alimentation du fond empêche qu'au recommencement du pistonage la poussée soudaine de l'eau vers le haut ne lève le lit entier en forme d'une masse compacte, ce qui aurait pour effet de retarder la formation du liquide dense.

Cela signifie que le rendement du bac à piston dépend aussi de l'alimentation du fond.

Le pistonage dans un bac à piston qui effectue l'évacuation par une vanne de sortie a trois fonctions différentes :

- 1° Par la désagrégation du lit, il produit une stratification du brut d'après la loi d'équivalence de chute dans un liquide dense instable, ce qui signifie pratiquement une stratification d'après la densité;
- 2° Il transporte la houille stratifiée vers la sortie;
- 3° Il fait sortir la fraction la plus légère par la caisse d'évacuation.

Remarques au sujet du 1°. — La précision de partage du tout-venant d'après la densité dépend en première ligne de l'accroissement de la densité d'une couche à l'autre.

Cet accroissement se représente, pour les 6-80 par exemple, par une courbe dérivée de la courbe de densité.

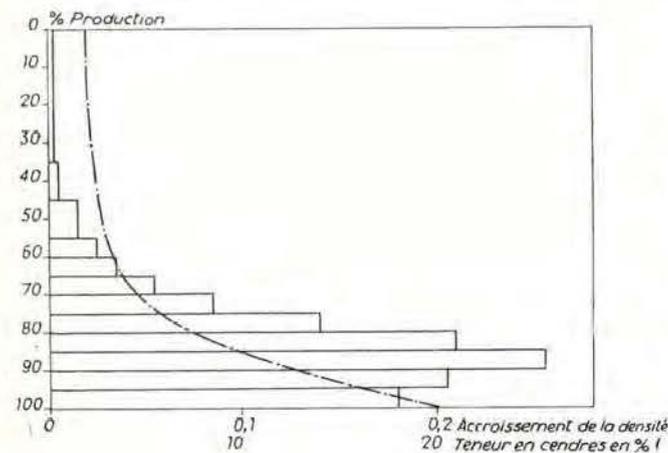


Fig. 1.

Il est faible dans les couches supérieures, puis il augmente et vers la fin il diminue de nouveau. Il atteint un maximum pour une teneur en cendres moyenne du brut de 10-12 % et un rendement de 85-90 %.

On peut dire que la stratification dans le bac à piston est presque parfaite, du moins dans la zone qui joue un rôle pratique.

Remarque au sujet du 2°. — Le transport du charbon stratifié dépend de la vitesse du courant d'eau ascendant. Il faut que cette vitesse soit plus grande que la vitesse finale de chute dans l'eau du grain le plus lourd. La vitesse du courant d'eau ascendant est en fonction du nombre et de l'amplitude des coups de piston, c'est-à-dire du nombre et de l'intensité des pulsations.

La fréquence des pulsations est limitée par la vitesse de retour de l'eau. Pour cette raison, l'amplitude doit être plus grande pour le lavage de gros grains que pour les fines.

Le courant d'eau ascendant (alimentation du fond) augmente l'effet des pulsations et accélère le mouvement des grains les plus lourds vers la sortie. Une inclinaison du tamis de setzage et une grille spéciale peuvent favoriser ce mouvement, tandis que l'eau de surface ne pousse vers la sortie que les couches plus légères; de plus, elle peut déranger la stratification en entraînant avec elle des grains d'un poids spécifique supérieur.

Remarques au sujet du 3°. — Mais le facteur le plus important est la sortie. En général, les grains d'un poids spécifique supérieur sont évacués par une fente (immédiatement au-dessus du tamis). Les grains d'un poids spécifique inférieur sont transportés par-dessus le barrage par l'eau ascendante.

Normalement l'ouverture de la fente devrait être plus grande que les plus gros. Mais alors des mixtes et du charbon seraient entraînés dans le premier lit du bac, si le charbon brut contient moins de stériles qu'il peut en être évacué par la fente, comme c'est souvent le cas avec les gros grains.

En pratique le lit des schistes est refoulé dans le premier compartiment du bac à gros grains, que l'évacuation soit réglée à la main ou à l'aide d'un autodéschisteur, et l'ouverture de la vanne n'augmente que de temps en temps pour permettre le passage des plus gros grains. Aux moments de l'ouverture brusque et large de la vanne, il est presque inévitable qu'une partie du charbon et des mixtes perce dans les schistes et sorte avec eux. Pour obvier à cet inconvénient, on n'évacue que les stériles les plus lourds en appliquant une densité de coupure supérieure à celle que l'on désirerait en fait.

Quant à l'évacuation de la fraction plus légère, l'intensité des pulsations joue un rôle décisif. Si la poussée est tellement forte que, dans l'eau ascendante, la vitesse finale de chute des grains plus denses est inférieure à la vitesse de l'eau même, il est possible que ces grains soient portés par-dessus le seuil-déversoir de sorte que, malgré une stratification parfaite d'après la densité à la sortie, la séparation, dans les couches supérieures, ne se fait

pas d'après la densité mais d'après l'équivalence de chute dans un liquide dense dont la densité est presque égale à celle de l'eau.

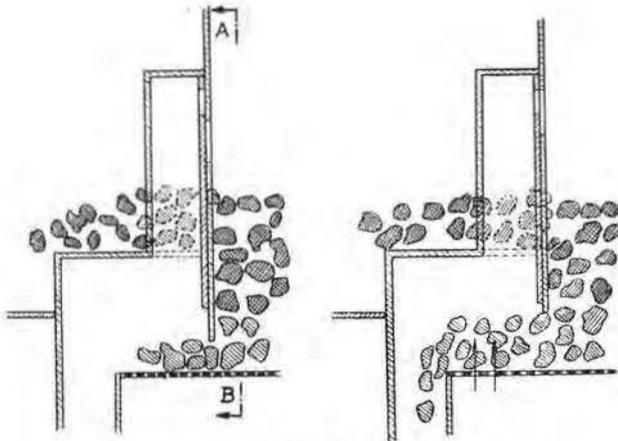


Fig. 2.

En conséquence, une grande quantité de schistes passe dans le second lit du bac-laveur et se mêle de cette manière aux mixtes. Pour éviter que les mixtes ne passent en trop grande quantité dans le charbon lavé, on choisit pour la séparation sur le deuxième lit du bac une densité de coupure inférieure

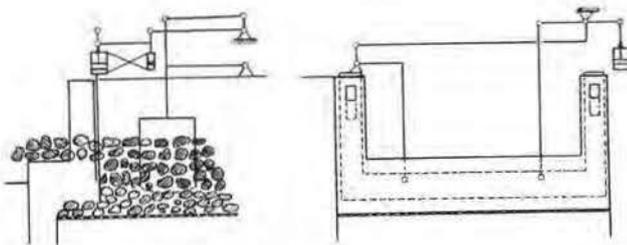


Fig. 3.

à celle qui correspondrait, pour une teneur en cendres désirée du produit final, à la courbe de lavabilité. De cette manière c'est du charbon lavé qui passe dans les mixtes.

Donc, par suite de l'imperfection de l'évacuation, il est inévitable que du charbon et des schistes passent dans les mixtes et l'on constate des entraînements qui ne correspondent pas à la stratification du brut d'après la densité. C'est ainsi qu'il arrive que dans les mixtes il n'y a le plus souvent que moins de 50 % de charbon véritablement barré.

Outre les bacs à piston à sortie par une vanne, il y a encore un grand nombre de bacs à lit filtrant de feldspath.

Dans le second essai dans le récipient aucune séparation n'eut lieu, parce que les grains d'un poids spécifique inférieur étaient d'une telle grosseur que les interstices entre eux étaient plus larges que les grains d'un poids spécifique inférieur.

C'est sur ce principe qu'est basé le fonctionnement du bac à lit filtrant pour le lavage des fines.

Sur le tamis du bac à piston, il y a un lit de feldspath composé de grains supérieurs à 55 mm. Au-dessus de ce lit le charbon brut se stratifie rapidement d'après la densité. Alors ce sont d'abord les schistes, puis les mixtes qui passent à travers le feldspath. Finalement aussi les grains de charbon pourraient passer, parce que les interstices entre les grains de feldspath sont plus grands que les petits grains de charbon.

Si pourtant, pour une longueur donnée du bac à laver, on choisit correctement l'épaisseur du lit de feldspath, ce ne serait que les schistes qui passeraient à travers le premier lit et les mixtes qui passeraient à travers le second pourvu que la composition du brut, c'est-à-dire sa teneur en cendres, soit constante. Mais, comme ce n'est pas le cas, il est inévitable que des mixtes et du charbon passent dans les schistes et que des schistes et mixtes passent dans le charbon.

SAMENVATTING

In de zuigerwasbakken doet zich een scheiding voor van de bruto kool volgens het val-aequivalent in een onstabiele dichte vloeistof, gevormd door het classeringsbed, bij de opwaartse waterverplaatsing en de watervoeding langs onder. De classering geschiedt praktisch volgens de dichtheid.

De afvloeiing der geclasseerde lagen bij den uitgang, is nochtans onderworpen aan de wet van de aequivalente val in water, zodat men nooit een volmaakte scheiding volgens de dichtheid bereikt.

In de zeven met filtrerende bedden gebeurt de

scheiding door de doorgang van het steriel en het gemengd, doorheen een bed van veldspaat waarvan de dikte bepaald is volgens het gemiddeld gehalte aan steriel en gemengd van de bruto kool.

De scheiding is hier evenmin volmaakt, daar het percentage gemengd en steriel in de bruto kool voortdurend varieert.

Deze uiteenzetting put het onderwerp niet volledig uit maar heeft enkel tot doel opzoekingen uit te lokken op dit gebied.