punt M werd op het terrein bepaald door middel van een kleine hulp-triangulatie uitgaande van de basisveelhoek. Punt M valt eveneens in het midden van een akker. Twee grenspalen respectievelijk 1 en 2 genummerd, werden langs een veldweg, in de onmiddelijke omgeving van M aangebracht.

PUNT N.

Het punt N bevindt zich op de lijn A-B, 1500 m ten Noord-Westen van het punt B. Het punt N werd op het terrein bepaald door middel van een kleine hulp-triangulatie uitgaande van de basispolygoon. Het valt eveneens te midden van een akker. Een grenspaal dragende het nummer 3 werd in de onmiddelijke nabijheid geplaatst aan de voet van een pyloon van een lectrische krachtleiding.

Wij geven hieronder de coördinaten van de voornaamste punten van de concessie Neeroeteren-Rotem.

	Punten	Coördinaten	
		X	Y
A. B. C. F.	Kilometerpaal 104 langs de steenweg Diest-Maaseik.	82.184,10	87.464,61
	Kilometerpaal 27 langs het Kanaal Maastricht-'s Hertogenbos	77.175,93	92.994,77
	Hoekpunt van de concessie	72.745,62	95.830,71
	id. id.	75.052,66	91.406,20
G.	id. id. (paal 6)	75.052,73	87.493,42
M.	id. id.	78.052,71	87.481,70
N.	id. id.	78.048,56	92.031,18
	Hoekpunt paal nr. 1	78.051,54	87.509,76
	id. 2	78.038,37	87.483,12
	id. 3	78.040,37	92.099,04
	id. 4	72.742,91	95.836,96
	id. 5	75.046,17	91,461,46
	Kerktoren van Dilsen	71.872,04	94.819,06
	id. Rotem	73.521.47	95.950.56
	id. Elen	75.045,34	87.435,06
	id. Opoeteren	75.283,90	90.105,71
	id. Neeroeteren	77.499,66	93.616,21
	id. Neerglabbeek	77.744,16	87.227,61
	id. Opitter	80.674,45	89.414,61
	id. Kapel	81.040,20	88.851,73
	id. Tongerlo	81.703,98	90.359,65
	Schoorsteen C,	73.266,46	93.058,91
	id. C2	73.204,31	92.987,42
	id. C3 id. C5	73.153,65	92.921,05
	id. C ₅	72.815,67	92.863,45
	Boring 41	75.132,36	90.332,32
	id. 117	76.016.06	91.361,61
	id. 113	74.812,21	92.374,45
	Paal Km 7/28 baan Maastricht-Maaseik	72.487.83	95.727,47

Les possibilités d'avenir des bacs à pulsations dans les lavoirs modernes

J. MOMBEL.

Ingénieur civil des Mines A.I.Br.

SAMENVATTING

In het eerste deel van de bijdrage wordt een theoretische verklaring gegeven van de verschijnselen die zich voordoen bij de werking van pulserende wasbakken, waarbij de nadruk wordt gelegd op het belang van een zelfs lichte verhoging van de dichtheid van het wasmiddel en op de rol van de positieve of negatieve versnellingen van de beweging der vloeistof.

Verder worden de gevolgen onderzocht van de toepassing dezer theorie op de constructie der bakken en de voedingswijze van het aanvullingswater, in het bizonder bij het wassen der sijnkolen, indien men ten volle prolijt wenst te trekken uit de versnellingsverschijnselen. De auteur besluit met te wijzen op het belang van het gebruik van zware suspensies in de pulserende wasbakken, hetzij om de werking van een bestaande installatie te verbeteren, hetzij om een nieuwe installatie voor statische wassing door suspensie aan te vullen.

Het tweede deel van de bijdrage is gewijd aan de uiteenzetting van een methode om de werking van de filtrerende lagen der wasbakken voor fijnkolen te bestuderen en aan de toepassing van die methode op de wassing van diamanthoudend zand. De auteur stelt een verklaring voor van de fenomenen van het doordringen van het filtrerend bed, die de selectiviteit bepalen ten opzichte van bepaalde categorieën afmetingen en dichtheden.

RESUME

Dans la première partie de son article, l'auteur expose les explications théoriques des phénomènes du sonctionnement des bacs à pulsations, en insistant, plus spécialement, sur l'intérêt d'une augmentation, même légère, de la densité du fluide de lavage, et sur le rôle des accélérations, positives et négatives, du mouvement du fluide. Il examine ensuite les conséquences, sur la construction des bacs et sur le mode d'alimenlation en eau d'appoint, qu'entraîne le désir de profiter pleinement des phénomènes accélératoires, principalement pour le lavage des catégories fines. Il conclut à l'intérêt de l'utilisation de suspensions denses dans les bacs à pulsations, soit pour améliorer le fonctionnement d'une installation existante, soit pour compléter une installation nouvelle de lavage par suspension.

La seconde partie de l'article est consacrée à l'exposé d'une méthode d'étude du fonctionnement des lits filtrants des bacs à fines catégories, et des conclusions auxquelles conduit son application au lavage du sable diamantifère. L'auteur propose une explication des phénomènes de traversée du lit filtrant, qui

déterminent sa sélectivité vis-à-vis de certaines catégories de dimensions et de densités.

TABLE DES MATIERES

TITRES

§ 5 : Conclusions théoriques

PREMIERE PARTIE

Chapitre III : Remarques de construction § 1 : La régularité de l'écoulement § 2 : Les phénomènes de cavitation

moleur

A) Décollement de l'organe

: Définitions Chapitre I Chapitre II : Théorie du jigging § 1 : Setzage en eau libre § 2 : Les phénomènes du jigging

B) Décollement sous la grille C) Réalisations particulières §3: L'eau d'appoint

A) Les accélérations § 4 : Conclusions B) La succion Chapitre IV : Conclusions générales

C) Les phénomènes accessoires

SECONDE PARTIE

Chapitre V : Méthode d'étude des lits filtrants Chapitre VI : Principales constatations expérimen-

tales

Chapitre VII : Explications théoriques du fonctionnement du lit filtrant

Le présent article constitue le résumé d'un travail de fin d'étude effectué dans les laboratoires de préparation mécanique des minerais de l'Université Libre de Bruxelles, sous la direction de Monsieur le Professeur de Magnée, durant l'année 1949.

Le but de ce travail était l'étude des possibilités d'amélioration de la technique de lavage des concentrés diamantifères par bacs à piston (« Jigs »). à lit filtrant; à cette fin, il comportait une analyse théorique développée des phénomènes complexes du jigging, ainsi que la mise au point d'un procédé d'étude des lits filtrants.

1) Mouvement du diaphragme du lit

2) Couplage des grains

Chapitre VIII : Conclusions générales

Chapitre IX : Bibliographie

Nous pensons qu'il est intéressant de présenter au lecteur un aperçu des conclusions générales que suggère une telle étude, à la lumière des progrès actuels de la technique de lavage par suspension dense.

Notre article comportera deux parties : la première sera consacrée à des vues théoriques sur les bacs à piston, en général, et sur leurs possibilités d'amélioration. La seconde exposera une méthode de détermination des conditions optima de fonctionnement d'un lit filtrant, permettant un choix rationnel du lit filtrant et des variables de réglage de l'appareil de lavage.

PREMIERE PARTIE

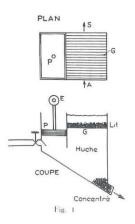
ETUDE THEORIQUE DES BACS A PULSATIONS

CHAPITRE I

DEFINITIONS

Le bac à piston, ou plus généralement le bac à pulsations, est un appareil destiné à séparer les constituants lourds des constituants légers d'une pulpe complexe, par l'action d'un courant d'eau vertical, dont la vitesse varie suivant une loi cyclique. La figure 1 donne une idée schématique de l'appareil.

Nous appelons pulsion la période de temps pendant laquelle le mouvement de l'eau est ascensionnel, succion, celle pendant laquelle l'eau redescend. Le pourcentage de succion est le rapport



entre le débit descendant et le débit montant. Plus simplement, c'est le rapport entre la vitesse maximum descendante et la vitesse maximum montante.

La loi de mouvement de l'eau résulte généralement du mouvement d'un piston ou diaphragme P, entrainé par un excentrique, et de l'introduction d'un appoint d'eau V, destiné à réduire le pourcentage de succion. Le mouvement de l'eau du compartiment laveur s'obtient donc par ajustement de la fréquence et de l'amplitude du mouvement de l'organe moteur et du débit d'eau d'appoint.

La pulpe initiale se trouve entraînée par un courant d'eau horizontal, superposé au mouvement vertical séparateur, au-dessus de la grille C. Le rôle de cette grille est, soit d'empêcher la chute des grains à séparer dans le bas. — Nous parlerons alors de jigging sur grille — soit de supporter un lit filtrant, constitué de grains plus gros et plus lourds que ceux à séparer, et dont la fonction est de permettre aux grains denses de tomber dans le bac. tout en empêchant le passage des légers - nous dirons dans ce cas : jigging sur lit filtrant. -

La pulpe initiale est composée de grains de toutes dimensions, entre des diamètres extrêmes dont nous appellerons le rapport raison de criblage. Les études théoriques se font en ne considérant que des grains sphériques. Il y a lieu de corriger éventuellement les dimensions de criblage d'un facteur de forme dépendant du minerai et donné par la littérature spécialisée.

Nous appellerons raison d'équivalence le rapport du diamètre des grains de matière la moins dense au diamètre des grains de matière la plus dense constituant une seule couche inséparable par le procédé de lavage adopté

En règle générale, la raison de criblage doit être plus petite que la raison d'équivalence, si l'on veut obtenir une séparation complète. Le criblage étant coûteux, il v a intérêt à avoir la raison d'équivalence la plus élevée possible. Nous allons nous efforcer de déterminer les moyens d'y parvenir.

CHAPITRE II

THEORIE DU LAVAGE PAR BACS A PULSATIONS

Les phénomènes qui se passent dans un bac à piston sont extrêmement complexes, et leur représentation mathématique exige une schématisation assez poussée qui conduit, néanmoins, à des formules fort lourdes. Il n'entre pas dans nos intentions d'accabler le lecteur d'équations mathématiques, car celles-ci n'ont généralement qu'une valeur explicative, sans pouvoir servir à la prédétermination des données de réglage, à cause de l'indétermination qui règne sur les valeurs à adopter pour les divers coefficients qui y interviennent. Nous nous contenterons d'exposer les conclusions auxquelles l'analyse mathématique nous a conduits, en renvoyant le lecteur soucieux de démonstrations rigoureuses à notre travail de fin d'étude et à la bibliographie.

§ 1. - Le setzage en eau libre.

Si un grain sphérique de diamètre D, de matière de densité d, est lâché à un moment t = o dans un fluide de densité do, il prendra un mouvement de chute verticale défini par l'équation

$$M.j = Mg_{\sigma} - F_{(R,D,V)}$$

dans laquelle

Mai 1953

$$g_{\sigma} = g \cdot \frac{d - d_{\sigma}}{d}$$

(g : accélération de la pesanteur), M est la masse du grain et F une force de rencontre dépendant du nombre de Reynold de l'écoulement, de la vitesse du grain et de son diamètre. C'est une fonction croissante de la vitesse, nulle pour v : o. La loi de mouvement comporte deux périodes différentes. Pendant la première, la chute est accélérée, jusqu'à atteindre, à très peu de chose près, une vitesse limite, qui se maintient constante pendant la seconde période. Cette vitesse, maximum limite, répond à la formule

$$V_o = \sqrt{\frac{g \cdot D}{d_o} \cdot (d - d_o)}$$
 . K

où K est une constante, pour un régime turbulent d'écoulement, et

$$v_{\sigma}\,=\,K'\,.\,D^2\,.\frac{(d-d_{\sigma})}{\eta}$$

avec y viscosité absolue et K' constante, pour un écoulement laminaire. En fait, pour des grains supérieurs à 0,5 mm, c'est la loi turbulente qui régit le

On appelle « grains équivalents de setzage » les grains de matières différentes avant même vitesse limite dans le même fluide. La « raison de setzage ». rapport des diamètres extrêmes du grain le moins dense au grain le plus dense équivalent, de la pulpe. est donnée par la formule :

$$\frac{D''}{D''} = \frac{d'' - d_o}{d' - d_o}$$

en régime turbulent, les d représentant les densités et les indices : 'le moins dense et " le plus dense.

En toute première approximation, ce rapport définit la raison de criblage à adopter pour avoir une séparation complète dans le fluide, les plus petits grains denses tombant alors plus vite que les plus gros légers.

Faisons trois remarques, capitales pour la compréhension des phénomènes du jigging :

1) Pendant la période d'accélération de chute, l'accélération initiale ne dépend que de la densité, et non du diamètre : pour v = 0, $j = g_0$. Un petit grain dense accélère plus vite que son équivalent gros et léger. Si on définissait le rapport d'équivalence, non par l'égalité des vitesses limites (raison de setzage), mais par l'égalité des espaces parcourus au temps t, le rapport serait d'autant plus grand que t est plus petit.

2) La différence des accélérations initiales go et des vitesses limites Vo entre les mêmes grains denses et légers sera d'autant plus grande que la densité du fluide sera plus forte. La raison de setzage est

une fonction croissante de de.

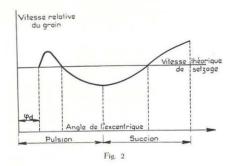
3) Il existe entre les gros grains, même jointifs, des interstices, dont les dimensions dépendent de l'arrangement des grains. On peut dire que, lorsque la raison de setzage dépasse 2,5, les petits grains passent entre les gros dont ils sont équivalents. Ce phénomène est important pour le lavage sur lit

La suite de cette étude montre que la raison de setzage, dans l'eau, est la limite inférieure des raisons de criblage admissibles. Il est possible d'augmenter cette raison de criblage, en remplacant l'eau par une suspension dense, et en utilisant les phénomènes d'accélération.

§ 2. — Les phénomènes de lavage par bacs à pulsations.

La pulpe brute se stratifie sous l'action du courant vertical pulsé, ou alternatif. Il se forme sur la grille des couches de grains denses de plus en plus petits. en remontant dans le lit de lavage, une couche intermédiaire de gros grains légers et de petits lourds, et des couches de grains légers de plus en plus petits.

Il se produit des interactions entre grains, et entre couches, susceptibles de modifier assez sensiblement les conclusions de l'étude théorique de grains qui se déplacent seuls dans un espace d'eau illiLa figure 2 donne l'allure de la vitesse relative d'un grain isolé, par rapport à l'eau, en fonction de la position angulaire de l'excentrique de commande du mouvement, dans un jig à faibles accélérations.



Nous pouvons distinguer, dans le mouvement du grain, trois périodes caractéristiques :

1) Au début du mouvement ascensionnel de l'eau, le grain repose sur la grille. Il se soulève au moment où la vitesse absolue de l'eau (vitesse relative par rapport au grain immobile) atteint la vitesse de setzage du grain. Par suite de l'inertie de celui-ci, la vitesse relative dépasse celle de setzage et provoque l'accélération, vers le haut, du mouvement du grain.

2) La vitesse ascensionnelle du courant d'eau diminue, puis s'annule. Le grain tend à prolonger son mouvement, par inertie. Sa vitesse relative tombe sous sa vitesse de setzage, et peut même s'inverser, si les accélérations du mouvement de l'eau sont importantes.

5) L'eau redescend, ou reste stationnaire dans le bac, le grain accélére sa chute et peut atteindre à nouveau, la vitesse relative de setzage.

En comparant les équations du mouvement de grains de matières différentes, on définit comme équivalents, pour un réglage donné du bac, des grains de matières différentes qui retombent, en même temps, au niveau d'où ils sont partis.

A) Les accélérations :

Pour illustrer l'importance des phénomènes d'accélération, passons à la limite, en étudiant le bac à pulsations à accélérations infinies, c'est-à-dire, celui dans lequel la vitesse de l'eau atteint instantanément la vitesse maximum de pulsion. Voyons l'effet, sur deux grains équivalents, au point de vue setzage, en prenant comme positif le sens ascensionnel. L'accélération du grain, vers le haut, est :

$$ja\,=\,\frac{d-d_{\sigma}}{d}\,\cdot\left(\frac{3\cdot K\cdot d\sigma}{4\cdot D\cdot (d-d_{\sigma})}\,\cdot\,\boldsymbol{V}_{r}^{z}\,-\,g\,\right)$$

Au temps initial de choc. Vr est la même pour tous les grains et, pour des grains équivalents.

D. (d—d,) est le même. L'accélération vers le haut

dépendra donc uniquement de (d-do)/d, et le petit grain dense montera plus vite que son équivalent gros et léger. Mais il se trouve sous une couche de grains légers un peu moins gros, sur lesquels il va buter. Pratiquement, le lit se compactera et se soulèvera en bloc. En fin de course montante, l'eau devient immobile ou inverse son mouvement. Les grains sont alors freinés, à partir d'une vitesse initiale à peu près la même, à cause de la compaction. Encore une fois, le petit grain lourd ralentira son ascension, puis accélèrera sa chute plus vite que le gros léger équivalent. Si la raison de setzage est suffisamment forte, ce petit grain lourd peut s'insinuer dans les interstices des gros légers, et gagner sur ceux-ci. (Les dimensions des interstices croissent en descendant dans le lit, ce qui explique que les petits peuvent passer en descendant, mais pas en montant).

Pratiquement, on peut s'approcher d'un mouvement à accélération infinie en permettant le décollement de l'eau sous la grille, et une reprise de contact violente, par coup de bélier, avec le lit de lavage, au début de la pulsion.

De fortes accélérations ne peuvent s'obtenir que moyennant une réduction des parcours des grains. Le calcul montre que l'avantage des fortes accélérations disparaît pratiquement lorsque la raison de setzage est plus petite que deux.

B) La succion :

L'examen mathématique montre que toute réduction de succion est défavorable, au point de vue de la raison d'équivalence. En effet, le mouvement de descente de l'eau plaque les grains sur la grille, ou à un niveau déterminé, en figeant, en quelque sorte, leur position à un moment précis de la période d'accélération de leur mouvement de descente. Toute réduction de succion allonge le parcours de chute des grains et, de ce fait, réduit l'influence favorable de la période d'accélération.

Nous verrons cependant, un peu plus loin, qu'il faut corriger cette vue optimiste, en tenant compte des courants interstitiels, qui réduisent les avantages des accélérations et sont commandés partiellement par la succion.

Les idées exprimées dans la littérature spécialisée au sujet de la succion sont parfois nébuleuses, souvent même contradictoires. Il faut souligner ici la contradiction qu'il y a entre un lavage précis, à grande raison d'équivalence, et un débit élevé de l'appareil. Nous avons montré que les facteurs qui favorisent la raison d'équivalence, accélération et succion, réduisent nécessairement les parcours de chute des grains et augmentent le temps nécessaire à la séparation. La proportion de grains denses à ceux de grains légers dans la pulpe initiale joue également un rôle très important dans la constitution d'une couche écran de denses sur la grille ou sur le lit filtrant. La succion ne jouera un rôle favorable qui si la concentration initiale en lourds est suffisante. Dans le cas contraire, il faut employer d'abord un jig dégrossisseur à marche lente et laible succion.

et grand débit, pour traiter, ensuite, le concentré par mouvement accéléré et succion plus grande.

Les phénomènes de jigging sur lit filtrant sont encore plus complexes. Il faut réaliser là un compromis entre la séparation au-dessus du lit et les phénomènes de traversée du lit.

C) Les phénomènes accessoires :

Mai 1953

Une étude plus poussée du comportement global des couches différentes introduit les corrections exposées ci-après :

- 1) Forme des grains: Les grains dont la forme s'écarte trop de la sphère n'obéissent plus exactement aux lois mathématiques du mouvement. On corrige leur dimension (définie par un crible) par un facteur de forme, toujours assez peu précis. Ce facteur est défavorable lorsque la chute des grains denses en est ralentie, favorable dans le cas contraire.
- 2) Rugosité des grains: il est favorable d'avoir des grains denses bien polis et des grains légers rugueux, pour le jigging sur lit filtrant, car la traverséc des denses s'en trouve facilitée et celle des légers, génée. Le pouvoir séparateur du lit augmente.
- 5) Courants interstitiels: Les grains descendent en masse, et il n'est plus possible de les considérer comme tombant dans un espace illimité de liquide. L'eau qui se trouvait sous les grains doit refluer par les interstices entre grains. Elle le fait à une vitesse plus grande que celle de la chute des grains, et d'autant plus grande que le rapport de la surface interstitielle, à la surface totale, est faible. La vitesse limite de chute devient

$$\frac{\beta}{1-\beta}$$
 · K · V_a

au lieu de V_o , si β est le rapport de la surface libre à la surface totale et K la constante de la formule qui définit

$$V_o = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot D \cdot (d - d_o)}{3 \cdot d_o \cdot K}}$$

Cet effet est défavorable, car il réduit le parcours d'accélération des grains et ralentit la séparation. Nous avons montré qu'il peut même se produire un effet de compaction du lit de lavage lorsque l'accélération de pulsion est forte. La succion a pour effet de réduire le \(\beta \) moyen du lit. Nous voyons ici apparaître une certaine contradiction entre la succion et les accélérations, deux facteurs d'amélioration du rapport d'équivalence, car une forte succion. diminuant \(\beta \) peut réduire les avantages des accélérations. Cependant, le lit peut être dur pendant l'accélération de pulsion, à condition de s'ouvrir suffisamment par après. En fin de compte, le travail à forte fréquence impose une certaine réduction de succion, qui ne peut être déterminée qu'expérimentalement. Lorsque chaque grain, de section s, occupe le centre d'une surface libre plus grande que 2.6 .s. le phénomène de courants interstitiels disparait pratiquement.

4) Correction de la poussée d'Archimède: un grain, plongé dans un fluide, subit, de la part de celui-ci une poussée verticale, ascendante égale au poids de liquide déplacé. En fait, cette loi résulte de l'intégration des pressions tout autour du corps, et dépend du gradient de pression existant dans le fluide. La présence d'autres grains modifie ce graient de pression. Cette modification ne sera sensible pour un grain déterminé, que pour autant que ses dimensions soient grandes par rapport aux grains qui l'environnent. C'est tout le principe du lavage par suspension dense.

Lorsque la raison de setzage, ou la raison d'équivalence de l'appareil, est grande, les gros grains légers se trouveront dans une suspension dense de petits grains lourds équivalents et subiront, de ce fait, un accroissement de poussée d'Archimède. Remarquons ici qu'il serait erroné de calculer une densité moyenne du fluide fictif exerçant cette poussée, en prenant tous les grains, légers compris, comme le font la plupart des auteurs. La correction de densité du fluide se fait uniquement à pritir de la concentration en denses, et, seuls, les gros grains légers sont influencés par ce facteur très favorable à la séparation.

Nous voyons donc tout l'intérêt d'une augmentation de la raison de setzage par utilisation d'un jig à suspension dense, celle-ci permettant un accroissement de la raison d'équivalence par effet d'accélérations, cet accroissement faisant apparaître l'effet de poussée d'Archimède sur les gros grains légers, renforçant ainsi l'action de la suspension dense et permettant un lavage bien complet.

5) Viscosité: Une suspension présente une viscosité apparente, qui résulte du phénomène suivant: "n gros grain, qui se déplace dans la suspension, heurte les petits grains qui tombent beaucoup moins vite que lui. Pour se frayer un passage, il doit les chasser latéralement. Il y a donc transmission par choc d'une partie de l'énergie cinétique du gros grain aux petits, dont le mouvement, ainsi accéléré, se trouve rapidement freiné par la viscosité de l'eau.

Lorsque le rapport de setzage est grand, nous avons dit que les gros légers baignent dans une suspension dense d'équivalents lourds. Quand le jig provoque des phénomènes d'accélération rapide, nous avons montré que la vitesse relative (par rapport à l'eau) des grains pouvait s'annuler en fin de course montante pour augmenter ensuite. Le gros grain léger subira une loi d'accélération limitée par la force de viscosité, dont le coefficient de rencontre est bien supérieur à celui du régime turbulent; la viscosité apparente amplifie donc les phénomènes favorables accélératoires. Cependant, le phénomène ne joue pleinement que lorsqu'il y a une proportion suffisante de petits grains par rapport aux gros.

Encore une fois, il n'est possible de bénéficier pleinement de cet avantage que pour un rapport initial de setzage élevé, d'où intérêt du remplacement de l'eau par une suspension dense dans le jig.

Il faut cependant distinguer nettement la viscosité apparente de la suspension fictive des grains équivalents, élément favorable à la séparation, qui influe presque uniquement les gros légers, avec la viscosité de l'eau ou de la suspension du jig; cette dernière influence le mouvement des denses aussi bien que les légers et ralentit la séparation. C'est un élément nuisible qui doit être évité.

- 6) Bulles d'air : Certaines matières hydrophobes se mouillent difficilement. Les grains peuvent être pourvus d'une bulle d'air. Lorsqu'on mélange à l'eau d'un jig une pulpe sèche, le phénomène peut jouer. Il sera favorable s'il affecte les grains légers, défavorable dans le cas contraire. Il n'intéresse que les grains de petites dimensions. Son importance pratique est généralement négligeable, car les concentrés sont souvent mouillés bien avant le jig.
- 6) Mixtes et densités intermédiaires : Les études théoriques supposent généralement la séparation d'une pulpe de deux constituants de densités bien définies. Dans le cas d'une pulpe comportant, soit des mixtes constitutifs, soit des minéraux différents de densités différentes, les dimensions de grains équivalents varient entre deux extrêmes, d'une facon plus ou moins régulière, ce qui peut estomper les esfets de poussée d'Archimède et de viscosité des petits grains sur les gros et est défavorable à la précision de coupure. Néanmoins, le travail en suspension dense doit améliorer cette coupure, en accentuant les différences faibles de densité. Il serait intéressant d'étudier l'allure de la courbe de partage d'un bac à charbon, en fonction de la densité de suspension.

§ 3. — Conclusions théoriques.

L'étude théorique nous montre une grosse supériorité du lavage dynamique, mettant à profit les phénomènes accélératoires, sur le lavage statique par simple setzage. Cependant, ces avantages ne deviennent important que pour autant que la raison théorique de setzage soit supérieure à 2,5, que la proportion de denses par rapport aux légers soit suffisante, que la quantité de petits grains soit suffisante par rapport aux gros, et qu'il y ait peu de mixtes. En général, on sera obligé d'utiliser deux étapes de lavage au moins : un dégrossissage, réalisant les conditions favorables énumérées ci-dessus, puis un finissage.

Le gros avantage du lavage statique par suspension dense est la précision de la coupure, et son indépendance totale de la raison de criblage, du moins pour la plus grande dimension, du spectre dimensionnel de la pulpe, de la présence de mixtes et de la proportion des constituants, permettant de remplacer le criblage complet initial par l'élimination des poussières et des plus petits grains, et un lavage complet en une fois des gros. En conséquence de quoi, l'évolution moderne du lavage a conduit au remplacement des jigs par des bacs statiques. Cependant, la suspension dense convient mal pour les

petits grains, de dimension supérieure à 0,5 mm, de l'ordre de grandeur du millimètre, car la forte densité du fluide fictif ralentit fortement les vitesses limites de setzage. D'autre part, s'il est assez facile de réaliser une suspension d'une densité de l'ordre de 1,7, possédant une stabilité et une viscosité raisonnables, l'application aux minerais devient difficile; le ferro-silicium permet la séparation des minerais denses de la gangue de densité de l'ordre de 2,5, mais la séparation de minéraux denses entre eux devient difficile.

Il est erroné de croire que la suspension dense doit éliminer le jig. En réalité, les deux modes de lavage se complètent bien. Nous avons montré tous les avantages des phénomènes accélératoires du jig, pour autant que la raison initiale de setzage dépasse 2.5. L'utilisation d'une suspension dense permet donc le lavage sur jig de cencentrés ayant une faible dispersion de densité.

Réciproquement, l'application du jigging au lavage par suspension dense permet d'étendre les avantages de la suspension dense aux séparations de minéraux lourds, en utilisant un médium assurant une stabilité bonne et une viscosité faible, avec une densité de suspension plus faible que celle qu'aurait exigé un lavage statique. Sous une autre forme, cette conclusion peut être intéressante pour nos lavoirs à charbon : avant de remplacer des jigs existants par une installation neuve, utilisant de la poudre de magnétite coûteuse, exigeant une récupération assez compliquée, il serait judicieux d'essayer d'améliorer le fonctionnement des bacs en remplaçant l'eau par une suspension dense de fin schiste, de densité assez peu élevée, peu coûteuse, et remplacée périodiquement par de la fraîche. On ne s'astreindrait pas à récupérer le médium. Une suspension de sin sable pourrait également être uti-

Comme complément à une installation de suspension dense pour minerais, le jig pourrait utiliser des eaux de soutirage, contenant un médium dilué. Le travail sur lit filtrant, qui fait l'objet de la seconde partie de cet article, permet de séparer convenablement des grains de l'ordre du millimètre, et leur fonctionnement pourrait, très probablement, être amélioré par l'utilisation d'une suspension de deusité faible.

Nous ne saurions trop insister sur le fait que le jig doit être considéré comme un appareil dynamique, travaillant par phénomènes d'inertie. La ligne de conduite pour adapter le jig à une séparation de produits de densité assez voisine serait :

- Dégrossir le produit pour obtenir un concentré.
 Utiliser dans le jig linisseur une suspension
- dont la densité est suffisante pour donner à la raison de setzage une valeur supérieure à 3.
- 5) Le jig finisseur doit travailler à une fréquence assez élevée, avec une succion modérée, et une vitesse ascendante moyenne suffisante pour assurer la stabilité de la suspension. Une pulsion à accélération initiale très grande peut être envisagée favorablement.

4) En cas de jigging sur grille, séparer trois produits : un dense définitif, un tailing définitif, un mixte. Dans ce mixte, à cause de la grande raison d'équivalence réalisée. les denses sont bien plus petits que leurs équivalents légers. Relaver le mixte sur une grille retenant les légers et laissant passer les gros, avec pleine succion et faible fréquence. Ce relavage récupère le médium.

Comme pour le lavage statique, le produit à laver doit être dépoussiéré ou débourbé préalablement, pour éviter une trop grande viscosité de la suspen-

sion du bac.

CHAPITRE III

REMARQUES DE CONSTRUCTION

Les conclusions de l'étude théorique nous ont amenés à nous pencher de plus près sur les phénomènes hydrauliques dont les jigs sont le siège, et à en déduire des lois constructives, bien simples, et pourtant souvent méconnues. En particulier, nous avons dit que les suspensions denses refoulaient le domaine d'application des jigs à des grains de petites dimensions, exigeant, de ce fait, des courses assez faibles mais des fréquences et des accélérations élevées. Un lit de lavage de grains légers est spécialement sensible aux tourbillons parasites et des phénomènes d'inertie de l'eau apparaissent.

§ l. — La régularité de l'écoulement.

Les lois théoriques sont établies en supposant un écoulement ascensionnel uniforme dans la section du bac, et non tourbillonnaire, à l'échelle des grains. L'établissement de tourbillons dans le lit de lavage est spécialement nocif, car il perturbe la séparation en remettant des fins légers dans les couches inférieures, d'où ils peuvent tomber dans le bac sous l'effet de la succion. La répartition de l'eau ne doit pas être nécessairement égale sur toute la section, mais, en tous cas, elle doit varier d'une manière progressive et bien contrôlée.

La résistance hydraulique de la grille, et, éventuellement, celle du lit filtrant, sont des éléments favorables en ce qui concerne la bonne répartition de l'eau et le caractère non tourbillonnaire, en grand, de l'écoulement. Néanmoins, ce sont des éléments défavorables au point de vue coût du lavage, et des phénomènes de cavitation que nous étudierons au paragraphe suivant.

La régularité d'écoulement doit s'obtenir par une disposition judicieuse de l'organe moteur et de l'orifice d'amenée de l'eau d'appoint.

La position latérale du piston et du diaphragme est la plus défavorable possible, car, non seulement elle entraine une dissymétrie de l'écoulement, mais encore elle augmente la surface totale du bac, et par voie de conséquences, le terrain occupé par le lavoir. La position la plus rationnelle du piston ou diaphragme est au fond du bac, Le jig à fond mobile, de même largeur que la grille, assure l'écoulement le plus régulier. L'eau d'appoint doit être introduite le plus loin possible de la grille, pour

favoriser l'uniformité du mouvement. L'orifice, ou les orifices, doivent être orientés de façon à éviter la formation d'un tourbillon ou d'une colonne ascensionnelle à grande vitesse.

Un nouveau jig devrait toujours être étudié d'abord sur modèle réduit en plastique transparent, dans le but d'assurer un bon écoulement.

§ 2. — Les phénomènes de cavitation.

Les bacs à pulsations dans les lavoirs modernes

Lorsqu'on travaille à une fréquence élevée, l'inertie de l'eau, qui tend à s'opposer au mouvement qui veut lui être imprimé et à prolonger le sien propre, peut provoquer un décollement entre l'eau et l'organe de commande, ou sous la grille. Entre l'eau et le piston, ou sous la grille, s'établit alors un espace vide rempli de vapeur d'eau sous sa tension de vapeur saturante correspondant à la température du lluide, et d'air à sa pression d'équilibre de dissolution dans le fluide.

A) Décollement à l'organe moteur :

Il peut se produire dès la fin de la pulsion, si la décélération est trop rapide, et pendant la période d'accélération de succion. Le phénomène est très désagréable : d'une part, le mouvement de l'eau échappe au contrôle pendant cette période, et, d'autre part, la reprise de contact entre l'eau et le piston produit un coup de bélier, générateur de vibrations pouvant être dommageables, particulièrement s'il s'établit une résonance.

Le décollement au piston se produit d'autant plus facilement que le piston est moins bas sous le niveau de l'eau dans le bac, que la résistance hydraulique du lit filtrant, de la grille et de l'ensemble du bac est plus grande. A ce point de vue, la position latérale du piston ou diaphragme est spécialement défavorable, car elle correspond très généralement à une faible profondeur sous le niveau d'eau, et à une perte de charge importante dans le coude du bac.

La position la plus favorable du piston ou diaphragme est au fond du bac, sous la grille. Le remplacement de l'eau par une suspension dense augmente l'inertie du fluide et favorise le décollement. De plus, vu le coût de la suspension, il y a intérêt à réduire le volume de fluide, en supprimant le compartiment du piston. Le bac moderne doit donc être pourvu d'un fond mobile, de la même largeur que la grille. Même dans cette position, la plus favorable au point de vue pertes de charge, volume d'eau et inertie, la plus grande accélération de succion reste limitée à celle de la pesanteur, un mouvement de descente plus accéléré du fond provoquant nécessairement un décollement.

En cas de modification de bacs existants, pour le travail à fréquence élevée et suspension dense, il importe de tenir compte du phénomène de cavitation en abaissant le plus possible la position moyenne du piston sous la grille.

B) Le décollement sous le lit.

Il se produira lorsque l'accélération du mouvement de l'eau et la résistance hydraulique de la grille, et du lit filtrant éventuel, sont grandes. Il apparaîtra surtout pour un jigging sur lit filtrant de fins grains, et pourra se manifester par un coup de bélier au début de pulsion. Son influence sur le lavage n'est pas nécessairement délavorable, mais il importe d'avoir à l'esprit que, pendant cette période, la succion échappe au contrôle et ne suit pas la loi prédéterminée par le réglage de l'organe moteur. La nouvelle loi de succion résulte du phénomène d'accélération de la masse d'eau entre la grille et le niveau libre, sous l'effet de son poids propre, et de la différence entre la pression atmosphérique et de la pression de cavitation. Pour éviter ce phénomène, il faut augmenter la hauteur du niveau libre audessus de la grille.

C) Réalisations particulières :

La réalisation de pulsations à fréquence élevée pour grains fins a conduit à la réalisation d'hydropulsateurs, dont le débit d'eau est pulsé sous l'effet de la vibration d'une membrane de détendeur, comme dans le mano-détendeur d'une bonbonne d'oxygène. Ce type de jig supprime totalement la succion, et simplifie la mécanique de l'appareil.

Les jigs à air comprimé évitent également de devoir conférer des accélérations importantes à un organe mécanique. Ils permettent de conserver la succion. Dans ce type de jig, le décollement sous la grille est impossible, car l'air est chassé de son compartiment à une pression un peu supérieure à celle de l'atmosphère, sous l'action de la pression atmosphérique et de la hauteur d'eau entre le niveau libre et le niveau dans le compartiment d'air. Cette différence entre l'accélération de pulsion et celle de succion peut être considérée comme favorable.

§ 3. - L'eau d'appoint.

Le mouvement de l'eau dans le bac et les phénomènes d'inertie qui l'accompagnent produisent une variation de la pression à la sortie de la tuyauterie d'eau d'appoint. Le débit de cette tuyauterie, établie généralement entre un bac d'équilibre et le jig, sera d'autant plus perturbé que la résistance hydraulique du tuyau et la hauteur du bac sont faibles. Economiquement, il est intéressant d'avoir de faibles pertes de charge. Dans ce cas, le débit d'appoint passera par un maximum pendant la période d'accélération de la succion, et par un minimum pendant celle d'accélération de la pulsion. Il pourra même s'inverser, dans le cas où le bac est trop bas. Comme la théorie ne fait ressortir aucun avantage sérieux à une alimentation continue en eau d'appoint, dont le rôle essentiel est de régler la succion. il est logique d'adopter une tuyauterie à faibles pertes de charge, quitte même à munir l'orifice d'un clapet s'opposant à l'inversion du débit.

Cependant, l'emploi d'une suspension dense dans le bac pourrait faire apparaître la nécessité d'une certaine régularité du débit d'appoint, pour éviter le dépôt de médium dans le bac d'alimentation et la tuyauterie, exigeant, de ce fait, l'introduction de pertes de charge régularisatrices entre un bac d'équilibre, plus élevé, et le jig.

Tome LII. - 3me livraison

La position de l'orifice d'eau d'appoint et le débit de celle-ci ont une influence marquée sur les phénomènes de décollement. Pour éviter le décollement au piston, il faut placer l'orifice le plus près possible de ce dernier.

§ 4. — Conclusions.

L'étude analytique des phénomènes hydrauliques dont le jig est le siège lors de la marche à fréquence élevée, conduit aux conclusions constructives ci-après :

- Le piston ou diaphragme latéral est à éviter. Le jig à fond mobile de même largeur que la grille est une bonne solution.
- L'eau d'appoint doit arriver dans ce fond mobile. Les orifices doivent être disposés pour créer un écoulement bien régulier, non tourbillonnaire en grand.
- 5) En cas d'emploi d'une suspension dense, il peut s'avérer nécessaire d'augmenter les pertes de charge entre le jig et le bac d'eau d'appoint pour stabiliser l'alimentation en suspension.
- 4) Le décollement sous la grille peut être évité, dans les cas où une forte succion est utile, en augmentant la hauteur du niveau d'eau au-dessus de la grille.

CHAPITRE IV

CONCLUSIONS GENERALES

Le bac à piston est généralement affligé d'une réputation de vétusté et est souvent l'objet d'un mépris immérité. Son mauvais fonctionnement provient parfois d'une méconnaissance des phénomènes dont il est le siège, et du manque de rationalité de sa construction.

Loin d'être des concurrents incompatibles, le bac et la suspension dense se complètent admirablement. La fusion des principes de suspension et de lavage dynamique peut conduire à l'amélioration d'installations existantes. Nous attirons spécialement l'attention du lecteur sur le (VIII) de la bibliographie : dans un article intitulé : « Heavy medium in the Baum jig », l'auteur, B.M. Bird, traite de l'emploi d'une suspension dense de schiste dans un jig à air comprimé, traitant du charbon, et démontre l'influence très favorable de ce procédé sur les limites de criblage.

SECONDE PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE DES LITS FILTRANTS

La première partie de la présente étude nous a permis de dégager les principes qui commandent la séparation du minerai de sa gangue, au-dessus de la grille ou du lit filtrant. Nous avons montré l'importance des phénomènes d'accélérations, et de la densité du fluide dans lequel se fait la séparation.

Dans cette seconde partie, nous exposerons les constatations que nous avons pu faire en étudiant les phénomènes de traversée des lits filtrants, dans un modèle réduit de bac à pulsations, et les conclusions auxquelles nous sommes arrivés.

CHAPITRE V

METHODE D'ETUDE DES LITS FILTRANTS

La photographie (fig 5) montre l'appareil de mesure utilisé. Il s'agit d'un cylindre, de verre de 8 cm de diamètre intérieur, se raccordant, par un joint en caoutchouc, à un fond mobile en forme de huche, qui confère à l'eau du cylindre un mouvement alternatif, sous l'action d'un excentrique réglable, entrainé par un moteur à vitesse réglable également. De l'eau d'appoint est introduite, dans le fond mobile, en quantité réglable par le robinet qu'on peut apercevoir à droite de la photographie.

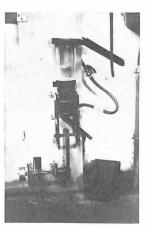


Fig. 5

Une grille est suspendue dans le cylindre. Elle soutient le lit à étudier. L'appareil matérialise ainsi une tranche du lit filtrant, en faisant abstraction du courant horizontal de l'eau.

La transparence du verre permet l'observation directe des phénomènes, en particulier des effets de parois, inévitables dans un appareil de petites dimensions.

Le lit filtrant d'un bac industriel est souvent cloisonné: ces effets de parois pourront s'y manifester d'une manière analogue, et le courant horizontal, au niveau du lit, pourra être nul. L'étude sur modèle réduit est donc transposable, sans trop de corrections dans ce cas.

La loi de vitesse de l'eau est, en première approximation du moins, la résultante d'une vitesse sinusoïdale, fournie par l'excentrique à bielle assez longue, et d'une vitesse ascensionnelle constante, obtenue grâce à une résistance hydraulique assez élevée de la conduite d'amenée d'eau d'appoint, provenant d'un bac à niveau constant.

Les données du réglage sont :

N : vitesse de rotation de l'excentrique, en t/min r : rayon de l'excentrique, en cm Vh : vitesse d'eau d'appoint, en cm/sec.

Mais nous adopterons, pour représenter le mouvement de l'eau, les variables ci-après :

1) La vitesse maximum de l'eau à la pulsion Vm :

$$Vm = Vh + \frac{\pi \cdot r \cdot N}{30}$$
, en cm/sec

Cette vitesse Vm est en relation avec les vitesses de setzage des grains.

2) La course C:

$$C = 2.r$$
, en cm

Cette course donne une idée de l'amplitude des mouvements.

5) Le pourcentage de succion h: rapport de la vitesse maximum de succion à la vitesse maximum de pulsion.

$$h = \frac{1 - \frac{30 \cdot Vh}{\pi \cdot r \cdot N}}{1 + \frac{30 \cdot Vh}{\pi \cdot r \cdot N}} \cdot 100 \quad (en \%)$$

Le but de nos expériences étant de mettre en évidence les mécanismes de traversée des lits filtrants par les grains denses et légers, de déterminer les conditions de réglage optimum, pour un lit donné, et d'établir une méthode de comparaison entre les différents lits qui peuvent être envisagés, nous avons adopté la méthode expérimentale exposée ciaprès.

On mesure séparément la quantité de grains denses et de grains légers, criblés dans le rapport envisagé pour le bac industriel, qui traverse, par unité de temps, le lit filtrant, lorsque chaque catégorie de grain se trouve seule en présence du lit, dans les mêmes conditions de mouvement de l'eau.

Si nous appelons V" le débit volumétrique, en grains lourds, et V' le débit correspondant en grains légers, dans les mêmes conditions. l'effet sélectif du lit liltrant se mesure par le pouvoir séparateur

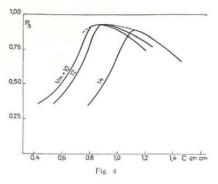
$$P_S = \frac{V'' - V'}{V''}$$

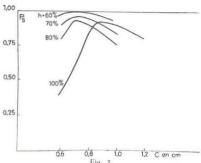
Les volumes V' et V'' résultent de la division du volume apparent de matière passée en un temps mesuré, par ce temps de passage et par un coefficient de foisonnement prédéterminé.

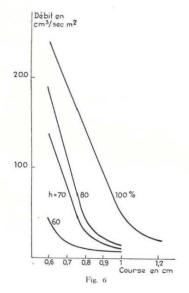
Le criblage préalable des produits est nécessaire, car il est évident, à priori, qu'un lit filtrant n'aura d'effets que pour une catégorie assez restreinte de dimensions de grains.

Le fonctionnement correct du lit filtrant a une grosse importance pour les séparations difficiles, c'est-à-dire celles à faible raison de setzage. On criblera les grains dans un rapport voisin de cette raison, pour un premier essai. Nos études ayant porté essentiellement sur le couple diamant-quartz, de raison de setzage 1.5, nous avons conduit nos essais sur la catégorie 1-2 mm (Rapport de criblage 2).

Le pouvoir séparateur Ps égale 1 pour V' = O, c'est-à-dire lorsque le lit ne laisse pas passer de léger. C'est le fonctionnement parfait du lit. Une valeur négative du coefficient Ps indique un passage plus facile du léger; nous avons pu observer le phénomène qui s'explique par la différence des coefficients de roulement et de frottement, pouvant défavoriser le dense.







Tome LII. - 3me livraison

A chaque réglage correspond un coefficient Ps. On détermine ainsi Ps pour toute une série de conditions de marche, et on porte en graphique Ps en fonction de la course, pour la même vitesse maximum Vm, et le même pourcentage de succion. La figure 4 montre, pour un travail à pleine succion, la famille de courbes obtenues. Chacune a une allure en cloche asymétrique, avec un maximum assez aigu. L'enveloppe de la famille est importante à considérer. La figure 5 montre ce que devient la courbe du maximum maximorum, lorsqu'on maintient toujours la vitesse maximum de l'eau, et que l'on diminue la succion. Enfin, la figure 6 indique les débits qui correspondent aux réglages et Ps ainsi déterminés.

L'ensemble des courbes ainsi obtenues permet :

1) De comparer entre eux des lits filtrants différents, soit par la nature, la forme et la densité des grains, soit par l'épaisseur du lit. Ces courbes constituent une véritable fiche d'identité du lit, pour une séparation déterminée. A priori, le meilleur lit est celui qui donne le Ps le plus élevé dans la zone de réglage la plus large possible, avec un bon débit spécifique en concentré.

2) De choisir, pour un lit donné, les paramètres de réglage en fonction des desiderata de teneur du concentré et de débit de l'appareil.

Elles possèdent une grande valeur théorique, car elles permettent de déterminer l'influence des divers paramètres, dans des conditions standardisées d'expérience.

Précision des mesures :

Vu la complexité des phénomènes et les effets de paroi toujours possibles, observables et devant être notés, on ne peut espérer une exactitude de plus de 10 % d'écart entre les mesures extrêmes. Nous adoptons la règle suivante : pour chaque point des graphiques, faire trois mesures au moins et accepter la moyenne lorsque l'écart des extrêmes ne dépasse pas 10 % de cette moyenne. Multiplier les mesures dans le cas contraire.

CHAPITRE VI

PRINCIPALES CONSTATATIONS EXPERIMENTALES

L'examen des familles de courbes analogues à celles des fig 4, 5 et 6 conduit aux constatations suivantes :

A) Influence de la course : A même vitesse maximum et même succion, le Ps présente un maximum souvent assez aigu. L'enveloppe de la famille de courbes Ps présente également un maximum maximorum.

B) Influence de la vitesse Vm : L'optimum se déplace vers les grandes courses lorsque la vitesse Vm croît. Ce Ps maximum croît, puis décroît avec Vm

C) Influence de la succion: Dans tous les cas, la réduction de la succion augmente le pouvoir séparateur. Elle l'augmente plus pour les lits ronds que pour les lits anguleux. La réduction de succion entraine cependant une diminution du débit en concentré. Une trop forte réduction compromet le passage des plus petits grains.

D) Influence de la granulométrie comparée du lit filtrant et de la pulpe : Le lit n'est efficace que pour un criblage assez serré de la pulpe. Comme les trous de la grille sont prévus pour laisser passer les plus gros denses, le plus petit des grains du lit filtrant devra être plus gros que ces trous. Dès que la raison de criblage de la pulpe dépasse le rapport des interstices du lit filtrant aux grains du lit, les plus petits grains traversent le lit filtrant comme une grille, à la succion, et l'effet sélectif disparaît.

Remarquons ici qu'il faut toujours établir le Ps du lit en comparant à la gamme complète des dimensions du léger, car celui-ci est généralement en grande quantité, et les gros grains légers forment des couches gênant le passage des fins légers, ce qui fait que le Ps global peut rester raisonnable malgré l'inefficacité du lit vis-à-vis des plus petits grains.

E) Influence de la forme des grains du lit: Pour le travail à grand débit et forte succion, les lits anguleux semblent préférables car leur courbe enveloppe est plus plate et leur Ps plus élevé que pour les ronds.

F) Influence de la densité du lit: Il est capital d'utiliser un lit dont la densité ne dépasse pas celle du minerai à passer, et, si possible, comprise entre celles du dense et du léger. Lorsque le lit est plus dense que le lourd, le Ps devient très mauvais. Exemple: Pour le diamant, de ds 3,5 et le quartz ds 2,65, les lits de limonite ds 3,13, et d'accompagnateurs ds moyenne 5,13 donnent des Ps maxima élevés : à pleine succion 0,92 pour la limonite et 0,82 pour les accompagnateurs. Par contre, les lits de corindon ds 4,15 ou de magnétite ds 4,54 ont des Ps très bas, et souvent négatifs.

G) Influence de l'épaisseur du lit : Lorsqu'elle augmente, le Ps maximum augmente et le débit en concentré diminue.

H) Influence de la forme et du poli des grains à passer : L'étude des lits lourds nous a clairement montré l'influence défavorable du caractère anguleux et rugueux du minerai lourd utilisé, qui gêne fortement sa traversée du lit.

 Influence des parois : On observe parfois des passages préférentiels des grains dans la zone calme voisine des parois. Les lits anguleux présentent moins d'effet de paroi que les ronds. La remarque a son importance pour les lits cloisonnés.

Conclusions: Le fonctionnement du lit filtrant n'est réellement sélectif que dans une bande de réglage assez étroite, pour un criblage assez serré des grains. Le lit doit être plus léger que le dense. Il est inutile de faire des frais pour arrondir les grains du lit filtrant.

Nous avons vérifié les résultats théoriques obtenus, en traitant un mélange de quartz et de diamant sur un lit filtrant de limonite au point de réglage correspondant à l'optimum de Ps. détecté par notre méthode expérimentale.

La pulpe est criblée dans les limites 1—2 mm. Le lit filtrant de limonite comporte 51.5 % de grains entre 5 et 4,5 mm et 48.5 % de grains de 4,5 à 7 mm. son épaisseur est de 5.1 cm. L'épaisseur du lit de quartz est de 5.8 cm. Au début de la mesure, le diamant est placé au-dessus du lit de sable, pour être dans les conditions les plus défavorables. Le lit filtrant n'est pas saturé.

Après 5 minutes de marche, 80 % des diamants sont tombés dans la huche, et les 20 % restants sont dans le lit filtrant, sauf 2 diamants, sur 305 mis en œuvre, qui sont restés coincés contre un montant du tamis, accident qui n'aurait pu se produire dans un jig réel. Le débit de sable est stabilisé, le pouvoir séparateur, calculé en remplacant les débits par les % de produit de chaque catégorie passant par unité de temps, est de 0,936, ce qui correspond bien à la valeur 0,92 trouvée. En extrapolant les résultats à une marche en régime pour le réglage choisi : Vm = 12 cm/sec, C: 0.9 cm N: 260 T/min, il est possible d'obtenir un concentré à 7,8 % en volume à partir d'un brut à 0,66 % de diamant, en une passe avec un débit en concentré de 716 cm3/min/m2. On constate que le phénomène de Ps du lit permet d'élargir la raison théorique de criblage de 1,51 à 2.

CHAPITRE VII

EXPLICATIONS THEORIQUES DU FONCTIONNEMENT DU LIT FILTRANT

Les théories que nous avons développées dans la première partie de notre étude ne nous permettent pas d'expliquer pourquoi des petits grains légers parviennent à traverser le lit filtrant, alors qu'ils devraient retomber bien après les gros grains qui le constituent. On dira évidemment que la succion les tire au travers du lit, mais ce n'est vrai que pour des grains plus petits que les interstices. Or, nous avons fait l'expérience suivante : essayer de faire tomber dans la huche des grains qui traversent très facilement le lit sous l'ellet du mouvement alternatif de l'eau, en les entrainant par un courant d'eau descendant continu. Il nous a été impossible de faire passer les grains. La succion ne constitue donc pas une explication suffisante.

Le comportement particulier du lit filtrant vis-àvis des grains de densités différentes qui le traversent résulte de la coexistence de deux phénomènes :

1) Le mouvement de diaphragme du lit siltrant :

Dans un fluide au repos, ou dans un courant d'eau descendant, la disposition la plus stable des grains d'un lit filtrant est l'imbrication des grains de chaque couche dans les creux entre grains de la couche inférieure. Ce quinconçage a pour effet de réduire fortement la surface horizontale libre entre grains, particulièrement lorsqu'ils sont anguleux et ont tendance à s'imbriquer exactement.

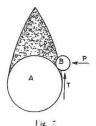
Par contre, dans un courant ascendant suffisamment fort, les courants interstitiels refoulent latéralement les grains. La position stable est cette fois la disposition en files verticales des grains, chacun se plaçant dans la trainée de son inférieur, l'ensemble réalisant le minimum de résistance hydraulique.

Sous l'effet des variations cycliques de la vitesse de l'eau. les orifices horizontaux du lit s'ouvrent et se ferment alternativement. Le lit aura un fort pouvoir séparateur pour un réglage tel que l'arrivée des grains lourds coïncide avec la grande ouverture de ces diaphragmes et l'arrivée des légers avec leur fermeture.

Ce qui prouve ce mouvement latéral, outre l'observation visuelle, c'est l'effet de «crowded settling», qui provoque une classification dimensionnelle inverse des grains du lit. Nous avons systématiquement placé les grains du lit filtrant en ordre de diamètres décroissants vers le haut; après un certain temps de service, la classification inverse s'est toujours établie, avec les plus petits sur la grille.

2) Le couplage des grains.

La figure 7 illustre ce phénomène. Le gros grain A, tombant en mouvement relatif dans le fluide, est



suivi d'une traînée turbulente, en forme d'ogive. Un petit grain B, suffisamment petit pour être tout entier compris dans cette ogive, sera soustrait à l'action du courant relatif, et, de ce fait, couplé au gros. Il tendra à rouler et à glisser sur ce dernier. pour tomber hors de l'ogive, mais l'action des courants interstitiels, déterminée par la vitesse de chute assez élevée du couple de grains, voisine de celle du gros grain, se manifestera par l'apparition d'une force de traînée T et d'une force de portance P, qui resoulent le grain B dans la zone tourbillonnaire. Il va donc s'établir un équilibre entre les couples et les forces au point de contact A-B : le poids du grain fournit le couple et la force de glissement moteurs, contrebalancés par un couple de roulement et un couple hydraulique, ainsi que par une force de frottement et une résultante des forces hydrauliques.

Le grain B quittera A lorsque la vitesse relative du courant tombera sous une certaine valeur critique, qui dépend de la densité de B et de ses coefficients de frottement et roulement sur A.

Au moment où B quitte A, il se trouve au bourrelet équatorial, en bonne posture pour passer sous le grain A, et possède la même vitesse relative que lui. Son accélération vers le bas sera

$$j = go - K \cdot \frac{Vr^2}{d \cdot D}$$

si D est son diamètre et d sa densité, alors que le grain de lit aura une accélération

$$j' = go' - K \cdot \frac{Vr^2}{d' \cdot D'}$$

Le gros grain aura une accélération plus grande, sauf si son g'o est suffisamment plus petit que go. Lorsque les accélérations du mouvement de l'eau sont grandes, nous avons dit que les grains pouvaient subir un freinage avec inversion de trainée. A ce moment, le petit grain est chassé vers le bas. Son accélération devient

$$j = go + K \cdot \frac{Vr^2}{d \cdot D}$$

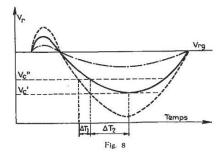
alors que celle du grain de lit est

$$j' = go' + K \cdot \frac{Vr^2}{d' \cdot D'}$$

L'accélération du petit sera facilement plus grande que celle du grand, et le petit se faufile sous lui.

Un petit grain traverse le lit filtrant en contournant les grains de lit, pendant la succion, et en se réfugiant dans les zones tourbillonnaires de trainée pendant la pulsion.

De la combinaison de ces deux phénomènes résulte le pouvoir séparateur du lit filtrant. Les couples se dissocieront d'autant plus tôt, pour une valeur de Vr d'autant plus grande que le petit grain est plus dense et possède des coefficients de roulement et frottement plus petits. Le petit grain dense pourra ainsi quitter le grain de lit en fin de pulsion, alors que le lit est bien ouvert, tandis que le petit grain léger ne le quittera qu'à la succion, lorsque le lit est compacté. L'influence des accélérations sur le phénomène est bien illustrée par la considération de la loi de vitesse relative du couple, donnée à la figure 8.



Nous portons en ordonnée les vitesses relatives, par rapport à l'eau, en abscisse le temps, V" est la vitesse pour laquelle le grain dense quitte le grain de lit, V' celle pour laquelle le grain léger se sépare. Vrg la vitesse de setzage du couple (nous négligerons en première approximation la différence des poids des petits grains denses et légers vis-à-vis de celui des grains de lit). Lorsque le mouvement de l'eau est fortement accéléré, le couple obéit à la loi I, qui rencontre les horizontales V" et V' dans la partie redressée de la sinusoïde déformée. Les deux grains quittent leur grain associé à un intervalle de temps Δ T1, très petit, alors que le lit filtrant est fortement ouvert. Le Ps est mauvais. La zone tourbillonnaire peut même s'inverser en fin de pulsion, circonstance qui provoque la dislocation simultanée des couples et donne un Ps nul. Pour une accélération plus faible, de loi 2, la rencontre peut se faire au voisinage du minimum de vitesse; la différence de temps Δ T2 est élevée. Le diaphragme du lit a le temps de se refermer entre les instants de départ. Ensin, lorsque les accélérations deviennent trop faibles, la courbe 3 ne rencontre pas les deux horizontales. Les grains denses et légers quittent en même temps leurs associés, au moment où ces derniers se déposent, en pleine succion, et que les ogives tourbillonnaires s inversent, au moment où le lit est presque complètement fermé. De nouveau, le Ps est très mauvais, et peut être négatif, car les coefficients de frottement prennent une grande importance à la traversée d'un lit fermé.

Le très mauvais comportement des lits lourds et l'intérêt d'avoir un lit filtrant plus léger que le dense à passer sont bien mis en évidence par les considérations d'accélération. La théorie montre bien pourquoi le lit ne peut être efficace que pour certaines catégories de dimensions.

Si l'eau du jig était remplacée par une suspension dense. l'écart des vitesses critiques et des accéléra-

tions au décollement serait plus grand, et la sélectivité du lit serait certainement renforcée moyennant un ajustement du réglage.

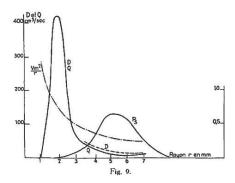
Les bacs à pulsations dans les lavoirs modernes

Comme vérification expérimentale, outre l'observation visuelle du phénomène de traversée du lit, nous apporterons l'étude de la figure 9 établie pour une vitesse maximum Vm déterminée et la pleine succion. Les courbes Q et D donnent respectivement, en sonction du rayon d'excentrement, les débits en

quartz et en diamant, dont le rapport
$$\frac{D-Q}{D}$$
 donne la courbe Ps. La loi d'accélération maximum du

mouvement de l'eau est l'hyperbole
$$\frac{Vm^2}{r}$$

Pour un rayon plus petit que le millimètre, ce qui correspond au plus petit diamètre de grain à passer, les accélérations sont très fortes, mais rien ne passe : l'amplitude du mouvement est trop faible et ne permet pas aux interstices de s'ouvrir suffisamment, les frottements entre grains du lit et l'inertie de ces derniers s'opposant au mouvement latéral. Lorsque la course augmente, le débit passe très brusquement par un maximum aigu : le point critique correspond à une ouverture du diaphragme supérieure au diamètre des plus gros grains à passer. Les très fortes accélérations font tomber tous les grains, indistinctement, et le Ps est nul.



Au fur et à mesure que le rayon croît, les accélérations diminuent d'abord rapidement, puis de plus en plus lentement. Les petits grains quittent ceux du lit de plus en plus tard, et ont donc de plus en plus difficile à traverser le lit, mais la sélectivité joue et le pouvoir séparateur augmente. Cependant, comme les accélérations continuent à décroître, les petits grains ne quittent plus le lit qu'au moment de l'inversion du courant d'eau relatif, quand le lit est compacté par la succion, et l'effet différentiel se réduit puis disparait.

Le minimum assez plat des courbes de débit s'explique par le fait que la compaction du lit, à pleine succion diminue avec les accélérations qui donnent une idée de la violence des chocs au dépôt.

On constate à nouveau l'incompatibilité entre une séparation convenable et un débit élevé de l'appareil.

CHAPITRE VIII

CONCLUSIONS GENERALES

Nous pensons que la méthode d'étude que nous avons eu l'occasion de mettre au point dans les laboratoires de préparation mécanique de l'Université Libre de Bruxelles permet de conduire scientifiquement un jig à lit filtrant, en fournissant tous les renseignements désirables sur le fonctionnement du lit.

Lorsque la proportion en lourds est faible dans la pulpe, il ne se formera pas de lit dense, et c'est le pouvoir séparateur du lit filtrant qui sera l'élément déterminant pour le choix du réglage.

Lorsqu'il existe suffisamment de dense pour former un lit tampon entre le léger et le lit filtrant, le réglage du jig doit assurer le meilleur fonctionnement d'ensemble, qui ne coïncidera pas, nécessairement, avec l'optimum du lit filtrant. Mais notre modèle réduit, peu coûteux à réaliser, permet l'étude de lits superposés.

Nous avons eu l'occasion d'établir et de vérifier expérimentalement une théorie du comportement des lits filtrants. On peut se demander si les phénomènes observés pour le lit filtrant ne se passent pas également dans le lit de lavage, ce qui perturberait sensiblement la marche réelle par rapport à la marche théorique étudiée dans la première partie.

En fait, on observe parfois, à pleine succion, le passage dans la huche de fins légers, et, seule, la notion de couplage des grains permet d'expliquer le phénomène. Cependant, son importance est assez réduite dans la pulpe, d'une part parce qu'il n'y a généralement pas de discontinuité de dimension des grains comme au contact du lit filtrant, et que, de ce fait, les grains ne peuvent que rarement occuper tout entiers les zones de trainée des grains de la couche qui est immédiatement sous eux, et, d'autre part, parce que les grains se chassent l'un l'autre. Le phénomène de couplage pourra se manifester sensiblement dans la zone mixte, lorsque le rapport théorique de setzage est grand. Le gros léger est environné de petits équivalents denses,

qui peuvent se réfugier dans sa trainée. Mais nous retombons sur les phénomènes statistiques décrits sous le nom de modification de la poussée d'Archimède et de viscosité apparente des lits de lavage.

L'étude théorique des lits confirme ce que nous disions, en conclusion de la première partie, sur l'intérêt de·l'utilisation d'une suspension dense pour améliorer le fonctionnement des jigs.

CHAPITRE IX

BIBLIOGRAPHIE

En français : La littérature française est assez pauvre en ouvrages originaux sur le sujet :

Cribles à secousses. (Revue du Génie Civil — 20 janvier 1940).

- En anglais :
- FINKEY, Joseph: The scientific fundamentals of gravity concentration. Official publication of School of Mines and Metallurgy University of Missouri. (Rolla, Missouri. 1950).
- G. AUDIN: Principles of Mineral Dressing. (Edit. Mac-Graw-Hill Book Co. New-York and London 1939.)
- 5 TAGGART, Arthur : Handbook of Ore dressing.
- 4 TAGGART, Arthur: The mecanism of jigging. (Transaction of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers V. 153 Metal Mining and Milling 1945.)
- 5 RICHARDS, Robert, and LOCKE, Charles: Textbook of Ore dressing. (Edit. Mac Graw-Hill Book Co New York London 1940).
- 6 DALLA VALLE, J.M.: Micromeritic, the technology of fine particles, (Ed. Pittman Publishing Corporation New York and Chicago).
- 7 DYER, Frederic: The scope for reverse classification by crowded Settling in Ore dressing Practice. (Engineering and Mining Journal, Vo 1127-1929).
- 8 BIRD, Byron : Heavy medium in the Baum jig. (Rev. Coal Age. New York. Fevrier 1948).
- 9 BIRD, Byron: Precision Jigging as a substitute for laboratory sink-and-float. (U.S. Bureau of Mines R.I. 3769, Juillet 1944).
- 10 KENNEDY, F.A.: Where jig replaced slutce boxes (Engineering and Mining Journal. Juillet 1938).
- 11 ANON: A jig for concentrating diamond (Engineering and Mining Journal 126-19, 1928).
- 12 ANON: Southwestern Kraut Hydromotor. (Engineering and Mining Journal. 140-81 Sept. 1959). En allemand:

LANGER: Ce qui se passe pendant le setzage. (Rev. Glückauf 19 juin 1948).

GLOCKEMEIER, G. : La préparation des graviers du S-W Africain. (Rev. Metall und Erz Octobre 1921).

Nouvelles recherches en vue de produire l'énergie électrique à bon marché au moyen des combustibles (*)

par K. BISCHOFF et E. JUSTI

Traduit par L. DENOEL, Professeur émérite de l'Université à Liège.

I. - Position du problème

Celui qui a visité une grande centrale moderne d'énergie électrique ne peut manquer d'admirer l'imagination disciplinée et l'intelligence qui s'y manifestent dans chaque détail comme dans le plan d'ensemble. Tout profane demeure stupéfait d'apprendre que, dans une installation ordinaire, on ne transforme en énergie électrique que 18 % el l'énergie fournie par la combustion du charbon et, dans une supercentrale particulièrement coûteuse, tout au plus 28 %. Cela revient à dire que, de quatre mineurs qui extraient le charbon, il n'y en a qu'un qui fasse un travail réellement utile et que les trois autres travaillent en pure perte.

Etant donné la perfection atteinte par la technique dans le détail, il faut bien soupçonner ici une erreur de principe. Celle-ci n'est pas difficile à trouver. Le premier principe de la dynamique, celui de la conservation de l'énergie, nous apprend que nous ne pouvons ni créer ni détruire de l'énergie, mais simplement la changer de forme, c'est-à-dire transformer l'une dans l'autre les énergies mécanique, calorifique, chimique, magnétique, électrique. Pour prendre une exemple familier, au temps des restrictions et des contingentements, chaque ménage avait droit à une certaine quantité de gaz d'éclairage ou à une quantité de kWh susceptible de fournir la même chaleur que la combustion du gaz.

Un second principe beaucoup moins connu, c'est celui de la hiérarchie des diverses sources d'énergie: ainsi, l'électricité, le magnétisme, les énergies chimique et mécanique ont une grande valeur, tandis que la chaleur n'en a qu'une faible. Cela signifie qu'on peut convertir entièrement l'électricité en chaleur, mais qu'inversément il est impossi-

ble de convertir sans perte la chaleur en électricité. L'expérience de chaque jour permet de rendre compte de l'irréversibilité. Laissons tomber une masse m d'une hauteur h sur un sol dépourvu d'élasticité. Nous engendrons une énergie cinétique E = mgh qui, freinée entièrement, produirait une certaine chaleur et pourrait servir à augmenter la température du support de $\Delta T = E : C$. (C étant la chaleur spécifique de la matière). Mais, il est évidemment absurde de s'attendre à ce que la pierre se soulève par suite du refroidissement du support. Et cependant, en vertu du principe de la conservation de l'énergie, ce ne serait pas exclu.

Ceci nous fait saisir l'erreur de principe des centrales thermiques; ici l'énergie électrique de grande valeur, latente dans la réaction chimique carbone + oxygène, est transformée par la combustion directe en une énergie thermique de valeur beaucoup moindre; on a de grandes difficultés à retransformer la chaleur en électricité et l'on n'y parvient qu'en partie et en passant par la machine à vapeur ou la turbine et la dynamo.

Le diagnostic de la maladie suggère le remède; on doit éviter le détour et extraire l'énergie électrique directement de la combinaison chimique carbone + oxygène. Ceci paraît a priori avantageux, en ce sens que dans le CO₂ la liaison entre C et O s'opère par les quatre charges électriques positives de l'atome de carbone et les deux charges négatives de chacun des atomes d'oxygène, exactement de la même façon qu'un bâton de résine frotté attire les parcelles de papier.

Empêcher ces charges de s'unir immédiatement en produisant de la chaleur en court-circuit comme dans un foyer ordinaire et au lieu de cela les transformer en un courant utilisable, telle serait l'idée d'une, production rationnelle de l'énergie électrique à partir du charbon. Que ce procédé soit théoriquement possible, c'est ce que nous enseigne la pile électrique de poche dans laquelle on brûle du zinc et l'on produit non pas de la chaleur, mais de la lumière électrique. La pile combustible

⁽¹⁾ Conférence donnée par E. Justi, le 2 mars 1951, à la Gesamtsitzung der Akademie der Wissenschaften und der Litteratur, à Mayence. (Compte rendu dans Jahrbuch 1951 der Akademie der Wissenschaften und der Litteratur).