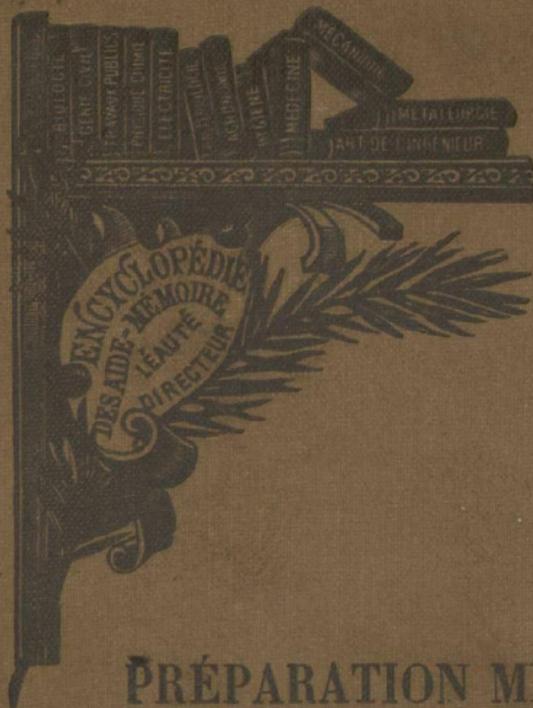


Section de l'Ingénieur



F. RIGAUD

PRÉPARATION MÉCANIQUE

DES MINÉRAIS

RÉSUMÉ PRATIQUE

GAUTHIER-VILLARS

ENCYCLOPEDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSITUT

F. Rigaud - Préparation mécanique des Minerais 1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie
Scientifique des Aide-Mémoire : L. ISLER, Secrétaire
Général, 20, boulevard de Courcelles, Paris.*

N° 374 B.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

PRÉPARATION MÉCANIQUE
DES MINÉRAIS

RÉSUMÉ PRATIQUE

PAR

F. RIGAUD

Ancien Ingénieur en Chef des Mines,
Expert près la Cour d'Appel de Paris

PARIS

GAUTHIER-VILLARS

IMPRIMEUR-ÉDITEUR

Quai des Grands-Augustins, 55

MASSON et C^{te}, ÉDITEURS,

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)

*OUVRAGES DE L'AUTEUR PARUS
DANS LA COLLECTION DE L'ENCYCLOPÉDIE*

- I. Expertises et arbitrages.**
- II. Préparation mécanique des minerais. Résumé pratique.**

AVANT-PROPOS

La théorie de la préparation mécanique, c'est-à-dire le calcul des mouvements de particules solides dans un milieu liquide, a fait l'objet de nombreux traités : on la trouvera surtout comme dernière partie des cours d'exploitation des mines de Callon, Haton, et dans l'œuvre de Rittinger.

La description des appareils formerait à elle seule une bibliographie très considérable, comprenant des ouvrages spéciaux comme celui de Linkenbach, et surtout de magnifiques catalogues de constructeurs, comme ceux des maisons Humboldt, Fraser-Chalmers, Gruzon, etc.

Le travail des ateliers de préparation a été décrit dans de nombreux mémoires comme celui de Carnot aux *Annales des Mines*, et dans les périodiques allemands.

Les appareils et les systèmes inventés sont presque tous bons, mais à la condition de mettre chacun d'eux à sa place. Il n'y a pas de panacée universelle ici plus qu'ailleurs, et le but du présent ouvrage est de discuter les éléments per-

mettant à l'ingénieur de choisir l'ensemble le plus simple possible des appareils à installer pour tirer d'une matière brute des produits vendables sans exagérer les frais d'établissement, les dépenses d'entretien ni les pertes sèches.

C'est là le côté pratique de la question, assez généralement négligé dans les ouvrages spéciaux sur cette matière.

BUT DE LA PRÉPARATION

La nature fournit au mineur des produits fort complexes, des *minerais bruts* formés de particules hétérogènes : envisagées isolément, certaines de ces particules sont sans valeur marchande ou doivent être considérées comme telles dans les conditions où on opère, et on les appelle *gangue* ; les autres sont l'objet du travail et constituent le *minerai*.

La préparation mécanique a pour but l'élimination aussi complète que possible de la gangue ; plus cette élimination est parfaite, et plus le produit recueilli a de valeur sur place. En effet la valeur marchande est le prix de la partie utile au lieu de consommation, diminué des pertes au traitement, des frais de traitement, des frais de transports, commissions, etc., et tous ces derniers sont sensiblement proportionnels au poids brut.

Si, par exemple, on applique la formule bien

connue donnant le prix de vente de la tonne de minerai de zinc au carreau de la mine

$$p = 0,95 P \frac{t - 8}{100} - 65 - T$$

au cas où la valeur de la tonne de zinc pur P est de 500 francs et les frais de transport et accessoires T de 20 francs seulement par tonne, on trouve au point de départ les valeurs suivantes par tonne de minerai préparé et par tonne de zinc :

| Teneur 0/0 | Valeurs par tonne de minerai en francs | Valeurs par tonne de zinc en francs |
|---------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 30 | 19,50 | 65,00 |
| 40 | 67,00 | 167,50 |
| 50 | 114,50 | 229,00 |

C'est ce dernier chiffre qui intéresse surtout l'exploitant, car le produit journalier de sa mine consiste en minerais bruts renfermant en tout un certain nombre de tonnes de zinc, et on voit que la recette effective journalière s'élèverait presque au quadruple si l'on pouvait enrichir tout le minerai à 50 0/0 au lieu de 30 0/0.

Il y a donc, de ce chef, nécessité de pousser l'enrichissement aussi loin que possible ; mais, à l'encontre, cet enrichissement ne peut s'obtenir sans frais et pertes. Ceux-ci progressent lentement au début de l'enrichissement, mais s'accroissent brusquement ensuite, et on peut dire

approximativement que frais et pertes s'élèvent en progression géométrique pendant que la richesse monte en progression arithmétique. Il y a donc une limite à laquelle une amélioration d'enrichissement devient une cause de perte pour le producteur. Ainsi, dans le tableau précédent, on voit qu'il y aurait désavantage à chercher à pousser la teneur de 40 à 50 ‰, si cela coûtait 61^{fr},50 par tonne de zinc.

Cette importante question ne peut malheureusement être traitée par le calcul, faute de connaître les lois de ces dépenses, fort variables suivant les circonstances. L'expérience et la critique des usines similaires montreront à l'ingénieur comment il doit établir son projet dans chaque cas, et après avoir créé son installation il ne pourra plus que tâtonner pour améliorer les résultats économiques de son travail.

La question devient encore plus difficile à résoudre quand les minerais bruts sont *complexes*, c'est-à-dire susceptibles de fournir par *préparation* plusieurs produits vendables ou *marchands*; dans ce cas, à l'*enrichissement* général dont nous venons de parler, il faut joindre la *séparation*, aussi parfaite qu'il est économiquement possible, des divers produits vendables et l'*enrichissement* de chacun d'eux. Trois minéraux réunis ne sont, en effet, guère payés que suivant la formule appliquée exclusivement au métal prédominant; les autres minéraux sont donc perdus et, en outre, leur présence abaisse d'au-

tant la teneur payée ; en sorte que le mélange peut être invendable, tandis que, par la séparation, on obtiendrait des valeurs notables ou importantes. Mais la séparation ne s'effectue pas sans frais et pertes, et beaucoup de sens pratique est nécessaire, dans chaque cas, pour déterminer comment et jusqu'où doit être poussée la préparation.

Il ne faut pas oublier non plus que la préparation n'a pas seulement affaire à des grains isolés de deux ou trois natures différentes. Outre de pareils grains, le produit d'un broyage renferme beaucoup de parcelles *mixtes*, c'est-à-dire composées de plusieurs minéraux soudés ensemble. On a ainsi des grains de toutes les densités intermédiaires entre la plus forte et la plus faible, et comme les procédés de séparation sont tous basés sur les densités, cette observation montre qu'il ne saurait être question de réaliser des préparations mécaniques parfaites et sans pertes.

MOYENS DE LA PRÉPARATION MÉCANIQUE

La première question qui se présente est d'isoler autant que possible en grains distincts les divers minéraux composant le produit brut. On s'efforce d'y arriver par des broyages et débourbages, sans que ce but puisse être complètement atteint, comme nous venons de le dire. On sera

donc toujours réduit, en pratique, à rejeter certaines séries de grains mixtes, ou à subir l'abaissement de teneur et de valeur que cause leur présence dans les minerais vendus.

La seconde question est de séparer ces grains par nature.

Cette séparation peut parfois avantageusement s'opérer sur le minerai broyé par des opérations chimiques ou métallurgiques, dont l'examen sortirait de notre cadre; dans un cas particulier, on peut effectuer la séparation grâce aux propriétés magnétiques différentes des diverses sortes de minéraux mélangés; mais, dans tous les autres cas, et sauf à s'aider accessoirement d'artifices connexes comme l'amalgamation ou le graissage, on cherche à différencier les catégories par leurs densités. Il résulte immédiatement de là que la préparation mécanique est généralement impossible, si l'on a plusieurs minéraux de même densité dans le mélange, et relativement facile, si l'on n'a en présence que deux ou trois minéraux de densités fort éloignées; mais le tableau des densités des minéraux les plus intéressants met en évidence les difficultés que l'on rencontre, en général, dans la pratique, faute d'écart suffisant entre les densités des éléments que l'on désire séparer.

On augmente relativement cet écart en effectuant les opérations dans un milieu fluide assez dense, puisque les densités relatives sont alors diminuées chacune de celle du milieu; ainsi

entre la houille et les schistes houillers, le rapport des densités dans l'air est $\frac{2,6}{1,3} = 2$, tandis que, dans l'eau, ce rapport devient

$$\frac{2,6 - 1}{1,3 - 1} = \frac{1,6}{0,3} = 5,33.$$

Comme d'ailleurs, industriellement, on n'a guère le choix qu'entre l'air et l'eau, on voit que la pratique choisira presque toujours l'eau ; peu importe qu'il s'agisse d'eau de mer ou d'eau douce, car les opérations de la préparation ne sont pas assez précises pour tenir compte de différences de 2 ou 3%. Pour le lavage des houilles seulement, une très forte salure offrirait quelque intérêt.

Ce n'est que dans les laboratoires que l'on peut songer à l'emploi de liquides très denses, malheureusement trop chers, comme l'iodure de zinc, le diborolungstate de soude, etc. Cependant nous verrons, dans l'amalgamation, le mercure jouer le rôle de milieu fluide de haute densité.

Sauf ces rares cas spéciaux, la théorie de la préparation mécanique est celle du mouvement des corpuscules solides dans l'eau immobile ou en mouvement, et l'opération courante tente de classer ces corpuscules par ordre de densités.

Mais ce classement ne peut se bien faire qu'entre des corpuscules de même forme et de même dimension, ou tout au moins assez voisins les uns des autres à ces deux points de vue ;

il s'ensuit corrélativement une troisième opération consistant en un classement par grosseurs.

C'est à ces trois nécessités que répondent les nombreux appareils que nous allons sommairement passer en revue, mais en insistant seulement sur ceux qui ont des applications fréquentes et variées.

Les appareils de broyage et ceux de classement par grosseurs forment deux chapitres naturels ; quant aux appareils d'enrichissement, nous les avons rangés d'une manière un peu arbitraire, en réservant un chapitre spécial pour les cribles dont le rôle est prépondérant dans la grande majorité des cas à étudier.

MOUVEMENT DES SOLIDES DANS LES FLUIDES

Sans revenir sur les calculs qu'on trouvera, par exemple, dans le cours d'exploitation de Haton, nous devons rappeler ici les résultats de ces calculs et les données pratiques déterminées surtout par Rittinger, en les réduisant à ce qui est indispensable pour suivre les discussions subséquentes.

Vitesse limite. — Appelons d , la densité du solide, v , sa vitesse relative par rapport au fluide et l , son diamètre ou celui d'une sphère de même volume, a , b , K , A des coefficients numériques. Le calcul montre qu'une particule solide, abandonnée à elle-même dans l'eau immobile, prend

une vitesse verticale croissante qui, au bout d'un temps infini, atteindrait une vitesse dite *vitesse limite*.

En pratique, au contraire, la vitesse de chute devient constante sensiblement au bout d'un temps très court dépendant du volume de la particule solide, et les chiffres du tableau ci-dessous sont même déjà exagérés au point de vue des applications.

Tableau I

| Diamètres des sphères en millimètres | Temps en secondes au bout duquel la vitesse limite est pratiquement atteinte |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,10 | 0,08 |
| 0,25 | 0,12 |
| 0,50 | 0,17 |
| 1,00 | 0,25 |
| 2,00 | 0,35 |
| 4,00 | 0,50 |
| 8,00 | 0,70 |
| 16,00 | 1,00 |

On remarquera que ces durées croissent à peu près proportionnellement aux racines carrées des diamètres.

L'expression théorique de la vitesse limite, corroborée par l'expérience est $\sqrt{\frac{a}{b} l(d - 1)}$ et son application donne les valeurs du tableau III. Par expérience, Rittinger a constaté que le coefficient $\sqrt{\frac{a}{b}}$ qui y entre est réellement assez cons-

tant pour des particules de même forme et a été établi sa valeur pour les cas les plus utiles :

Tableau II

| Forme des grains | Valeur du coefficient $\sqrt{\frac{a}{b}}$ |
|----------------------------------|-----------------------------------------------|
| Grains parfaitement sphériques . | 5,11 |
| Grains grossièrement arrondis . | 2,73 |
| Valeur pratique d'un ensemble . | 2,44 |

C'est donc à peu près la valeur correspondant aux grains grossièrement arrondis qu'il faut adopter pour l'ensemble des sables qui ont traversé un certain tamis ; et avec ces coefficients on calcule le tableau III ci-après.

Ces vitesses limites sont aussi celles auxquelles se réduit rapidement la vitesse d'un projectile arrivant dans l'eau à grande vitesse, et celles que doit avoir un courant d'eau ascendant pour soulever de son support une masse solide immobilisée jusque-là par son poids.

Première phase. — Au premier moment de la chute en eau immobile, la résistance de l'eau (l'effort de ce liquide contre la vitesse), est sensiblement nulle parce qu'elle s'accroît proportionnellement au carré de la vitesse relative. Le corps solide tombe donc comme si l'eau ne résistait pas et sa vitesse est $v = g \frac{d}{d} t$, indépendante des dimensions du corps. Donc, au dé-

Tableau III. — VITESSES LIMITES CALCULÉES

| Diamètres | Sphère de plomb $d = 11$ $\sqrt{\frac{a}{b}} = 5,11$ | | Substances tamisées $\sqrt{\frac{a}{b}} = 2,44$ | | |
|---------------|------------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | millim. | millim. | Pyrite $d = 5$ | Schiste $d = 2,3$ | Houille $d = 1,3$ |
| $\frac{1}{2}$ | 0,36 | millim. | millim. | millim. | millim. |
| 1 | 0,51 | 0,109 | 0,060 | 0,030 | 0,030 |
| 2 | 0,72 | 0,154 | 0,084 | 0,042 | 0,042 |
| 3 | 0,88 | 0,218 | 0,119 | 0,060 | 0,060 |
| 4 | 1,02 | 0,267 | 0,146 | 0,073 | 0,073 |
| 6 | 1,27 | 0,369 | 0,169 | 0,084 | 0,084 |
| 8 | 1,43 | 0,378 | 0,207 | 0,103 | 0,103 |
| 10 | 1,60 | 0,436 | 0,239 | 0,119 | 0,119 |
| | | 0,488 | 0,267 | 0,134 | 0,134 |

but de la chute libre, les corps les plus lourds prennent l'avance sur les moins denses, quelles que soient les dimensions respectives.

Mais cet état de choses ne dure qu'un temps fort court, et le tableau IV montre qu'au bout de peu de centièmes de seconde, la résistance de l'eau intervient notablement pour réduire la vitesse v , même pour une sphère de pyrite de densité 5 et de 10 millimètres de diamètre; le tableau IV donne, en outre, les espaces e parcourus verticalement jusqu'à ce moment, et montre qu'au bout de 0",30 la vitesse limite est pratiquement atteinte.

Tableau IV

| Temps de chute | Avec la résistance | | Sans la résistance | |
|----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | v | e | v | e |
| $t = 0^{\text{e}}01$ | $v = 0^{\text{m}},08$ | $e = 0^{\text{m}},0004$ | $v = 0^{\text{m}},08$ | $e = 0^{\text{m}},0004$ |
| 0 02 | 0, 15 | 0, 0014 | 0, 16 | 0, 0016 |
| 0 06 | 0, 34 | 0, 0100 | 0, 36 | 0, 0108 |
| 0 10 | 0, 72 | 0, 0350 | 0, 79 | 0, 0395 |
| 0 20 | 0, 97 | " | 1, 58 | " |
| 0 40 | 1, 01 | " | " | " |
| Vitesse limite | 1, 02 | " | " | " |

A remarquer que la durée de la période où la résistance agit trop peu pour en tenir compte en pratique, n'atteint pas $\frac{1}{10}$ de seconde, et qu'à ce moment, le corps tombant a déjà parcouru une hauteur égale à 3 fois environ son diamètre.

Équivalence. — Un peu plus tard, les corps atteignent leur vitesse limite $\sqrt{\frac{a}{b}l(d-1)}$, vitesse qui est d'autant plus rapidement atteinte et d'autant plus petite que $\sqrt{l(d-1)}$ est plus faible ; appelant ce produit l'équivalence ou le coefficient d'équivalence du corps, on voit qu'après peu de temps le corps qui a l'équivalence la plus forte dépasse dans son mouvement celui qui a équivalence faible.

Si les équivalences se suivent dans le même ordre que les densités, c'est-à-dire si, pour le corps le plus dense, $l(D-1)$ est au moins égal à $L(d-1)$ du corps le moins dense, on comprend que le classement par ordre de densités produit dans la *première phase* de la chute se maintient ou se perfectionne par la suite ; mais, si $l(D-1) = L(d-1)$, le classement ne peut que se maintenir, et il disparaît rapidement si $l(D-1)$ est plus petit que $L(d-1)$, c'est-à-dire si le corps de faible densité est trop gros.

Nous verrons que certains appareils ne classent que par équivalence ; dans ceux-ci, pour que le classement soit en même temps dans l'ordre des densités, il faut que les particules soient classées en grosseur par passage dans des tamis successifs pour lesquels le rapport des diamètres des trous de deux tamis consécutifs $\frac{L}{l}$ soit au plus égal au rapport des densités des corps à séparer, comptées dans l'eau $\frac{D-1}{d-1}$.

Entraînement. — Pour des matières posées sur un tamis, comme nous l'avons dit, il n'y a soulèvement que quand un courant d'eau ascendant a une vitesse supérieure à la vitesse limite ; par conséquent, le soulèvement dépend de l'équivalence.

Il en est de même pour les matières immobiles sur le fond d'un canal, et qui sont entraînées seulement quand la vitesse de l'eau dépasse une certaine fraction de la vitesse limite.

Mais, quand les matières sont en suspension toutes ensemble dans un courant d'eau lent et à peu près horizontal, leur mouvement relatif est analogue à une première phase de chute, et ce sont les grains les plus denses qui arrivent le plus vite à toucher le fond.

Mouvement parabolique. — Un projectile lancé horizontalement dans une masse d'eau immobile avec une certaine vitesse, y décrit une courbe parabolique d'autant plus courte que son équivalence est plus faible.

Mais si le projectile est lancé dans l'air, dont la densité est négligeable vis-à-vis de celle du solide, la durée de la chute pour une certaine hauteur est $t = \frac{d}{A} \left(\frac{1}{v} - \frac{1}{v_0} \right)$; donc le temps augmente avec la densité seulement ; par conséquent, les grains les plus denses vont plus loin que les grains légers, et sauf les difficultés pratiques, un classement suivant les densités est réalisable et a été réalisé par lancement d'un mélange dans l'air immobile.

CHAPITRE PREMIER

—

TRAVAIL SANS MOTEUR MÉCANIQUE

I. TRAVAIL PAR ENTRAÎNEMENT

Orpillage, table dormante. — Le plus ancien et le plus simple appareil de préparation mécanique est la *table dormante*, c'est-à-dire une surface plus ou moins plane et raboteuse, ayant une notable inclinaison suivant sa longueur. Sur elle, glisse une mince nappe d'eau tenant en suspension la matière à laver, en grains fins naturels comme des sables d'alluvion, ou broyée au pilon ou à la meule.

En théorie, les grains solides ayant la même vitesse que l'eau qui les entraîne, se trouvent dans des conditions analogues à celles du début de la chute en eau calme; les plus lourds descendent plus vite que les moins denses; c'est-à-dire touchent le fond les premiers, plus près de la tête de la table. Il y a donc tendance au classement dans l'ordre des densités dans l'eau : $d - 1$. On fait le fond de la table un peu rugueux, ou poilu comme la toison d'or des anciens pour préserver, contre l'entraînement, les grains parvenus

au fond et pour maintenir fixe le classement opéré.

Le lieu d'arrivée de la *lavée* ou *tête* de la table, reçoit tout de suite les grains les plus denses de la partie la plus profonde de la nappe d'eau ; un peu plus loin se dépose un mélange formé des grains les plus denses d'une seconde tranche de la nappe d'eau, et de grains plus légers empruntés à une tranche inférieure, et qui ont eu moins d'espace vertical à parcourir. La table doit être assez longue pour que les grains denses de la surface aient eu le temps d'arriver au fond, et il reste dans le courant les grains légers, pour lesquels cette durée a été insuffisante. La richesse du dépôt va en diminuant depuis la tête jusqu'à la sortie, et il y a élimination des stériles restant encore en suspension : c'est donc un appareil d'enrichissement.

Calculant les résultats théoriques pour une lame d'eau de 1 millimètre d'épaisseur courant à la vitesse de 1 centimètre par seconde et tenant en suspension des parcelles d'or, densité dans l'eau : 17, et des grains de quartz, densité dans l'eau : 1,5, on trouve que tout l'or doit se déposer en 0^o,015 et, par conséquent, dans les 18 premiers millimètres du parcours, et que le dépôt sur la table sur cette même longueur doit contenir les $\frac{3}{5}$ du quartz. Il suffirait donc d'une table extrêmement courte pour recueillir tout l'or, mais l'enrichissement serait très faible.

La pratique donne des résultats tout différents.

Les gros grains d'or restent bien très près de la tête, mais les grains fins sont entraînés fort loin, et on en perd une forte proportion même après un kilomètre de parcours. Par contre, l'enrichissement est hors de proportion avec le rapport $\frac{5}{3}$ ci-dessus calculé, car il atteint facilement $\frac{100}{1}$.

Les causes de ces différences sont utiles à mettre en évidence parce qu'on en retrouve d'analogues dans nombre de traitements.

Sur le premier point, on comprend que les remous dans l'épaisseur de la nappe d'eau s'opposent à la régularité de la chute. Dans les remous, c'est l'effort de l'eau qui agit, et son effet est proportionnel au coefficient d'équivalence $l(d - 1)$ et non plus à la densité $d - 1$; il en résulte que les grains très petits, si denses qu'ils puissent être, sont entraînés aussi facilement que les grains légers mais plus gros. Les remous sont d'autant plus forts que la lame d'eau est plus épaisse et court plus rapidement, et c'est pour cela qu'il faut réduire au minimum ces deux éléments dans les appareils perfectionnés similaires.

Quant à l'enrichissement, il est beaucoup facilité par un phénomène important et qui semble avoir passé inaperçu jusqu'ici. Il tend à se former sur le fond, en arrière des aspérités, des amas de matières denses. Ces amas agissent à peu près comme un liquide de très haute densité pour s'opposer à l'intrusion de grains de moindre densité. Il en résulte que les grains de

quartz qui arrivent au fond, même s'ils ont une équivalence relativement très élevée, flottant pour ainsi dire sur l'amas riche, sont ainsi maintenus en relief, roulés et entraînés par le courant liquide.

Ce qu'il faut retenir de la théorie, c'est la nécessité d'avoir pour lavée une nappe très mince, animée d'un mouvement aussi régulier que possible, si l'on veut utiliser pour l'enrichissement le dépôt classé sur une table dormante.

Pratiquement, la table dormante est encore employée pour l'orpaillage, c'est-à-dire pour recueillir une partie des paillettes d'or renfermées dans des sables d'alluvion. C'est une planche inclinée, munie de rebords peu saillants, recouverte d'ordinaire d'une toile grossière ; on y fait passer quelques mètres cubes de sables aurifères avec beaucoup d'eau, puis on détache la couverture et on la secoue dans un baquet d'eau. On recueille ainsi environ 1 kilogramme de sables enrichis, renfermant peut-être $\frac{1}{3}$ de l'or contenu dans la lavée. Ce produit enrichi est ensuite repris et concentré à la batée dont nous parlerons plus loin.

L'appareil est facile à transporter pour l'employer en quelque point favorable ; le rendement en est très médiocre, mais le travail fort rapide. Il n'a de raison d'être que pour recueillir une petite quantité de matières de très haute valeur pour lesquelles on n'a réellement pas d'autres moyens à sa disposition, c'est-à-dire pour des

alluvions d'or, de platine et, à la rigueur, d'étain.

Table hongroise. — Cependant on en fait encore usage pour des pyrites et tellures aurifères provenant du pilonnage de riches produits filoniens. L'appareil est alors un canal assez large, 1 mètre par exemple, dont le fond est formé de planches bien rabotées à échardes descendantes ; la longueur est de quelques mètres, 4 ou 5 d'ordinaire, et la pente de 5 à 6 ‰.

La lavée composée de beaucoup d'eau tenant en suspension le minerai brut en poudre impalpable, est donnée en lame très mince et régulière à la tête de la table au moyen d'une planchette distributrice à chicanes.

Le travail est discontinu. Pendant les premiers instants, il se dépose une couche très mince de *schlichs* fort riches, et les *tailings* qui s'échappent sont bien appauvris. Sitôt que le dépôt commence à être visible à l'œil, on arrête la venue de lavée, on épure encore le dépôt par un courant d'eau pure aidé d'un léger balayage, en recueillant à part les *tailings* du balayage pour les repasser à part ; puis on balaye vivement la table sous un vif courant d'eau, donné à la lance, et on récolte ainsi le *schlich* riche, destiné à être vendu, fondu ou amalgamé.

On peut simplifier et améliorer le travail en coupant la table par une ou deux fentes transversales à recouvrement mobile qui permettent de diviser en plusieurs catégories de richesse les

produits accumulés sur le fond en une seule opération, ce qui diminue d'autant le nombre des reprises, sans modifier les résultats du travail.

Cet appareil primitif est bien démodé, en raison surtout de la nombreuse main-d'œuvre qu'il exige pour une faible productivité. Il a été remplacé par les tables circulaires et par les courroies circulantes qui sont beaucoup moins encombrantes pour une quantité de travail donnée. Mais il faut insister sur ce point qu'aucun de ces succédanés ne peut travailler avec la même perfection, précisément à cause de la discontinuité et de l'intervention constante de l'ouvrier habile, et c'est là une opposition que nous rencontrerons à chaque instant.

Aussi, dans le cas où on aurait une très faible production en minerais riches, d'où on ne pourrait rien tirer de bon sans un broyage à mort, on serait obligé de recourir à la vieille table dormante, ou mieux à la table Ritlinger, que remplacent mal, dans ce cas, les appareils modernes.

Tombeau ou caisson allemand. — Entre les mains des vieux mineurs allemands, et en vue d'opérer sur des quantités importantes de tailings très fins encore notablement chargés de particules de pyrite ou galène, l'appareil a été profondément modifié, sans perdre sa simplicité mais sans donner des résultats aussi précis, et avec peu de main-d'œuvre.

Le tombeau est une caisse rectangulaire de quelques décimètres de hauteur et de largeur avec 3 ou 4 mètres de longueur, posée à très faible pente. Elle est remplie d'eau pendant le travail. Les eaux chargées de schlamms, arrivent par le bord le plus élevé et déposent vers la tête les parcelles les plus denses pendant que les eaux boueuses s'échappent à l'aval. Le travail est, au début, analogue à celui de la table dormante, et de nouveaux dépôts se forment au-dessus des précédents jusqu'à ce que la caisse soit pleine. On les enlève à la pelle et d'ordinaire en deux ou plusieurs catégories, la partie de tête étant toujours plus riche. De nombreuses reprises sont nécessaires, mais on n'arrive jamais qu'à un enrichissement médiocre et en perdant 60 % et plus des valeurs contenues dans le minerai.

Labyrinthe. — En allongeant beaucoup le caisson, jusqu'à lui donner 100 mètres de longueur, par exemple, il devient le labyrinthe et fonctionne d'une manière analogue ou plus médiocre, mais plus continue.

Le dépôt se fait dans un courant d'eau à vitesse notable et d'assez forte épaisseur ; on ne peut plus considérer la chute comme se faisant suivant la loi de début et, par conséquent, le classement se fait moins en raison des densités qu'en raison des équivalences. Donc, on ne peut espérer recueillir là les grains les plus fins, quelle que soit leur densité.

La tête du labyrinthe se comble assez rapidement de dépôts riches : la section du canal diminue donc, la vitesse augmente et il ne se fait plus d'accumulation ; mais un peu plus bas le dépôt riche se forme de nouveau, partie sur de plus pauvres déjà rassemblés, partie en repoussant les parcelles légères. Pour que le labyrinthe rende quelque service, il faut enlever fréquemment à la pelle les têtes riches pour éviter ces mélanges, et la tête fonctionne alors comme un caisson allemand.

Dépôts naturels. — Ces travaux au caisson sont intéressants parce qu'ils rendent assez bien compte de la formation des couches minérales, et c'est en les pratiquant à grande échelle à Commeny que M. Fayol a vu, sous ses yeux, un mélange d'argile, de sables et de particules charbonneuses reproduire le dispositif des *deltas* qui se forment à l'entrée des cours d'eau dans les masses immobiles des lacs et des mers.

Si la rivière apporte des matières minérales relativement grosses et lourdes, mélangées à des limons facilement entraînés et les déverse dans un lac, au-delà d'un delta déjà commencé, il se forme sur la pente noyée du delta, une couche minérale ; riche et puissante vers la tête, elle s'étale plus loin en s'amincissant et s'appauvrissant. Cette disposition, caractéristique du tombeau, est celle des houillères du centre de la France, formées par des matières bitumineuses grossières, jadis déversées dans des lacs.

Si la couche, se formant au pied du delta, est soumise à des courants un peu vifs, elle s'étale, s'épure et se régularise. C'est le cas du labyrinthe et des couches formées au fond des mers comme les grandes houillères du Nord de la France, de l'Angleterre, etc.

Enfin, si le courant est très rapide, il ne se forme pas de dépôts, sauf dans les remous des anfractuosités du fond ; il ne s'arrête là que les matériaux à coefficient d'équivalence très élevé, et c'est ainsi que se constituent les *placers*, imités dans l'industrie par le *long-tom*, les *riffles*, etc.

Canal triangle. — Divers artifices ont été essayés pour donner de la continuité au travail de la table dormante,

On a remplacé la table plate par un canal à section angulaire, à pente assez faible, dont l'arête inférieure est percée de petits trous. La zone riche qui tend à se former au fond de l'angle et y progresse lentement avec le courant, s'écoule par ces ouvertures ; mais les trous se bouchent vite, et on perd ainsi l'avantage de la continuité. Il faudrait pour la rétablir, déboucher les trous par un courant d'eau pure ascendant, comme on l'a fait dans le *Spitz Kasten*.

Long-Tom. — Les Américains ont modifié le labyrinthe en y plaçant au fond des obstacles transversaux ou *riffles* qui en font une série de petits caissons allemands. On imite ainsi les remous naturels des torrents, et, travaillant en

courant rapide, on provoque la formation de petits placers.

Dans le Long-Tom, les obstacles sont des barres de fer ou de bois : dans la table à rainures, les arrêts sont produits par des intervalles de forme variée réservés entre des planches transversales. On peut rendre le travail continu en formant la cavité utile par un tube fendu, se vidant par ses extrémités ou par rotation. Les espaces à remous se remplissent plus ou moins de sables riches qu'on rassemble pour les reprendre à la batée.

Sluice. — L'appareil le plus important de ce genre est le *sluice* américain, labyrinthe à obstacles allongé et développé largement en vue du traitement d'énormes masses d'alluvions pauvres entraînées par un courant d'eau.

C'est un canal creusé dans la roche ou bâti en bois, ayant de 0^m60 jusqu'à 2 mètres de largeur, 0^m,60 à 1 mètre de profondeur, une pente de 4 à 6 % et une longueur de plusieurs centaines de pieds. Le fond et les parois latérales sont garnis d'obstacles qui les préservent de l'usure, rondelles d'arbres, pavés durs, traverses en fer. Le courant d'eau très rapide comptant plusieurs centaines de mille mètres cubes par jour entraîne $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{10}$ en poids de pierres, pierrailles et sables.

Amalgamation. — Mais le sluice ne fonctionne guère pratiquement sans l'aide de l'*amalgamation*. Du mercure est mélangé à la lavée et ajouté un peu partout. L'or natif, seul objectif du travail, quand le hasard des remous et de la

trituration le mel en contact avec le mercure, s'y colle et y disparaît. Bien que l'or ne soit pas dissous, son mélange avec le mercure forme un liquide de haute densité, empêchant toute intrusion de substances non amalgamables. Tous les stériles restent donc flottants au-dessus du mercure et sont enlevés par le courant.

La question, pour le mineur est d'offrir aux parcelles d'or beaucoup d'occasions de toucher le mercure en multipliant les remous ; il faut éviter cependant les remous violents qui émulsionnent le mercure aurifère et l'exposent à être entraîné à l'état de schlamms, ce qui cause de grandes pertes. Sauf ce cas, tout l'or qui a touché le mercure est sauvé suivant l'expression classique.

Ce résultat est facile à obtenir pour l'or gros, c'est-à-dire en grains ou paillettes de quelques centigrammes, mais on ne recueille pas plus de 20 ou 30 % de l'or tout à fait fin, au-dessous de 1 milligramme.

Pour le surplus, le sluice travaille comme table dormante au point de vue de la récolte du mercure aurifère, que l'on recueille en dépavant et balayant tout le canal.

Le mercure aurifère a des propriétés remarquables ; en le passant dans un tissu très serré, le mercure liquide filtre seul, entraînant une très faible proportion d'or, sans doute en grains assez fins pour passer par les mailles du tissu. La masse restant dans le nouet contient du mercure

en imbibition dans une proportion de grains d'or très variable allant de 25 % si l'or est très fin et la température basse au moment de la compression, jusqu'à 70 % si l'or est gros et la température élevée. Ce sont là des circonstances caractéristiques d'un phénomène de capillarité et l'amalgamation provient de ce que le mercure mouille l'or ; mais ce mouillage ne se produit que comme suite à une combinaison au moins superficielle, car les grains d'or deviennent blancs et cassants par leur contact avec le mercure.

Les choses se passent à peu près de même avec le cuivre ; mais, pour l'argent, le rôle de la combinaison semble plus étendu, et peut-être la présence de l'argent dans l'or natif est-elle une des causes de la facilité de son amalgamation, car des grains d'or très purs s'y montrent rebelles (*or rouillé*), et exigent une forte trituration pour coller au mercure, comme il arrive pour le fer et le platine.

Table amalgamée. — La propriété de l'or d'adhérer au mercure, a donné récemment naissance à une table dormante spéciale, dont le fond est formé par une plaque de cuivre, ou de cuivre argenté, amalgamée à sa surface en y frottant du mercure après décapage au cyanure. L'or se colle là, comme dans les aspérités d'une table-dormante ordinaire, mais il est bien retenu, ce qui permet une épuration complète, après laquelle on gratte la surface avec un morceau de cuir ou de caoutchouc.

Tables continues. — La forme moderne de la table dormante est à courroie continue, mais elle comporte l'emploi d'un moteur, en sorte qu'il en sera parlé plus loin.

II. CLASSEMENT PAR CHUTE

Tube vertical. — Pour réaliser un classement particulier, on a essayé l'emploi d'un appareil vertical au lieu des dispositifs à peu près horizontaux que nous venons d'indiquer.

L'origine de cet appareil semble avoir été une erreur de principe : l'auteur avait cru que, tombant dans une masse d'eau immobile, les corpuscules hétérogènes se classeraient par ordre de densités, quelles que fussent leurs grosseurs, et que le classement s'améliorerait en raison de la hauteur de la chute.

On a donc pris une haute colonne de tôle ayant jusqu'à 30 mètres de longueur, complètement remplie d'eau, et on y a jeté, d'un seul coup, plus d'une tonne de minerai broyé composé de grains de quartz de densité 2,5 et de grains de galène de densité 8. Puis au bout d'un certain temps, le dépôt formé au fond du tube ayant été recueilli par tranches, on a bien trouvé les dépôts du fond un peu enrichis, mais très incomplètement, et la raison en est facile à donner.

Même en négligeant les grains mixtes, c'est-à-dire contenant à la fois quartz et galène, la sé-

paration par densités ne peut s'effectuer sans un triage préalable en grosseurs.

Sans doute, au premier instant, les corpuscules commençant leur chute en eau immobile, les plus lourds prennent l'avance, mais cette situation ne dure que pendant quelques centièmes de seconde, temps inférieur à celui qu'exige même le brusque déversement de la charge totale. Au bout de ce court temps, chacun des grains est arrivé à sa vitesse limite déterminée par le coefficient d'équivalence $l(\alpha - 1)$, et ils ne peuvent se classer que suivant l'ordre fixé par les valeurs de ce produit. Pour qu'il y ait classement par densité, il faut que les grains aient été triés en grosseur au moins suivant la raison $\frac{D - 1}{\alpha - 1}$, soit ici 4,67.

En fait, avec un classement en grosseur à raison 2, l'appareil peut fonctionner assez bien et à grande échelle, mais il a été, en pratique, remplacé par des dispositifs basés sur d'autres principes, comme les lavoirs Évrard, Marsaut, etc. Cet appareil à chute simple est un des rares cas que l'on peut soumettre au calcul assez complètement.

Spitz Kasten. — On emploie plus couramment le *Spitz Kasten* allemand qui est de la même famille, mais qu'on destine rarement à l'enrichissement. On l'utilise surtout pour diviser en catégories d'équivalence des matières fines, au-dessous de 4 à 5 dixièmes de milli-

mètre de diamètre moyen, et pour lesquelles on ne possède pas d'appareil convenable pour un bon classement en grosseur.

La forme primitive du Spitz Kasten est une série de caisses en bois, pyramides rectangulaires ayant leur sommet en bas; les caisses successives sont de dimensions croissantes et descendent un peu en échelons. Chaque sommet est muni d'un orifice d'écoulement réglable.

La lavée arrive en nappe par le bord supérieur de la première caisse, s'étale puis se déverse dans la seconde caisse; la vitesse du courant va en diminuant et les matières déposées sont de plus en plus fines, comme dans le labyrinthe. On améliore la répartition en injectant près du sommet de la caisse un courant d'eau sous pression qui empêche les matières de faible équivalence de parvenir jusqu'à l'orifice d'écoulement : avec cette addition, le courant de lavée flotte, pour ainsi dire, sur les caisses en abandonnant successivement les matières les plus lourdes, celles qui peuvent traverser le léger courant ascendant produit par l'injection. Mais comme la vitesse de celui-ci va en croissant vers le sommet, il y a tendance à établissement d'un certain état d'équilibre au milieu de la caisse; car certains grains, tombant du courant supérieur de lavée, ne peuvent arriver jusqu'au fond et resteraient indéfiniment en suspension dans la caisse. Pratiquement les remous empêchent assez complètement cet encombrement, et on

peut le faire disparaître totalement en donnant aux caisses une forme plus parallépipédique que pyramidale. On a amélioré le Spitz Kasten en y ajoutant, au niveau sur lequel doit flotter la lavée, une tôle perforée, destinée à éviter les remous et même en recouvrant partiellement celle-ci, du côté amont, par une tôle pleine qui joue le rôle de table dormante; les dépôts riches qui se forment là glissent lentement pour tomber plus loin dans le Spitz Kasten. La mobilité de la tôle pleine permet de régulariser la distribution de la lavée entre les caisses successives.

Avec beaucoup de soin, on arrive ainsi à classer exactement par équivalence des matières extrêmement fines, résultat médiocre comme enrichissement, mais utile comme opération préliminaire au travail de finissage des tables qui travaillent bien en raison des densités, comme les Rittinger. On y gagne surtout un bon débouillage nécessaire à tout classement ultérieur.

Steinenbrink. — Un autre dispositif dit *Steinenbrink* consiste en une caisse unique divisée en compartiments successifs par des cloisons transversales et verticales descendant un peu en gradins : la caisse est d'ailleurs tout entière pleine d'eau. Avec un lent courant de lavée, elle fonctionne sensiblement comme le Spitz Kasten, les grains forts tendant à se déposer au premier compartiment. Si, au contraire, la lavée arrivait avec grande vitesse, et en petite quantité, les

particules solides pourraient être regardées comme lancées horizontalement dans un fluide immobile et, dans leur chute parabolique, les plus denses iraient plus loin. On aurait donc, dans un espace restreint, ce qu'on a cherché à obtenir sur plus de longueur par lancement dans l'air. Mais les remous troublent ce mouvement, et tendent à ramener à la disposition inverse, en sorte que les résultats sont plus que douteux.

Classeur Dor. — La disposition à caisses pointues successives est très encombrante pour une production donnée. On la remplace dans les laboratoires par quelques vases de verre superposés, et M. Dor a rendu ce dispositif industriel par une suite de vases métalliques cylindriques, terminés par deux troncs de cônes. Chacun d'eux reçoit à son sommet la lavée du précédent, et à l'intérieur un courant ascendant; celui-ci rejette à un orifice au haut du vase les grains de faible équivalence et laisse descendre plus bas les grains forts. Les vases diminuent successivement de largeur.

On reproche à cet appareil de faire une énorme consommation d'eau; son vrai défaut est de n'être pas réglable; mais s'il est construit pour une arrivée régulière de lavée, il remplace très avantageusement le Spitz Kasten, tient fort peu de place et débourbe très complètement. A notre avis, il est trop négligé dans les usines de préparation.

Classeurs à air. — Le lancement des particules dans l'air immobile les classe bien par densités, à condition de disposer d'une certaine étendue.

Le lancement peut se faire au moyen d'un ventilateur à grande vitesse, dont le courant sortant reçoit les particules tombant d'une trémie distributrice; mais les remous de l'air gênent la séparation.

Dans le classeur Gruzon, le lancement est fait par un disque ou plutôt par un cône métallique très aplati, tournant rapidement autour de son axe, qui est vertical. Les sables tombant vers le centre sont jetés périphériquement par la force centrifuge, et reçus dans des cuvettes circulaires entourant le plateau en contrebas, et en échelons; les grains lourds vont aux cuvettes les plus éloignées.

Ces appareils à air ont deux défauts: d'une part, la masse de poussières fines qu'ils produisent dans le lieu d'opérations et, d'autre part, l'obligation de sécher très exactement les sables avant leur lancement.

Ce second inconvénient est acceptable dans les cas locaux ou spéciaux où le séchage est indispensable, comme il arrive quand les minerais doivent passer à la séparation magnétique.

Le classement dans l'air est peu accepté dans la pratique industrielle.

III. APPAREILS DIVERS

Laveur Bazin. — Pendant que nous parlons des appareils qui sortent un peu du cadre habituel de la préparation mécanique, disons un mot de ceux que nous ne savons où ranger.

Le laveur Bazin était une cuve en rotation, dans laquelle les particules les plus denses doivent arriver les premières à la périphérie, comme au fond d'une table dormante; mais dès l'arrivée du premier flot de lavée, tous les sables se déposent au fond, sans aucune mobilité permettant aux grains lourds de les traverser: l'appareil ne fonctionne donc pas comme classeur.

Essoreuse Labois. — L'appareil, à force centrifuge, ne peut travailler que pour l'expulsion d'un liquide à travers la masse sableuse, et c'est en ce sens qu'il a été établi, non sans quelque succès, pour extraire le soufre de ses gangues à la température de 120°.

Procédé à l'huile. — Accessoirement, il a servi à dégraisser des sables imprégnés d'huile. Ces sables proviennent d'une tentative originale plus que recommandable. On sait que la moindre trace graisseuse triturée avec un produit broyé se porte sur les parcelles métalliques ou d'aspect métallique, comme l'or, la galène, etc., et ces parcelles graissées, si elles sont assez petites, flottent à la surface de l'eau malgré leur densité. Cette action, cause de fréquentes pertes dans

les ateliers de préparation, peut être utilisée en écumant le liquide après qu'il a déposé ses sables stériles, et la boue huileuse recueillie devient minéral très riche après essorage de l'huile. Les résultats pratiques semblent cependant avoir été insuffisants.

Séparation magnétique. — Nombre de substances, et surtout celles qui sont chargées en fer, sont attirables par un aimant, ce qui permet certaines séparations avantageuses. Dès longtemps, les mineurs ont enrichi le produit recueilli dans leurs batées en enlevant à l'aimant le fer magnétique, le fer titané, les débris d'outils, etc., qui accompagnent fréquemment les alluvions aurifères.

Plus récemment, on a opéré le triage magnétique des résidus d'ateliers de constructions en les faisant passer sur un appareil spécial; l'électro-aimant, dont il est si facile de produire et d'interrompre instantanément l'aimantation, permet aisément de rendre le travail continu, de jeter dans des compartiments distincts les résidus de fer et ceux de cuivre.

Le même principe est aujourd'hui d'un usage industriel et assez général pour épurer certains minerais de fer, mais en raison de la grosseur des électro-aimants auxquels on a recours, on s'arrange pour que ceux-ci restent fixes. Devant eux, à très petite distance, circulent des pièces mobiles dont les unes amènent la matière à trier dans le champ magnétique tandis que les autres

entraînent à des récipients spéciaux les deux ou trois classes ainsi séparées.

Dans le Wetheril, une courroie de caoutchouc passe sous un pôle qu'elle touche presque; une autre courroie passe au-dessous de la première et la croise à très courte distance; les deux courroies sont continues et animées d'un mouvement assez rapide. La seconde courroie amène la charge en couche mince dans le champ magnétique; les grains ferrugineux, attirés au passage vers le pôle, sont soulevés et vont se coller, pour ainsi dire, au-dessous de la courroie supérieure; celle-ci les entraîne et les grains tombent aussitôt qu'ils sortent du champ magnétique; pendant ce temps, les grains pierreux, restés sur l'autre courroie, sont jetés dans une autre trémie.

Dans d'autres trieurs, l'organe mobile est un cylindre de zinc garni à l'intérieur de barres de fer, et tournant sur un axe horizontal devant un pôle d'électro-aimant; les barreaux s'aimantent au voisinage de ce pôle et retiennent sur le cylindre les parties ferrugineuses pour les abandonner un peu plus loin tandis que le sable ordinaire est tombé ailleurs sans s'être accroché au cylindre.

On a adapté les mêmes principes à des plateaux horizontaux ou verticaux, à des tables coniques et à des cylindres verticaux; le zinc ou le caoutchouc sont les matériaux habituels des parties mobiles et les dispositifs ne varient que comme construction.

L'appareil établi à Mechernich sous le nom de *Motor* semble être le summum du perfectionnement : le cylindre tournant en zinc est armé à l'intérieur d'un induit de dynamo ; il en résulte qu'il tourne, sans mécanisme spécial, aussitôt qu'on donne l'électricité au système des électro-aimants, tout en jouant son rôle de séparateur.

On a organisé certains de ces appareils pour travailler dans un courant de lavée, mais la réussite en paraît alors difficile. Tous les autres opèrent sur des minerais réduits en sable plus ou moins grossier ; ils ont, en conséquence, l'inconvénient de produire beaucoup de poussières et d'exiger un séchage très soigné.

L'emploi ordinaire de la séparation magnétique est l'enrichissement des minerais de fer magnétiques mélangés à des sables quartzeux ; mais la puissance, quasi illimitée, des électro-aimants a permis de les utiliser pour traiter d'autres minerais, mélanges de corps très peu magnétiques avec d'autres ne l'étant pas du tout, ou pour séparer des corps de degrés magnétiques différents. Beaucoup de substances pyriteuses deviennent un peu magnétiques par calcination ou grillage même rudimentaires, et il en est de même de certaines roches contenant du fer, comme les basaltes. Un grillage sommaire ne consomme pas beaucoup plus de combustible qu'une dessiccation, et on peut y recourir pour séparer des blendes ou des galènes mélangées à des pyrites, etc.

Après cette calcination, le travail du séparateur magnétique est rapide et peu onéreux. Pour passer 2 tonnes de minerais à l'heure, il suffit de disposer de 2 chevaux pour les électroaimants (14 ampères et 100 volts) et moins encore pour le mouvement des pièces mobiles; mais comme il est presque toujours nécessaire de repasser deux fois au séparateur, on peut compter 3 à 4 chevaux pour une tonne par heure, et relativement moins pour traiter de plus fortes quantités.

L'usure des appareils est rapide, comme d'ailleurs dans presque toutes les opérations de préparation mécanique; il est donc prudent de compter pour entretien et amortissement environ 30 % par an du coût des installations.

CHAPITRE II

—

TRAVAIL AVEC MOTEURS MÉCANIQUES

I. APPAREILS A SECOUSSES

Des secousses. — Dans les anciens appareils de préparation mécanique, les organes principaux, ceux qui, à proprement parler, constituent l'appareil, sont immobiles; il n'y a guère d'animé que le courant d'eau.

Aux temps modernes, on a ajouté au travail de l'eau l'usage d'efforts extérieurs : tantôt ils permettent un travail plus complet d'enrichissement ou de séparation, tantôt ils assurent la continuité des opérations, ou bien ils diminuent l'encombrement et permettent de réduire les frais du travail.

Cependant nous devons ranger dans cette catégorie la batée, malgré son ancienneté et l'absence de moteurs autres que l'ouvrier, parce que les mouvements de l'appareil y jouent un grand rôle.

Un des principaux buts de l'effort extérieur est de provoquer des secousses qui maintiennent ou remettent en suspension les particules à

classer pour leur donner la mobilité nécessaire dans l'eau.

Si des particules solides sont arrêtées sur un tamis ou une plaque presque horizontaux, elles y sont maintenues par le frottement, et la table peut être déplacée en tous sens dans l'eau, sans que le grain solide quitte sa place, tant que la vitesse relative est modérée.

1° Pour le mouvement descendant d'un tamis, dans l'eau immobile, le grain est soulevé quand l'accélération de ce mouvement dépasse celle due à la pesanteur. En effet, la vitesse descendante du tamis est $v = Kt$ et celle du grain commençant à tomber dans l'eau est $v_1 = g \frac{d-1}{d} t$; donc si K est plus grand que $g \frac{d-1}{d}$, le tamis prend l'avance et le grain reste soulevé.

2° Si le tamis s'élève dans l'eau avec une vitesse décroissante, les grains deviennent libres et sont lancés vers le haut dans l'eau aux mêmes conditions. La vitesse de la table est $v - Kt$ et celle du grain lancé est $v - g \frac{d-1}{d} t$, et le grain prend l'avance si K est plus grand que $g \frac{d-1}{d}$.

3° Avec un tamis immobile soumis à l'action d'un courant d'eau ascendant, le grain est soulevé quand la vitesse de montée de l'eau dépasse la vitesse limite du grain $\sqrt{\frac{a}{b} l (d-1)}$, et re-

tombe quand la vitesse de l'eau diminue au dessous de ce chiffre.

4° Sur une table en mouvement horizontal, le grain est retenu par le frottement, et comme celui-ci est une fraction f du poids dans l'eau, son accélération maxima est $fg \frac{d-1}{d}$; par conséquent, il y a glissement si l'accélération de la table dépasse cette valeur. Comme d'ailleurs f est moindre que l'unité, on voit que la brusquerie du mouvement horizontal, nécessaire pour mobiliser le grain, est moindre que pour le mouvement vertical. On voit aussi que les grains légers sont laissés en retard par la table avant les grains lourds quand la vitesse va en croissant.

5° Supposons que la table soit en mouvement horizontal, mais sans que son accélération atteigne la valeur nécessaire à la mobilisation d'aucun grain, le dépôt suit le mouvement de la table; si alors il y a choc, c'est-à-dire si le mouvement de la table est soumis à une forte accélération négative, tous les grains sont instantanément soulevés et se comportent comme des grains lancés horizontalement dans l'eau. Les grains les plus denses conservent mieux cette vitesse et prennent l'avance sur les grains légers.

6° Quand les grains sont soulevés, il n'y a pas frottement, et ce n'est plus que la faible viscosité de l'eau qui pourrait les entraîner à suivre le mouvement de la table; il résulte de

là qu'un mouvement assez doux est suffisant pour empêcher le dépôt et conserver la mobilité des particules solides dans un courant de lavée.

Les secousses sont toujours des mouvements très peu étendus et très rapidement répétés. Leur effet est de replacer à chaque instant les particules dans des conditions analogues à celles du début de la chute en eau libre, et par conséquent où l'influence de la densité est prépondérante, et non l'équivalence. Cette simple observation fait comprendre que les appareils à secousses peuvent permettre le classement de matières hétérogènes très fines, bien qu'on n'ait plus le moyen de classer celles-ci exactement en grosseurs.

Il est utile de remarquer que l'analyse n'envisage que les particules isolées, dans leur lutte contre la résistance de l'eau ou d'autres particules, lutte qui se traduit par une avance en certain sens prise par les matières les plus denses sur d'autres plus légères, même si ces dernières ont une équivalence supérieure. Cette avance est encore facilitée par ce fait qu'un groupe de grains denses attaque un volume sensiblement égal de grains plus légers; l'impulsion du groupe dense est ainsi la plus forte et lui permet de rejeter de côté le groupe léger, même s'il contient des grains de plus forte équivalence. C'est ainsi que la densité entre en jeu dans les chocs plutôt que l'équivalence, ce qui

aide à expliquer les bons résultats de classement obtenus sur les vieilles tables à secousses comme sur les Rittinger, les Embrey, les Wilfley, etc.

Batée ou pan. — L'appareil à secousses primitif est la batée, vase assez plat, parfois oblong, ordinairement circulaire, soit conique à angle au sommet très ouvert comme l'écorce roulée des Africains, ou en forme de poêle à frire ou *pan* en Amérique. En Transylvanie, la grande batée a une forme très remarquable et très intéressante.

La matière première est quelconque ; elle doit être lisse, mais sans poli, et bien exempte de graissage ; les graisses empêchent l'adhérence au fond des grains cristallins et font flotter les paillettes métalliques.

La batée est encore employée au travail des alluvions aurifères riches et surtout des placers. Dans ce cas, elle est remplie enfaîtée et peut tenir une quinzaine de kilogrammes ; on la plonge en pleine eau et on brasse à la main tant pour débourber que pour faire tomber au fond les parties fines en enlevant les gros cailloux au fur et à mesure qu'ils se lavent. C'est un râblage pendant lequel les gros grains d'or vont tous au fond, surmontés des sables et boues à or fin. Après ce dégrossissage, la batée ne doit pas être complètement remplie de sables, et est soumise au travail enrichissant.

On lui imprime alors une sorte de mouvement de pendule conique dans l'eau, en s'arran-

geant pour que les secousses mettent en suspension au moins une notable épaisseur de la couche superficielle. Un bon classement de densité s'accomplit dans la partie mobilisée, ce qui permet d'expulser par déversement la partie superficielle pauvre. On continue ainsi progressivement, et on finit par ne garder dans la batée qu'une petite quantité de sables riches.

Pour finir le traitement de ces sables, obtenus dans une ou plusieurs batées, on sort l'appareil de l'eau en y laissant un peu de liquide, et on continue le mouvement giratoire et oscillatoire en l'aidant par des chocs ou secousses du poignet. Les parties les plus riches se réunissent assez bien, entre les mains d'un ouvrier habile, au sommet du cône ou dans l'angle du pan, pour qu'on puisse entraîner à l'eau tous les stériles avec peu de pertes ; cependant les parcelles d'or et de galène à recueillir sont souvent si fines qu'elles ne deviennent visibles à l'œil qu'après s'être rassemblées par centaines.

Pour l'or, on termine l'opération par une trituration avec du mercure, puis on lave l'amalgame dans un pan à fond de cuivre.

Ce travail, très pénible pour l'ouvrier, ne permet pas à un homme de traiter plus de quelques quintaux de matières par jour.

Berceau. — On a diminué cette fatigue en remplaçant le balancement à la main par le roulement d'une surface cylindrique sur un plan.

Le berceau est une portion de cylindre de 1 mètre de long sur 0^m,60 de largeur et 0^m,12 de flèche. Consolidé par des portions de jantes de roues extérieures, il est garni à l'intérieur d'une toile grossière avec quelques rebords transversaux et des bords latéraux. Une toile tendue obliquement reçoit le minerai brut et l'eau et les conduit vers l'amont du cylindre.

Le berceau est posé sur un sol en pente douce, et maintenu en oscillations assez brusques pendant l'admission de quelques décalitres de lavée. Celle-ci glisse sur le fond et les parcelles denses s'accumulent sur ce fond et dans les angles des rebords pendant que les stériles sont entraînés au dehors. Les rainures transversales peuvent se remplir assez complètement de dépôts riches s'opposant à la pénétration des parcelles légères ; et ce sont ces remplissages qui sont recueillis et finis à la batée.

Comme ce remplissage est très peu volumineux, l'appareil n'est guère utilisable que pour récolter des matériaux très précieux comme l'or, le platine ou le diamant. Mais on peut le modifier et le rendre continu en vue du traitement de sables stannifères, ou de produits de broyages de minerais variés, zinc, cuivre, plomb, etc. Il suffit, pour cela, d'assurer l'écoulement continu des amas boueux des rainures au moyen de petites ouvertures. Cela conduit, au lieu de faire rouler l'appareil sur le sol, à le suspendre à un axe un peu incliné, un tronc d'arbre par exemple,

auquel on peut, en outre, fixer de légers balais pour remanier le ramassage des rainures, et faciliter la chute de leur remplissage dans des chenaux appropriés.

Table à secousses. — L'introduction des moteurs hydrauliques dans l'industrie a conduit les mineurs saxons, vers le xiv^e siècle, à remplacer la batée et la table dormante par la classique table à secousses.

Celle-ci est construite comme une table dormante, mais beaucoup plus solidement pour résister aux chocs. C'est donc un rectangle avec bordures relevées sur deux longs côtés, bord plus bas du côté amont, et pente de 5 à 10 %. Il est suspendu par 4 chaînes qui sont obliques, même pendant le repos, de manière à ramener en arrière contre le butoir la tête de la table aussitôt après que la came motrice l'a abandonnée.

La lavée, bien régularisée par un triangle à chicanes, est amenée en couche mince sur toute la largeur de la tête. La pente, l'inclinaison des chaînes, la longueur et la brusquerie des chocs, et le débit d'eau sont d'autant moindres que les grains à traiter sont plus fins.

Nous avons dit qu'en théorie la table à secousses pourrait classer par densités sans classement de grosseur préalable. En pratique, cela veut dire seulement que le classement en grosseur n'a pas besoin d'être précis et, en fait, on se contente du classement par équivalences obtenu le plus souvent par une batterie de Spitz Kasten.

La table à secousses est un appareil discontinu ; elle se charge progressivement de dépôts dans toute son étendue, et on arrête quand ils ont atteint 5 à 10 centimètres d'épaisseur pour les enlever à la pelle. Dans ce relevage, on fait au moins deux catégories, dont l'une prise à la tête doit être assez riche pour être considérée comme finie. Le reste est destiné à être repassé dans les mêmes appareils. On doit donner la lavée en courant assez faible pour que les matières quittant la table soient rejetées comme stériles ; cependant elles passent presque toujours par un labyrinthe, où l'on récolte quelques têtes riches à retraiter.

La forme du dépôt change progressivement pendant la marche ; les secousses ramènent vers la tête les parties les plus riches qui s'y accumulent sur quelques centimètres d'épaisseur, et cet épaissement gagne progressivement vers l'aval de la table. Après la partie épaisse, il y a une pente relativement brusque qui empêche le dépôt des stériles et c'est ainsi que la tête riche s'étend assez loin sur la table sans trop d'appauvrissement.

La table à secousses bien construite est un appareil très durable, plus économique que tous autres comme frais d'entretien ; elle exige fort peu de force et ne consomme que peu d'eau, celle nécessaire à l'entraînement de la lavée, soit 6 à 8 fois le poids des matières traitées ; enfin elle travaille automatiquement sans qu'on ait

trop à se préoccuper des variations de la lavée. Mais l'enrichissement est très incomplet et oblige à multiplier les reprises. Il faut donc avoir un nombre important d'appareils en service et d'autant plus qu'il s'agit de travailler des schlamms plus fins.

Une table à secousses de 1 mètre de largeur, recevant des fines de 2 à 3 dixièmes de millimètre, par un courant de lavée de 1 millimètre d'épaisseur à la vitesse de 0^m,25 par seconde, passera par heure au maximum 100 kilogrammes de matières solides, et, à cause des reprises, il ne faut pas compter son travail effectif au delà de 25 à 30 kilogrammes.

Table continue. — Le travail de la table à secousses peut être rendu continu et donner plusieurs catégories de produits par un artifice très simple consistant à supprimer la bordure supérieure pour la remplacer par un déversoir en zinc. Les têtes riches rappelées par les chocs, tombent ainsi à part au fur et à mesure de leur formation, et la même disposition peut être adaptée à une ou deux fentes transversales pour recueillir d'autres catégories avant l'expulsion des refus. On peut alors augmenter un peu la pente et le quantum du travail horaire.

Courroies continues. *Embrey.* — A la suite des travaux de Rittinger, vers 1866, on a largement employé comme table une large courroie continue en caoutchouc, circulant sur des rouleaux.

Dans le système Embrey, la table est horizontale dans le sens transversal, avec une pente réglable de 4 à 10 % suivant la longueur, et celle-ci est voisine de 4 mètres. Elle est portée par un châssis oscillant frappant contre un butoir du côté amont.

La lavée est donnée suivant une transversale peu en aval de la tête, et passe presque aussitôt sous un râteau d'eau, c'est-à-dire un tube horizontal percé de petits trous recevant de l'eau sous pression, et servant à épurer le dépôt. Les parcelles lourdes remontent, malgré le râteau, jusqu'à la tête pour tomber dans un récipient, tandis que les parcelles légères tombent de même à l'autre extrémité.]

La table traite environ une demi-tonne de sables par heure avec 15 à 25 fois leur poids de consommation d'eau. Le produit riche est accepté comme fini, mais avec de grandes pertes qu'on réduit par passage dans un labyrinthe.

Frue Vanner. — Le Frue Vanner a précédé l'Embrey; la différence consiste en ce que les secousses sont latérales; mais bien que le choc en tête semble plus rationnel pour attirer les produits denses, les résultats pratiques sont entièrement similaires.

Comme dans tous les appareils à courroies, la question est de maintenir les sables en suspension jusqu'à ce que les grains lourds aient touché le fond; ils sont alors retenus par le frottement et suivent la courroie jusqu'à la

chute ; l'adhérence est sans doute facilitée par la forme en paillettes que prennent beaucoup de minéraux utiles pendant les broyages, et peut être aussi aidée de faibles phénomènes électriques, car la nature de la courroie semble jouer un rôle notable, et le caoutchouc se montre particulièrement avantageux.

Tables transversales. — La courroie circulante a été appliquée aussi à la transformation de la table dormante et a des dispositifs mixtes avec ou sans secousses longitudinales ou transversales.

La courroie étant horizontale dans le sens longitudinal et posée avec une certaine pente réglable suivant la génératrice des rouleaux transversaux qui la portent, on fait arriver la lavée à l'angle le plus élevé de la table, du côté où commence le mouvement. Le classement se fait sur chaque génératrice comme sur une table dormante ou à secousses, de sorte que la table se couvrirait d'une nappe classée en qualités par zones longitudinales, et le réglage doit être tel que les parties assez pauvres pour être rejetées soient seules entraînées par le courant jusqu'au bas et en dehors de la table.

Mais les génératrices passent successivement sous un râteau d'eau dont les jets soulèvent les dépôts et les relavent, éliminant d'abord les matières les moins denses, et faisant descendre un peu les grains les plus lourds, en sorte que ces derniers n'arrivent au bord de la table que

vers la fin du mouvement de celle-ci. Par suite de ces remaniements, le classement primitif est fort amélioré et les classes de richesses croissantes sont amenées successivement au bord de la table dans le sens du mouvement ; on les recueille dans une rainure divisée en compartiments par des cloisons déplaçables.

L'avantage important de ce système est de permettre la séparation d'un nombre quelconque de catégories, au gré du maître laveur qui déplace instantanément les cloisons pour suivre les variations de composition de la lavée.

Les inconvénients consistent en ce que la lutte contre le frottement produit un classement plutôt par équivalence que par densités, et en ce que le soulèvement total du dépôt gêne l'épuration en jetant les dépôts de la zone supérieure, qui sont les plus riches, sur les dépôts inférieurs plus pauvres. On peut corriger ce dernier, quand les produits les plus denses sont des paillettes adhérant bien au caoutchouc, comme l'or et la galène : pour cela, on diminue un peu la force des jets du râteau d'eau, jusqu'à ce que ces matières précieuses passent sans être soulevées, comme dans l'Embrey, et on les recueille par un courant d'eau spécial après cette dernière épuration.

On peut, avec cette addition augmenter un peu la vitesse et, par conséquent, la capacité de travail de la table ; du reste, on exagère d'ordinaire trop la lenteur, favorable à la perfection

du travail, mais qui accroît la consommation d'eau, les frais d'entretien et d'amortissement, qui sont de très lourdes charges pour peu de travail.

Une bonne table de 5 mètres de longueur et 1 mètre de large peut passer par heure 400 kilogrammes, dont la moitié en repassages. Outre la proportion d'eau de 10 pour 1 contenue dans la lavée, le rateau prend jusqu'à 50 et 60 fois le même poids.

Ces tables travaillent surtout bien les sables très fins : au-dessus de $3/4$ de millimètre les grains roulent trop facilement, tandis qu'au-dessous de $0^{\text{mm}},2$ l'entraînement en masse par l'eau est trop aisé, et il est préférable de les réserver pour des appareils lents à courant d'eau modéré.

Tables paraboliques. *Rittinger.* — D'autres tables continues à classements multiples doivent être placées à côté des courroies continues.

Construite comme la vieille table à secousses, mais avec secousses latérales, la table Rittinger a $1^{\text{m}},20$ de large et $1^{\text{m}},50$ de long ; d'ordinaire, deux tables semblables sont accolées et suspendues ensemble.

La lavée est donnée à l'angle supérieur opposé au côté du butoir. La pente assez forte peut approcher de 20 % quand les grains dépassent $1/2$ millimètre ; les secousses sont très petites et très fréquentes, parce qu'il ne s'agit pas ici de soulever un dépôt, mais de maintenir les

sables en suspension ; un rateau d'eau établi le long du bord supérieur fournit sous pression une mince nappe d'eau.

Quand la lavée arrive, elle s'étale et formerait un dépôt riche vers la tête si les secousses ne maintenaient la mobilité. Sous l'influence des chocs, les particules solides, au lieu de suivre la ligne de plus grande pente, sont attirées du côté du choc et décrivent des paraboles d'autant plus élargies que les grains sont plus denses ; le réglage consiste à obtenir que les grains les plus denses arrivent à l'angle opposé de la table, et comme les paraboles correspondant aux grains légers sont plus étroites, on peut recueillir plusieurs catégories dans une rigole à cloisons multiples établie au bord aval de la table.

Pour que le Rittinger travaille bien, il faut qu'il travaille très peu, avec un faible courant d'eau. Aussi est-ce le seul appareil qui permette une bonne classification par densité de schlamms très fins. On estime qu'il peut y passer de 25 à 75 kilogrammes par heure de sables fins de $0^{\text{mm}},1$ à $0^{\text{mm}},4$, avec une consommation d'eau de 30 à 20 fois le poids de ces sables. Il faut ajouter que la perfection du travail rend les repassages presque inutiles, en sorte que la capacité indiquée ci-dessus est à peu près nette.

Wilfley. — Le système Rittinger a été heureusement modifié dans la table Wilfley, sinon comme perfection de travail, au moins comme capacité, par l'addition de rifles qui permettent

un travail rapide dans un espace restreint. L'addition des rifles raccourcit beaucoup la table, dont on augmente, au contraire, la largeur jusqu'à 4 ou 5 mètres; de plus, on supprime les deux angles inutiles, celui qui reste toujours libre à l'amont des paraboles et celui où ne passent que des stériles. On a ainsi un parallélogramme dont la diagonale courte est horizontale, avec les petits côtés inclinés suivant la plus grande pente, et le choc est donné sur le petit côté d'amont.

La lavée arrivant à l'angle le plus élevé, les particules commencent leur chemin parabolique comme dans les Rittinger; mais leur descente est arrêtée par de nombreux rifles ou baguettes de quelques millimètres d'épaisseur, placés suivant les horizontales de la table et qui étalent beaucoup les paraboles.

La lavée abandonne d'abord les grains les plus lourds qui suivent la première baguette; les grains plus légers franchissent celle-ci et sont à leur tour triés avant la seconde baguette, et ainsi de suite; des rateaux d'eau aident à cet entraînement et une rigole périphérique à cloisons mobiles reçoit et subdivise les produits.

Une circonstance spéciale permet un travail considérable: les amas de grains lourds qui se forment sur le fond, glissent vers les baguettes et y forment des dépôts denses que ne peuvent pénétrer les grains légers, ou même qui, dans l'entraînement ultérieur, peuvent soulever et

rejeter des dépôts de moindre densité sans tenir compte de la grosseur des grains. Chaque baguette forme ainsi une rigole où circule lentement un vrai courant de boue de densité homogène et la densité décroît d'une baguette à la suivante.

Il résulte de là, que la première rainure est toujours pleine de particules solides jusqu'à l'extrémité où elle se déverse; si donc la lavée renferme assez du corps le plus dense pour remplir bien la première rainure, celle-ci donne un produit absolument pur; faute de cette condition de quantité, la première rainure ne donnerait qu'un produit mixte. Le même raisonnement s'applique aux rainures subséquentes. Par conséquent, la table Wilfley ne donne de bons résultats qu'à la condition de lui fournir assez de matières utiles pour que les premières rainures travaillent en plein.

Malgré ses analogies avec le Rittinger, la table diagonale travaille moins bien les schlamms fins, parce que son service d'eaux est forcément considérable et rapide. Ce sont les sables fins de 0^{mm},3 à 1 millimètre qui lui conviennent le mieux. Au-dessus de ce dernier chiffre les grains roulent trop facilement et l'effet de masse des dépôts denses ne se produit plus aussi nettement.

Sur une table de 1 mètre \times 5 mètres, on passe aisément par heure une demi-tonne de sables au-dessus de $\frac{1}{2}$ millimètre ou 350 kilogrammes de sables plus fins. La consommation d'eau est un

peu plus faible que sur les courroies continues, parce que les chocs brusques et répétés compensent la moindre proportion de liquide; il faut cependant de 10 à 15 mètres cubes par tonne pour les rateaux d'eau, sans compter l'eau de la lavée.

La force motrice nécessaire ne dépasse guère $\frac{1}{2}$ cheval, mais la construction doit être très soignée pour éviter les moindres gondolements, désastreux sur une aussi grande largeur, et l'entretien est très onéreux.

Appareils circulaires. — On a remplacé les formes rectangulaires par diverses variétés de formes circulaires ou plutôt coniques, qui sont moins encombrantes; mais cet avantage ne va pas sans une diminution de perfection du travail.

Certaines tables coniques fixes en bois ou en maçonnerie couverte de ciment, fonctionnent comme tables dormantes. Elles sont à axe vertical, mais le sommet du cône peut être dirigé vers le haut ou vers le bas; la région voisine du sommet est supprimée ou inutilisée.

Sur la table conique fixe à sommet en haut, la lavée arrive par un ajutage tournant lentement autour du sommet. La vitesse diminue au fur et à mesure qu'elle s'étale sur le cône, et vers le bas la lenteur est telle que les grains très faibles peuvent seuls s'échapper; on améliore un peu l'épuration du dépôt en faisant circuler avec l'ajutage distributeur de très

légers balais ou des toiles pendues qui remuent doucement la surface. Lorsque le dépôt est assez épais, on l'enlève par catégories comme sur la table à secousses. Le travail peut être très soigné, même pour des schlamms fins, et il y a peu de pertes, mais il faut de nombreuses reprises pour arriver à rendre le produit marchand : ainsi une table de 4 à 5 mètres de diamètre passera bien 1 500 kilogrammes par heure, mais il faut en compter trois autres pour les repassages.

Pour la table conique à sommet en bas, la distribution se fait nécessairement le long du bord le plus élevé, et la vitesse du courant de lavée va en croissant pendant la descente ; l'effet est donc de recueillir les grains les plus denses d'une lavée très pauvre comme des produits de labyrinthes ou sortant de la table conique précédente, de manière à obtenir un large enrichissement sans se préoccuper des pertes. On ne laisse pas le dépôt s'épaissir, mais sitôt qu'on le voit se former, on l'enlève par un jet à la lance, pour le repasser à d'autres appareils.

Les pentes employées sont de 6 à 10 % et les rotations très lentes ; la force consommée est insignifiante et on n'a guère en service que l'eau de la lavée.

Le travail peut être rendu continu en faisant suivre le distributeur, à 100 ou 120° de distance angulaire, par un ou deux rateaux d'eau de forme générale spiraloïde qui jouent le rôle

de la lance, attaquent et font glisser successivement vers le bas la zone pauvre, puis une zone moyenne, et enfin la zone riche, de manière à les amener successivement à des rigoles circulaires qui suivent le mouvement de rotation, et dont certains orifices conduisent chaque catégorie à son bassin spécial.

En opposition aux tables fixes, on arrive identiquement aux mêmes effets en renversant le système, c'est-à-dire en faisant tourner le cône sur son axe au-dessous d'un système fixe de distributeurs et de rateaux d'eau, et au-dessus de rigoles fixes à compartiments. Le cône est alors en métal, rarement en bois; les dimensions sont moindres et la vitesse de rotation plus grande, 18 à 22 tours par minute. On vise donc ici l'économie de temps plutôt que la perfection du travail.

Une table circulaire représente presque une table rectangulaire qui aurait pour largeur trois fois le diamètre de la grande base du cône; il y a donc large bénéfice sur l'encombrement. Mais la capacité n'est pas dans la même proportion parce que la lavée n'est guère donnée que sur un tiers de la circonférence; en revanche, les produits sont relavés et classés, ce qui diminue énormément le nombre de repassages. Tout compte fait, on peut admettre qu'une table circulaire de 5 mètres de diamètre remplace bien une dizaine de tables rectangulaires de 1^m,25 de largeur.

On attribue aux cônes mobiles un avantage sur les cônes fixes, résultant des vibrations accompagnant le mouvement et jouant un peu le rôle des secousses. On a essayé de produire de réelles secousses, mais les difficultés de construction et d'entretien sont grandes, et nous ne pensons pas qu'on soit arrivé à obtenir rien de bon dans cette voie ; ce n'est pas tout que de produire des secousses : encore faut-il qu'elles soient nettes et bien dirigées.

Pour travailler vite et grossièrement, à l'américaine, les cônes tournants sont évidemment plus commodes : pour réduire les pertes au minimum, à l'allemande, le mieux semble être la grande table conique fixe en maçonnerie. La disposition conique est toujours supérieure à la vieille table dormante, et peut travailler presque aussi bien que la table à secousses ; mais elle a le défaut de n'avoir pas une inclinaison réglable, ce qui est un vice presque rédhibitoire pour une mine dont les produits ne sont pas parfaitement connus et constants.

II. CRIBLES

Tamis mobile. *Le Jig.* — Le premier crible a été naturellement le *jig*, ou panier suspendu agité verticalement dans l'eau. Il est facile de voir, en effet, qu'en secouant ainsi des alluvions pour les débourber, les gros grains d'or gagnent le fond.

Le jig est devenu une petite caisse rectangle dont le fond est formé d'une tôle perforée ou d'une toile métallique consolidée par des barreaux.

Cet appareil simple peut cependant fonctionner de deux manières assez différentes.

Pour des matériaux préalablement classés en grosseurs dans les limites marquées par le rapport $\frac{D - 1}{d - 1}$, le mouvement imprimé au tamis peut être assez doux ; il suffit que la vitesse descendante soit supérieure à la vitesse limite des grains pauvres pour que ceux-ci soient soulevés, passent au travers des grains denses, et se rassemblent en couche à la superficie pendant l'arrêt ou la montée. Après nombre d'oscillations, le classement est fini et on sort le jig de l'eau pour enlever la matière par tranches de densités croissantes. Le classement est donc fait par équivalence, mais à cause du classement en grosseurs, il se confond avec l'ordre des densités ; cependant les grains mixtes se trouvent mélangés aux stériles.

Pour avoir un classement précis par densités, avec ou sans classement exact en grosseurs, il faut que les grains, à chaque oscillation, se trouvent un instant dans les conditions de la première phase de la chute libre en eau tranquille. Pour cela, il faut que l'ouvrier, ou le mécanisme, imprime au jig un mouvement très brusque, tel que son accélération descendante

dépasse celle de la pesanteur pour les grains les plus forts. Dans ce cas, le tamis prend immédiatement l'avance sur la charge tout entière qui est ainsi comme suspendue dans l'eau, et retombe librement sur le tamis avec ébauche de classement par densités. Mais il faut que l'amplitude du mouvement soit très faible pour que la charge se soit déposée avant que les grains aient atteint leur vitesse limite, faute de quoi la fin du classement se ferait par équivalence et détruirait plus ou moins l'effet favorable de la première phase. Nous avons vu que l'amplitude convenable est trois fois environ le diamètre des grains les plus petits, ce qui indique qu'on ne peut pas se passer complètement d'un triage préalable en grosseurs.

On facilitera cette brusquerie en suspendant le jig entre le point d'appui du levier et l'ouvrier, et en y ajoutant un ressort de renvoi.

Lavoir Marsaut. — En faisant actionner mécaniquement le jig, on arrive à lui donner des dimensions quelconques et à classer d'un seul coup par densités plusieurs tonnes de produits bruts, non classés en grosseurs.

L'appareil n'a été appliqué qu'au cas facile de la houille, où le rapport $\frac{D-1}{d-1}$ est très élevé, au moins $\frac{2,4-1}{1,4-1} = 3\frac{1}{2}$. Un wagon de houille sale est jeté dans une haute colonne pleine d'eau, coupée par un tamis mobile auquel on donne ensuite de petits mouvements descen-

dants très brusques; puis on remonte le tamis avec toute la charge classée qui le surmonte, et qu'on enlève par tranches successives au moyen d'une forte raquette mécanique.

Il n'est d'ailleurs pas nécessaire de donner à la colonne beaucoup plus de hauteur que n'en occupe la charge. Il suffit d'imprimer au tamis-jig des oscillations très brusques à la descente et douces à la montée, au moyen d'un système de cames et de ressorts de rabat.

Ainsi perfectionné, le jig a récemment repris grande faveur en Amérique; il a l'avantage de consommer extrêmement peu d'eau, le service de celle-ci étant borné à évacuer le peu de boues qui se déposent dans le tube. Il donne alors d'excellents résultats, car c'est en réalité le seul appareil où l'on puisse appliquer exclusivement la première phase de chute et, par conséquent, obtenir un classement exact par densités sans triage préalable par grosseurs.

En pratique, pour classer des schlamms, les mouvements seraient trop petits et trop multipliés; il faut donc éliminer les boues fines; et, de plus, il y a intérêt à limiter les grosseurs extrêmes dans une charge, puisque l'étendue des oscillations doit être réglée à trois fois environ le diamètre des grains les plus fins.

Tamis fixe. Lavoir à charbons. — Dans la plupart des lavoirs à charbons, le tamis est fixe dans une masse d'eau soumise à des mouvements oscillatoires saccadés, et ces mouvements sont

produits par un gros piston animé d'un mouvement alternatif dans une caisse contiguë pleine d'eau, communiquant par le bas avec l'autre au-dessous du niveau du tamis. Le piston et le tamis ont à peu près même superficie, et sont au même niveau.

La vitesse imprimée à l'eau pendant la descente du piston, est d'abord croissante; elle dépasse à un certain moment la vitesse limite des grains faibles de la charge et, par conséquent, les entraîne au haut de la charge qui se classe ainsi peu à peu suivant les équivalences. Quand le piston remonte, il se produit au travers de la charge une aspiration descendante : on prétend qu'elle joue un rôle notable pour améliorer le classement et le rapprocher d'une catégorisation par densités : on comprend, en effet, que dans une couche de grains équivalents, les plus denses sont les plus petits et peuvent à la rigueur descendre un peu dans les interstices des gros grains légers pendant l'aspiration ; mais cet effet s'il existe, doit être détruit au début du coup de piston suivant et nous ne croyons pas qu'il joue un rôle notable dans les résultats.

Ainsi établi, le lavoir serait discontinu, comme le jig, et ne consommerait pas plus d'eau ; mais, en réalité, on le fait toujours continu et, pour cela, on prend un tamis beaucoup plus long que large, on admet la charge d'une manière continue à un bout et, à l'autre extrémité, au lieu d'une cloison, on ouvre deux fentes superposées

l'une près du tamis, l'autre formant déversoir un peu plus haut.

L'oscillation de l'eau mettant à chaque instant les matériaux en suspension, l'ensemble de la charge se comporte comme un liquide pâteux. La lavée en arrivant du côté amont repousse toute cette masse vers l'aval et en fait sortir une quantité égale par les fentes ; mais, en raison du classement accompli pendant que les sables parcourent la longueur de l'appareil, la fente inférieure ne reçoit que les matières de forte équivalence, et les faibles se déversent par dessus.

Rien n'empêche de multiplier les orifices, par exemple, par plusieurs volets réglables qui la divisent en plusieurs catégories par équivalence, et c'est ce que l'on fait pour des traitements de sables métallifères : on peut même augmenter le nombre des catégories en coupant la longueur du tamis par des fentes transversales à volets réglables, sous chacun desquels passe la tranche la plus profonde du minerai classé, mais cette solution semble médiocre et mieux vaut réserver, en général, toute la longueur pour le classement, sauf à multiplier les fentes à l'aval.

La force motrice nécessaire est très modérée, et n'atteint un cheval que pour un très grand crible. Il faut, au contraire, un fort débit d'eau pour faire progresser les matières sur le tamis et maintenir les caisses pleines malgré l'évacuation continue. La capacité de travail dépend du

nombre et de la hauteur des coups de piston, déterminée en raison de la grosseur des grains à traiter, et de l'admission d'eau. Le crible travaille d'autant mieux qu'il est plus long. On peut admettre qu'avec 0^m,60 de largeur, on passe une tonne par heure en consommant 10 à 15 mètres cubes d'eau.

Lavoir Evvard. — En abandonnant le principe de la continuité, mais avec l'addition de dispositions spéciales très ingénieuses et originales, on a rendu le tamis fixe susceptible d'un grand travail industriel. On installe dans un grand cylindre plein d'eau un tamis maintenu fixe pendant le travail, et l'on y verse d'un coup un wagon de houille. Puis on fait traverser cette masse par un grand nombre de mouvements d'eau obtenus par un pistonnage corrélatif, jusqu'à ce qu'on arrive à un classement bien complet par équivalences. Après quoi le tamis est soulevé avec la masse classée, qui est enlevée mécaniquement par tranches horizontales successives.

Pour avoir un classement suffisant par densités entre des grains isolés, il faut avoir trié au préalable en grosseur suivant la raison $\frac{D - 1}{d - 1}$. Aussi l'appareil est-il inférieur au jig en ce qui concerne les minerais métalliques, puisqu'il ne peut pas classer par densités les grains mixtes de la charge.

III. CRIBLE FILTRANT

Crible à grenailles. — Bien que le crible filtrant ressemble singulièrement au crible à tamis fixe, il mérite un examen spécial et très détaillé en raison de son importance industrielle, surtout sous la forme de crible à balles que nous examinerons en second lieu. .

Dans un crible à tamis fixe non continu, on voit aisément qu'après quelques moments le tamis est couvert d'une couche de grains de la matière la plus lourde, trop gros pour passer par les trous du tamis. A partir de ce moment, il tombe sous le tamis des grains plus petits puisqu'ils passent par ces trous, mais tous de haute densité. De là un moyen de récolter à part des fines très riches, surtout quand elles sont peu abondantes dans la charge, c'est-à-dire précisément quand elles sont difficiles à isoler dans un jig ou un crible non filtrant.

Partant de cette observation, on prend pour constituer un crible filtrant, une toile métallique à mailles assez larges pour laisser passer aisément tous les grains de la lavée qu'il s'agit de traiter. Sur ce tamis, on étale une couche ou *packing* composée de grenailles de la matière la plus dense que l'on veut séparer, mais trop grosses pour passer par les mailles. Puis on fait fonctionner l'appareil, et on recueille comme produit fini les matières qui tamisent à travers le *packing* et la toile métallique.

Dans le crible ancien du Harz, on faisait soigneusement le packing avec des matériaux de même nature que ceux à séparer : par exemple, des morceaux de galène, ou de pyrite, ou de blende. Ce choix était déterminé par une erreur d'interprétation sur le classement des matériaux sur un crible : on admettait que ce classement se fait par densités, tandis qu'il s'opère en raison des équivalences. Examinons, en effet, exactement ce qui se passe, sur un exemple bien défini.

Le tamis est une toile métallique à mailles de 4 millimètres ; le packing est composé de grenailles de galène de 8 à 15 millimètres de diamètre moyen, sur une épaisseur au moins d'une couche, soit 10 millimètres ou plus. La lavée admise est en grains de 2 à 4 millimètres et forme une couche de 5 à 10 centimètres quand elle se dépose.

L'attaque est faite par un courant d'eau ascendant, à vitesse croissante, et rien ne bouge jusqu'à ce que cette vitesse atteigne et dépasse la vitesse limite des grains les plus faibles, puis la vitesse s'accroissant entraîne plus haut les grains légers et produit un classement par équivalences qui ne se détruit pas pendant l'arrêt ou la descente de l'eau. On a donc, au moment du dépôt, une couche riche immédiatement au-dessus du packing, mais dont les petits grains s'engagent aisément entre les gros grains du packing, et, par conséquent, peuvent tomber entre eux et par le tamis au moment de l'aspiration. Il faut d'ail-

leurs que cet effet de l'aspiration soit faible, faute de quoi la lavée passerait tout entière, et non pas seulement sa zone inférieure. Mais en posant la main sur la charge au moment où l'eau descend, on sent très nettement l'aspiration, et c'est évidemment à cet instant que les grains riches de la base sont appelés et passent dans les intervalles des grenailles du packing.

De cette analyse, on tire les conséquences suivantes :

1° Le packing sert exclusivement à retenir la majeure partie de la charge ; donc peu importe sa nature pourvu que ses grains aient une équivalence supérieure à celle d'aucun élément de la charge.

2° Le packing s'opposera d'autant mieux au passage d'une forte proportion de la charge qu'il sera plus épais et laissera moins de place entre ses grains : c'est en variant ces circonstances qu'on réglerá le débit et le degré d'épuration.

3° Avec le packing en grenailles sur toile métallique, le classement se fait exclusivement par équivalence.

Crible à balles. — La pratique a conduit à remplacer les toiles métalliques par des tôles perforées et à employer des packings composés de balles ou grains de plomb ; ce faisant, on cherchait seulement à éviter les inconvénients de l'usure des tamis et des grenailles. Mais nous allons voir que si les trous de la tôle sont ronds et les balles de grosseur convenable pour que

chacune d'elles se pose sur un des trous et l'obturation comme une valve de soupape, les conditions du travail changent et permettent un classement par densités plus ou moins parfait.

L'analyse complète des phénomènes est rendue délicate par l'extrême petitesse des temps et des espaces parcourus qui entrent en compte ; on a peine à faire la représentation des mouvements sur un graphique même à grande échelle, et c'est pourquoi nous allons raisonner et établir ce graphique pour des grains relativement assez gros.

Nous supposerons un mélange de galène, densité 8 ; pyrite, densité 5 ; blende, densité 4 et quartz, densité 2,5. Les rapports d'équivalence respectifs sont 1,75, 1,33 et 2. Les matières sont classées en grosseur à la raison $\frac{3}{2}$ ou 1,50, et comme ce rapport est supérieur à celui de 1,33, entre la pyrite et la blende, on voit que ces deux substances ne peuvent être séparées par un appareil marchant suivant les équivalences, même sans tenir compte des grains mixtes.

Dans les catégories de grosseurs, nous prendrons celle qui a passé par un tamis à trous de 3 millimètres et a été refusée par le tamis de 2 millimètres. L'élément principal du crible correspondant est une tôle perforée de trous de 3 millimètres, éloignés de 5 millimètres de centre à centre, recouverte d'une nappe de balles de plomb de 5 millimètres de diamètre. Avec ces dimensions, chaque trou de la tôle est obturé

par une balle, et les balles se touchent. Il ne reste entre elles que des espaces pouvant laisser passer une sphère de diamètre $\frac{2}{3} 2\sqrt{3} = 0^{\text{mm}},72$

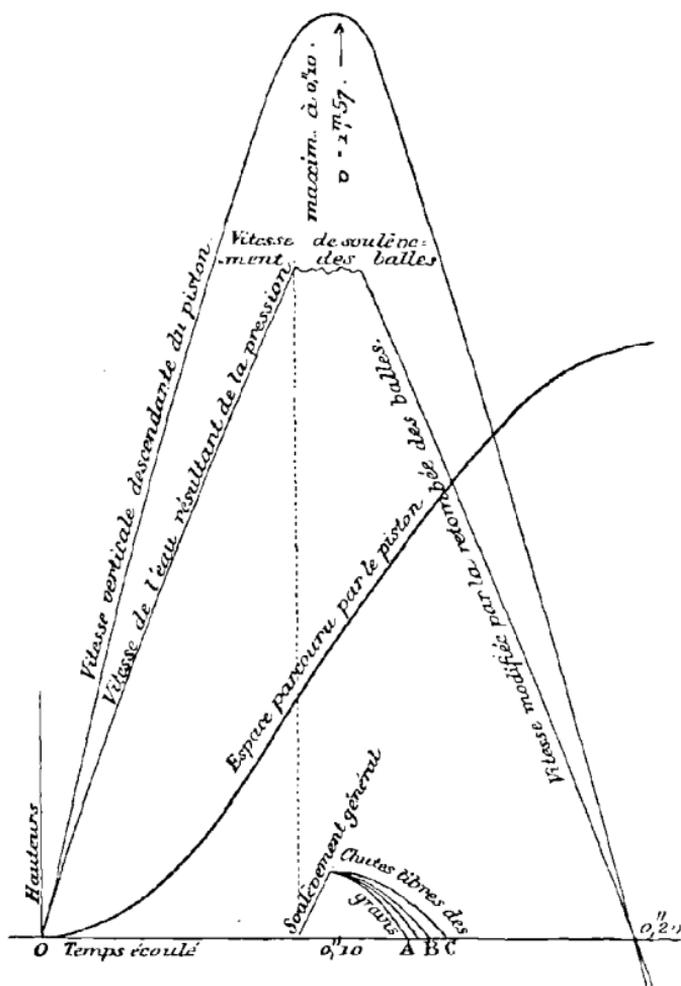


Fig. 1

ou un triangle de $1^{\text{mm}},34$ de côté, et $1^{\text{mm}},16$ de hauteur.

Dans l'autre compartiment de l'appareil, de même section horizontale que le tamis, un excentrique donne au piston un mouvement alternatif de 20 millimètres d'amplitude et fait 150 tours par minute. Ce sont là des données établies par la pratique et que notre analyse justifie en théorie comme on va le voir.

Mais le piston n'est pas jointif et laisse autour de lui une surface libre de $\frac{1}{10}$ environ de la section de la caisse.

Nous mettons un peu plus loin un petit tableau donnant les vitesses limites pour les balles, pour les grains les plus gros et les plus fins de chaque espèce dans la charge, et quelques chiffres relatifs aux mouvements.

Prenons pour point de départ le moment où le piston est au haut de sa course ; la rotation uniforme de l'excentrique se fait à raison de 1 tour en $0''{,}40$, soit 9° par centième de seconde ; la longueur dont le piston est descendu depuis l'origine du temps est $h = r(1 - \cos \alpha t)$, où r est le rayon de l'excentrique 1 centimètre, et la valeur numérique de α est 5π .

Au moment du départ, le niveau de l'eau est le même dans les deux compartiments et peu supérieur à celui du tamis. Si le piston était jointif et s'il n'y avait pas d'obstacles, la masse d'eau monterait de 20 millimètres du côté du crible pendant que le piston descendrait d'autant : la vitesse de l'eau $v = \alpha r \sin \alpha t$ aurait son maximum pour $\alpha t = 90^\circ$ et deviendrait

alors α^n , soit $0^m,157$ dans les conditions données.

Or, on voit dans le tableau V que cette vitesse est inférieure à celle qu'il faut atteindre pour soulever le plus faible grain de blende : donc l'appareil ne fonctionnerait pas.

Mais si on néglige les faibles fuites qu'il peut y avoir du côté du tamis, l'obturation provenant des balles fermant les trous empêche tout passage de l'eau tant que la pression est insuffisante pour soulever les balles. Calculant la pression nécessaire sur 3 millimètres de diamètre, on trouve $h = 0^m,0925$, et la vitesse correspondant à pareille hauteur est $1^m,36$, supérieure à la vitesse limite des balles. Il en résulte que les balles, soulevées par la pression, sont ensuite soutenues par le courant ascendant tant que la pression n'a pas suffisamment diminué, jusqu'à correspondre au plus à $1^m,15$, vitesse limite et, par conséquent, soit devenue $0^m,0674$.

Cette pression se produit effectivement dans l'appareil. Le piston descend, et comme les balles forment obturation, l'eau monte autour du piston jusqu'à une hauteur de $0^m,0925$ ou plutôt $0^m,0674$ au-dessus du niveau primitif (car les fuites et les vibrations ne permettent pas obturation parfaite), et cette dénivellation est obtenue quand le piston est descendu dix fois moins, soit environ 7 millimètres ou encore le tiers de sa course : le temps écoulé est alors $0^s,0788$.

La vitesse, au moment du soulèvement est donc fort grande : c'est une véritable impulsion que subissent les balles et qui a un double effet. D'une part, les balles sont lancées comme des projectiles dans la couche de sables qui les recouvre immédiatement, et nous croyons que c'est presque exclusivement à ce moment et par cette brusque attaque que beaucoup de grains de la zone la plus profonde de la charge se glissent entre les balles ; d'autre part, tout l'ensemble de la lavée est soulevé en masse et brusquement avec la couche de balles, presque instantanément, et sans qu'il y ait possibilité d'une ébauche de classement par équivalence pendant cette ascension en bloc de 10 millimètres environ. En même temps la vitesse d'ascension doit diminuer avec une extrême rapidité par étalement sur le tamis, et nous croyons que tout se passe comme si l'eau était immobile au moment où finit le soulèvement en masse, et c'est d'ailleurs la seule explication plausible du bon classement par densités que produit le service d'un crible à balles. C'est ce que nous avons essayé d'indiquer sur le graphique. En tout cas, s'il y a une phase intermédiaire où l'ascension de l'eau pourrait tendre à produire un classement par équivalence, cette phase doit être si restreinte que son effet est négligeable. L'observation directe de la surface de la charge pendant le soulèvement ne manifeste aucun mouvement relatif des particules d'espèces différentes et c'est

surtout de là que nous concluons à l'absence de cette phase de classement par équivalence.

Au contraire, pendant que l'eau descend, on voit à la surface les grains denses, reconnaissables à leur couleur, s'absorber pour ainsi dire au milieu des grains moins denses : c'est donc pendant la descente que s'accomplit le classement, au moins presque exclusivement. Or le mouvement, après la fin du soulèvement, est à peu près celui d'une chute libre commençant en eau immobile : par conséquent, le classement qui s'y opère se fait sous l'influence prépondérante des rapports de densités, et c'est là un avantage inappréciable en pratique malgré la petitesse des mouvements relatifs qui s'accomplissent dans ce court laps de temps.

Faisant les calculs relatifs à cette phase intéressante, on voit qu'après le soulèvement des balles, le piston a encore à descendre de $0^m,0132$, et, en tenant compte de l'espace nuisible, cette descente ferait monter l'eau de $0^m,012$ environ du côté du tamis. Mais déjà les balles sont retombées sur le tamis où elles peuvent être maintenues en équilibre instable quelques instants, car si elles bouchaient les trous, l'eau s'élèverait assez autour du piston pour les soulever de nouveau. La vitesse de l'eau est alors très faible dans la région qui intéresse la charge et qui n'est alimentée que par l'eau passant entre les balles ; car le rapport entre les surfaces des vides et des pleins dans la couche de balles est

$\frac{r^2 \sqrt{3} - \frac{1}{2} \pi r^2}{r^2 \sqrt{3}}$, soit environ $\frac{1}{10}$. C'est en raison

de cette circonstance que l'eau peut être regardée comme immobile au point de vue de la chute des grains, ce qui permet le classement par densités.

L'amplitude de la chute libre à accomplir par les grains de la charge est celle de la montée brusque, soit environ 10 millimètres; la durée de cette chute est

$$t = \sqrt{\frac{2e}{g \frac{d-1}{d}}} = 0^{\text{m}},045 \times \sqrt{\frac{d}{d-1}}$$

et le radical prend les valeurs 1,07, 1,11 et 1,16 pour les trois espèces de grains. La parcelle de pyrite s'arrête ainsi après 0^m,05 et celle de blende au bout de 0^m,0522, se trouvant de ce fait en retard de 0^m,0008, soit environ du tiers du diamètre des petits grains. Donc le gros grain C de blende qui serait passé sous le petit grain de pyrite b pendant la montée s'il y avait eu classement par équivalence, sera ramené au-dessus de lui en 3 ou 4 coups de piston.

Il ne faut pas que l'échelle des grosseurs soit par trop large, car si la raison différait beaucoup de la raison $\frac{D-1}{d-1}$, le rôle de la période où il peut y avoir ébauche de classement par équivalence s'accroîtrait et, de plus, l'obturation parfaite que nous avons admise n'est jamais réalisée

Tableau V

| Grains | Diamètres en millimètres | Densité | Densité dans l'eau | Produit $l(d-1)$ | Vitesse limite | Horaire du mouvement librement | Horaire da la retombée | Durée da la chute | Horaire de l'arrêt | Retards relatifs |
|------------------|--------------------------|---------|--------------------|------------------|----------------|--------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| Balles de plomb. | 5 | 11 | 10 | 50 | 1,15 | 0",0788 | 0",090 | " | " | " |
| A) Galène | 3 | 8 | 7 | 21 | 0,353 | " | " | 0",0482 | 0",127 | " |
| a) " | 2 | 8 | 7 | 14 | 0,288 | " | " | 0",0482 | 0,127 | " |
| B) Pyrite | 3 | 5 | 4 | 12 | 0,207 | " | " | 0,050 | 0,1288 | 0",0018 |
| b) " | 2 | 5 | 4 | 8 | 0,218 | " | " | 0,050 | 0,1288 | " |
| C) Blende | 3 | 4 | 3 | 9 | 0,230 | " | " | 0,0522 | 0,131 | 0,0022 |
| c) " | 2 | 4 | 3 | 6 | 0,189 | " | " | 0,0522 | 0,131 | " |

dans la pratique. Il y a donc toujours lutte entre les deux systèmes de classement, et même quand les conditions essentielles font prévaloir le classement par densité, il faut d'autant plus de coups de piston que le classement par grosseurs est moins serré.

Achevons en deux mots l'examen du tour entier de l'excentrique. Le mouvement de descente du piston cesse au bout d'un demi-tour, soit après $0^{\circ}20$. A ce moment, les balles et la charge sont déjà retombées à leur place, mais l'obturation par les balles retient l'eau sur le tamis. Le piston remonte ensuite et le niveau s'abaisse autour de lui, produisant une aspiration très notable, bien sensible à la main, et pendant laquelle les grains lourds mêlés à la nappe de balles sont enlevés ; cette aspiration fait l'effet d'une mobilisation de la charge, et l'on voit, à la surface de celle-ci, quelques grains lourds disparaître sous les grains légers. On ne peut guère juger l'effet réel de mouvements aussi petits, mais leur existence n'est pas contestable.

En résumé, chaque tour de l'arbre moteur donne lieu au moins à cinq phases successives de mouvements :

1° La pression de l'eau sous le tamis s'accroît sans qu'il y ait aucun mouvement du côté de la charge ;

2° Il y a soulèvement brusque et en masse de tout ce qui reposait sur le tamis ;

3° Montée lente de l'eau sur le tamis, pouvant parfois donner lieu à une ébauche de classement par équivalence ;

4° Chute de la charge en eau à peu près immobile, produisant un classement par densités ;

5° Descente très lente de l'eau sur le tamis, puis aspiration vive provoquant la chute des grains les plus denses situés dans la couche de balles, et peut-être donnant à la charge un peu de mobilité aidant à un complément de classement par densités.

Crible continu. — L'analyse précédente s'applique à un crible fermé et par suite discontinu, mais s'étend aussi bien au cas où on fait en même temps fonctionner cette section comme un crible à charbons, en ouvrant, sur un côté opposé au point de chargement, un déversoir qui évacue à chaque coup de piston les sables les plus superficiels et, par conséquent, les moins denses. En même temps, les sables lourds qui ont traversé le tamis peuvent être évacués par un orifice convenable, et le travail devient ainsi continu.

Pour avoir un produit fini, il faut régler la charge, le volume d'eau, la vitesse, la nappe de balles, de manière qu'il passe exclusivement par le tamis la majeure partie des grains les plus denses contenus dans la charge. Tout le reste de celle-ci doit passer par le déversoir. Mais, pour obtenir une seconde catégorie de densité un peu moindre, il suffit de recevoir le

produit du déversoir dans une seconde section à tamis, et ainsi de suite. On fait rarement aujourd'hui des cribles à moins de 3 compartiments et on leur en donne plus souvent 4, 5 ou 6. C'est d'ailleurs le principal organe de séparation pour les minerais métallifères en général.

Dans sa disposition habituelle, le crible est une longue caisse rectangulaire posée à quelque hauteur au-dessus du sol, et divisée en deux par une cloison verticale longitudinale. D'un côté, sont les compartiments à pistons, de l'autre, sont les cribles. Chaque caisse à piston communique largement par le fond avec un compartiment à tamis; dans le sens longitudinal, il n'y a pas d'autre communication que les déversoirs. Ceux-ci sont établis en échelons descendants à partir du premier compartiment qui reçoit la lavée, et les tamis sont échelonnés de même; la dénivellation est de quelques centimètres d'un compartiment à l'autre et pourrait même être supprimée si on voulait marcher très lentement, car elle est sans autre intérêt que de faciliter le déplacement de la charge déjà provoqué par le seul fait de l'arrivée continue de la lavée.

On a parfois disposé les compartiments à tamis en couronne circulaire autour d'un compartiment unique à piston; mais cette disposition, possible pour une construction en fer ou en fonte, se prête moins bien à un bon réglage que les compartiments indépendants.

Le réglage se fait par l'admission d'eau, par

la hauteur des déversoirs au-dessus des tamis, par le choix et l'épaisseur du lit de balles. Le principe est que le premier compartiment doit donner le sable le plus dense à peu près pur ; il faut donc qu'il reste un peu de la même qualité au premier déversoir et, pour ne pas la perdre, en même temps pour recueillir les grains mixtes A-B, on règle en conséquence la seconde section. La troisième peut alors donner les grains de qualité B à peu près purs, sans cependant qu'il soit possible d'y éviter la présence d'un peu de mixtes A-B-C ; pour les mêmes motifs, il faut à la suite une quatrième section à mixtes. On ajoute d'ordinaire une cinquième section, quand cela est nécessaire, pour recueillir le reste des grains utilisables et pouvoir éliminer des matériaux tout à fait stériles au dernier déversoir. On a ainsi trois produits finis (y compris le stérile), et 2 ou 3 produits à retravailler.

Si les grains de natures différentes doivent être considérés pratiquement comme entièrement isolés dans la charge, les produits mixtes obtenus sont à repasser indéfiniment au même appareil ou à un appareil semblable, car on finira ainsi par en tirer tout ce qu'ils contiennent d'utile. Mais pour les mixtes composés de grains mixtes, le repassage ne peut être d'aucun effet pratique, en sorte qu'il faut rebroyer les matières qui rentrent dans cette catégorie. C'est affaire au maître-laveur de diriger chaque produit sortant vers le magasin ou l'engin où il doit être utilisé.

Le crible filtrant est surtout avantageux pour traiter des sables gros et fins. On n'a guère à l'employer au-dessus de 1 centimètre, car à cette dimension les grains de nature différente sont rarement séparés, sauf pour des minerais massifs qui n'ont pas à passer à la laverie. Dans les cas rares où l'on doit traiter de grosses grenailles, ce sont les lavoirs à charbons qui rendent les meilleurs services.

Au-dessous de $\frac{1}{2}$ millimètre, les grains forment avec l'eau une sorte de pâte coulante mal arrêtée par la fermeture imparfaite d'un lit de balles ou de grenailles, et les remous empêchent toute netteté de classement. Pour arriver au bon classement par densités, l'amplitude de l'oscillation ne doit pas dépasser 6 fois le diamètre des grains les plus petits, et cela réduirait à 3 millimètres cette amplitude ; c'est un chiffre inadmissible en pratique, car il exigerait une précision impossible dans le mécanisme et dans le service des eaux. Il faut ajouter encore qu'on ne fait guère de tôles perforées à moins de 1 millimètre et que l'emploi des toiles métalliques ne rend pas les mêmes services pour le classement par densités, faute d'obturation possible par un lit de grains de plomb ; en outre, les tamis s'usent très rapidement.

Nous croyons donc qu'il faut limiter de 1 à 10 millimètres l'emploi industriel du crible filtrant, et recourir aux tables au-dessous de ces limites.

Pour les applications, il est intéressant de connaître les conditions de marche et la *capacité* des cribles, c'est-à-dire la quantité de matière sableuse qu'on peut y travailler utilement dans un temps donné, suivant la grosseur du sable et la dimension de l'appareil.

La capacité peut être modifiée notablement par l'opérateur en variant les conditions de marche, en vue d'obtenir le meilleur travail de séparation. Ce sont surtout les résultats constatés au premier compartiment qui déterminent le réglage, parce que la substance recueillie par filtration sous le tamis doit comprendre en presque totalité les grains les plus denses contenus dans la charge, sans que la teneur soit abaissée par la présence de trop de mixtes. Si le produit est impur, il faut ralentir la venue d'eau pour retenir plus longtemps la charge au premier compartiment, et augmenter l'épaisseur du packing afin de réduire la quantité filtrée.

Mais, sauf les variations résultant du réglage, on peut dire, sans grande erreur, qu'un crible à tamis de 0^m,80 sur 0^m,60 pourra passer par heure une charge de 1 tonne de gros sable de 3 à 4 millimètres; la course du piston sera, dans ce cas, 20 à 25 millimètres; l'admission d'eau, de 10 fois le poids de la charge, atteindra 12 à 15 fois ce poids si on veut assurer l'évacuation régulière et automatique des stériles et des produits filtrés de chaque tamis. La tôle perforée sera à trous de 4 millimètres et les

balles auront 6 millimètres de diamètre. Le nombre des tours de l'arbre à excentriques sera voisin de 150 par minute.

Ce sont là les données généralement admises par les constructeurs et justifiées par l'expérience : mais il est important de savoir comment tous ces chiffres se modifient solidairement dans les cas ordinaires.

On ne dépasse guère 0^m,60 sur 0^m,80 pour les dimensions des compartiments, ce serait même là le maximum acceptable pour des numéros fins où les tôles sont trop minces pour rester droites sous les mouvements de la charge quand elles sont trop larges. D'ailleurs un crible établi avec ces éléments, à 5 ou 6 compartiments, est déjà un appareil assez encombrant, et il est difficile de combiner des engins trop étendus avec la nécessité de faire parvenir automatiquement les produits à des points déterminés par la tuyauterie convenable.

La capacité d'un crible est proportionnelle à la surface du tamis ou du compartiment, ou mieux à la surface totale des trous dans un tamis. Elle ne dépend pas du nombre des sections, au moins directement, car, en fait, les sections nombreuses perfectionnent la sélection et diminuent la proportion du repassage.

L'épaisseur de la charge varie peu avec la grosseur des grains ; on la fait cependant un peu plus faible pour les grains fins, ce qui est justifié par la lenteur relative de classement des

matières fines et la brièveté des oscillations de l'eau. On peut admettre que les meilleures conditions de travail correspondent à une hauteur de charge proportionnelle à la racine carrée de la grosseur des grains.

Les éléments qui varient nécessairement avec ladite grosseur, sont la course du piston et la vitesse de rotation de l'arbre moteur.

Nous avons vu déjà que, pour obtenir un bon classement, le soulèvement doit être 3 fois le diamètre des grains, et que, pour arriver à ce chiffre, il faut donner à la course du piston une amplitude double. Mais, soit à cause des fuites, soit pour quelque autre motif mal déterminé, la pratique conduit à faire décroître l'amplitude un peu moins vite que les diamètres; ainsi admettant 20 millimètres pour des grains de 3 millimètres, on conserve 8 à 9 millimètres pour des grains de 1 millimètre.

La vitesse de rotation doit être telle que les grains soulevés aient le temps de retomber à leur place avant un nouveau coup de piston; comme il s'agit ici de la chute libre sur une hauteur proportionnelle au diamètre des grains, le temps nécessaire est proportionnel à la racine carrée de cette hauteur. Le nombre de tours par minute est donc inversement proportionnel à la racine carrée du diamètre des grains, mais la pratique, qui conduit à exagérer un peu les courses pour les grains faibles, augmente en même temps un peu les vitesses. Partant de

150 tours pour les grains de 3 millimètres, la formule $y = \frac{K}{\sqrt{x}}$ donnerait 270 tours pour les grains de 1 millimètre, tandis qu'en pratique, on admet au moins 300.

Quant à la capacité, pour une même surface de tamis, l'expérience montre qu'elle est sensiblement proportionnelle à la racine carrée du diamètre des grains.

Les données pratiques relatives au travail des cribles pour diverses grosseurs de sables à traiter, sont réunies dans le tableau suivant :

| Diamètre des grains en millimètres | Nombre de tours par minute | Course du piston en millimètres | Capacité en kilogrammes par heure |
|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 300 | 9 | 500 |
| 2 | 215 | 14,5 | 700 |
| 3 | 175 | 20 | 850 |
| 4 | 150 | 24,5 | 1000 |
| 5 | 135 | 29 | 1100 |
| 6 | 125 | 34,5 | 1200 |
| 7 | 115 | 39 | 1300 |
| 8 | 105 | 44,5 | 1400 |
| 9 | 100 | 49 | 1500 |
| 10 | 95 | 54,5 | 1600 |

Crible mixte. — Nous avons dit que le crible à charbons a été appliqué au traitement des minerais métalliques, mais il a sur le crible filtrant l'inconvénient de ne pas assurer la production du minerai le plus dense à l'état de produit fini. D'autre part, le crible filtrant, s'i

traite des mélanges de grains de nature diverse et isolés, peut donner plusieurs catégories de minerais finis, mais s'il agit sur des minerais où il y a une très forte proportion de grains mixtes, à densités intermédiaires entre la plus forte et la plus faible, tous les produits, sauf ceux du premier compartiment, sont à rebroyer. Dans ce cas, il semble bien inutile de subdiviser ceux-ci en plusieurs classes, ce qui complique le service sans profit, et il semble alors indiqué de simplifier la construction et le travail en faisant suivre un premier compartiment, monté en crible filtrant à balles, par un lavoir à deux catégories seulement établi sur le type lavoir à charbons. Le but de la seconde partie sera seulement d'enrichir la lavée en éliminant le plus possible de stériles ou extrêmement pauvres. On augmentera ainsi la capacité effective de travail pour un même encombrement et une même consommation d'énergie mécanique.

CHAPITRE III

—

APPAREILS DE BROYAGE ET TRIAGE

Cassage. — Le cassage des gros blocs se fait au chantier, au moyen de coins s'ils ont des lits ou des décollages bien marqués, ou à coups de mine s'ils sont massifs. Ce n'est là qu'une suite de l'exploitation, ayant pour but d'isoler les plages utiles et inutiles ou seulement de rendre les morceaux maniables. On le complète, soit à la masse, soit parfois au mouton, de manière à n'avoir pas de fragments pesant plus d'une soixantaine de kilogrammes, ou dépassant 0^m,30 en aucun sens. Ces cassages ne se font jamais que sur des blocs renfermant des parties minéralisées utilisables ; il y a tout avantage à jeter aux décharges les blocs stériles sans les briser tant pour économiser les frais que pour éviter la production de débris stériles qui appauvriraient d'autant le minerai envoyé à la préparation mécanique.

Le cassage est toujours, en fait, accompagné d'un triage qui produit deux qualités : d'une part, les morceaux stériles rejetés, et de l'autre, les morceaux minéralisés et les menus, qui

vont à la *préparation mécanique*. Parfois on choisit en même temps en relevant les morceaux ceux qui comportent une attention spéciale ou des traitements particuliers.

Dans le cas de travaux sur des minerais massifs, comme il arrive pour les mines de houille et de fer, le travail définitif se fait au chantier, sauf parfois pour une certaine quantité de menus qui ne peuvent être triés rapidement sur place, et qui cependant ont encore assez de valeur pour comporter une sélection spéciale.

Mais quand il s'agit de minerais métalliques, on a presque toujours à faire la *préparation mécanique* en plusieurs séries d'opérations dont chacune comprend trois parties :

1° La *réduction des fragments impurs* en fragments plus petits, travail que nous appelons concassage, broyage, pulvérisation et porphyrisation suivant la grosseur moyenne des grains qu'il doit produire ;

2° Le *classement du produit en deux ou plusieurs grosseurs* qui doivent être traitées séparément ;

3° Le *classement par qualités* qui porte les noms de triage ou de lavage suivant la manière dont il y est procédé.

Ces opérations sont toujours étagées et conduites jusqu'à ce que les grains soient impalpables ou jusqu'à ce qu'ils puissent être considérés comme constitués chacun isolément par une matière à peu près homogène.

Concassage. — Pour réduire en fragments des blocs de roche maniables, ne dépassant pas 30 ou 40 centimètres en aucun sens, l'appareil presque unique est le concasseur à mâchoires, crusher ou braker. Il a pour organes principaux deux puissantes mâchoires en fonte dure cannelée, dont l'une est à peu près verticale et fixe, tandis que l'autre est animée, par un système de leviers, d'un mouvement oscillatoire peu étendu, en angle voisin de 45° sur l'inclinaison de la première.

La vitesse ordinaire de l'arbre qui commande ces mouvements est de 200 ou 250 tours; un lourd volant donne au moment de l'écrasement toute la puissance d'un coup de marteau-pilon, mais de forts ressorts empêchent la rupture quand la pierre résiste à cet effort.

En raison de la forme à crans que présentent les mâchoires, la pression se fait surtout sur les arêtes et cisaille la roche plutôt qu'elle ne l'écrase. C'est là un avantage considérable pour les opérations ultérieures de la préparation, car on fait ainsi une très faible proportion de menus fins : les morceaux fendus sur les arêtes trouvent un refuge dans les espaces libres et y glissent sans subir de pulvérisation inutile.

L'ouverture rectangulaire libre au haut de l'appareil ou *gueule* du concasseur reçoit les gros morceaux; ceux-ci descendent et s'engagent entre les arêtes des mâchoires, puis après le choc, les fragments assez petits tombent par la

fente du concasseur au moment où les mâchoires s'écartent. La largeur de cette ouverture détermine la dimension maxima du produit, sauf quelques morceaux plats.

Le type du concasseur est défini surtout par les dimensions de la gueule, par exemple $\frac{40}{30}$ centimètres : la plus grande dimension est d'ordinaire transversale, parallèle à l'axe moteur ; la fente d'ouverture a pour longueur cette même dimension et son écartement est réglable de manière à pouvoir fournir un produit broyé par exemple à grosseur de ballast, ou à l'anneau de 8 ou 7 centimètres, ou à dimensions moindres.

Presque toujours, on commence le concassage dans ces dimensions de ballast, et c'est pour elles que les constructeurs indiquent les données de leurs appareils : concasseur n° 3, $\frac{40}{30}$, capacité 5 tonnes à l'heure, force consommée 5 chevaux (pour ballast de 70 millimètres). Mais ce que ne donnent pas exactement les catalogues, ce sont les chiffres de production et de force correspondant au broyage effectué par le même appareil, soit sur des blocs moins gros, soit en vue d'obtenir des fragments plus petits, et voici le moyen de les obtenir.

1° Le mouvement des mâchoires, nul à la gueule, est seulement de quelques millimètres au bas, à l'ouverture. Il résulte de là que les blocs ne commencent à être cassés que quand ils sont coincés. Cette situation se produisant plus

bas quand les morceaux admis sont moins gros, le travail d'écrasement s'accomplit sur une moindre surface et le travail consommé est moindre ; mais, en réalité, la différence est faible sur l'énergie consommée et se traduit plutôt par une augmentation de production sensible. On peut admettre que la production est environ inversement proportionnelle à la racine quatrième du diamètre moyen des morceaux admis.

2° Quand l'écartement des mâchoires varie, la capacité du concasseur varie proportionnellement à la largeur d'ouverture. C'est, en effet, la superficie de l'ouverture qui règle l'écoulement des produits concassés, et comme la longueur est fixe, la surface est proportionnelle à la largeur, c'est-à-dire au diamètre des morceaux produits.

3° La force motrice consommée augmente beaucoup quand on veut travailler en numéros plus fins. Des expériences précises manquent à cet égard, mais comme nous n'avons pas remarqué que la force totale nécessaire pour un concasseur donné varie beaucoup quand on change le degré de serrage des mâchoires, nous en concluons que, pour une tonne de produits, l'énergie consommée est en raison inverse du diamètre moyen de ces produits.

Ces diverses indications sont susceptibles de la vérification suivante :

Un concasseur de $\frac{40}{30}$ de gueule, travaillant sur des blocs de 28 centimètres et les réduisant en

ballast de 7 centimètres consomme 5 chevaux et produit 5 tonnes à l'heure, soit 1 tonne par cheval-heure.

Le même concasseur travaillant sur les mêmes blocs pour produire des grenailles 4 fois plus petites ou de $17^{\text{mm}},5$, consomme la même force et produit 4 fois moins, soit $1',25$ par heure et 4 chevaux par tonne.

Le même concasseur travaillant sur des morceaux de 70^{mm} , quatre fois plus petits que les premiers blocs, pour produire des grenailles de $17^{\text{mm}},5$ en produit $\sqrt{2}$ fois plus ou $1,25\sqrt{2}$ tonnes ou 1,76 tonnes par heure sans que la force change; il consomme donc 3 chevaux par tonne.

Si les données sont exactes, on doit trouver, et on trouve, en effet, que la force consommée par tonne est sensiblement la même, soit qu'on fasse en une seule fois ou en deux opérations successives le concassage des blocs de $0^{\text{m}},20$ en grenailles de $17^{\text{mm}},5$.

On peut donc, avec une certaine confiance, admettre en pratique les données contenues au tableau ci-après, et en calculer de semblables pour d'autres modèles de concasseurs.

En pratique cependant, on n'emploie guère le concasseur au-dessous de 15 à 20 millimètres d'écartement, ou bien il faudrait le construire suivant des règles fort différentes et non étudiées. La raison en est moins dans la petitesse du travail que dans sa médiocre qualité, due à ce que les cannelures habituelles des mâchoires

sont trop larges et l'amplitude du mouvement de serrage trop grande pour un travail à si petits fragments. Le produit est irrégulier et les parcelles très fines abondent, c'est-à-dire que le concasseur perd ses plus remarquables qualités.

Travail d'un concasseur 30/40

| Dimension moyenne des b'oes admis | Force motrice consommée | Écartement en millimètres | Production en tonnes par heure | Force consommée par tonne |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | chevaux | | | chev.-heure |
| 0 ^m ,280 | 5 | 80 | 5,70 | 0,88 |
| " | " | 70 | 5,00 | 1,00 |
| " | " | 60 | 4,30 | 1,16 |
| " | " | 50 | 3,60 | 1,40 |
| " | " | 40 | 2,85 | 1,75 |
| " | " | 30 | 2,15 | 2,33 |
| " | " | 20 | 1,40 | 3,50 |
| " | " | 10 | 0,70 | 7,00 |
| " | " | 5 | 0,35 | 14,00 |

Scheidage. — Le produit de la mine, amené à l'état de ballast de 7 ou 8 centimètres, c'est-à-dire réduit en morceaux de 1 kilogramme environ et au-dessous, puis débarrassé des menus par passage dans un trommel ou sur une grille, et souvent lavé par arrosage, était autrefois soumis au *scheidage*; les ouvriers prenaient successivement en mains chaque fragment, pour jeter chacun d'eux dans une caisse et en faire diverses catégories de qualités; quand un morceau ne rentrait pas dans une des catégories déterminées d'avance, l'ouvrier le cassait d'un coup de mar-

teau sur une petite enclume et opérait son choix sur les fragments ainsi obtenus.

Le but de ce travail était surtout de produire des *stuffs*, c'est-à-dire des minerais destinés directement aux traitements métallurgiques et similaires, et de mettre de côté les minerais de valeur qui, dans la préparation mécanique seraient difficilement isolés sans grandes pertes, comme les galènes, l'urane, etc. Il est certain que c'est une opération très avantageuse quand la main d'œuvre est à bon marché et l'ouvrier bien exercé; malheureusement ce cassage à la main produit extrêmement peu, un homme ne pouvant guère réduire par heure plus d'une soixantaine de kilogrammes de ballast à la dimension définitive du *scheidage*, qui est de 15 à 20 millimètres, de telle sorte que des considérations économiques obligent souvent à avoir recours à l'intervention des moteurs mécaniques, quitte à obtenir des résultats techniques plus médiocres.

Klaubage. — La tendance est donc de supprimer l'ancien *scheidage*, ou tout au moins sa partie la plus onéreuse, le cassage à la main, pour le réduire au *klaubage*, c'est-à-dire au triage opéré à la main sur les fragments obtenus par un concassage mécanique, et en aidant le triage par des distributeurs mécaniques.

Un premier *klaubage* se fait presque toujours sur le produit du gros concassage à dimension de ballast, 7 ou 8 centimètres, et le triage se

borne là d'ordinaire pour les houilles et les minerais de fer. Pour les minerais métalliques complexes, on continue avec profit ce genre d'opérations jusqu'aux environs de 20 millimètres.

Quand on travaille à grande échelle, il est avantageux de subdiviser le travail en deux étages, c'est-à-dire de faire un concassage à écartement de 40 millimètres, suivi d'un criblage et d'un klaubage, puis de concasser de nouveau à 20 millimètres les morceaux laissés comme mixtes à la première période. Nous avons vu, en effet, que le concassage en deux fois n'est pas plus onéreux qu'en une seule, et ici il y a même économie puisqu'il y a élimination partielle avant le second concassage. De plus, il y a économie sur les frais de triage, car le nombre des morceaux soumis à l'examen de l'ouvrier est 8 fois moindre après cassage à 40 qu'après cassage à 20 millimètres; il est vrai que l'ouvrier en examine au moins deux fois plus dans ce second cas. L'économie de main-d'œuvre se calcule donc ainsi : pour trier sur 16 000 fragments de 20^{mm}, il faudrait, par exemple, 16 ouvriers; pour trier sur 2 000 morceaux de 40^{mm} : il faut compter 4 ouvriers; ce premier triage éliminant plus de moitié, le second triage après concassage ne comprend au plus que 8 000 morceaux comportant 8 ouvriers; il y a donc 4 ouvriers de gain en opérant en deux phases, et, d'ordinaire, l'économie est bien plus élevée, car

on passe au second concassage plutôt le quart que la moitié de la production entrant à l'atelier.

Les matériaux sortant du concasseur sont nettoyés par passage sur une grille ou une tôle perforée, et les morceaux refusés à ce criblage sont reçus sur une table mobile avec laquelle ils passent successivement à portée des ouvriers trieurs.

La table mobile peut être rectangulaire. C'est alors une courroie sans fin, formée d'un tissu de jute ou de coton, par exemple, par des vieux câbles plats en aloès, ou encore par une suite de plateaux articulés en tôle d'acier. Elle est posée sur rouleaux, et l'un des grands rouleaux extrêmes est actionné mécaniquement pour produire la translation ; les bords glissent entre des rebords fixes peu élevés. La largeur habituelle est de 60 à 70 centimètres quand elle circule devant une seule rangée d'ouvriers, de 1^m à 1^m,20 entre deux lignes de trieurs ; la distance des ouvriers est de 1^m,20.

La charge s'étale en tombant sur l'extrémité de la table et circule avec elle à raison de quelques centimètres par seconde. L'ouvrier saisit au passage certaines catégories de morceaux qu'il jette dans de petites trémies placées à sa portée ; l'opération doit être conduite de manière qu'il ne reste sur la table, à la fin de la course, que des morceaux d'une seule qualité qui se déversent là automatiquement : ce sont ou bien des stériles, ou bien du minerais, mais il est plus

rationnel d'enlever à la main les stériles et les *stuffs* très riches, pour laisser courir avec les poussières les morceaux de minerai ordinaire qui ont à passer à d'autres opérations. On peut profiter du retour inférieur des courroies plates pour y jeter les stériles triés et les rassembler ainsi automatiquement.

On a récemment construit des tables de triage à forme creuse au moyen d'une large courroie très flexible, en caoutchouc, circulant sur des rouleaux en double cône. Cette disposition permet de fortes pentes et, par suite, un abondant écoulement d'eau : elle a été appliquée à d'assez longs transports.

Dans nombre d'installations, on a adopté, comme moins encombrantes, des tables circulaires en fer, formées d'une couronne plate tournant autour d'un axe vertical ou légèrement incliné. Un des avantages de ce dispositif, un peu coûteux comme installation, est d'exiger moins de réparations que les courroies, mais il y en a un autre plus sérieux quand on a besoin d'un triage extrêmement soigné. Rien n'oblige, en effet, pour la table circulaire, à faire une décharge forcée et automatique, et s'il n'y a pas de raquette oblique, la charge circule indéfiniment, l'ouvrier est obligé d'enlever à la main tous les morceaux, et on n'est pas exposé aux oublis et négligences comme dans le cas où une partie de la charge peut être entraînée sans avoir été vérifiée.

Quand il s'agit du scheidage d'une quantité sérieuse, de quelques tonnes par heure, la disposition de l'atelier doit être étagée, sauf à remplacer les étages par des chaînes à godets. Les produits de la mine sont jetés sur une harpe ou une tôle perforée à trous de 7 centimètres, dont les refus passent au concasseur réglé à ce chiffre, ou bien on fait passer tout à ce concasseur. Le produit du concasseur est reçu sur une harpe à trous de 5 centimètres et demi environ, dont le refus est passé à la table de klaubage, où il subit les éliminations nécessaires.

Le minerai ordinaire provenant de cette opération est concassé de nouveau à grosseur de noix, vers 30 millimètres d'écartement, réuni aux menus de la première harpe, et passé sur une autre harpe à trous de 15 ou 20 millimètres, dont les refus sont klaubés de nouveau. Rarement on pousse le klaubage jusqu'à 10 millimètres par une troisième opération semblable.

Broyage. — Les minerais mixtes restant après les triages doivent être rebroyés jusqu'à ce qu'il y ait pratiquement isolement complet des particules de nature différente.

Dans certains cas particuliers, on opère immédiatement le broyage à mort; mais pour tirer bon parti de la plupart des produits des mines métalliques, il faut éviter autant que possible la production des schlamms dont le traitement mécanique très onéreux entraîne des pertes énormes et rapidement croissantes avec le degré de finesse.

On produit d'autant moins de schlamms que le broyage est plus étagé, puisque, à chaque opération, on élimine, d'une part, les minerais riches qui ne subissent plus de pertes et, d'autre part, des stériles qui n'appauvrissent plus la masse à broyer finement.

Dans chaque opération de broyage, il ne se produirait presque pas de schlamms si les fragments étaient soustraits à toute pression et à tout frottement aussitôt après avoir subi le premier choc qui les subdivise; ainsi le choc d'un marteau-pilon sur une couche de morceaux réguliers, arrêté quelques centièmes de millimètres après les avoir touchés, ne donnerait un peu de schlamms que par l'écrasement des extrêmes pointes de ces morceaux. Mais s'il y a glissement ou compression après le choc, la proportion de poussières fines s'accroît énormément.

C'est ainsi qu'un concasseur réglé à 80 millimètres d'écartement agissant sur un minerai rocheux dur, donne un produit laissant jusqu'à 80 % de refus sur une harpe à trous de 40 millimètres, et si la quantité passant à travers des tamis successifs décroissait en progression géométrique avec la même raison, on voit qu'il y aurait bien peu de fines au-dessous de quelques dixièmes de millimètre: il faut dire cependant que la loi ne se maintient pas et que la proportion de schlamms est fort au-dessus de celle qui résulterait de pareil calcul.

Les avantages du concasseur disparaissent

quand l'écartement est réduit au-dessous d'une trentaine de millimètres, et au-dessous de ce chiffre, ou grosseur de noix, il faut employer d'autres appareils pour le *broyage* en *grenailles* et *gros sable*, c'est-à-dire jusque vers 2 millimètres, puis pour la *pulvérisation* en *sable fin* jusqu'à un demi-millimètre, et enfin pour *porphyrisation* jusqu'à poudre impalpable.

C'est le moulin à cylindres ou *valzwerk* qui paraît l'outil le plus convenable pour produire les grenailles et les gros sables. Il se compose de deux cylindres en fonte dure ou en acier, assez courts comme génératrice, et tournant en sens inverse avec même vitesse sur deux arbres parallèles. Un réglage convenable fixe la distance minima entre les génératrices les plus rapprochées et de puissants ressorts permettent un peu d'écartement en cas de passage d'un corps très dur, comme un fragment d'outil ou de burin.

L'égalité des vitesses est nécessaire pour empêcher le glissement qui écraserait la charge et produirait beaucoup de schlamms ; aussi la disposition consistant à faire tourner un cylindre en face d'une plaque fixe n'est-elle pas recommandable si les surfaces sont lisses : elle serait acceptable pour des surfaces cannelées ou à pointes saillantes comme on le fait quelquefois.

Mais, le plus souvent, les surfaces des cylindres sont formées de bagues d'acier faciles à remplacer, en raison de leur rapide usure, et il ne semble pas avantageux ni de faire les surfaces

rugueuses, ni de les composer de bagues alternantes plus minces et plus épaisses, toutes circonstances qui augmentent les écrasements et la production des schlamms.

Il est bon que la charge livrée aux cylindres soit faible et bien inférieure au maximum de productivité possible, car la forme angulaire au voisinage de la ligne de contact donne lieu à la compression des matières si celle-ci sont en quantité suffisante pour remplir l'espace libre.

Le diamètre des cylindres est d'ordinaire assez petit, 0^m,40 à 0^m,60, rarement davantage, mais il doit être suffisant pour que les morceaux les plus gros de la charge s'engagent entre eux, c'est-à-dire pour que la pression ne puisse ni les soulever ni les faire rouler; alors il y a arc-boutement et la pression s'accroît jusqu'à rupture du morceau ou de l'appareil. C'est pourquoi la sécurité de ce dernier est assurée par des ressorts et par le glissement possible des courroies de commande; on rejette absolument les commandes par engrenage.

La condition nécessaire au coincement, c'est que la résultante de la pression et du frottement, au point de contact d'un morceau supposé sphérique et d'un des cylindres, passe au point de contact de la même sphère avec l'autre cylindre (ou au-dessous de ce contact). La *fig. 2* est facile à tracer et montre que la condition d'équilibre peut s'exprimer, en raison de la symétrie, en écrivant que cette résultante est horizontale. De

là il est facile de calculer ce qui intéresse l'ingénieur, c'est-à-dire le diamètre minimum à donner aux cylindres pour broyer une certaine grosseur de morceaux avec un certain écartement qui détermine la dimension des produits.

Si L est le diamètre des cylindres, l , celui des

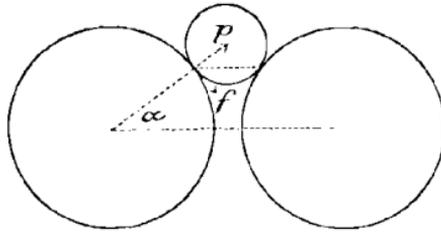


Fig. 2

morceaux admis et e , celui des produits ou l'écartement, en appelant p la pression au point de contact et f , le coefficient de frottement, la valeur du frottement est pf . La pression se fait dans le sens du rayon, le frottement suivant la tangente au point de contact. La condition d'horizontalité de la résultante donne immédiatement l'équation d'équilibre

$$-p \sin \alpha + fp \sin \alpha = 0 \quad \text{d'où} \quad \operatorname{tg} \alpha = f$$

et le triangle des centres donne l'équation

$$L + e = (L + l) \cos \alpha.$$

Admettant pour le coefficient de frottement la valeur habituelle $f = \frac{1}{3}$, on a, pour α , la valeur 0,9455 et, par conséquent

$$L = 9,488l - 10,48e.$$

Comme d'ailleurs les deux coefficients numériques sont presque égaux, cette expression se réduit en pratique à $L = 10(l - e)$; et comme il s'agit pour l'ingénieur de savoir quel diamètre il doit donner aux cylindres en vue de broyer des morceaux admis avec la grosseur maxima l , en variant le degré d'écrasement suivant ses besoins, on arrive à cette règle fort simple que le diamètre des cylindres doit être au moins 10 fois celui des trous de la tôle perforée par où ont passé les minerais à broyer.

La capacité d'un broyeur à cylindres est fort élevée. Son maximum est évidemment le volume d'une couche ayant pour section l'ouverture de l'appareil, c'est-à-dire le produit de l'écartement par la longueur de la génératrice, et pour longueur l'espace parcouru par un point de la circonférence des cylindres, en sorte que, si n est le nombre des tours par minute, et ρ , la densité courante des produits du broyage, le poids passant par heure est $90 \pi L e m n$ (m est la génératrice). Pour des cylindres de 0^m,50 de diamètre et 0^m,20 de longueur travaillant à grosseur de 5 millimètres d'écartement, on trouve ainsi plus de 10 tonnes par heure; mais comme l'appareil doit travailler peu chargé, on peut pratiquement compter sur un débit de 2 tonnes et demie à l'heure et on consomme 10 chevaux.

Pour faire un pareil travail avec des concasseurs $\frac{30}{40}$, il en faudrait 4 qui consommeraient 20 chevaux; les cylindres ont donc l'avantage

pour les broyages fins. On ne doit d'ailleurs commencer à les employer que pour des morceaux de 30 ou 35 millimètres ; au-dessus de ces chiffres, il faut des cylindres d'assez fort diamètre, et la quantité de schlamms produite augmente avec le diamètre, tandis que, jusque là, elle est faible dans les concasseurs. D'autre part, il faut les abandonner pour un écartement inférieur à 2 millimètres ou au moins à 1 millimètre, parce que, pour ces broyages fins, à moins d'alimenter à peine le moulin, toute la matière est réduite en poussière fine.

Pulvérisation. — Les concasseurs et les cylindres marchent assez indifféremment avec ou sans eau ; au contraire, pour broyer fin, on évite la production exagérée des schlamms en enlevant rapidement les produits par un fort afflux d'eau au fur et à mesure du broyage. Le courant d'eau jette ces matières sur un tamis dont les refus retournent au pulvérisateur, ou bien, si l'on n'a pas besoin de régularité des grains, on se contente de retenir les plus gros par un seuil convenablement élevé par dessus lequel les particules fines sont seules entraînées.

Plus rarement, le pulvérisateur fonctionne à sec, l'évacuation se faisant par la gravité seule, et le tamis est alors indispensable ; mais l'usure est rapide et les poussières insupportables.

Un inconvénient sérieux de tous ces appareils travaillant à l'eau est le bouchage facile des trous

des tamis, et c'est par cette cause que la capacité pratique de chacun d'eux baisse très rapidement bien au-dessous des chiffres énoncés par les constructeurs, malgré les dispositifs que l'on peut imaginer pour éviter le bouchage.

Bocard. — Les anciens bocards avaient des flèches de 50 à 80 kilogrammes, sabot compris, et le sabot était fait avec des blocs de quartzite compacte avant l'emploi courant de la fonte dure et de l'acier. La flèche tombait sur un amas de minerai assez épais et, dans ces conditions de fonctionnement, il se produit peu de schlamms.

On a augmenté successivement le poids des flèches, jusqu'à les faire de plusieurs tonnes, mais, plus souvent, on s'arrête aux environs de 500 kilogrammes. Le pilon, saboté de fonte dure ou d'acier, tombe en face d'une enclume de même nature, mais on s'arrange pour que le chargement amène sur cette enclume une couche peu épaisse de minerai concassé. Le battage se fait à l'intérieur d'un mortier métallique garni de tamis métalliques sur un ou plusieurs côtés, et ces tamis sont d'ordinaire des tôles d'acier perforées de trous rectangulaires très allongés, moins sujets au bouchage que les trous ronds ou les mailles carrées.

Le mouvement est donné par un arbre à cames, et la forme des mentonnets fixés aux flèches fait tourner un peu celles-ci à chaque coup, ce qui d'ailleurs ne suffit pas à empêcher de rapides déformations. Les sabots et les en-

clumes sont cylindriques dans les bocards ordinaires, et carrés dans les marteaux-pilons, où la flèche n'a pas de rotation.

Le bocard est un appareil robuste mais encombrant, bruyant, et exigeant une grande force motrice pour un travail donné ; il convient surtout au travail des roches très dures et brisantes qui fatiguent beaucoup les autres appareils et éclatent bien sous le choc franc du pilon. Il fait d'autant moins de schlamms que les pilons sont plus petits, que l'épaisseur de la charge sur l'enclume est plus grande et surtout que le courant d'eau d'entraînement est plus violent.

Une flèche de 500 kilogrammes battant 60 coups à la minute avec un relevage de 0^m,30 consomme environ un cheval et peut produire jusqu'à 3 tonnes par 24 heures avec tamis de $\frac{3}{2}$ millimètres ; la production diminue vite avec le calibre des tamis.

Le bocard a besoin d'une alimentation régulière ; il reçoit d'ordinaire le produit d'un concasseur, régularisé par un distributeur spécial.

Meules horizontales et inclinées. — Dans le Huntington et ses imitations, un arbre vertical porte un croisillon auquel sont suspendus, par des tourillons, 3 ou 4 arbres mobiles ayant à leur partie inférieure une meule d'acier assez petite. Le système tourne dans une cuve de fonte cylindrique présentant au bas une forte bague d'acier très rapprochée des meules pendant l'arrêt. Au-

dessus de la bague, des tamis sont encastrés dans la cuve et se déversent dans une rigole circulaire extérieure ; des charrues de forme oblique sont entraînées par le croisillon.

Quand l'arbre central tourne, les meules s'en écartent et roulent sur la bague d'acier, les charrues lancent contre les tamis les matières qu'elles rencontrent, et le refus de ces tamis, en retombant, est saisi et écrasé entre les meules et l'anneau.

Rien ne limitant la vitesse, la quantité de travail peut être très grande ; un Huntington de 5 pieds de diamètre broie couramment 2 tonnes par heure au tamis de 1 millimètre avec une force motrice de 12 chevaux. L'usure des bagues et celle des tamis sont d'ailleurs très rapides. Sauf cet inconvénient, ce moulin est un excellent engin, à la condition de lui donner la charge déjà réduite en petits fragments, 10 à 15 millimètres, par exemple. Aussi sert-il à la pulvérisation des grenailles produites au bocard ou au moulin à cylindres.

Dans le Huntington, la pression des meules sur la bague est exclusivement due à la force centrifuge, ce qui suppose toujours une marche à grande vitesse ; au contraire, en prenant la partie mobile de ce moulin pour faire rouler ses meules sur un assez grand anneau d'acier tronconique, le poids des meules ajoute son effet à la force centrifuge, et si les meules sont assez lourdes, la vitesse de rotation générale peut être

très réduite, car il suffit qu'elle permette aux charrues de jeter la charge broyée sur les tamis. On peut donner aux meules et autres organes de grandes dimensions et admettre alors la charge en gros morceaux, et ce moulin travaille un peu mieux que les meules suspendues, parce que la lavée s'étale mieux sur l'anneau oblique que sur une face verticale.

Moulin à boulets. — Le kugelmühle est un cylindre court, à double enveloppe, tournant autour d'un axe horizontal assez lentement pour que la force centrifuge ne gêne pas le mouvement de chute qu'on veut donner aux matières qu'il renferme. La charge, admise jusqu'à grosseur de ballast, entre par un orifice voisin de l'axe et roule sur le cylindre intérieur, mélangée avec des boulets de fonte ou d'acier. Ceux-ci en retombant et en roulant les uns sur les autres produisent l'écrasement. La charge broyée passe par des fentes ménagée dans la première enveloppe et tombe par là sur des tamis qui composent la seconde enveloppe ; une trémie fixe reçoit les produits tamisés pendant que le refus est ramené à l'intérieur par des aubes courbes pendant la rotation du cylindre.

L'appareil est commode et peu encombrant, et consomme une force modérée, mais il s'use rapidement et les tamis se bouchent très vite. On diminue l'usure en marchant à l'eau, mais l'encrassage du tamis s'accroît d'autant, au moins pour les numéros fins. La proportion des schlamms

est toujours forte parce que certaines parties des matières ne vont pas assez vite au tamisage et sont rebroyées inutilement ; elle s'accroît beaucoup avec l'encrassement.

On a cherché à supprimer les tamis sans avoir un broyeur trop irrégulier, en remplaçant le cylindre court par un cylindre très long et on a constitué ainsi le *tube-mill*. Les boulets broient la charge pendant qu'elle chemine très lentement dans la longueur du cylindre, et elle parvient à l'extrémité complètement broyée à mort, condition convenable pour le travail des minerais d'or. L'appareil travaille bien avec peu d'eau, tandis qu'il en faut beaucoup au kugelmühle.

Choc libre. — Pour broyer les minerais à sec, on a imaginé plusieurs appareils que nous appelons à *choc libre* parce que le broyage se produit en l'air sans qu'il y ait écrasement entre marteau et enclume.

De ce nombre sont les appareils Weidknecht, Vapart, etc., où des marteaux attachés à une couronne frappent à la volée sur les fragments de minerai.

Dans le broyeur Carr, ce sont deux couronnes cylindriques formées de barreaux isolés qui tournent rapidement et en sens inverse l'une dans l'autre et près l'une de l'autre dans une enveloppe commune. Les particules de roche sont lancées violemment par certains de ces barreaux contre d'autres venant à leur rencontre et cela suffit à les broyer. La production est très grande,

mais l'appareil convient peu au broyage des roches dures à cause de sa rapide usure et on le réserve pour la pulvérisation des charbons destinés à la fabrication du coke.

Le cyclone est assez analogue comme principe. Deux turbines d'acier à axes voisins de l'horizontale, tournent dans une large enveloppe ; les axes convergent sous un angle de 120° environ. Le minerai qui tombe sur elles est projeté avec une force telle que les fragments paraissent se pulvériser en l'air par leur choc réciproque au moins autant que sur les ailes des turbines. Les poussières produites sont si fines qu'on a quelque peine à les retenir par des blutoirs, et on peut penser que leur dimension est à environ $\frac{1}{10}$ de millimètre, chiffre au-dessous duquel, d'après les expériences de Daubrée, les grains de quartz ne sont plus susceptibles de s'user par frottement réciproque. Aussi le cyclone est-il employé pour faire la pâte à porcelaine. On lui reproche une rapide usure, obligeant à des démontages très fréquents, mais ces frais sont compensés par une production considérable, de finesse plus régulière qu'au moulin à boulets ; il ne travaille bien d'ailleurs qu'à grande échelle et en retournant ou remplaçant au moins une fois par jour les ailes des turbines.

On emploie encore comme broyeurs les *moulins à café*, formés d'un cône d'acier à surface ondulée tournant autour d'un axe vertical dans une enveloppe de forme similaire mais d'angle un

peu plus ouvert. On peut employer cet appareil à l'eau, et il devient le moulin tyrolien en raccourcissant beaucoup les cônes ; dans ce dernier cas, il ne sert qu'à l'amalgamation et frotte les matières plutôt qu'il ne les brise. Pour le broyage, le moulin à café s'use trop rapidement pour l'employer à la pulvérisation des matériaux durs.

Porphyrisation. Meule verticale, etc. — Pour broyer très fin des quantités modérées de matériaux durs, tendres ou mous, il est nécessaire de faire le contraire de ce que nous avons dit avantageux pour éviter la production des schlamms, c'est-à-dire qu'il faut joindre du frottement, du glissement, au roulement et au choc fragmentant les morceaux du minerai.

L'outil le plus courant est une grosse meule épaisse en pierre lourde ou en fonte tournant dans une auge à fond horizontal autour d'un arbre horizontal relié à un arbre vertical monté sur pivots. Le mouvement général peut être donné par engrenages sur l'arbre central, et plus souvent par manège, c'est-à-dire que l'extrémité de l'axe horizontal est trainée par une bête de somme.

En raison de la largeur de jante de la meule, celle-ci ne peut rouler sur un anneau plat sans qu'il y ait un peu de pivotement, comme si la meule tournait sur place, autour d'un diamètre vertical, d'un tour entier pendant que l'arbre central fait un tour ; c'est justement ce qu'on

évite dans la meule inclinée par l'emploi de deux formes coniques concomitantes, et c'est ce pivotement qui frotte et porphyrise les matériaux.

La meule verticale peut travailler à sec, parce que la lenteur de son mouvement réduit à peu de chose les poussières voltigeantes ; mais, le plus souvent, elle sert à former des pâtes molles, soit pour l'amalgamation, soit pour les porcelaines, faïences, etc.

On a aussi employé à ces buts la meule à blé, c'est-à-dire une meule à axe vertical, recevant les matériaux par un œil central, et tournant sur une meule gisante ; les Romains s'en sont servis pour l'amalgamation ; elle sert aujourd'hui seulement pour les phosphates et pour la pâte à papier.

Le travail de la meule à blé se fait exclusivement par frottement ; il en est de même de l'*arrastra* mexicain, énorme pierre glissante entraînée par un manège sur une sole bien jointive.

On peut rattacher à ces appareils certains pans américains où la trituration se fait par des sabots en fonte dure ou en acier traînés circulairement sur le fond d'une cuve métallique ; ce sont des *arrastras* à dimensions très réduites, mais à vitesse fort augmentée.

Beaucoup d'autres appareils pourraient être énumérés pour le broyage ; par exemple, une cuve hémisphérique tournant sur un axe un peu oblique et renfermant trois ou quatre boulets en fonte dure, ou même un seul boulet ; ou encore

une cuve analogue, plus restreinte, où un gros boulet est mis en mouvement par un croisillon tandis que la cuve reste immobile. Enfin, on peut rappeler que le mortier ordinaire, largement employé pour l'amalgamation par les Romains en Hongrie, y est encore en service sur une ou deux mines conjointement avec la table dormante.

Remarquons que la pulvérisation très fine et la porphyrisation n'ont de raison d'être que pour l'amalgamation, car les produits en sont intraitables par les moyens ordinaires de séparation de la préparation mécanique, où tout ce qui est porphyrisé est pratiquement perdu.

CRIBLAGE OU CLASSEMENT EN GROSSEUR

Harpe. — Le criblage se rencontre dès le début dans toute préparation mécanique ; il peut même être nécessaire sur le produit brut de l'abatage pour séparer les blocs et le menu : remarquons en passant que ces termes sont entièrement relatifs : car, au chantier, on appellera menus tout ce qui ne dépasse pas la grosseur de ballast, et c'est encore pis dans les grandes exploitations hydrauliques américaines où l'on envoie aux sluices, comme menus, des graviers et sables dont les plus gros éléments peuvent atteindre et dépasser cent kilogrammes.

Pour le criblage des matériaux où il entre de gros blocs, on ne peut guère employer qu'une

grille formée de barreaux placés dans le sens de la descente de la charge, et dont la forme générale explique le nom de *harpe* ; on l'appelle aussi *grizzly* en Amérique quand sa construction est particulièrement robuste. Pour des charges à gros blocs, la grille est toujours fixe et posée avec une inclinaison voisine de 50° , afin que les blocs glissent sur les barreaux pendant que les menus passent au travers ; la pente minima nécessaire pour éviter les encombrements est voisine de 38° . On peut compter 5 tonnes environ par heure par mètre carré de grille avec écartement de 7 ou 8 centimètres.

Une harpe analogue est souvent employée pour trier d'assez petits fragments, par exemple, par les maçons pour le criblage des gros sables et graviers ; les barreaux sont alors de petits fers ronds ou carrés, ou des lames rectangulaires recevant la charge sur leur petit côté pour augmenter la résistance. Ils ne doivent pas être triangulaires ou, dans ce cas, l'arête serait placée en dessous, faute de quoi l'encombrement serait rapide. C'est pour éviter cet écueil qu'on emploie peu des tamis à fils croisés ou des tôles perforées bien que l'usage en soit rendu possible par le choc des pelletées qui dégage les ouvertures, et qu'on y ait recours quand on veut éviter le passage de fragments plats.

On conserve le nom de harpe, même quand on fait usage de tôles perforées pour le criblage de charges ne renfermant pas de trop gros mor-

ceaux, atteignant au plus la grosseur de ballast. Dans ce cas, on installe souvent l'appareil avec peu d'inclinaison, ou même horizontalement, et on y fait progresser la charge par des mouvements de va-et-vient ou par des chocs longitudinaux. Les secousses empêchent le bouchage des trous et la harpe devient en même temps un appareil de transport et de distribution.

Tous ces appareils fonctionnent d'ordinaire à sec, et le menu qui les traverse est rassemblé dans une trémie placée sous la harpe.

Pour ménager le minerai, c'est-à-dire pour éviter le bris des morceaux dans certaines houillères, on assure le cheminement en employant deux séries alternantes de barreaux dont chacune est fixée à un cadre et animée d'un mouvement oscillatoire par un excentrique. Une des séries de barreaux soulève les morceaux qui ne traversent pas la grille, les transporte de quelques centimètres en avant, puis les repose sur l'autre série qui recommence le même travail de transport vers l'aval. Un appareil analogue est employé au décrassage des foyers.

Trommel. — Au lieu de faire le cheminement par ces moyens, on l'obtient très souvent suivant une spirale conique. L'appareil est alors un tambour (*trommel*) de forme tronconique tournant assez lentement, 10 à 20 tours par minute, sur un axe horizontal. La charge est reçue vers le centre de la petite base, et la rotation, aidée de la gravité et de la pression fournie par une

nouvelle arrivée de charge, dirige les matières vers la grande base. Pendant ce mouvement, le menu passe par les trous du cône mobile et tombe dans une longue trémie sous-jacente, tandis qu'une autre trémie plus courte reçoit les refus à leur sortie par la grande base.

En passant successivement la matière tamisée dans d'autres trommels à trous de plus en plus fins, on obtient un classement en grosseurs dont la raison est déterminée par les besoins de la séparation, comme nous l'avons dit. Il faut donc employer autant de trommels qu'on veut avoir de numéros de grosseurs séparés.

Pour éviter cet encombrement et la perte de hauteur, croissante avec le nombre des trommels, on fait quelquefois les trommels à plusieurs sections. Les trous fins sont alors voisins de l'entrée et quand la charge en y passant a abandonné ses parcelles fines, elle arrive sur une zone à trous plus larges. Chaque zone a naturellement sa trémie de réception et la pente perdue d'une section à l'autre n'est que de quelques centimètres, au lieu qu'entre deux axes de trommels, il y a toujours au moins 1 mètre de dénivellation. Mais, malgré cet avantage, cet emploi de trommels à effets multiples est peu recommandable.

On doit dire d'abord que les tôles fines qui reçoivent ainsi toute la charge se fatiguent beaucoup, à cause de la quantité et de la grosseur des morceaux qui les frottent, et comme les

percements fins ne se font pas en tôles fortes, il y a intérêt à ne faire passer de gros fragments que sur les tôles à gros trous.

De plus, le même degré d'usure est beaucoup plus préjudiciable au classement dans les numéros fins, car si une usure de 1 millimètre double le diamètre d'une perforation à 2 millimètres, elle n'augmente que de $\frac{1}{10}$ un trou de 20 millimètres, ce qui a bien peu d'inconvénients. On doit donc ménager surtout les tamis fins.

Enfin, il faut beaucoup plus de surface pour bien tamiser un produit sur trous fins que sur grosses perforations et, par conséquent, il y a intérêt à diminuer la charge qui passe sur les premiers. Dans une série de trommels établis sur la raison $\frac{2}{1}$ et commençant par les gros numéros, la quantité de charge décroît de l'un à l'autre suivant la raison $\frac{3}{2}$ pour des minerais ordinaires et, par suite, les trommels successifs sont à peu près égaux, tandis qu'avec un trommel multiple la surface de la première section doit être $\frac{3}{2}$ environ de celle de la seconde et comme elle est établie à la partie étroite du cône, on arrive à des dimensions peu acceptables.

Les surfaces ainsi calculées sont même insuffisantes, parce que, pendant le roulement d'une masse épaisse sur un tamis fin, il y a entraînement de grains fins qui vont irrégulariser le produit des autres compartiments. Cet entraînement de particules qui auraient dû passer par

les trous ouverts sur leur trajet, est d'ailleurs un des graves inconvénients de l'emploi des trommels, préalable à une préparation exigeant un classement précis pour être efficace. On le réduit en arrosant le trommel assez abondamment pendant son travail, mais des expériences montrent qu'avec les dimensions généralement adoptées par les constructeurs, le refus entraîne avec lui de 20 à 40 % de grains trop petits. On compte ordinairement 1^m,15 de long et 0^m,70 de diamètre à la grande base pour passer 3 tonnes à l'heure, reçues à l'état de grenailles, et en réalité ces chiffres sont insuffisants; même en employant beaucoup d'eau, le trommel est un mauvais débourbeur.

Il est cependant d'un grand usage à cause de sa simplicité et de sa durée; quand les morceaux qui y passent sont gros, le passage des tamis à la génératrice supérieure, avec arrosage, suffit à nettoyer les tôles; au-dessous de 2 millimètres, il faut les surveiller de près et les déboucher fréquemment. Cependant on peut à la rigueur faire avec eux un criblage, assez médiocre, jusqu'à $\frac{1}{2}$ millimètre.

Jusqu'à 1 millimètre, on ne garnit guère qu'en tôle d'acier perforée; au-dessous de ce chiffre, on emploie une tôle de cuivre perforée, et on a essayé parfois des tamis en fils de cuivre et même on a employé des toiles métalliques à des numéros plus forts. Mais leur rapide usure

et l'élargissement facile et irrégulier des mailles sont de graves défauts.

Quant aux trommels à double enveloppe, où le tamis intérieur est le plus gros et reçoit la charge, leur disposition est rationnelle, mais ils sont trop difficiles à réparer pour en recommander l'emploi. Cet artifice n'a pour but que de gagner de la hauteur, et si c'est là une question capitale, mieux vaut recourir aux sas.

Les sas. — Le sasseur des moulins à blé est une toile métallique tendue sur un cadre horizontal ou peu incliné, agité d'oscillations ou de secousses, c'est-à-dire, en somme, analogue à la harpe, et qui peut être employé avec toutes grosseurs de perforation ou de mailles.

Un pareil cribleur ne prend presque pas de hauteur, sauf celle de la trémie réceptrice, et rien n'empêche en pratique de multiplier autant qu'on le veut le nombre des tamis dans une même caisse, en prenant les dispositions convenables pour assurer l'écoulement isolé du refus de chacun d'eux.

Les sas ont, au point de vue de la préparation mécanique, l'avantage de pouvoir être suspendus et agités en pleine eau bien plus facilement que des trommels; ils peuvent, en conséquence, assurer un débourbage très complet et un classement très correct des produits qu'on leur envoie, à la seule condition de donner aux tamis une étendue suffisante. Le nettoyage et la réparation des tamis sont bien moins onéreux que

pour les trommels, d'autant que la forme des cadres permet de prendre pour crible une toile métallique aussi fine qu'on le veut, sauf à la soutenir par des baguettes; on peut, à la rigueur, classer ainsi jusqu'à $\frac{1}{4}$ de millimètre, et, dans le classeur Sarde qui appartient à ce type, la trémie de la caisse sert en même temps, comme un Spitz Kasten, à éliminer les boues légères qui accompagnent les schlamms fins ayant traversé tous les tamis.

CHAPITRE IV

ETUDE DE L'ORGANISATION D'UNE PRÉPARATION MÉCANIQUE

Généralités. — L'étude de l'organisation d'une préparation mécanique est basée sur deux ordres de considérations principales.

D'une part, l'examen de la production de la mine ou des mines à laquelle les traitements doivent s'appliquer.

D'autre part, la connaissance approfondie des circonstances locales.

Parmi ces dernières, on a à tenir compte d'abord des prix relatifs de la main d'œuvre et des forces motrices, car l'automatisme et le développement des dispositions mécaniques s'imposent d'autant plus que le travail manuel est plus coûteux; ensuite interviennent les difficultés et les frais de transport, de construction, d'approvisionnement et surtout de réparations, car la proportion de ces dernières est très élevée sitôt que l'on a recours à des appareils un peu délicats ou compliqués, et ceci explique pourquoi on est conduit, dans des conditions extrêmes

d'isolement, à user d'appareils rudimentaires comme le manège et l'arrastra plutôt que de broyeurs mécaniques beaucoup plus avantageux quand on peut en remplacer sans trop de frais les parties métalliques. Un autre élément de même ordre est l'abondance ou la rareté des eaux, avec ou sans hauteur de chute, non seulement au point de vue du travail moteur, mais pour le service de la laverie : nous avons vu, en effet, qu'on peut à la rigueur se passer d'eau pour la classification par densités des matières pulvérisées, qu'on peut faire beaucoup d'opérations de laverie sans consommer même une tonne d'eau par tonne de matière au moyen des jigs et cribles à service discontinu, tandis qu'au contraire, avec les appareils les plus couramment employés, la consommation d'eau dans une laverie dépasse presque toujours 30 mètres cubes par tonne de roche envoyée à la préparation, et atteint facilement 60 à 80 mètres cubes si on ne ménage pas les opérations, si on y développe l'automatisme, le transport par courants d'eau, la reprise des schlamms, etc.

La production de la mine est à envisager à plusieurs points de vue différents.

Si la mine, dans toutes ses parties, fournit des abatages à peu près pareils comme composition, il est évidemment possible d'arrêter d'avance un plan bien fixe pour lequel il n'y a à tenir compte que de la quantité journalière que l'on se propose d'extraire. En réalité, cette condi-

tion d'homogénéité ne se rencontre guère que dans le cas de couches ou de grands amas dans lesquels on n'a à viser qu'à l'extraction d'une seule substance, en sorte que la simplicité et l'homogénéité vont presque toujours ensemble; il s'agit là d'ailleurs de simplicité au point de vue pratique, aussi faut-il considérer comme simple un travail accompli, comme celui d'Alaska Treadwell, ou celui de Verespatak, sur une énorme masse où la seule matière intéressante est l'or, bien que ce corps y soit accompagné d'une foule de minéraux variés et que les gangues elles-mêmes y soient tout ce qu'il y a de plus hétérogène. En dehors de ces amas, l'homogénéité ne se présente guère que pour des couches, notamment pour les couches de houille et de minerais de fer.

Nous ne nous occuperons pas ici de ces cas spéciaux, dont chacun comporte une étude tout à fait particulière; remarquons seulement en passant que le lavage des houilles est une exception unique en fait de préparation mécanique en ce sens que c'est ici la matière la plus légère qui a une valeur et qui doit être séparée d'une gangue plus lourde, tandis que, dans presque tous les autres cas, les gangues sans valeur sont les parties constituantes les plus légères dans la roche à traiter; en même temps, la houille est très friable et il y a intérêt particulier à ne pas la briser en trop menus fragments, ce qui impose à son travail des sujétions spéciales.

Nous avons en vue surtout les produits des gisements métallifères plus ou moins filoniens ou d'origine similaire, et qui constituent le cas général de la préparation mécanique. Or, pour ceux-ci, c'est la variété, l'hétérogénéité qui sont la règle courante. Le remplissage du gisement est toujours sujet à de grandes variations, non seulement de richesse, mais de composition minéralogique et de structure physique et, par conséquent, il faut que les dispositions adoptées pour la préparation mécanique présentent une certaine élasticité leur permettant de se plier à ces changements tout en catégorisant les éléments dans la mesure du possible.

A ce point de vue, rien ne peut remplacer la main de l'ouvrier, et c'est pourquoi les opérations de scheidage ont été poussées si loin en Allemagne, surtout à l'époque où les conditions sociales permettaient de payer à un prix infime des femmes et des enfants non alors astreints aux lois scolaires. Aujourd'hui encore, et quel que soit le prix de la journée de travail, il est des opérations de scheidage et klaubage pour lesquelles on doit nécessairement renoncer à opérer mécaniquement. Notamment quand la mine rencontre des plages à minéraux d'urane, il faut mettre ceux-ci de côté dès l'abatage, et même avant abatage s'il est possible, à cause de la valeur de cette substance qui, si elle est en faible quantité, serait forcément perdue dans les produits du broyage et du lavage; il en est de

même pour nombre d'autres minéraux, tellurures d'or, argent rouge, bismuth, cobalt, etc., qui sont trop précieux pour les compromettre dans le traitement ordinaire et, dans chacun de ces cas, le traitement ultérieur doit être fait exclusivement en vue de l'extraction du corps précieux, quitte à employer à cet effet toutes les ressources des industries métallurgiques et chimiques. Dans d'autres cas, le scheidage permet de recueillir, dans un état de richesse suffisante, certaines substances qui seraient en réalité appauvries par la préparation mécanique par mélange avec d'autres corps de même densité, et qu'on ne pourrait plus isoler par séparation mécanique, ou qui entraîneraient à de très fortes dépenses : citons notamment à cet égard les feldspaths aujourd'hui si recherchés, comme l'amblygonite (à cause de la teneur en lithine), l'orangite, la thorite (à cause de leur teneur en thorium) et qui sont dans la nature mélangés à d'autres feldspaths de densités très voisines : ces espèces minéralogiques sont discernables à l'œil de l'ouvrier dans les masses abattues, mais après pulvérisation, elles se confondent absolument et deviennent inséparables. Dans un autre ordre d'idées, nous citerons les minerais renfermant à la fois de la blende et de la chalcopirite, qui ont assez exactement la même densité ; à la préparation mécanique, ces minéraux passent ensemble et s'appauvrissent réciproquement ; on peut les séparer, mais par des procédés dispendieux,

(grillage et séparation magnétique, ou grillage et traitements chimiques); et il en est encore à peu près de même de la pyrite ordinaire et des bournonites ou cuivre gris. Enfin le scheidage est précieux pour isoler des minéraux de quelque valeur que leur friabilité expose à se confondre avec les fines et schlamms dès les premiers écrasements, comme les galènes argentifères, la molybdénite, etc.

Quand il s'agit de productions considérables, et dans le cas ordinaire des mines à composition complexe et irrégulière, le scheidage et le klau-bage ont l'avantage de catégoriser dès le début les matières de façon à envoyer chacune d'elles à l'atelier spécial ou à la section qui lui convient. Mais quand cette condition n'est pas remplie, quand il n'y a pas à récolter assez de chaque qualité pour la traiter à part, le rôle du scheidage est restreint surtout à l'enrichissement, c'est-à-dire à l'élimination.

Le reste de ce qui a passé par le triage a, en effet, comme nous l'avons déjà dit, à subir deux catégories d'opérations: l'une est l'enrichissement, destiné à éliminer les stériles, et c'est au cours de ce travail que se produisent les fortes pertes, par entraînement de matières utiles avec les stériles rejetées; l'autre est la séparation, et, dans celle-ci, si la richesse est très grande, il n'y a pas de stériles à rejeter, donc aucune perte à subir.

Comme rendement industriel de la mine, ce

sont donc surtout les opérations d'enrichissement qu'il faut s'efforcer de réduire et de surveiller de près, et c'est à elles qu'il faut donner quelque élasticité, résultat auquel on arrive surtout par une assez grande variété d'appareils successifs. Et, à cet égard, quand il s'agit de minerais complexes, on peut dire d'une manière générale qu'il est fâcheux de reprendre un produit non fini, un mixte quelconque, sur l'appareil même d'où il sort ; théoriquement, il faudrait traiter à part chaque catégorie produite sur des appareils spécialement choisis à cet effet : c'est à quoi l'on est arrivé à peu près dans les grandes installations quasi universelles de Clausthal et de Freyberg ; mais, dans les cas ordinaires, il ne faut pas attacher un sens trop absolu à cette restriction, dont l'abus conduirait à multiplier le nombre des instruments de travail hors de toute proportion avec l'importance du but à atteindre.

Dans ce qui suit, nous allons examiner le cas ordinaire de minerais assez complexes à traiter par quantités modérées de quelques tonnes par heure.

Étagement. — Le traitement mécanique des produits complexes de la mine est toujours échelonné ; il commence dès l'abatage et continue par des broyages, des triages, des lavages jusqu'à l'obtention et l'expédition des produits finis. Il s'agit ici bien entendu de produits finis industriellement, c'est-à-dire amenés à un certain

point de richesse, d'isolement et de pureté qui leur donne une valeur marchande et qu'on ne peut pratiquement dépasser sans faire des dépenses plus grandes que l'augmentation de valeur marchande pouvant en résulter.

Chacune de ces opérations suppose des manutentions et déplacements de matériaux ; d'où il résulte, quand la disposition des lieux le permet, qu'il est tout indiqué d'étager les installations, les ateliers et les appareils au-dessus les uns des autres pour s'aider autant que possible de la gravité, et il en est de même pour le service des eaux. L'idéal serait une usine située tout entière au-dessous du niveau de sortage de la mine, recevant à sa partie supérieure un cours d'eau suffisant et les matériaux à travailler ; et au fur et à mesure des travaux, chaque catégorie sortant d'un appareil tomberait naturellement à l'appareil suivant, pour arriver enfin sous forme de minerais finis à la plate-forme d'ensachage, chargement, etc.

Pareille installation ne serait possible qu'à très grande échelle puisque chaque appareil ne servirait qu'une fois, et d'ailleurs la disposition du sol ne se prête pas d'ordinaire à cet étagement ; on y pare en reprenant, à plusieurs fois s'il y a lieu, les produits imparfaits, en les transportant et les remontant mécaniquement.

Monte-charges. — On a à sa disposition, à cet effet, nombre d'appareils plus ou moins spéciaux.

1° Les pompes, employées surtout pour l'eau pure, sont aussi souvent appliquées à remonter les eaux boueuses chargées de schlamms assez fins. Malgré tous les inconvénients des sables durs qui usent rapidement tous les appareils, c'est encore le procédé qu'on emploie le plus volontiers quand on ne veut pas faire déposer ces schlamms avant de les reprendre, quand la hauteur à franchir n'est pas trop grande et quand les schlamms sont extrêmement fins, car sitôt qu'il s'agit de sables un peu grossiers, il faut de grandes vitesses pour les empêcher de se déposer en chemin, et l'excessive vitesse produit une très rapide usure. On ne peut d'ailleurs s'en servir qu'avec une parfaite continuité, car le moindre moment d'arrêt provoque des dépôts qu'il n'est pas facile de remettre en mouvement ni même d'évacuer.

Les pompes appartiennent à trois catégories : La pompe à pistons, surtout agissant comme pompe foulante, ne redoute pas les grandes hauteurs, mais ne comporte pas de grandes vitesses et ne convient pas aux eaux boueuses qui la détruisent très vite.

La pompe centrifuge convient à de grandes masses de liquide, même boueux, à conduire à petite hauteur ; l'usure en est modérée, mais au-dessus de 3 ou 4 mètres, elle expose à de nombreuses irrégularités de marche, et il faut autant que possible ne pas lui imposer de hauteur d'aspiration.

Les pompes rotatives ou oscillantes à espace limité jouent un rôle intermédiaire entre les deux genres précédents à tous points de vue.

Corrélativement avec les pompes, on peut employer pour des hauteurs modérées, la chaîne à boulets, la vis d'Archimède, la noria : cette dernière se prête particulièrement bien au service des schlamms parce qu'elle n'a ni soupapes ni joints à friction.

2° L'injecteur à eau a été appliqué sur la plus grande échelle en Amérique pour relever jusqu'à 25 et 30 mètres de hauteur des sables, des graviers et même des pierres de nombre de kilogrammes ; pour qu'il soit pratique, il faut que l'on dispose d'une chute d'eau de débit considérable et de pression très élevée, 8 ou 10 fois la hauteur du relèvement désiré. On amène cette eau à un ajutage conique d'où elle sort avec une vitesse énorme pour entrer dans un tuyau à orifice évasé placé en face d'elle, et ce mouvement produit un effort d'aspiration intense dans la caisse où sont les extrémités de ces deux tuyaux ; d'où résulte l'entraînement de tout ce qui arrive dans cette caisse pourvu qu'il n'y ait pas de blocs trop gros pour passer entre les deux tuyaux et dans le tuyau d'éjection. On n'a employé ce système que pour amener à la tête d'un sluice de grandes masses d'alluvions aurifères ; il est fort intéressant comme développement de l'injecteur Giffard, de l'éjecteur Rankine, et, malgré son faible rendement et sa rapide usure,

il peut être précieux pour manier de très grandes masses quand les circonstances s'y prêtent.

3° L'outil le plus commode et le plus pratique pour relever à certaine hauteur des graviers, des sables, des eaux boueuses et même des matériaux secs, est la chaîne à godets, instrument simple et robuste, moins sujet à usure que bien d'autres, supportant une construction assez grossière et ne consommant guère qu'un minimum de force quand il est bien construit. On peut lui donner la forme d'une noria, ou d'une roue à godets, mais, d'ordinaire, c'est une courroie ou une chaîne à grands maillons articulés, qui porte les godets et passe sur un rouleau moteur. Quand les matières sont boueuses, les godets s'encrassent assez vite, surtout avec un mouvement trop doux et, à ce point de vue, la courroie ne vaut pas les maillons métalliques qui donnent d'assez brusques secousses en passant sur un rouleau polygonal, et facilitent ainsi la vidange des godets près de ce passage.

La chaîne à godets est d'autant moins coûteuse à installer et à manœuvrer que sa position est plus voisine de la verticale, mais la vidange des godets est moins aisée et perd plus de hauteur ; aussi lui donne-t-on d'ordinaire une pente voisine de 60°.

Un des avantages de la chaîne à godets et des dispositions similaires est de travailler convenablement malgré l'arrivée irrégulière de la charge dans la fosse, et quel que soit l'état

physique des matières, depuis l'eau jusqu'au ballast.

4° Pour relever des matières sèches ou humides, par quantités modérées, et surtout quand les circonstances empêchent de les faire arriver automatiquement dans la cuve d'une chaîne à godets, ou quand il faut éviter des mélanges inopportuns, le mieux est de les ramasser dans des caisses, bannes, etc., et l'appareil de transport est alors un monte-charges ; un des dispositifs les plus simples est analogue à la chaîne à godets, c'est-à-dire une chaîne double commandée par un rouleau polygonal à sa partie supérieure ; la chaîne est posée verticalement, et aux maillons s'articulent des plateaux suspendus et tournant de manière à ne pas se retourner à leur passage supérieur, le plateau restant toujours horizontal comme celui d'une balance. Les caissettes sont posées à la main et saisies de même au passage, mais rien n'empêcherait de rendre ces opérations automatiques s'il était utile. Beaucoup de dispositions ont été imaginées pour atteindre ce but.

Descente. — Quand inversement il s'agit de faire descendre des matériaux d'un étage à un autre, c'est naturellement à la gravité qu'on a recours. Dans la plupart des circonstances, la préparation mécanique a peu à redouter le broyage accidentel et, par conséquent, on ne cherche pas à éviter les chutes un peu brusques, le déversement des wagonnets, etc. Il n'en est

cependant pas ainsi pour la houille, pour les minerais de fer friables et, dans ces cas seulement, on doit ménager la brutalité des manœuvres. Par exemple alors, pour vider un wagon, au lieu de le renverser dans le vide, on s'arrange pour le soulever d'un côté de telle façon que l'autre bord de sa plate-forme vienne se placer presque sur le prolongement du fond du couloir par où le minerai doit descendre, au moment où la plate-forme prend l'inclinaison nécessaire pour sa vidange complète, soit environ 40° ; puis on donne cette même pente de 40° au couloir pour assurer le glissement; mais si le couloir est destiné au chargement inférieur, on le prolonge par un bec mobile qui retient les produits et, en s'abaissant, les fait glisser plus loin jusqu'au fond du réceptacle. C'est notamment le dispositif à adopter si le couloir joue en même temps le rôle de harpe, éliminant les menus pendant la descente puis chargeant les restes ainsi épurés.

La descente par couloirs inclinés exige une pente de 36 à 40° pour les matières sèches mélangées; il en faut moins pour des morceaux grossièrement sphériques et qui pourraient rouler. La descente par glissement fait en même temps le transport à une certaine distance horizontale.

Quand l'angle de glissement ne permet pas d'arriver horizontalement à une distance convenable pour le service, on peut diminuer beaucoup l'inclinaison du couloir, et aider la pro-

gression par des secousses ou des mouvements combinés alternatifs, ainsi que nous l'avons indiqué ailleurs. Mais très fréquemment c'est un courant d'eau qui sert à faire le transport.

La vitesse de l'eau nécessaire pour entraîner un grain de matière arrêté au fond d'une conduite, c'est-à-dire la vitesse nécessaire pour empêcher tout dépôt et tout engorgement consécutif, est d'autant moindre que le grain est plus petit et plus léger ; des expériences, malheureusement assez incomplètes, semblent montrer que la vitesse d'entraînement est à peu près proportionnelle au produit de la densité dans l'eau par la racine carrée du diamètre, tandis que la théorie que nous avons exposée donne comme mesure le produit des racines carrées, c'est-à-dire la racine carrée du coefficient d'équivalence. D'autres expériences ont été faites sans tenir compte de la densité ou plutôt sur des dépôts de nature pierreuse et ont donné les résultats ci-après. On remarquera que ces chiffres ne s'écartent pas beaucoup de la progression ayant pour raison la racine carrée des diamètres, ce qui paraît justifier passablement la théorie. Comme on peut admettre que les matières expérimentées étaient de la densité des pierres, soit $2 \frac{1}{2}$, ou encore $1 \frac{1}{2}$ dans l'eau, on appliquera au besoin la formule en multipliant par le coefficient $\sqrt{\frac{\alpha - 1}{1,5}}$ pour passer à des matières d'autres densités, et on aura ainsi

une approximation suffisante pour les besoins de la pratique.

Vitesses d'entraînement

| Vitesses observées en centimètres | Nature des matières | Diamètre moyen en millimètres | Vitesse calculée suivant les racines carrées |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|
| 15 | Limons | 0,4 | 14,6 |
| 20 | Sables fins | 0,7 | 19,2 |
| 30 | Sables ordinaires | 1,7 | (base) 30 |
| 70 | Gros sables (grenailles) | 10,0 | 72,6 |
| 300 | Gros blocs irréguliers. | 1 ou 2 mètr. | // |

Dans une conduite ou un canal, la vitesse de régime est déterminée par la pente et sensiblement proportionnelle à la pente, bien que croissante lorsque les dimensions des conduites pleines s'accroissent. Dans la préparation mécanique les conduites transportant des sables sont bien rarement pleines, ce qui permet de ne tenir compte que de leur pente et de la grosseur des grains à transporter. En fait, il suffit d'une pente de peu de centièmes pour éviter les dépôts et l'encombrement dans un tuyau même assez petit quand il s'agit de sables fins; quelques millièmes suffisent pour les schlamms, tandis qu'il faut approcher de 8 % pour de gros graviers.

La proportion d'eau nécessaire au transport dans ces conditions varie, au contraire, beaucoup moins et peut être comptée de 6 à 10 fois le poids de matières solides; elle est plutôt en aug-

mentation quand les grains sont plus fins. Quand le but du transport est de mener les produits imparfaits à un appareil de laverie où le traitement continue, la proportion d'eau amenée avec la lavée doit être comptée dans le chiffre de la consommation d'eau de cet appareil, et l'étagement est ainsi une source importante d'économie d'eau ; il n'y a d'eau définitivement perdue que celle qui emmène les produits ou les stériles à des bassins de dépôt. Si on récoltait les produits imparfaits à chaque opération, on dépenserait facilement une centaine de mètres cubes d'eau par tonne brute traitée dans l'ensemble d'une préparation mécanique, au lieu de 30 à 40 mètres cubes qui est un chiffre assez ordinaire, correspondant déjà à un travail compliqué avec 2 ou 3 relèvements partiels.

Transports. — Pour traverser horizontalement ou avec peu de pente des distances horizontales modérées, mais pouvant atteindre plusieurs décamètres, on fait grand usage de transporteurs formés par des courroies continues actionnées par quelques-uns des rouleaux qui les supportent. Pour empêcher les chutes le long du parcours, on peut faire circuler la courroie entre deux flasques fixes ; on peut encore, suivant un système assez en faveur en Amérique, lui donner une forme creuse roulant sur des rouleaux de même forme, et qui permet d'ailleurs de franchir des pentes assez fortes, par suite de l'arc-boutement des roches dans l'angle du fond,

mais la construction et l'entretien sont fort dispendieux; on construit aussi des transporteurs entièrement métalliques en articulant l'une à l'autre en grand nombre des plaques de tôles. Avec les transporteurs munis de rebords mobiles, on franchit assez facilement des angles quelconques en faisant déverser sur une autre courroie le produit arrivant à l'extrémité de la première.

En vue de très courtes distances, on emploie aussi des tables tournantes, mais il est bien rare que la question de transport à elle seule en justifie l'installation; ce sont surtout des engins de triage et de distribution.

Ce n'est pas ici le lieu de parler des appareils les plus importants de transports industriels comme les chemins de fer, les voies aériennes, les plans inclinés, les chaînes flottantes, etc. Leur description est connexe à l'exploitation des mines.

Plan de la préparation. — La base d'un projet de préparation mécanique, est la connaissance bien complète de la production moyenne de la mine au point de vue des quantités, de la composition minéralogique et de la structure physique des produits des abatages.

L'analyse chimique est très importante au point de vue économique de l'ensemble de l'affaire : prise sur un bon échantillon moyen prélevé avec tout le soin que comporte une semblable opération, elle fait connaître la somme

des valeurs qui existent dans la production brute en supposant qu'on ait isolé exactement tous les éléments; combinée avec l'examen minéralogique, elle apprend quelles sont les espèces minéralogiques en vue desquelles la préparation doit être surtout suivie, sauf à sacrifier plus ou moins complètement certaines autres espèces dont la poursuite causerait trop de pertes sur celle qui a le plus de valeur; c'est ainsi que si l'analyse révèle une proportion d'or même bien minime, ou une proportion plus notable d'argent, on devra aviser à faire le moins possible de pertes sur ces métaux sans trop se préoccuper de ce qu'on pourra accessoirement recueillir de galène, de blende ou de cuivre à l'état de minerais marchands.

Mais, sauf ce cas particulier de la présence d'éléments de haut prix formant la partie prépondérante de la valeur intrinsèque du produit de l'extraction, le rôle de l'analyse chimique est et doit être excessivement limité dans les questions qui intéressent la préparation mécanique : analyser les produits finis, les stériles rejetés, les produits intermédiaires, est fort intéressant au point de vue économique et financier, et peut dans quelque mesure pousser le chef de laverie à forcer un peu plus l'épuration aux dépens du rendement et des frais, mais c'est pratiquement peu utile : car l'effort de l'ingénieur est nécessairement porté vers un but bien défini : Produire des minerais bien séparés,

bien épurés, en ne s'arrêtant dans cette voie qu'à la limite où il juge que les pertes et les frais dépassent l'augmentation de valeur résultant de la pureté; et cette limite à atteindre est parfaitement définie par l'examen physique et minéralogique des matières fournies et des produits sortant de tous les appareils.

Si on consulte un tableau minéralogique des espèces que l'on est exposé à rencontrer dans les mines, après l'avoir classé par ordre de densités, on voit combien les écarts sont faibles tant entre les produits utiles entre eux qu'entre ces espèces et les espèces pierreuses sans valeur, depuis les plus légères des pierres ordinaires comme le quartz, densité $2\frac{1}{2}$ jusqu'aux plus lourds des minerais habituels, c'est-à-dire la galène et le wolfram, $7\frac{1}{2}$ à 8; au-dessus de ce chiffre, on ne trouve plus guère que l'argent natif, l'or, le platine et le tellure d'or. Les rapports de densités se suivent si près de l'unité qu'on ne peut songer à séparer un minerai très complexe en ses éléments; on ne peut viser qu'à faire deux ou trois catégories, ayant chacune un métal de valeur prépondérante, le reste étant sacrifié plus ou moins complètement.

C'est l'examen physique des produits d'abat-tages qui montre si le triage, le scheidage, puis l'enrichissement en grenailles et en gros sables doivent être poussés loin, puis à quelle limite de broyage on pourra considérer les espèces miné-

rales comme isolées à peu près sans mélanges soudés dans chaque grain : cela dépend de la grosseur des éléments purs que peut détacher l'écrasement à diverses grosseurs. Beaucoup de ces données peuvent être déterminées par l'examen à l'œil, aidé au besoin par la loupe, et porté sur les diverses parties de la mine ; il est bien rare que, dans toute une mine, il n'y ait pas des parties, et même de nombreuses parties, où les opérations élaguées soient utiles, à moins que le produit brut soit extrêmement riche après triage et n'ait à subir que la séparation sans enrichissement ; et encore, dans ce cas, y a-t-il presque toujours quelques classes à faire à la main, car il faut autant que possible éviter de mélanger ce que la nature a bien voulu séparer.

Si la mine donne à la fois des produits comportant le triage et d'autres qui ne peuvent utilement y être soumis, ce sont ces derniers qui doivent être l'objet d'un second examen, portant spécialement sur le degré de finesse auquel il y aura lieu de broyer. Ici l'examen oculaire peut avantageusement être accompagné d'essais rapides faits sur place, et qui cependant doivent être calqués sur le traitement industriel : c'est-à-dire qu'il faut broyer progressivement la matière moyenne, au mortier par exemple, et la tamiser à divers numéros. Les produits criblés sont examinés de nouveau et la loupe suffit à les bien faire connaître ; on en lave une partie à la balée, car cet instrument, manœuvré avec un

peu d'attention, fait assez bien connaître ce que produira le lavage à plus grande échelle. Enfin il est précieux de soumettre un bon échantillon moyen de quelque importance à un vrai traitement industriel, bien qu'à échelle réduite. Les observations précédentes suffisent pour définir à bien peu près la marche à suivre et, par conséquent, les appareils à employer comme essais. Dans cette expérience quasi définitive, l'analyse chimique de la matière proposée et de tous les produits obtenus, est d'une importance capitale, et c'est pourquoi si fréquemment ces ébauches d'essai industriel sont faites dans des ateliers spécialement et très complètement installés pour ce genre d'expérimentation. Et par l'étude des analyses, conjuguée avec le pesage de chaque qualité obtenue, on acquiert tous les éléments qui permettent de connaître d'avance à bien peu près ce que donnera l'opération industrielle ; tandis que la discussion de la méthode suivie et des appareils employés permet à l'ingénieur de déterminer les modifications qu'il y aura à apporter à son plan provisoire pour en faire un plan industriel définitif.

Après ces études préliminaires s'établit le schéma de la préparation, c'est-à-dire le tableau représentant la méthode adoptée, les divisions que chaque opération effectuera dans les produits de la mine, et la marche de chaque catégorie vers un nouvel appareil.

Sur le schéma, on peut indiquer d'une ma-

nière approximative la quantité de matière qui doit parvenir à chaque appareil, en raison de la connaissance acquise de la nature et de la texture du minerai, de la connaissance des conditions de travail de chaque outil, et en tenant compte aussi des résultats acquis par les essais. Sans doute ce calcul ne peut avoir d'avance une grande précision, mais, avec quelque soin, il doit arriver à des résultats se tenant dans les limites où peut fonctionner le règlement journalier de chaque engin, et on évitera les mécomptes en calculant tous les appareils un peu trop forts.

L'organisation du schéma doit être faite en vue de trois résultats à obtenir : l'économie du travail, la simplicité de l'organisation, la réduction des pertes combinée avec la perfection des séparations. Pour réduire les pertes, il ne faut pas perdre de vue le point essentiel qui est de faire le moins de schlamms possible, ce qui a en même temps pour avantages de réduire les installations et les dépenses : les appareils qui travaillent passablement les schlamms en traitent chacun de fort petites quantités ; on est donc obligé de les multiplier à l'infini avec les accessoires et tous les frais qu'ils entraînent, et tout cela pour des résultats pratiques bien médiocres, si médiocres que la question doit se poser fréquemment s'il n'y a pas avantage économique à jeter au rebut tous les schlamms au-dessous de 2 ou 3 dixièmes de millimètre plutôt que de les reprendre et de les repasser in-

définiment comme on le fait généralement en Allemagne. Nous avons déjà dit que cette critique des schlamms ne s'applique pas dans le cas où il s'agit d'amalgamation ; mais nous ne nous occupons pas ici des cas spéciaux qui nous entraîneraient bien au-delà de notre cadre.

Tout en recherchant la simplicité des opérations, il ne faut pas confondre la simplicité du schéma avec celle de l'usine à établir et de son service ; au contraire, on arrive presque toujours à une construction moins étendue et moins onéreuse comme création et comme service en serrant de près le procédé, en multipliant les catégories dans une certaine mesure et en envoyant chacune à un appareil spécial, et cela conduit à un schéma compliqué.

C'est en chiffrant le schéma qu'on se rend compte des simplifications utiles ou des amplifications nécessaires. Pour arriver à établir ces chiffres, nous avons essayé de donner quelques renseignements sur les capacités pratiques des appareils, et ces renseignements, si incomplets et incertains qu'ils soient, sont singulièrement plus près de la vérité industrielle que ceux des catalogues. En les appliquant au schéma, on arrive à calculer suffisamment le nombre et les dimensions indispensables à donner aux appareils à chaque phase des opérations ; seulement en faisant ce calcul, il faut avoir soin de tenir grand compte des repassages et savoir où on veut s'arrêter dans ces repassages. Pour les gros

numéros, grenailles et gros sables, la proportion des repassages est très modérée aux mêmes appareils : elle ne s'applique qu'aux seconds compartiments des cribles ; mais les produits des autres compartiments vont aux rebroyages et rentrent là dans la circulation des appareils plus fins. Pour les fines et les schlamms, la proportion à repasser est toujours forte et on peut la compter au moins à 3 pour 1.

Le schéma permet de calculer la masse d'eau nécessaire, la main-d'œuvre et la force motrice. C'est en l'établissant que l'ingénieur peut s'apercevoir s'il arrive à des résultats, inacceptables dans les circonstances locales, pour la consommation d'eau notamment, et modifier ses projets en conséquence.

Comme observation générale, on ne doit pas avoir de système en commençant à dresser le schéma d'une préparation mécanique ; si l'on part de quelques types donnés, on arrive nécessairement à des projets dispendieux et dont l'effet utile est rarement satisfaisant. Le procédé doit naitre de lui-même au fur et à mesure de l'examen du travail projeté, car s'il y a beaucoup d'appareils pouvant à peu près conduire au but envisagé d'une manière générale, il n'y en a guère qu'un à recommander pour chaque phase des opérations.

Le schéma ne peut pas se terminer sans arrêter corrélativement les grandes lignes de la construction future, car il faut que les appareils

puissent être disposés de manière à répondre aux besoins du travail, notamment aux communications et transports automatiques des matières, et ce transport peut être plus ou moins compliqué et étendu suivant le nombre des étages que l'on veut ou que l'on peut élever les uns au-dessus des autres : plus ce nombre est grand, moins on a besoin d'ascenseurs, chaînes à godets, monte-charges, et moins on consomme d'eau ; mais quant à la force motrice nécessaire elle est peu différente : on emploie en monte-charges, ce qu'on économise pour le service d'eau.

Quand enfin les bases du projet sont arrêtées, c'est encore affaire difficile d'en faire un bon plan en évitant d'encombrer les passages utiles par la tuyauterie et les courroies multiples nécessaires à des appareils toujours assez nombreux, en assurant l'écoulement des eaux et des emplacements convenables pour la réception des produits, pour leur égouttage ou leur séchage, pour leur embarquement et pour l'évacuation des stériles, question souvent fort embarrassante, surtout si elle n'a pas été prévue d'avance.

Triage. — Le triage est une opération fort simple quand l'abatage fournit des blocs qui sont nettement tout minerai ou tout stérile, ainsi qu'il arrive d'ordinaire dans les houillères et dans beaucoup de mines de fer : on n'a alors à s'occuper que des menus et à juger sur leur

ensemble s'ils sont sans valeur et bons à être jetés aux haldes avec le stérile, ou s'ils peuvent être utilisés tels quels, ou enfin s'ils comportent un travail d'enrichissement.

L'opération est, au contraire, assez délicate dans le cas fréquent où l'abatage donne des blocs renfermant des proportions très inégales de la matière ou des matières utilisables, depuis 0 jusqu'à un chiffre qui peut approcher de 100 %. Après l'élimination des blocs stériles proprement dits et des blocs de minerai massif s'il y en a, et des menus, il reste des blocs à teneur moyenne et à teneur faible, et la question entre ceux-ci est de savoir pour chacun d'eux si la valeur des produits définitifs qu'il produira sera suffisante pour payer au moins les frais de manutention et de traitement que ce bloc occasionnera depuis le chantier jusqu'à la fin du travail d'enrichissement, sinon il est évidemment avantageux de rejeter ce bloc comme stérile.

La réponse à cette question suppose bien des connaissances de détail et qui ne peuvent pas être analysées avec précision.

Pour évaluer les frais de traitement par tonne de minerai brut, y compris les manutentions indispensables, il faut que l'ingénieur se soit au préalable rendu compte de tout le système de travail par lequel va passer la production de la mine. Mais la part de ces frais qui doit retomber sur un bloc pauvre est généralement bien in-

févère à la moyenne des frais de traitement de tout l'ensemble, parce qu'il a pour ainsi dire toujours à passer par quelques opérations d'enrichissement du genre scheidage, qui réduisent dans une si large proportion la masse du bloc pauvre que les frais ultérieurs de finissage n'entrent presque plus sensiblement en compte pour lui : cependant cette observation n'est pas toujours applicable, car si tout le minerai est composé de fines imprégnations dans la gangue, et si la pauvreté relative tient au petit nombre de ces imprégnations, il n'y a plus d'enrichissement possible à proprement parler, et toute la matière va presque en entier au finissage.

D'autre part, comme la proportion des pertes définitives augmente avec la proportion des gangues, surtout au finissage, il peut très bien arriver que le traitement de blocs qui seraient encore rémunérateurs s'ils étaient traités seuls, produise un déficit sur la valeur totale des produits finis. Si pareille conséquence apparaît comme probable, il faut rejeter aux stériles des blocs ayant cependant une valeur intrinsèque notable, ou bien se décider à les traiter à part. C'est évidemment cette dernière solution qui est la meilleure en principe, et d'ailleurs, d'une manière générale, il y a toujours avantage à traiter séparément les produits pauvres ; mais, pour cela, il faut que l'on se trouve disposer d'installations suffisantes, où on passe les pauvres par occasion, quand elles se trouvent inoccupées, car

on ne construit pas une usine spéciale pour traiter des valeurs aussi douteuses.

L'examen attentif des blocs provenant de l'abatage montre bien s'il est possible de les enrichir convenablement au scheidage, et comme cette opération, surtout quand elle est faite mécaniquement, n'occasionne que des frais très modérés, il n'y a dans ce cas à rejeter au chantier presque aucun morceau où l'on aperçoit des traces de minéraux utiles. Les frais spéciaux de scheidage mécanique s'abaissent souvent au-dessous de 1 franc par tonne brute et, par conséquent, si le minerai fini vaut sur place 100 francs par exemple, il n'y a pas perte à scheider des blocs contenant 1 % de minerai.

Si, au contraire, le scheidage n'est pas possible, la matière a à supporter tous les frais de préparation mécanique, qui approchent le plus souvent de 5 francs par tonne brute ; on ne doit donc, dans ce cas, conserver que les blocs susceptibles de rendre au moins 5 % dans des circonstances comme celles ci-dessus indiquées.

Reste donc à apprécier rapidement, à l'aspect d'un bloc, son rendement probable en minerai marchand ; les ouvriers mineurs et scheideurs arrivent très rapidement à se rendre compte de ce rendement quand ils ont eu sous les yeux quelques types à rendement déterminé. On obtient ces types en faisant sur nombre de morceaux des essais sommaires analogues à ceux que nous avons indiqués déjà, et pour lesquels

on emploie le mortier, quelques tamis et la batée, corrélativement avec un petit nombre d'essais chimiques comme vérification. Sans doute cette méthode sommaire, imposée par les circonstances, ne peut avoir la prétention d'amener à un grand degré de précision, pas plus d'ailleurs que le rapide examen des blocs que fera ensuite l'ouvrier trieur ; mais la précision n'est pas possible et n'est pas indispensable en pareille matière, et la synthèse instantanée faite par l'homme d'un coup d'œil n'est guère plus incertaine que la prise d'un échantillon moyen sur une masse irrégulière provenant des abatages.

D'une manière générale, les produits marchands d'une mine sont de deux espèces : ceux qui ont une faible valeur à la tonne, comptée sur place, comme les minerais de fer, les pyrites de fer, la houille, les roches industrielles (calcaire, feldspath, barytine, gypse), valeur d'une dizaine de francs ou moins encore : pour ceux-là, il y a lieu de considérer comme stériles et d'éliminer largement dès le premier triage tout ce qui n'est pas très riche, marchand ou presque marchand à l'état brut ; et, d'autre part, l'immense majorité des minerais métalliques à base de plomb, cuivre, argent, zinc, nickel, pyrites aurifères, etc., qui ont, au contraire, une fois bien concentrés, des valeurs presque toujours supérieures à une centaine de francs ; et dans, cette seconde catégorie, il ne faut guère éliminer que ce qui est absolument stérile.

Nous insistons ici sur la nécessité de s'en rapporter au simple examen *de visu* pour apprécier la valeur des produits miniers, parce qu'elle se représente à chaque pas de la préparation mécanique. Il faut, en effet, que le chef laveur et les contremaitres, depuis le triage jusqu'à l'expédition, se rendent compte à chaque instant de l'état des produits sortant d'une opération ou d'un appareil ; il faut qu'à tout moment, ils soient prêts à faire aux ouvriers scheideurs les observations nécessaires sur la division en catégories, sur le choix des stériles, etc., il faut qu'ils règlent instantanément les appareils d'admission et d'évacuation des charges, le débit d'eau, les cloisons des compartiments des appareils de classement. Cette surveillance ne peut pas attendre un essai quelconque, et elle n'a pas besoin de l'attendre : l'aspect du produit, son examen à la loupe suffisent absolument au maître laveur exercé pour voir si les appareils travaillent pour le mieux et pour juger dans quel sens il doit en modifier la marche pour améliorer le résultat. Ces soins se répètent des centaines de fois par jour, et n'ont rien à faire avec l'analyse chimique ; le maître laveur les réalise par comparaison avec des types bien définis.

La création de ces types est, au contraire, affaire de laboratoire et de direction ; l'analyse chimique est nécessaire pour se rendre compte de la valeur des produits, des rendements et des pertes, pour établir la situation économique générale,

pour déterminer exactement la valeur de certains types ; elle donne des indications précieuses à l'opérateur et peut corriger certaines erreurs d'appréciation, mais elle ne peut en rien suppléer à l'appréciation même ; elle sert surtout de contrôle ; mais un chef de laverie expérimenté n'a qu'un but : tirer le meilleur parti des minerais et des appareils dont il dispose, et il peut arriver à ce résultat sans consulter le laboratoire. Ce n'est que quand le chef de laverie est en marche normale et a fait pour le mieux que le laboratoire intervient utilement et étudie les additions et modifications utiles à apporter aux méthodes suivies, aux appareils et aux dispositions de l'usine.

C'est donc l'ingénieur qui doit déterminer les types suivant lesquels s'accomplira le triage au chantier, et qui appréciera par l'examen des produits de l'abatage ce que la mine fournira tant comme stériles que comme minerais et menus à traiter.

En général, pour éviter les manipulations, on ne criblé pas au chantier même ; on se borne à enlever à la main les blocs pesant quelques kilogrammes pour les charger et les envoyer à leurs destinations ; puis tout ce qui reste est considéré comme menus et chargé à la pelle pour aller aux ateliers des cheidage. En relevant les blocs, on doit d'ailleurs les classer, s'il y a lieu, suivant les mêmes règles que pour le scheidage, mettant à part les très riches, quand il y en a, et ceux renfermant

des éléments qui ne doivent pas être mélangés au travail général. Le surplus, destiné aux opérations de la préparation mécanique, est ce que nous appellerons ici le minerai, parce que c'est lui que nous avons à suivre dans le traitement.

Scheidage. — Nous avons dit déjà que le scheidage comprend trois sortes de travaux : le concassage, le criblage et le triage ou klaubage.

Comme le travail exige d'autant plus de frais et surtout de main-d'œuvre que les morceaux sont plus petits, on le poussera d'autant plus loin que la main-d'œuvre est moins chère et que le résultat est plus avantageux à réaliser. Si la texture de la roche est telle qu'on puisse en isoler par cassage des morceaux purs de minerais ou de stériles à toutes dimensions de broyage, il est presque toujours avantageux de pousser le klaubage à l'extrême, c'est-à-dire jusqu'à une grosseur de 15 millimètres environ, quitte à dépenser, pour cela, 1 franc par tonne brute ou même un peu plus.

Dans les cas ordinaires que nous étudions, c'est-à-dire pour des produits filoniens à galène, pyrite, blende, l'un des buts principaux du scheidage est de sauver les morceaux de galène que le broyage réduit trop facilement à l'état de paillettes fines et flottantes ; ce qu'il va de galène dans les schlamms est perdu totalement, et c'est une perte d'autant plus sensible que la galène est plus argentifère : c'est très souvent la galène argentifère qui est le produit principal de l'ex-

exploitation des mines et pour peu qu'elle soit en proportion notable, elle doit être spécialement ménagée. C'est à ce point de vue surtout que l'ancien *scheidage au marteau* est plus avantageux que le concassage mécanique. Un autre élément souvent important est la chalcopyrite qui tient 35 % de cuivre et présente, par conséquent, une haute valeur à l'état isolé. Il est précieux de la séparer autant que possible au *scheidage* des autres pyrites et de la blende dont on ne peut ensuite l'isoler que par des traitements coûteux.

Mais, en dehors de ces cas, le profit le plus ordinaire du *scheidage* est de séparer la production en trois catégories : minerai riche n'ayant à subir que le finissage, minerai à préparer, et stériles. La limite à poser entre les deux premières n'a qu'une importance économique secondaire ; quant à la distinction à faire entre le minerai et le stérile, elle est sujette aux mêmes observations que pour le premier triage, et c'est à l'ingénieur à établir les types limites au-dessous desquels le traitement ultérieur n'est pas rémunérateur. L'avantage du *scheidage* sur les opérations mécaniques d'enrichissement est de déterminer cette limite assez exactement, en sorte que les pertes au *scheidage* ne sont que ce qu'on juge utile et, en réalité, très faibles : on n'élimine guère que de vrais stériles.

Quand la production de la mine est un peu sérieuse, au-dessus de 2 ou 3 tonnes de minerai

trié par heure, on a avantage à faire le scheidage en deux phases : un premier concassage à gros-seur de ballast suivi d'un klaubage (après cri-blage) sur une table mécanique rectangulaire ou circulaire, puis un second concassage à grosseur de noix suivi d'un autre criblage et d'un klaubage dans les mêmes conditions. La table circu-laire est plus coûteuse à installer, mais son emploi est préférable quand on veut un triage très complet et très soigné ; dans ce cas, il faut naturellement quelques ouvriers en plus.

En opérant en deux fois, on peut compter qu'il faut 2 à 3 ouvriers pour trier une tonne de matières premières par heure, moitié en plus quand on veut faire le scheidage aussi complet en un seul concassage.

Broyage. — Tous les minerais dont la struc-ture comporte le scheidage doivent passer en -suite par des appareils d'enrichissement produi-sant un effet analogue, mais mécaniquement à cause de la petitesse des morceaux, car s'il y a des plages de minerais concentrés alternant avec des plages stériles assez grosses et assez nettes pour rendre le triage avantageux après concassage à 70 ou à 35 millimètres, il en est à plus forte raison de même après broyage au-dessous de 15 ou 20 millimètres, limite du schei-dage. Par conséquent, tous ces minerais ont à subir un travail de rebroyage, et par les raisons que nous avons déjà données, il y a tout intérêt à faire ce travail progressivement, par étapes

successives, en vue d'éviter dans toute la mesure du possible la production des schlamms et de traiter le plus possible à l'état de grenailles et de gros sables, sur lesquels les opérations sont beaucoup plus faciles, moins dispendieuses, plus rapides et avec moins de pertes, pour lesquelles aussi les appareils produisent bien davantage comme nous l'avons dit, la capacité variant à peu près pour chacun d'eux proportionnellement à la racine carrée du diamètre moyen. De là résulte qu'il faut deux fois moins d'engins pour traiter des grains quatre fois plus gros, d'où moindre encombrement, moins de frais de premier établissement et surtout moins de frais d'entretien.

Dans l'ordre d'idées où nous nous sommes placés, il sort de l'atelier de scheidage une forte proportion de menus au-dessous de 15 ou 18 millimètres, et une proportion égale ou supérieure, suivant la richesse des minerais, de noix ayant 15 à 35 ou 40 millimètres de diamètre.

Dans un système tout à fait complet, pour une très forte production, il serait assez rationnel d'adopter, pour les rebroyages successifs, une raison assez simple et réduite, par exemple $2/1$, c'est-à-dire de passer par des appareils donnant successivement des maxima de 16, 8, 4, 2 millimètres par exemple ; mais comme les appareils de laverie, faisant suite au scheidage, ne travaillent guère bien au-dessus d'un maximum de 15 millimètres, on supprime presque toujours

la première de ces étapes intermédiaires, et très ordinairement la troisième. Quant à la limite inférieure du broyage, elle dépend de la texture du minerai et des expériences faites sur la séparation suffisante des grains : on est presque toujours obligé de pousser la trituration très loin, mais on fait porter la pulvérisation sur la plus petite quantité de matière possible, afin d'éviter les schlamms ; et, pour la même raison, sauf le cas de l'amalgamation, on n'arrive jamais à la porphyrisation.

Nous référant à ce que nous avons dit dans l'étude de ces appareils, nous pensons que le rôle des concasseurs ne doit pas s'étendre au-dessous d'un écartement de 20 ou 25 millimètres ; après eux, ce sont les moulins à cylindres qui paraissent les broyeurs les plus avantageux pour les grenailles et le gros sable, et nous limitons leur emploi pratique à l'écartement de 2 millimètres environ, à cause de l'énorme proportion de schlamms que produit leur usage au-dessous de ce chiffre : on peut cependant au besoin les utiliser jusqu'auprès de 1 millimètre, et on est tenté de le faire parce que ce sont des appareils peu coûteux d'installation et peu encombrants pour une production de sable très élevée.

S'il faut descendre plus bas encore, au-dessous de 1 millimètre, sans arriver à la porphyrisation, on trouve des appareils ingénieux et pratiques dans le kugelmühle et le moulin pendule ou à meules inclinées, mais à la condition de les

aider par une grande quantité d'eau, 15 à 20 fois le poids des matières passées, et de ne pas leur fournir des charges exagérées. Chacun d'eux a ses avantages et ses inconvénients, qui s'équilibrent à peu près, mais tous font un travail coûteux comme force motrice et comme entretien.

Les dépenses de broyage, pour passer d'un numéro à l'autre, suivant l'échelle que nous suivons ici, vont en croissant avec la finesse du produit ; pour les concassages, on peut compter $\frac{1}{4}$ de franc par tonne, le double pour le moulin à cylindres et au moins le quadruple pour les appareils de pulvérisation.

Tamissage. — Après un broyage vient toujours un tamissage : à l'atelier de scheidage, le but de cette opération est de séparer les menus, afin que les fragments à choisir par les ouvriers soient plus visibles et plus propres, et il est de bonne pratique de laver ces fragments, soit quand ils passent sur les harpes, soit sur la table même au moyen d'une lance d'aspersion. Quand le minerai est accompagné de matières argileuses qui l'empâtent, et surtout alors quand il est un peu humide, le lavage est presque indispensable avant klaubage ; en dehors de ce cas, et particulièrement s'il fait froid, on tâche de s'en passer, car il rend pénible le maniement des morceaux.

Le tamissage jusqu'aux dimensions de noix, ou au moins de petit ballast, se fait toujours sur un appareil du genre harpe qui sert en même temps de transporteur et de distributeur.

Au-dessous de 30 millimètres environ, la harpe devient d'un assez mauvais service, bien qu'on puisse l'employer au besoin jusqu'à 20 ou même 15 millimètres. Dans ces dimensions, elle peut être remplacée par le trommel, et cet appareil peut aussi servir pour les gros sables, difficilement au-dessous de 2 millimètres. Le trommel est un appareil simple et commode, exigeant très peu de force, et peu d'entretien, au moins pour les numéros un peu gros ; mais, tel qu'on l'utilise le plus souvent, c'est-à-dire pour des menus non débourbés à l'avance, il trie fort mal : nous avons dit que la charge sortante est d'ordinaire souillée par 20 à 40 % de parties qui sont entraînées dans son mouvement au lieu de passer par les trous. La proportion de ces matières fines augmente avec la petitesse du trommel et la rapidité du passage, mais elle est toujours grande à moins d'employer une masse d'eau et un appareil de dimensions exagérées ; on se contente, le plus souvent, d'un trommel de 1^m,15 de longueur pour 3 tonnes de grenailles à l'heure. Pour avoir un bon classement, il faudrait, au préalable, débourber la charge par une forte agitation en pleine eau ou faire tourner le trommel dans l'eau ; faute de ces précautions, on gêne beaucoup le service des appareils laveurs, où les produits finis sont mélangés aux fines non classées surtout dans les premiers compartiments des cribles filtrants ; dans les cribles genre lavoir à charbons, ce sont les pertes qui s'accrois-

sent par l'entraînement des fines tout-venant avec les stériles ; et si on veut parer à ces inconvénients, il faut avoir recours à des opérations complémentaires compliquant le service.

Malgré ces inconvénients, et sauf à augmenter les dimensions et l'arrasage, le trommel est encore ce qu'il y a de mieux pour tamiser d'assez grandes quantités de matières, mais seulement jusqu'au minimum de 5 ou 6 millimètres au plus.

Vers ces dimensions, l'avantage est certainement en faveur des sas, des classeurs sardes, fonctionnant à secousses et en pleine eau ; ces deux conditions améliorent beaucoup le débourrage et le tamisage : le cheminement dû aux secousses, se fait surtout par la surface de la charge et opère d'abord sur les plus gros grains en sorte que les fines restent à nu sur le tamis et ont là plus de chances de passer par les trous que d'être entraînées. Les sas se prêtent d'ailleurs bien à l'emploi des toiles métalliques où la surface de passage est plus grande que dans les tôles perforées ; de plus, ils permettent l'emploi de toiles fines et, par conséquent, on peut avec cet engin classer bien plus loin, jusqu'à un demi et même un quart de millimètre.

Un mètre carré de tamis à secousses paraît suffisant pour passer 2 tonnes par heures de petites grenailles de 5 millimètres ; comme d'ailleurs on peut superposer plusieurs tamis à courte distance, l'appareil est peu encombrant : son

défaut, surtout avec plusieurs étages, est la difficulté de la surveillance intérieure; profitant des dimensions restreintes de ces engins, on parera à cette difficulté en ayant un appareil de rechange tout installé et prêt à fonctionner pendant qu'on démonte et nettoie son voisin.

Le tamisage a surtout pour but le classement en grosseur afin de rendre possible le classement en densité par les appareils laveurs travaillant en raison de l'équivalence et de faciliter le classement dans les appareils fonctionnant théoriquement en raison des densités, mais pratiquement seulement dans une échelle étendue de grosseurs.

Le classement en grosseur n'aurait pas toujours besoin d'être serré si l'on avait affaire à des grains bien séparés et de nature distincte, d'espèces peu nombreuses: le rapport théorique est de $\frac{8-1}{5-1} = 1,75$ entre la galène et la pyrite, de $\frac{5-1}{2,5-1} = 2,67$ entre la pyrite et les gangues pierreuses; entre la pyrite et la blende, il n'est plus que de $\frac{5-1}{4-1} = 1,33$. Mais entre les éléments purs, il y a toujours, et trop souvent en forte proportion, des grains mixtes dont les densités présentent tous les degrés intermédiaires entre les densités extrêmes: il en résulte que le classement en grosseur est un leurre dans son application théorique, et la vérité est qu'il a pour résultat seulement de faciliter le classement par densités dans tous les appareils, ou de réduire la

proportion de produits mixtes à soumettre à de nouveaux broyages et lavages.

A ce point de vue, il y a intérêt à le serrer beaucoup, mais il y a une limite imposée par la complexité : à la raison 3, le nombre des classes à faire est de 2 entre un demi et 15 millimètres : à la raison 1, 5, ce nombre dépasserait 7, et avec 1,33 il serait de 11 : et le nombre des appareils laveurs se multiplierait dans la même proportion en même temps que la hauteur de l'usine et celle des réservoirs d'eaux. En pratique, on ne descend guère au-dessous de la raison 1,5.

Le sas ne peut pas fonctionner au-dessous de un quart de millimètre et même il ne débourbe plus bien à un demi-millimètre. Au-dessous de ces dimensions, on n'a aucun moyen de classement en grosseur. On se sert alors des Spitz Kasten qui agissent surtout comme débourbeurs; et bien qu'ils ne fassent tout au plus que le classement par équivalence, cela n'a plus ici le même inconvénient que pour les gros sables, parce que leurs produits ont à passer sur des tables favorables au classement par densités.

Dans le tamisage, on obtient, aux diverses grosseurs, des proportions de matière qui dépendent de la nature des roches, du procédé de broyage et des soins apportés au débourbage. Pour des matériaux d'origine filonienne, on peut compter qu'avec un bon débourbage, il reste au moins 50 % comme refus sur un tamis ayant comme diamètre deux liers de l'écarte-

ment du broyeur, et 66 % si les trous sont de moitié : c'est-à-dire qu'avec la raison $\frac{2}{3}$ pour les grosseurs la proportion tamisée est $\frac{1}{2}$ et qu'avec la raison $\frac{1}{2}$, il passe seulement $\frac{1}{3}$ par les trous. Nous avons déjà dit que cette loi se poursuit à peu près de grosseur en grosseur, sauf pour les schlamms qui apparaissent toujours en excès sur les chiffres donnés par ce calcul.

Au Spitz Kasten, on règle la quantité reçue dans chaque caisse à volonté en variant les débits d'eau.

Cribles. — L'appareil le plus avantageux pour traiter les grenailles et les gros sables classés en grosseurs est le crible filtrant et surtout le crible à balles qui nous semble un peu plus favorable au classement par densités que le crible à grenailles.

On peut évidemment remplacer le crible filtrant par le jig : on emploie même de préférence un jig manœuvré à la main pour de très petites productions dans lesquelles on tient avant tout à simplifier les installations. Un bon ouvrier habitué à cet outil peut laver mieux qu'au crible environ 100 à 200 kilogrammes de matière première par heure. Pour une production considérable de plusieurs tonnes à l'heure, après un classement de grosseur très sommaire, un jig mécanique rendrait d'excellents services ; mais il a le défaut de n'être pas automatique et on ne

se résout guère à l'employer que s'il est essentiel d'économiser l'eau. Nous avons dit, en effet, qu'une laverie organisée avec des jigs peut ne consommer, par tonne, qu'un mètre cube d'eau au lieu de 30 à 60 nécessaires à une usine ordinaire montée en cribles et tables. Il est vrai qu'avec de bons bassins, on peut reprendre à la pompe la majeure partie de cette eau, mais non sans des installations étendues pour la clarification et des pertes assez fortes : même avec reprise d'eau, il ne faudrait pas compter d'ordinaire moins d'une dizaine de mètres cubes comme perdus, surtout dans les climats secs et chauds, les seuls où l'eau manque en général.

Le crible reçoit la quantité de matière calculée sur les bases données dans les opérations précédentes pour chaque catégorie, et de là, avec les éléments que nous avons relevés pour la capacité des cribles, on peut déterminer approximativement le nombre et la grandeur des divers modèles à adopter. Il faut toujours faire ce calcul largement, en raison de l'incertitude des bases, et parce qu'il est aussi facile de ralentir le travail d'un crible sans inconvénient, que difficile de le forcer sans arriver à beaucoup de pertes et à un mauvais travail.

Dans le calcul des cribles, il faut naturellement tenir compte des repasses directes et des rebroyages. Pour les gros numéros, il ne s'agit que de repassage provenant des seconds compartiments et souvent même on n'en fait aucun ; les autres

compartiments, quand ils ne donnent pas de minerais purs, vont entièrement au broyage, ou partiellement au finissage : en tout cas, comme leurs produits sont rebroyés plus fins, il n'affectent que la capacité des cribles plus fins.

Les cribles sont toujours, ou presque toujours, établis en contre-bas des tamiseurs avec une différence de hauteur suffisante pour que la charge arrive automatiquement à chacun d'eux : on doit donc placer de préférence les cribles de gros numéros très près des tamiseurs, parce que le transport des grenailles exige plus de pente que celui des fines. Cette observation est la base générale du plan de l'usine de préparation : la batterie des laveurs commence sous les tamiseurs par les gros numéros et s'en éloigne en série ou en éventail jusqu'aux laveurs de fines puis de schlamms.

On doit toujours réserver au-dessous du plancher qui porte les cribles une hauteur suffisante pour conduire tous les produits soit à des caisses d'égouttage et de dépôt, soit aux appareils consécutifs à certaines catégories. C'est aussi de cette hauteur qu'on profite pour installer les labyrinthes, etc.

Dans les cas très particuliers où les éléments de la charge sont entièrement isolés les uns des autres à une grosseur suffisante pour être lavés au crible, cet appareil peut donner tout ce qu'il y a d'utile sous forme de produits finis. Grâce à cela, les compartiments de rang pair donnent ces

produits directement et ceux de rang impair sont à repasser au même appareil de manière que leur contenu finisse par se partager entre les deux catégories qui comportent ce mixte au premier passage. En pareil cas aussi, le produit des compartiments impairs doit aller au magasin du sous-sol et celui des compartiments pairs doit être remonté assez haut pour rejoindre la lavée ; mieux vaudrait cependant encore trailer à part le produit de chacun des compartiments pairs puisqu'il n'y aurait que séparation à y faire de deux minéraux.

Beaucoup plus généralement, à cause des grains complexes, on ne peut faire au crible du minerai fini que dans le premier compartiment ; le produit du second compartiment est très riche mais mixte : on pourrait le repasser au premier compartiment, mais presque toujours on l'envoie au finissage, afin, comme nous l'avons dit, d'économiser les pertes par entraînement que cause toujours le mélange d'un minerai riche avec un minerai pauvre ayant des gangues à éliminer.

Parfois on peut recueillir par filtration au troisième compartiment du minerai assez pur de la seconde espèce comme densité pour l'envoyer au magasin et, dans ce cas, il faut à la suite avoir encore au moins un compartiment pour récolter les mixtes pauvres, d'une teneur analogue à celle du minerai primitif, et qui vont rejoindre la lavée ou plutôt qui sont conduits à un nouveau broyage : Un compartiment supplémentaire est

utile comme contrôle avant l'élimination des stériles et son produit doit pouvoir, suivant ce qu'il s'y rassemble, être envoyé au rebroyage ou réuni aux stériles éliminés. Mais, plus ordinairement, il n'y a que quatre divisions à faire dans la charge, celle des purs au premier compartiment, celle des riches à envoyer au finissage dans le deuxième compartiment, puis un mixte pauvre et le stérile; et, dans ce cas, nous pensons préférable d'organiser le crible en crible mixte ainsi que nous l'avons indiqué, en employant comme un lavoir à charbons toute la longueur disponible dans le crible après les deux premiers compartiments.

Il est à remarquer que, d'ordinaire, on ne retire au crible à l'état fini, que le corps le plus dense du mélange, tandis que le travail des tables permet de recueillir séparément les autres minerais utiles. C'est là un des grands avantages des tables, mais seulement quand on est arrivé par broyage suffisant à isoler les corps de nature différente.

Tables. — L'usage des tables s'impose donc et mérite d'être développé surtout quand on a à traiter des minerais complexes; elles fonctionnent très bien à partir du diamètre de 2 millimètres et au-dessous jusqu'à peu de dixièmes de millimètres, et s'associent parfaitement avec le Spitz Kasten. Depuis l'invention des tables à rainures et à secousses genre Wilfley, il est possible d'en développer largement l'emploi, parce

que ces appareils sont à grand travail et peuvent recevoir jusqu'à 500 kilogrammes de sables à laver par heure, tandis que tous les anciens systèmes sont à très petite capacité et, par conséquent, fort encombrants. C'est donc aux tables à rainures qu'on aura recours de 2 millimètres à $\frac{1}{4}$ de millimètre environ, réservant seulement pour les schlamms fins et les amas des labyrinthes les anciens modèles comme le Rittinger s'il s'agit de minerais complexes ou la table à secousses pour des minerais à un seul minéral utile.

Pour les tables comme pour les cribles, il est utile de les installer assez haut pour que les produits aillent automatiquement à leurs lieux de destination, et le plus simple est de les y conduire par des tuyaux en tôle galvanisée.

On tire d'elles des produits entièrement finis, des mixtes riches, des mixtes pauvres et des stériles, et le mieux est de les traiter comme les produits correspondants des cribles, c'est-à-dire d'envoyer les mixtes riches à l'atelier de finissage s'il y a un finissage distinct comme nous le supposons pour une grande production; mais quand on arrive aux grosseurs inférieures au réglage du dernier appareil de pulvérisation en service, il n'y a plus à songer à améliorer les mixtes qu'en les repassant indéfiniment sur les mêmes appareils.

Quant à ce qui s'échappe des dernières tables, mixtes, très pauvres ou stériles, on les fait presque

toujours passer dans un assez long labyrinthe, duquel on ramasse les riches à la pelle pour les reporter aux Spitz Kasten.

Inutile d'insister sur le finissage : il reçoit les minerais très riches, c'est-à-dire avec très peu de gangues, venant de toutes les opérations, et il les traite absolument de la même manière que la série générale d'enrichissement ; seulement il y a peu ou point de stériles à éliminer définitivement, et ces stériles n'apparaissent que sur les tables fines terminant les opérations de la préparation mécanique ; tout ce qui, dans les appareils des premiers numéros, correspond à ce que nous appelions mixtes pauvres à l'enrichissement, se confond ici avec le stérile et ces matières vont ensemble à une pulvérisation avant de passer aux tables finales.

TABLE DES MATIÈRES

| | Pages |
|--------------------------------------------------------|-------|
| <i>Rut et moyens de la préparation mécanique . . .</i> | 6 |
| <i>Mouvements des solides dans les fluides . . .</i> | 12 |
| <i>Travail par entrainement</i> | 19 |
| <i>Classement par chute</i> | 31 |
| <i>Appareils divers</i> | 37 |
| <i>Appareils à secousses</i> | 42 |
| <i>Cribles</i> | 62 |
| <i>Crible filtrant</i> | 69 |
| <i>Appareils de broyage et criblage</i> | 90 |
| <i>Organisation d'une préparation mécanique . . .</i> | 124 |

SAINT-AMAND (CHER). — IMPRIMERIE BUSSIÈRE

MASSON & C^{IE}, ÉDITEURS

PARIS, 120, Boulevard Saint-Germain, PARIS, 120

P. n° 491.

(Septembre 1906)

(Cons L. H. D.)

EXTRAIT DU CATALOGUE (1)

Viennent de paraître :

Traité élémentaire de Clinique médicale

Par **G.-M. DEBOVE**

Doyen de la Faculté de médecine de Paris, Professeur de Clinique médicale,
Médecin des Hôpitaux, Membre de l'Académie de Médecine,

et **A. SALLARD**

Ancien interne des Hôpitaux.

1 vol. grand in 8° de 1296 pages avec 275 figures, relié toile. 25 fr.

SIXIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE

DU

Traité élémentaire de Clinique thérapeutique

Par le Dr **Gaston LYON**

Ancien chef de Clinique médicale à la Faculté de Médecine de Paris.

1 vol. grand in-8° de 1700 pages. Relié toile 25 fr.

❖ ❖ Formulaire Thérapeutique ❖ ❖

PAR MM.

G. LYON

P. LOISEAU

Ancien chef de clinique à la Faculté. Ancien prép^r à l'École de Pharmacie.

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

E. LACAILLE, M. MARCHAIS, Paul-Émile LÉVY

QUATRIÈME ÉDITION REVUE

1 vol. in-18 tiré sur papier très mince, relié maroquin souple. 6 fr.

(1) La librairie envoie gratuitement et franco de port les catalogues suivants à toutes les personnes qui lui en font la demande : — Catalogue général. — Catalogues de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire : 1. Section de l'ingénieur. 11. Section du biologiste. Catalogue des ouvrages d'enseignement. Les livres de plus de 5 francs sont expédiés franco au prix du Catalogue. Les volumes de 5 francs et au-dessous sont augmentés de 10 0/0 pour le port. Toute commande doit être accompagnée de son montant.

La Pratique Dermatologique

TRAITÉ DE DERMATOLOGIE APPLIQUÉE.

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

ERNEST BESNIER, L. BROCC, L. JACQUET

Par MM. AUDRY, BALZER, BARBE, BAROZZI, BARTHÉLEMY, BENARD, ERNEST BESNIER
BODIN, BRAULT, BROCC, DE BRUN, DU CASTEL, CASTEX, COURTOIS-SUFFIT
J. DARIER, DEHU, DOMINICI, W. DUBREUILH, HUDELO, L. JACQUET, JEANSELME
J.-B. LAFFITTE, LENGLET, LEREDDE, MERKLEN, PERRIN, RAYNAUD
RIST, SABOURAUD, MARGEL SÉE, GEORGES THIBIERGE, TREMOLIÈRES, VEYRIÈRES

4 forts volumes richement cartonnés toile. . . . 156 fr.

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT.

MANUEL ÉLÉMENTAIRE

de

Dermatologie topographique régionale

PAR

R. SABOURAUD

Chef du laboratoire de la Ville de Paris à l'hôpital Saint-Louis.

1 volume grand in-8°, de xii-736 pages avec 231 figures dans le texte
Broché 15 fr. | Relié toile 16 fr.

Manuel des Maladies des Reins et des Capsules surrénales

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

G.-M. DEBOVE

Doyen de la Faculté de Médecine de Paris, Membre de l'Académie de Médecine.

Ch. ACHARD

Professeur agrégé à la Faculté,
Médecin des Hôpitaux.

J. CASTAIGNE

Chef de Laboratoire à la Faculté,
Médaille d'or des Hôpitaux.

PAR MM.

**J. CASTAIGNE, E. FEUILLIÉ, A. LAVENANT, M. LÖEPER,
R. OPPENHEIM, F. RATHERY.**

1 vol. in-8° avec figures dans le texte. 14 fr.

Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DES PROFESSEURS

Simon DUPLAY

Paul RECLUS

DEUXIÈME ÉDITION

PAR MM.

BERGER, BROCA, PIERRE DELBET, DELENS, DEMOULIN, J.-L. FAURE
FORGUE, GÉRARD-MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER
KIRMISSON, LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT
PONCET, QUENU, RICARD, RIEFFEL, SEGOND, TUFFIER, WALTHER
8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte 150 fr.

TOME I, 18 fr. — TOME II, 18 fr. — TOME III, 18 fr. — TOME IV, 18 fr. —
TOME V, 20 fr. — TOME VI, 20 fr. — TOME VII, 25 fr. — TOME VIII, 20 fr.

Traité de Gynécologie

Clinique et Opératoire

par Samuel POZZI

Professeur de Clinique Gynécologique à la Faculté de Médecine de Paris
Membre de l'Académie de Médecine, Chirurgien de l'hôpital Broca,

QUATRIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE

AVEC LA COLLABORATION DE F. JAYLE

Vient de paraître :

TOME I. — 1 vol. gr. in-8° de xvi-765 p. avec 526 figures, relié toile. 20 fr.
Le Tome II actuellement sous presse sera vendu 15 fr. — A dater de l'appari-
tion du Tome II le Tome premier ne sera plus vendu séparément et le prix de
l'ouvrage complet sera porté à 40 fr.

❖ ❖ ❖ ❖ ❖ Précis d'Obstétrique

PAR MM.

A. RIBEMONT-DESSAIGNES

Agrégé de la Faculté de médecine
Accoucheur de l'hôpital Beaujon
Membre de l'Académie de médecine.

G. LEPAGE

Professeur agrégé à la Faculté
de médecine de Paris.
Accoucheur de l'hôpital de la Pitié.

SIXIÈME ÉDITION. Avec 568 fig., dont 400 dessinées par M. RIBEMONT-DESSAIGNES
1 vol. grand in-8° de 1420 pages, relié toile . . . 30 fr.

Les Médicaments usuels

par le D^r A. MARTINET

Ancien interne des Hôpitaux de Paris

DEUXIÈME ÉDITION REVUE

1 volume in-8 de viii-342 pages 4 fr.

Ouvrage complet.**Traité**

5 forts vol. grand in-8° illustrés de 3750 figures en noir et en couleurs : 160 fr.

d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

P. POIRIERProfesseur d'anatomie
à la Faculté de Médecine de Paris
Chirurgien des Hôpitaux.**A. CHARPY**Professeur d'anatomie
à la Faculté de Médecine
de Toulouse.

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

O. Amoëdo — A. Branca — A. Cannieu — B. Cunéo — G. Delamare
Paul Delbet — A. Druault — P. Fredet — Glantenay
A. Gosset — M. Guibé — P. Jacques — Th. Jonnesco — E. Lagnesse
L. Manouvrier — M. Motais — A. Nicolas — P. Nobécourt
O. Pasteau — M. Picou — A. Prenant — H. Rieffel
Ch. Simon — A. Soulié

- TOME PREMIER** (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — **Embryologie**
— **Ostéologie**. — **Arthrologie**. 1 vol. avec 807 figures 20 fr.
- TOME II** (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — 1^{er} Fascicule : **Myologie**. 1 vol. avec 331 figures 12 fr.
2^e Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Angéiologie**.
(*Cœur et Artères. Histologie*). 1 vol. avec 150 figures 8 fr.
3^e Fascicule (*Deuxième édition, revue*) : **Angéiologie** (*Capillaires, Veines*). 1 vol. avec 75 figures 6 fr.
4^e Fascicule : **Les Lymphatiques**. 1 vol. avec 117 figures 8 fr.
- TOME III** (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — 1^{er} Fascicule : **Système nerveux** (*Méninges, moelle, encéphale, embryologie, histologie*). 1 vol. avec 265 figures 10 fr.
2^e Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Système nerveux** (*Encéphale*). 1 vol. avec 131 figures 10 fr.
3^e Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Système nerveux** (*Les nerfs, nerfs crâniens, nerfs rachidiens*). 1 vol. avec 228 figures 12 fr.
- TOME IV**. — 1^{er} Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Tube digestif**. 1 vol. avec 205 figures 12 fr.
2^e Fascicule (*Deuxième édition, revue*) : **Appareil respiratoire**. 1 vol. avec 121 figures 6 fr.
3^e Fascicule : **Annexes du tube digestif. Péritoine**. (*Deuxième édition revue*). 1 vol. avec 448 figures en noir et en couleurs. 16 fr.
- TOME V**. — 1^{er} Fascicule : **Organes génito-urinaires**. 1 vol. avec 431 figures 20 fr.
2^e Fascicule : **Les Organes des Sens Glandes surrénales**. 1 vol. avec 554 figures 20 fr.

CHARCOT - BOUCHARD - BRISSAUD

BABINSKI, BALLEZ, P. BLOCQ, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTHIL, GILBERT, GUIGNARD, L. GUINON, G. GUINON, HALLJON, LAMY, LÉ GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, OETTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAUD, SOUQUES, TRIBIERGE, THOINOT, TOLLEMER, FERNAND VIDAL.

Traité de Médecine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

BOUCHARD

Professeur à la Faculté de Médecine de Paris,
Membre de l'Institut.

BRISSAUD

Professeur à la Faculté de Médecine de Paris,
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

DEUXIÈME ÉDITION

10 volumes grand in-8°. **160 fr.**

TOME I. — 1 vol. gr. in-8° de 845 pages, avec figures dans le texte : **16 fr.**

TOME II. — 1 vol. gr. in-8° de 894 pages avec figures dans le texte : **16 fr.**

TOME III. — 1 vol. gr. in-8° de 702 pages avec figures dans le texte : **16 fr.**

TOME IV. — 1 vol. gr. in-8° de 680 pages avec figures dans le texte : **16 fr.**

TOME V. — 1 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en coul. dans le texte : **18 fr.**

TOME VI. — 1 vol. gr. in-8° de 612 pages avec figures dans le texte : **14 fr.**

TOME VII. — 1 vol. gr. in-8° de 550 pages avec figures dans le texte : **14 fr.**

TOME VIII. — 1 vol. gr. in-8° de 580 pages avec figures dans le texte : **14 fr.**

TOME IX. — 1 volume grand in-8° avec figures dans le texte : **18 fr.**

TOME X. — 1 volume grand in-8° avec figures dans le texte : **18 fr.**

TABLE ANALYTIQUE DES 10 VOLUMES

PATHOLOGIE GÉNÉRALE EXPÉRIMENTALE

Les Processus Généraux † † †

PAR

A. CHANTEMESSE

Professeur à la Faculté de Médecine de Paris.
Membre de l'Académie de Médecine.

W.-W. PODWYSSOTZKY

Doyen de la Faculté de Médecine d'Odessa,
Professeur de Pathologie à la même Faculté.

TOME I^{er}. 1 vol. gr. in-8° de 428 pages, avec 162 fig. en noir et en coul.,
broché, **22 fr.**

TOME II. — 1 vol. gr. in-8° de 508 pages, avec 57 fig. en coul. et 37 fig.
en noir, **22 fr.**

CINQUIÈME ÉDITION, entièrement revue

DU

→ → → **Traité de Chirurgie d'Urgence**

Par **Félix LEJARS**

Professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris
Chirurgien de l'hôpital Saint-Antoine, Membre de la Société de Chirurgie.

1 vol. grand in-8° de 1133 pages, avec 904 figures et 20 planches hors
texte. Relié toile. 30 fr.

Traité des Maladies de l'Enfance ←

Deuxième Édition, revue et augmentée

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE MM.

J. GRANCHER

J. COMBY

Professeur à la Faculté de Paris
Membre de l'Académie de Médecine.

Médecin
de l'hôpital des Enfants-Malades.

3 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. **112 fr.**

Tome I, 22 fr. ; Tome II, 22 fr. ; Tome III, 22 fr. ; Tome IV, 22 fr. ; Tome V, 24 fr.

→ → **Précis de Technique opératoire**

PAR LES PROSECTEURS DE LA FACULTÉ DE PARIS

AVEC INTRODUCTION PAR LE P^e PAUL BERGER

Tête et Cou, par CH. LENORMANT. — **Thorax et membre supérieur**, par
A. SCHWARTZ. — **Abdomen**, par M. GUIBÉ. — **Appareil urinaire et
appareil génital de l'Homme**, par PIERRE DUVAL. — **Pratique cou-
rante et Chirurgie d'urgence**, par VICTOR VEAL. *Deuxième édition.* —
Membre inférieur, par G. LABEY. — **Appareil génital de la Femme**,
par ROBERT PROUST.

7 vol., cart. toile, avec environ 200 figures. Chaque volume : **4 fr. 50**

LEÇONS CLINIQUES SUR LA DIPHTÉRIE

et quelques Maladies des Premières voies

Par **A.-B. MARFAN**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris
Médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

1 vol. grand in-8°, avec 68 figures **10 fr.**

Les Fractures des Os longs

— LEUR TRAITEMENT PRATIQUE —

PAR LES DOCTEURS

J. HENNEQUIN

Robert LÉWY

Membre de la Société de Chirurgie

Lauréat de l'Institut.

1 volume in-8° avec 215 figures dans le texte **16 fr.**

Vient de paraître :

TRAITÉ

DE

Microscopie clinique

PAR

M. DEGUY

Ancien interne des Hôpitaux de Paris
Ancien chef de Laboratoire
à l'hôpital des Enfants-Malades.

A. GUILLAUMIN

Docteur en Pharmacie
Ancien interne des Hôpitaux
de Paris.

1 volume grand in-8° de 428 pages, avec 38 figures dans le texte.
93 planches en couleurs. Relié toile. . . . 50 fr.

Les différentes formes cliniques et sociales de la Tuberculose pulmonaire (Pronostic, Diagnostic, Traitement), par G. DAREMBERG, Correspondant de l'Académie de Médecine. 1 vol. in-8° de 400 pages, broché 6 fr.

Guide pratique du Médecin dans les Accidents du Travail et leurs Suites médicales et judiciaires, par MM. E. FORGUE, professeur, et E. JEANBREAU, professeur agrégé à la Faculté de Montpellier. 1 volume in-8° de 370 pages, broché 4 fr. 50

Traité de l'Alcoolisme, par les docteurs TRIBOULET, médecin des hôpitaux; MATHIEU, médecin des Bureaux de Bienfaisance, et Roger MIGNOT, médecin des Asiles, avec préface de M. le professeur JOFFROY. 1 volume in-8° de 480 pages, broché . . 6 fr.

Commentaire administratif et technique de la loi du 15 Février 1902, relative à la Protection de la Santé Publique, par MM. le Dr A.-J. MARTIN, Inspecteur général de l'Assainissement, et Albert BLUZET, rédacteur principal au Bureau de l'Hygiène. 1 volume in-8° de 480 pages avec une *table alphabétique*, broché, 7 fr. 50; cartonné toile 8 fr. 50

La Lutte antituberculeuse en France, par le Dr H. DEHAU et R. LEDOUX-LEBARD. 1 vol. petit in-8° de xxvi-271 pages. 3 fr. 50

COLLECTION DE PRÉCIS MÉDICAUX

Cette nouvelle collection s'adresse aux étudiants, pour la préparation aux examens, et à tous les praticiens qui, à côté des grands traités, ont besoin d'ouvrages concis, mais vraiment scientifiques, qui les tiennent au courant. D'un format maniable, ces livres seront abondamment illustrés, ainsi qu'il convient à des livres d'enseignement.

Vient de paraître

Précis de Dissection, par Paul POIRIER, professeur d'Anatomie à la Faculté de Médecine de Paris, chirurgien des Hôpitaux, membre de l'Académie de Médecine, et Amédée BAUMGARTNER, Prosecteur à la Faculté de Médecine de Paris. 1 vol. petit in-8° de xx-280 pages, avec 169 fig., cartonné toile souple 6 fr.

Précis de Chirurgie infantile, par E. KIRMISSON, professeur à la Faculté de Médecine de Paris, chirurgien de l'hôpital des Enfants-Malades. 1 vol. petit in-8° de xii-800 pages, avec 462 figures. 12 fr.

Précis de Médecine légale, par A. LACASSAGNE, professeur de médecine légale à l'Université de Lyon. 1 vol. petit in-8° de xviii-892 pages, avec 112 figures et 2 planches en couleurs 10 fr.

Précis de Microbiologie clinique, par Fernand BEZANÇON, agrégé à la Faculté de Paris, médecin des hôpitaux. 1 vol. petit in-8° de xvi-429 pages, avec 82 figures. Cartonné toile. . . 6 fr.

Précis de Physique biologique, par G. WEISS, agrégé à la Faculté de Médecine de Paris, ingénieur des Ponts et Chaussées. 1 vol. petit in-8° de viii-526 pages, avec 543 figures. Cartonné toile. 7 fr.

Éléments de Physiologie, par Maurice ARTHUS, professeur à l'École de Médecine de Marseille. 2^e édition, revue et corrigée. 1 vol. petit in-8° de xvi-764 pages, avec 122 figures. Cartonné toile 9 fr.

Traité de Pathologie générale

Publié par Ch. BOUCHARD

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine de Paris.

SECRETARE DE LA RÉDACTION : Prof. G.-H. ROGER

6 volumes grand in-8° avec figures dans le texte. 126 fr.

Tome I : 18 fr. — Tome II : 18 fr. — Tome III : 28 fr. — Tome IV : 18 fr. — Tome V : 28 fr. — Tome VI : 18 fr.

Clinique Médicale de l'Hôtel-Dieu (Prof. G. DIEULAFOY).

CLINIQUE ET LABORATOIRE. Conférences du Mercredi, par MM. NATTAN-LARRIER et O. CROUZON, chefs de clinique, V. GRIFFON et M. LÉGER, chefs de laboratoire. 1 vol. in-8° de 330 pages, avec 37 figures et 2 planches hors texte. 6 fr.

Les Maladies infectieuses, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin des hôpitaux. 1 vol. in-8° de 1520 pages. 28 fr.

Les Maladies du Cuir chevelu, par le Dr R. SABOURAUD, chef du laboratoire de la Ville de Paris à l'hôpital Saint-Louis.

I. **Maladies séborrhéiques : Séborrhée, Acnés, Calvitie.**
1 vol. in-8°, avec 91 fig. dont 40 aquarelles en coul. . 10 fr.

II. **Maladies desquamatives : Pytiriasis et Alopecies pelli-
culaires.** 1 vol. in-8° avec 122 figures dans le texte. 22 fr.

Les Maladies microbiennes des Animaux, par Ed. NOCARD, professeur à l'École d'Alfort, membre de l'Académie de Médecine, et E. LECLAINCHE, professeur à l'École de Toulouse. *Troisième édition, refondue.* 2 vol. grand in-8°. 22 fr.

Traité d'Hygiène, par le Prof. A. PROUST, membre de l'Académie de Médecine. *Troisième édition revue et considérablement augmentée,* avec la collaboration de A. NETTER, agrégé, médecin de l'hôpital Trousseau, et H. BOURGERS, chef du laboratoire d'hygiène à la Faculté. 1 vol. in 8° de 1240 pages, avec fig. et cartes. 25 fr.

Nouveaux Procédés d'Exploration, par CH. ACHARD, professeur à la Faculté de Paris, agrégé. *Deuxième édition.* 1 vol. in-8° avec figures. 8 fr.

Thérapeutique des Maladies de la Peau, par le Dr LE-REDDE, directeur de l'Établissement Dermatologique de Paris. 1 vol. in-8°, avec figures dans le texte 10 fr.

Diagnostic et Séméiologie des Maladies Tropicales, par MM. R. WURTZ, professeur agrégé, chargé de Cours à l'Institut de Médecine coloniale de la Faculté de Médecine de Paris, et A. THIROUX, médecin-major de 1^{re} classe des troupes coloniales. 1 vol. grand in-8°, de xii-344 pages avec 97 figures en noir et en couleurs. 12 fr.

Bibliothèque Diamant

des Sciences médicales et biologiques

Manuel de Pathologie interne, par G. DIEULAFOY, professeur à la Faculté de médecine de Paris. *Quatorzième édition entièrement refondue et augmentée.* 4 vol. avec fig. en n. et en coul. 32 fr.

Éléments de Chimie physiologique, par Maurice ARTHUS, professeur à l'Université de Fribourg (Suisse). *Quatrième édition revue et corrigée.* 1 volume, avec figures. 5 fr.

Précis d'Anatomie pathologique, par M. L. BARD, professeur à la Faculté de Médecine de Lyon. *Deuxième édition revue et augmentée.* 1 volume, avec 125 figures 7 fr. 50

Manuel d'Anatomie microscopique et d'Histologie, par M. P.-E. LAUNOIS, professeur agrégé à la Faculté de Médecine. Préface de M. Mathias DUVAL. *Deuxième édition.* 1 vol. avec 261 figures 8 fr.

Précis élémentaire d'Anatomie, de Physiologie et de Pathologie, par P. RUDAUX, ancien chef de clinique à la Faculté de Paris, avec préface par M. RIBEMONT-DESSAIGNES. 1 vol., avec 462 figures. 8 fr.

Précis de Microbie. Technique et microbes pathogènes, par M. le Dr L.-H. THOINOT, professeur agrégé à la Faculté, et E.-J. MASSELIN, médecin-vétérinaire. *Quatrième édition entièrement refondue.* 1 volume, avec figures en noir et en couleurs 8 fr.

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL (Dr CRITZMAN, directeur)

Suite de Monographies cliniques

DERNIÈRES MONOGRAPHIES PUBLIÉES

45. De la Lactosurie (*Études urologiques de médecine comparée sur les états de grossesse, de puerpéralité et de lactation chez la femme et les femelles domestiques*), par M. Ch. PORCIER, professeur à l'École vétérinaire de Lyon.

46. Des gastro-entérites des nourrissons (1^{re} partie), par A. LESAGE, médecin de l'hôpital des Enfants (Hérold).

47. Traitement des gastro-entérites des nourrissons et du choléra infantile (2^e partie), par A. LESAGE.

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES
EN MÉDECINE

EN CHIRURGIE ET EN BIOLOGIE

Chaque monographie est vendue
séparément . . . 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 monographies au prix payable d'avance de 10 fr. pour la France et 12 fr. pour l'étranger (port compris).

Les Psychonévroses et leur Traitement moral

Par le Dr DUBOIS

Professeur de Neuropathologie à l'Université de Berne.

Deuxième édition. 1 volume in-8°, broché 8 fr.

Les Écrits et les Dessins

dans les Maladies nerveuses et mentales

Par J. ROGUES DE FURSAC

Ancien chef de clinique à la Faculté de Médecine de Paris.

1 vol. in-8°, de x-306 pages avec 232 figures 12 fr.

Bibliothèque d'Hygiène thérapeutique

FONDÉE PAR le Professeur PROUST

Chaque ouvrage, in-16, cartonné toile, tranches rouges : 4 fr.

Hygiène du Goutteux. Deuxième édition. — **Hygiène de l'Obèse.** Deuxième édition. — **Hygiène des Asthmatiques.** — **Hygiène des Diabétiques.** — **Hygiène et thérapeutique thermales.** — **Les Cures thermales.** — **Hygiène du Neurasthénique.** Deuxième édition. — **Hygiène des Albuminuriques.** — **Hygiène du Tuberculeux.** Deuxième édition. — **Hygiène et thérapeutique des Maladies de la Bouche.** — **Hygiène des Maladies du Cœur.** — **Hygiène du Diabétique.** — **Hygiène du Dyspeptique.** — **Hygiène thérapeutique des Maladies des Fosses nasales.** — **Hygiène des Maladies de la Femme.**

L'Alimentation et les Régimes

Chez l'Homme sain et chez les Malades

par ARMAND GAUTIER

Membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine,
Professeur à la Faculté de Médecine de Paris.

DEUXIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE

1 volume in-8° avec figures, broché 10 fr.

Manuel Technique de Massage

Par J. BROUSSES

Membre correspondant de la Société de Chirurgie.

Troisième édition, revue et augmentée. 1 volume in-16 de 407 pages, avec 66 figures, cart. toile souple. 4 fr. 50

Vient de paraître :

Traité de Chimie Minérale

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE
HENRI MOISSAN, Membre de l'Institut.

5 forts volumes grand in-8°, avec figures. 150 fr.
Chaque volume est vendu séparément.

| | |
|-------------------------------------------|--------|
| TOME I (complet). — Métalloïdes. | 28 fr. |
| TOME II (complet). — Métalloïdes. | 22 fr. |
| TOME III (complet). — Métaux. | 34 fr. |
| TOME IV (complet). — Métaux. | 36 fr. |
| TOME V (complet). — Métaux. | 34 fr. |

Vient de paraître :

Cours de Chimie organique

Armand GAUTIER

Membre de l'Institut,
Professeur de Chimie à la Faculté
de Médecine de Paris.

PAR

Marcel DELÉPINE

Professeur agrégé
à l'École supérieure de Pharmacie
de Paris.

Troisième édition, mise au courant des travaux les plus récents. 1 vol.
grand in-8°, de vi-800 pages, avec figures dans le texte. . . 18 fr.

Vient de paraître :

Traité de Chimie appliquée

Par **C. CHABRIÉ**

Chargé du cours de Chimie appliquée à la Faculté des Sciences
de l'Université de Paris.

2 volumes grand in-8°, avec nombreuses figures dans le texte,
reliés toile anglaise.

Vient de paraître : **Tome I.** 1 vol. grand in-8° de xxxviii-876 pages,
avec 271 figures. Relié toile anglaise. . . 22 fr.

Le Constructeur, par **F. REULEAUX**. Troisième édition française, par
A. Debize. 1 volume in-8° avec 184 figures. 30 fr.

Traité d'Analyse chimique qualitative, par **R. FRÉSENIIUS**.
Onzième édition française d'après la 16^e édition allemande, par **L. Gautier**.
1 vol. in-8°. 7 fr.

Traité d'Analyse chimique quantitative, par **R. FRÉSENIIUS**.
Septième édition française, traduite sur la 6^e édition allemande, par **L. Gau-**
tier. 1 vol. in-8°. 16 fr.

Traité d'Analyse chimique quantitative par Electrolyse,
par **J. RIBAN**, chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris. 1 vol.
avec 96 figures. 9 fr.

Précis de Chimie analytique, par **J.-A. MULLER**, docteur en
sciences professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger. 1 volume
in-12, broché 3 fr.

*Vient de paraître :***MISSION DE SEGONZAC****EXPLORATIONS au MAROC****(Dans le Bled es Siba)**Par **LOUIS GENTIL**

Docteur ès sciences

Maître de conférences à la Sorbonne, membre de la Mission.

OUVRAGE PUBLIÉ SOUS LE PATRONAGE DU COMITÉ DU MAROC*1 vol. petit in-4^o, tiré sur beau papier couché et richement illustré de 223 figures d'après des photographies originales. 12 fr.*

Cet ouvrage présente, surtout à l'heure actuelle, une importance de premier ordre. — Livre de voyage, mais de voyage scientifique, il joint à l'attrait et à l'émotion qui se dégagent du récit des difficultés, que, malgré le bon accueil des indigènes, l'explorateur rencontra si souvent sur sa route, le puissant intérêt qu'offre une ample moisson de documents inédits, qui faciliteront pour une large part l'étude scientifique du Maroc.

L'Hérédité des Stigmates de Dégénérescence et les

Familles souveraines, par le Dr **V. GALIPPE**, membre de l'Académie de Médecine. — Préface de **M. Henri BOUCHOT**, conservateur à la Bibliothèque Nationale, membre de l'Institut. — 1 vol. grand in-8^o, avec 278 figures et portraits dans le texte. Broché. 15 fr.

Physique du Globe et Météorologie, par **Alphonse BERGET**, Docteur ès sciences. 1 vol. in-8^o, avec 128 figures et 14 cartes 15 fr.

Les Insectes. Morphologie, Reproduction, Embryogénie, par **L. F. HENNEGUY**, professeur d'Embryogénie comparée au Collège de France. *Leçons recueillies par A. LECAILLOV et J. POIRAULT.* 1 vol. grand in-8^o, avec 622 figures, 4 planches en couleurs 30 fr.

Zoologie pratique basée sur la dissection des Animaux les plus répandus, par **L. JAMMES**, maître de conférences à l'Université de Toulouse. 1 vol. grand in-8^o, avec 317 figures. Relié toile. 18 fr.

Éléments de Paléobotanique, par **R. ZEILLER**, Membre de l'Institut, Professeur à l'École supérieure des Mines. 1 vol. in-8^o raisin de 421 pages avec 210 figures. Cart. à l'angl. 20 fr.

Précis de Géographie économique, par **MM. M. DUBOIS**, Professeur à la Faculté des Lettres de Paris, et **J.-G. KERGOMARD**, Professeur au Lycée de Nantes. *Deuxième édition entièrement refondue*, avec la collaboration de **M. Louis Laffitte**. 1 vol. in-8^o. 8 fr.

Géographie agricole de la France et du Monde, par **J. DU PLESSIS DE GRENEGAN**, Professeur à l'École supérieure d'Agriculture d'Angers, avec une préface de **M. le Marquis de Vogüé**, de l'Académie française. 1 vol. in-8^o avec 118 cartes et figures dans le texte 7 fr.

Cours élémentaire de Zoologie

Par Rémy PERRIER

Chargé du cours de Zoologie pour le certificat d'études physiques, chimiques et naturelles (P. C. N.), à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Troisième édition, entièrement refondue

1 vol. in-8°, de 864 pages, avec 721 fig. dans le texte. Relié toile : 10 fr.

Traité de Zoologie ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣

Par Edmond PERRIER

Membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine,
Directeur du Muséum d'Histoire naturelle.

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| FASC. I : Zoologie générale. 1 vol. gr. in-8° de 412 p. avec 458 fig. . . | 12 fr. |
| FASC. II : Protozoaires et Phytozoaires. 1 vol. gr. in-8° de 452 p., avec 243 figures | 10 fr. |
| FASC. III : Arthropodes. 1 vol. gr. in-8° de 480 p., avec 278 fig. . . | 8 fr. |
| FASC. IV : Vers et Mollusques. 1 vol. gr. in-8° de 792 p. avec 566 fig. . . | 6 fr. |
| FASC. V : Amphioxus. Tuniciers. 1 vol. gr. in-8° de 221 p. av. 97 fig. . . | 6 fr. |
| FASC. VI : Poissons. 1 vol. gr. in-8° de 366 p. avec 190 figures | 10 fr. |
| FASC. VII et dernier : Vertébrés marcheurs (<i>En préparation</i>). | |

Guides du Touriste, du Naturaliste et de l'Archéologue

publiés sous la direction de M. Marcellin BOULE

Le Cantal, par M. BOULE, docteur ès sciences, et L. FARGES, archi-
viste-paléographe.

La Lozère, par E. CORD, ingénieur-agronome, G. CORD, docteur en
droit, avec la collaboration de M. A. VIRÉ, docteur ès sciences.

Le Puy-de-Dôme et Vichy, par M. BOULE, docteur ès
sciences, Ph. GLANGEAUD, maître de conférences à l'Université de
Clermont, G. ROUCHON, archiviste du Puy-de-Dôme, A. VERNIÈRE,
ancien président de l'Académie de Clermont.

La Haute-Savoie, par M. LE ROUX, conserv. du Musée d'Annecy.

La Savoie, par J. RÉVIL, président de la Société d'Histoire
naturelle de la Savoie, et J. CORCELLE, agrégé de l'Université.

Chaque volume in-16, relié toile, avec figures et cartes en coul. : 4 fr. 50

En préparation : Le Lot — Le Velay — Les Alpes du Dauphiné.

OUVRAGES DE M. A. DE LAPPARENT

Membre de l'Institut, professeur à l'École libre des Hautes-Études.

Vient de paraître :✧ ✧ ✧ ✧ ✧ ✧ **Traité de Géologie**CINQUIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE
3 vol. gr. in-8° contenant XVI-2016 pages, avec 883 fig. : 38 fr.

- Abrégé de géologie.** *Sixième édition, refondue et augmentée.* 1 vol. 163 gravures et une carte géologique de la France en chromolithographie, cartonné toile 4 fr.
- La géologie en chemin de fer.** Description géologique du Bassin parisien et des régions adjacentes. 1 vol. in-18 de 603 pages, avec 3 cartes chromolithographiées, cartonné toile. 7 fr. 50
- Cours de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de xx-703 pages avec 619 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée. 15 fr.
- Précis de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. in-16 de xii-398 pages avec 235 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée, cartonné toile. 5 fr.
- Leçons de géographie physique.** *Deuxième édition, revue et augmentée.* 1 vol grand in-8° de xvi-718 pages avec 162 figures dans le texte et une planche en couleurs. 12 fr.
- Le siècle du Fer.** 1 vol. in-18 de 360 pages, broché 2 fr. 50

Petite Bibliothèque de "La Nature"

- Recettes et Procédés utiles,** recueillis par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de la *Nature*. *Dixième édition.*
- Recettes et Procédés utiles.** *Deuxième série : La Science pratique,* par Gaston TISSANDIER. *Sixième édition.*
- Nouvelles Recettes utiles et Appareils pratiques.** *Troisième série,* par Gaston TISSANDIER. *Quatrième édition.*
- Recettes et Procédés utiles.** *Quatrième série,* par Gaston TISSANDIER. *Quatrième édition.*
- Recettes et Procédés utiles.** *Cinquième série,* par J. LAFFARGUE, secrétaire de la rédaction de la *Nature*. *Deuxième édition.*

Chaque volume in-18 avec figures est vendu

Broché 2 fr. 25 | Cartonné toile 3 fr.

La Physique sans appareils et la Chimie sans laboratoire, par Gaston TISSANDIER. *Ouvrage couronné par l'Académie (Prix Montyon).* Un volume in-8° avec nombreuses figures dans le texte. Broché, 3 fr. Cartonné toile, 4 fr.

❖ ❖ ❖ **La Nature** ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖

REVUE HEBDOMADAIRE DES SCIENCES ET DE LEURS APPLICATIONS
AUX ARTS ET A L'INDUSTRIE

Abonnement annuel : Paris : 20 fr. — Départements : 25 fr. —
Union postale : 26 fr.

Abonnement de six mois : Paris : 10 fr. — Départements : 12 fr. 50.
— Union postale : 13 fr.

Le Radium ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖

La Radioactivité et les Radiations
Les Sciences qui s'y rattachent et leurs applications

COMITÉ DE DIRECTION :

D'ARSONVAL, H. BEQUEREL, RÉCLÈRE, R. BLONDLOT, CH. BOUCHARD,
P. CURIE, DANYSZ, DEBIERNE,

CH. FERRY, CH.-E. GUILLAUME, OUDIN, RUBENS, RUTHERFORD.

Secrétaire de la Rédaction : JACQUES DANNE

Revue mensuelle.

Paris, 18 fr.; Départements, 20 fr.; Étranger, 22 fr.; Le N^o, 2 fr.

❖ **La Presse Médicale** ❖ ❖ ❖ ❖

Journal bi-hebdomadaire, paraissant le Mercredi et le Samedi

RÉDACTION { P. DESFOSSÉS, SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION.
J. DUMONT, R. ROMME, SECRÉTAIRES.

DIRECTION SCIENTIFIQUE

F. DE LAPERSONNE, E. BONNAIRE, E. DE LAVARENNE, L. LANDOUZY,
M. LETULLE, J.-L. FAURE, H. ROGER, M. LERMOYER, F. JAYLE

Paris et Départements, 10 fr.; Union postale, 15 fr.

Nouvelle publication périodique :

❖ ❖ **Annales de Paléontologie**

PUBLIÉES SOUS LA DIRECTION DE

Marcellin BOULE

Professeur de Paléontologie au Muséum d'Histoire naturelle de Paris.

1 volume in 4^o, paraissant annuellement en 4 fascicules, avec très
nombreuses figures dans le texte et planches hors texte.

PARIS ET DÉPARTEMENTS . . . 25 fr. | ÉTRANGER 30 fr.

Paris. — L. MARATHREUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 12508.