

veine en plat du bassin de Fontaine-l'Evêque, a pris une direction nettement au Sud-Est pour exécuter le tournant qui devait la réunir au dressant du même bassin. Comme nous venons de le dire, toutes les plateurs du même massif prennent, plus ou moins loin vers l'Est, la même direction au S.-E. pour fermer leur bassin.

VI. — Massif du Poirier

M. Renier a décrit en détail et figuré les curieuses failles plates qui existent dans le massif, au Nord des lambeaux de poussée. (Ann des Mines t. XX 1919 p. 954 fig. 4, 5 et 6). Il a montré que ces failles recoupent un autre système de failles de recoutelage fort inclinées. Celles-ci sont évidemment antérieures aux premières et peut-être congénères (posthumes) des failles similaires mais autrement importantes du bord Nord du bassin (failles du Centre, du Placard).

En terminant ce m'est un devoir agréable de remercier ici feu M. N. Evrard directeur-gérant du charbonnage de Marcinelle-Nord et M. Ed. Stein directeur-gérant du charbonnage de Monceau-Fontaine qui ont gracieusement autorisé la publication des faits concernant leurs charbonnages respectifs, qui comprennent presque l'entièreté de la région étudiée dans les pages qui précèdent.

Les procédés de préparation mécanique

DES

Minerais et du Charbon par le flottage ⁽¹⁾

PAR

LÉON DEMARET

Ingénieur en chef, Directeur des Mines, à Mons.
Docteur en Sciences, Ingénieur électricien. ✓

Rappel des principes de la préparation mécanique des minerais

Minerai brut. — Le minerai, tel qu'il est extrait de la mine, le *minerai sortant* ou *minerai brut*, est constitué le plus souvent par un mélange de sulfures, par exemple, de galène (*Pbs*), blende (*Zn S*) et pyrite de fer (*Fe S*) et de gangues ou matières stériles (calcite, barytine, quartz, etc.).

Le traitement métallurgique du minerai brut est généralement inapplicable pour deux raisons principales :

1° *Enrichissement nécessaire.* — La teneur en métal est souvent trop faible, c'est-à-dire que les opérations métallurgiques ne peuvent être conduites avec un rendement convenable en métal là où la matière utile est accompagnée d'une masse considérable de matières stériles.

Exemple : Le minerai brut d'étain des Cornouailles contient 2 % *Sn O₂* ou 1,5 % *Sn* ; la préparation mécanique produit un concentré (black tin) tenant 65 à 70 % *Sn* ; le minerai brut ne saurait être traité au four de réduction, le concentré au contraire subit aisément les opérations métallurgiques.

2° *Séparation nécessaire.* — Les procédés métallurgiques connus ne parviennent souvent pas à effectuer la séparation des différents métaux.

Au surplus, un minerai complexe ne peut en général être traité par un procédé pour donner un métal sans que le procédé ne produise des pertes considérables de l'autre métal.

(1) *Bibliographie* : Théodore J. Hoover (1912) ; Herbert-A. Megraw (1918) ; Walter Broadbridge (1920) ; T.-A. Rickard (1921).

Exemple : un mélange de blende et galène doit être séparé, parce que le plomb s'extrait par fusion, et le zinc par distillation.

Opérations préalables. — 1. *Concassage au marteau.* — La première opération est la séparation au marteau des fragments de sulfures massifs et des fragments de gangue ; elle donne :

- a) des sulfures massifs : galène, blende, pyrite, etc.
- b) des sulfures mélangés ou mixtes.
- c) des gangues stériles.

2. *Broyage des sulfures mélangés ou mixtes.*

Des appareils nombreux sont utilisés dans ce but : pilons, cylindres broyeurs, broyeurs gyrotoires, broyeurs à boulets, tube-mills (cylindres à galets), etc.

Méthodes de la préparation mécanique. — I. — *Classement à sec, ou vannage, peu employé.*

II. — *Classement par différences de densités dans l'eau.*

Appareils : classificateurs ou caisses pointues de grains, sables (sands), boues (slimes), cribles à secousses, tables tournantes, Fruevanners, etc.

Exemple : minerai brut d'étain des Cornouailles.

	Densité.
Matières métallifères. Densités 7,3 à 3,7	Wolfram 7,3
	Cassitérite 6,9
	Mispickel 6,2
	Pyrite de fer. 4,5
	Pyrite de cuivre 4,1
Gangues stériles Densités, 2,7 à 2,5	Blende 3,7
	Quartz 2,7
	Chlorite 2,9
	Schiste 2,5

L'écart entre la densité des matières métallifères (7,3 à 3,7) et celle des gangues stériles (2,7 à 2,5) permet l'application du procédé.

Limites du procédé. — Il ne donne aucun résultat lorsque les éléments à séparer ont des densités trop voisines, ou lorsque les éléments sont trop fins (slimes).

III. — *Classement électro-magnétique.*

Certains minerais sont attirables à l'aimant, comme la magnétite ($Fe^2 O^3$), le wolfram [$(Mn, Fe) WO^4$].

Parfois il est possible de rendre magnétiques des éléments qui ne le sont pas, en leur donnant un enrobement magnétique. (Procédé Murex.)

Tous ces procédés ont des limites d'application ; la preuve en est donnée par l'existence des tas de résidus (tailings ou grains, et slimes ou boues) des préparations mécaniques qui, dans les grandes mines de plomb, de zinc et de cuivre, atteignent des dimensions considérables, par exemple, en Australie, à la mine de Broken Hill où il y avait vers 1904 près de 6 millions de tonnes de résidus pulvérent de zinc et de plomb. C'est à traiter ces résidus qu'est parvenu le procédé par flottage, ce qui explique que tous les inventeurs des appareils sont des Anglo-Saxons.

IV. *Classement par flottage.*

Principe. — Au lieu de précipiter, comme le fait le procédé II, les matières les plus lourdes, c'est-à-dire les sulfures, ce procédé IV les fait flotter en une pellicule ou film sur l'eau, ou dans une écume ou mousse abondante.

Il consiste essentiellement :

A) dans le dépôt à la surface de l'eau, des minerais broyés fins (flottage filmaire) ;

B) dans le battage de la boue de minerai ou pulpe, additionnée d'huile, d'acide et d'air ou de gaz, battage produisant une écume.

L'appareil de ménage, qui sert à battre les blancs d'œufs, et est constitué par un bocal en verre dans lequel tourne un agitateur est le prototype des appareils producteurs d'écume.

Limite du procédé A ou B. Il ne s'applique qu'aux matières d'une ténuité extrême, les sables (sands ou tailings) et les boues (slimes), pour lesquelles la pesanteur est une force négligeable.

Importance économique des procédés par flottage.

Pour mettre en relief l'utilité de l'invention, il suffit de dire que depuis son début en 1904 jusqu'en 1912, le procédé a donné 1 million de tonnes de zinc métal, 100.000 tonnes de plomb métal, 20.000.000 tonnes onces d'argent métal et 5.000 tonnes de cuivre métal.

Actuellement, le procédé, appliqué annuellement à 70 millions de tonnes de minerai (1919) donne au moins, 200.000 tonnes de zinc métal, 20.000 tonnes de plomb métal, 5.000.000 onces d'argent métal et 1.000 tonnes de cuivre métal.

Ces chiffres permettent d'estimer l'importance de la révolution apportée dans les procédés de la préparation mécanique, par l'invention du procédé par flottage. On peut déjà dire qu'il a augmenté la réserve mondiale des métaux, en permettant le traitement des anciens tas de résidus.

Théorie physique.

Rappel de quelques principes :

Cohésion. — C'est la force qui s'exerce entre deux particules très rapprochées d'un même corps.

Adhérence. — C'est la force qui s'exerce entre deux particules de deux corps en contact.

Tension superficielle. — C'est la force de contraction de la surface du liquide.

Explication théorique. — Soient A une molécule intérieure du liquide et B une molécule de la surface (fig. 1).

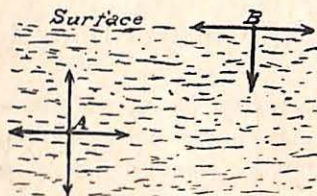


FIG. 1.

Les forces de cohésion agissant sur A peuvent être décomposées en 6 composantes (dont deux normales au plan de la figure) et celles agissant sur B, de même en 5 composantes.

A est mobile sinon la viscosité (page 93). B n'a pas de composante hors du liquide; ses composantes horizontales sont plus fortes que celles de A; la mobilité de B en est réduite.

En d'autres termes, les composantes horizontales des forces de cohésion, qui s'exercent entre deux particules B_1 et B_2 voisines, de la surface, telles que B, sont plus grandes que les composantes horizontales des forces de cohésion qui s'exercent entre des particules voisines A_1 et A_2 , telles que A, situées à l'intérieur du liquide.

Cette cohésion plus grande entre deux particules de la surface, rend compte de la tension superficielle

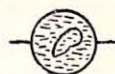
Expériences démonstratives de la tension superficielle

1. *Aiguille graissée.* — Déposons légèrement sur l'eau une aiguille faiblement graissée (fig. 2). Le liquide ne la mouille pas et subit une courbure dans sa surface; l'aiguille flotte malgré la supériorité de la densité de l'acier sur celle de l'eau, comme si elle



Fig. 2 était soutenue par une membrane élastique. C'est la tension de cette membrane qui est la tension superficielle.

2. *Cadre en fil de fer* (fig. 3). — Plongeons dans une solution de savon glycéinée (ainsi rendue moins volatile) un petit cadre en fil de fer; quand nous le retirons, il s'est couvert d'une mince membrane liquide.



Sur cette membrane déposons une légère boucle de fil de cocon, préalablement humidifiée dans la solution savonneuse.

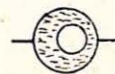


Fig. 3 Comme la tension superficielle du liquide agit aussi bien sur le pourtour intérieur de la boucle de cocon que sur le pourtour extérieur, la forme de la boucle est indifférente.

Mais si au moyen d'un rouleau de papier nous perçons la membrane liquide intérieure à la boucle, aussitôt celle-ci prend la forme d'un cercle parfait, montrant qu'elle éprouve à présent sur tout son pourtour extérieur seulement, une tension égale dans tous les sens.

Cette expérience fait donc voir la force de contraction du film extérieur à la boucle, c'est-à-dire la tension superficielle.

3. *Verre d'eau.* — Un verre d'eau rempli à pleins bords laisse voir un ménisque s'élevant au-dessus du niveau des bords du verre, et semblable à une membrane increvable pendant un certain temps, membrane qui contient l'eau au dessus du niveau des bords du verre, et qui « semble vouloir faire rentrer le plus de molécules possible à l'intérieur du liquide » (1).

4. *Bulle de savon.* — La bulle de savon avec laquelle s'amuse nos gamins, en se contractant avant sa séparation d'un tuyau de soufflage, peut éteindre une bougie approchée de l'embouchure du tuyau; c'est la tension superficielle de la bulle, ou sa force de contraction qui manifeste son action.

5. *Goutte d'eau.* — Une goutte d'eau qui se forme à l'extrémité d'un ajutage présente une surface analogue à une membrane de

(1) Gauss.

caoutchouc. Les gouttes de rosée sur une plante plus ou moins grasse, les gouttes de l'eau jetée sur un plancher poussiéreux ou graisseux ou sur une taque de fer rougie, conservent la forme sphérique, par suite de l'intervention de la tension superficielle qui tend à faire prendre à l'eau le volume minimum.

6. *Vague de la mer.* — Une vague de la mer peut être considérée comme un sac constitué par une membrane liquide, et rempli d'eau; c'est cette membrane hypothétique qui contient l'eau de la vague et permet à la vague de s'élever à de grandes hauteurs :

Comparaison. — La couche superficielle d'un liquide peut donc être comparée à une *membrane élastique* très mince, différente du liquide intérieur, et tendant sans cesse, par la contraction, à réduire le liquide au volume minimum, c'est-à-dire au volume sphérique.

Ce n'est là qu'une comparaison approchée; en effet (1) une membrane de caoutchouc s'étend à mesure que la traction augmente, et sa tension dépend de la charge de traction. L'extension d'un film liquide dans une bulle de savon, dépend de la fourniture en eau de la bulle, et l'extension n'augmente pas la force de contraction, qui reste constante.

Modificateurs sur la tension superficielle. — a) *l'élévation de la température.*

Expérience: plaçons bout à bout deux allumettes à deux centimètres de distance sur la surface d'un bain d'eau pure, et touchons la surface de l'eau entre les deux allumettes, au moyen d'un fil de fer chaud. Les allumettes s'écartent parce que la tension superficielle au point touché entre les deux allumettes en regard est diminuée par la chaleur, et que la tension superficielle aux deux autres bouts, non diminuée, tire les allumettes de façon à les écarter.

b) *les contaminants*, par exemple, l'huile, le savon, les acides, le camphre, etc.

Expériences. — Rôle de l'huile.

1. Laissez tomber une goutte de l'huile sur l'eau, entre les deux allumettes dont nous venons de parler; celles-ci s'écartent de même que par l'action du fer chaud, et pour le même motif.

2. Laissez tomber une goutte d'huile sur l'eau, près d'une aiguille légèrement graissée et flottante (voir fig. 2); l'aiguille coule à fond,

(1) Coghill.

Ou autrement: un excès de graissage de l'aiguille l'empêche de flotter. Nous reviendrons sur ce point.

3. Le déversement de l'huile sur les vagues de la mer en tempête diminue la tension superficielle, c'est-à-dire la résistance de la membrane élastique de la vague, et fait crever cette vague qui s'étend en se supprimant.

Rôle du savon :

4. La bulle d'eau de savon peut acquérir une dimension importante, et de la durée, grâce à l'addition du savon à l'eau; c'est le savon qui diminue la tension superficielle du film de la bulle, lui donne plus d'extensibilité ou d'élasticité.

Rôle des acides :

5. Il est de même de diminuer la tension superficielle.

Rôle du camphre :

6. Les copeaux de camphre tombant sur la surface de l'eau dansent par l'effet de la variation de la tension superficielle aux points où ils se dissolvent tout comme le pauvre Sancho Pancha, le compagnon de don Quichotte, dansait sous la tension d'une couverture ou bayeta, ou tout comme danse la balle que les enfants recueillent sur une membrane élastique, qu'ils allongent et raccourcissent alternativement. Pour faire cesser la danse des copeaux, il suffit de laisser tomber sur l'eau une goutte d'huile ou d'y apposer le doigt humain. L'intervention de l'huile ou de la graisse diminue donc ici encore la force de contraction de la surface.

Mesure de la tension superficielle. — 1° Par la pesée directe (1) (fig. 4),

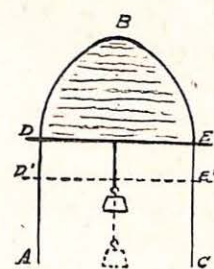


FIG. 4.

A B C, cadre en fil métallique fixe,
D E, fil mobile.

Le cadre étant placé dans un liquide et retiré, conserve une paroi mince ou film DBE. p^{grs} , poids de D E; p^{grs} , poids additionnel produisant la rupture; T, tension superficielle par centimètre courant; $D E = l^{cm}$.

La force ascensionnelle s'exerçant sur D E et due à la tension superficielle est $2 T l$, parce que le film a deux surfaces.

(1) Maxwell.

L'équation d'équilibre est

$$2 Tl = P + p$$

$$\text{d'où } T = \frac{P + p}{2l}$$

Entre l'eau et l'air à 20° C la tension superficielle est 81 dynes.

2° Par la mesure de la hauteur d'ascension du liquide dans un tube capillaire. (fig. 5).

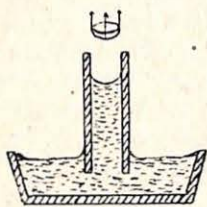


FIG. 5.

$T \frac{gr^2}{cm}$, tension superficielle par unité de contour du ménisque.

Pgr^2 = poids; h^{cm} = hauteur; pgr^2 = poids du cent.-cube du liquide.

L'équation d'équilibre est :

$$2\pi r T = P$$

$$\text{d'où } T = \frac{P}{2\pi r} = \frac{\pi r^2 h p}{2\pi r} = \frac{h p r}{2}$$

Intervention de la tension superficielle dans le flottage.

Nous allons démontrer que c'est la tension superficielle t . (fig. 6) qui détermine l'immersion de la gangue et le flottage du sulfure huilé.

Posons sur l'eau acidulée deux cubes, de poids négligeables, l'un G. de gangue, l'autre S. de sulfure huilé. Nous constatons que le cube de gangue G est mouillé, c'est à dire que l'eau monte le long de la paroi, et y forme un ménisque concave (1); la tension superficielle t agissant suivant la tangente au dernier élément de la courbe, tire donc le cube vers le bas et le fait immerger.

Nous constatons au contraire que le cube de sulfure S n'est pas mouillé. c'est à dire que la surface de l'eau est déprimée à son contact, et forme un ménisque convexe (1), qui fait agir la tension superficielle t vers le haut; c'est cette tension superficielle qui fait flotter le sulfure.

En d'autres termes : si nous remplaçons idéalement la surface de l'eau par une bande élastique percée de deux trous ronds, et les cubes

(1) pour l'observateur placé au dessus du liquide.

par de petites balles lisses de cellulose, la traction opérée sur la bande fait tomber à terre la balle introduite par le bas (analogue à G) et fait monter en l'air la balle introduite par le haut (analogue à S).

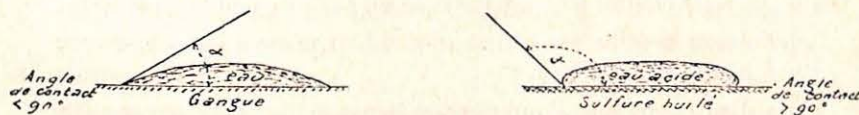
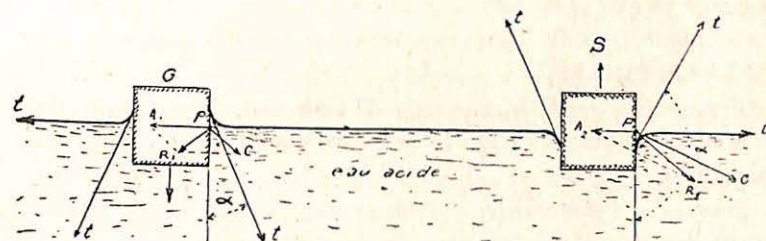


FIG. 6.

Causes du mouillage. — La forme du ménisque concave ou convexe, résulte de la combinaison des forces d'adhérence A_1 et A_2 (1) et de cohésion C en une résultante R_1 ou R_2 , R_1 pénétrant dans le solide, et R_2 pénétrant dans le liquide, et à laquelle la surface de l'eau doit être normale, dans chacun des deux cas, tout comme la surface de l'eau au repos en dehors de la zone d'influence de l'adhérence du vase, est normale à la pesanteur.

Explication théorique des variations de la tension superficielle. — Nous avons démontré expérimentalement que les modificateurs de la tension superficielle étaient l'élévation de la température et les contaminants. Il apparaît, depuis ce que nous avons exposé au sujet du mouillage et de la flottabilité, que les variations de la tension superficielle produites par les modificateurs sont dues à l'action de ces modificateurs sur les forces de cohésion et d'adhérence.

(1) Dans la figure 6, il faut A_1 plus grand que A_2 , et C constant.

Angle de contact ou angle de raccordement. — C'est l'angle formé par un solide et la tangente au dernier élément d'un ménisque liquide ; c'est l'angle α des fig. 6, et c'est suivant cette tangente qu'agit la tension superficielle.

Cet angle est faible pour les gangues ; il est plus grand que 90° pour les sulfures huilés.

Mesures de l'angle de contact. — Il suffit de mesurer l'angle de la rotation nécessaire (du cube G par exemple fig. 6) pour supprimer le ménisque.

Etudes de la flottabilité. — Pour étudier la flottabilité de diverses substances dans l'eau additionnée de différents contaminants ou élevée à différentes températures, il suffit de mesurer les angles de contact dans chaque cas.

Rôles de l'huile. — 1^{er} RÔLE, le principal : *action sélective*. — L'huile mouille les sulfures métalliques et formant autour d'eux un film, augmente ainsi leur propriété de ne pas être mouillés par l'eau.

L'huile ne mouille pas les gangues et leur laisse donc la propriété d'être mouillées par l'eau.

En d'autres termes, l'huile exerçant une action sélective mouille les sulfures et exalte leur flottage ; elle ne mouille pas les gangues.

2^e RÔLE : *action modificatrice de la tension superficielle*. — L'huile en excès diminue la tension superficielle de l'eau et rend l'eau incapable de supporter les sulfures, tout comme l'aiguille graissée (voir fig. 2).

3^e RÔLE. — Nous en parlerons à propos de la viscosité des écumes (page 93).

Adsorption. — C'est la tendance des substances en solution de se concentrer à la surface des liquides, surface à l'air libre, et surface en contact avec les solides.

Le mouillage des sulfures par l'huile qui les entoure d'un film, est un phénomène d'adsorption de l'huile.

Écume. — Elle est constituée par un ensemble de bulles d'air formée par le battage ou par l'injection de l'air dans l'eau additionnée d'un contaminant.

Cette addition d'un contaminant a pour but de diminuer la tension superficielle du film des bulles, en leur donnant plus d'élasticité et par suite plus de stabilité.

La surface d'un bain d'eau peut être considérée comme celle d'une bulle de rayon infini.

Viscosité. — C'est le frottement intérieur d'un liquide. L'étude de la viscosité des écumes est la plus importante.

Le *troisième rôle* de l'huile est d'augmenter la viscosité de l'écume par l'agglutination des particules de sulfures sur les surfaces des bulles, qui portent ainsi une armure de sulfures.

La poudre des lycopodes, qui sont les spores d'une espèce de mousse, joue le même rôle.

Ces agents rendent donc visqueuses les écumes, c'est-à-dire font frotter plus durement les unes sur les autres, les bulles, les stabilisent en prévenant leur rupture par coalescence, c'est-à-dire par réunion, et sont donc nécessaires aux opérations du flottage.

Etat colloïdal. — Les colloïdes sont des mélanges, des suspensions, des émulsions, des milieux solides ou gazeux dans lesquels flottent, à l'état de ténuité extrême, des particules de matière, nommées *micelles*.

Parmi les colloïdes naturels, citons la dextrine, les gommes, la cellulose, l'albumine, la fibrine, la caséine, la gelatine.

La préparation aqueuse d'un colloïde est un *hydrosol*.

Sous l'influence de la température ou de petites quantités d'agents chimiques, l'hydrosol *floconne* d'abord, c'est-à-dire coagule ; si l'élévation de la température, ou l'addition des agents chimiques est continuée, il se forme un précipité qu'on appelle l'*hydrogel*.

Les colloïdes ne sont pas généralement des solutions réversibles, c'est à dire que le produit de l'évaporation est insoluble ; c'est ce qui les distingue des cristalloïdes dont les solutions sont réversibles.

Une autre distinction entre les cristalloïdes et les colloïdes, est que les cristalloïdes dialysent, c'est à dire traversent une membrane, tandis que les colloïdes pas.

Application au flottage. — Les slimes ou boues métallifères sont des colloïdes.

Le phénomène du floconnement est très apparent ; dans le battage, les particules de sulfures qui sont filmées d'huile, floconnent, c'est-à-dire coagulent, comme le beurre dans le baratage, et étant remontées à la surface par les bulles de gaz auxquelles elles servent d'armures, elles sont supportées par une mousse abondante.

Au contraire les particules de gangue, mouillées par l'eau ne floconnent pas, ne coagulent pas; et si elles ont tendance à le faire, l'addition d'un alcali les défloconne.

Les propriétés principales des colloïdes à envisager pour les slimes sont la lenteur des dépôts et l'imperméabilité des hydrogels.

(A suivre).

NOTES DIVERSES

DE LA SIGNALISATION

DANS LES

PUITS DES MINES

PAR

FR. STREEL

Ingénieur Civil des Mines, à Bruxelles.

La mise en application récente du premier alinéa de l'art. 12 de l'arrêté royal du 10 décembre 1910 (1) place la question de la signalisation dans les mines parmi celles dont l'étude est à l'ordre du jour.

D'autre part, l'emploi de l'électricité permet la réalisation de nombreux systèmes différents, qui ont chacun leurs avantages. Il semble bien de ce fait, qu'il soit assez intéressant et utile d'entreprendre l'exposé des principes de la question et de l'étudier théoriquement, dans ses grandes lignes.

L'installation de signalisation d'un puits de mine doit comprendre *essentiellement*, une liaison entre la salle de la machine et les différents envoyages et recettes, liaison permettant à ces postes de demander les manœuvres de la cage au mécanicien (2).

La liaison est différente suivant que les signaux sont transmis à ce dernier par l'intermédiaire de la recette principale ou bien directement. (Par recette principale, il faut entendre celle où les manœuvres se font en même temps qu'à l'étage du fond).

Dans le premier cas (fig. 1), les différents étages du puits (postes p_1 , p_2 , p_3) sont reliés à la recette principale (poste P) tandis qu'une liaison plus simple existe entre celle-ci et la salle de la machine.

(1) Art. 12. — Tout puits d'extraction sera muni d'appareils de signalisation permettant de communiquer de chacun de ses accrochages avec la surface et *réciiproquement*.

Ces appareils devront être établis de manière à ce que leur fonctionnement ne puisse donner lieu à aucune confusion.

(2) Nous ne parlerons pas du cordon de secours établi le long du puits; cette liaison, spécialement destinée à permettre dans des cas spéciaux l'envoi de signaux par les occupants de la cage, est commune à tous les systèmes.