

Institut Royal Colonial Belge

SECTION  
DES SCIENCES TECHNIQUES

Mémoires. — Collection in-8°.  
Tome VI, fasc. 1.

Koninklijk Belgisch Koloniaal Instituut

SECTIE  
VOOR TECHNISCHE WETENSCHAPPEN

Verhandelingen. — Verzameling  
in-8°. — Boek VI, af. 1.

# DÉTERMINATION

DE LA

# TENEUR EN OR AMALGAMABLE

PAR

**A. PRIGOGINE**

DOCTEUR EN SCIENCES,  
CHEF DE LABORATOIRE

À LA COMPAGNIE MINIÈRE DES GRANDS LACS AFRICAINS.



Avenue Marnix, 25  
BRUXELLES

Marnixlaan, 25  
BRUSSEL

1950

PRIX : Fr. 55.  
PRIJS :





DÉTERMINATION  
DE LA  
TENEUR EN OR AMALGAMABLE

PAR

**A. PRIGOGINE**

DOCTEUR EN SCIENCES.

CHEF DE LABORATOIRE

À LA COMPAGNIE MINIÈRE DES GRANDS LACS AFRICAINS.

---

Mémoire présenté à la séance du 25 mars 1949.

---

# DETERMINATION

DE LA

# TENEUR EN OR AMALGAMABLE

---

## I. — INTRODUCTION.

Plusieurs raisons font qu'on détermine couramment au Congo belge la teneur en or amalgamable; en effet :

*a)* Tous les gisements connus montrent un pourcentage assez élevé en or récupérable par amalgamation. Comme c'est un procédé métallurgique relativement simple et bon marché, toutes les usines de concentration du Congo belge récupèrent une grande partie de l'or par ce procédé. Il est donc important de connaître le pourcentage de l'or amalgamable du minerai.

*b)* L'analyse par amalgamation étant effectuée généralement sur plusieurs kilogrammes de matières, il est plus facile de préparer un échantillon représentatif d'un tel poids qu'un échantillon d'une centaine de grammes que l'on emploie pour l'analyse par fusion <sup>(1)</sup>.

*c)* Le danger de salage est plus faible pour les échantillons volumineux, ce qui est important pour les laboratoires du Congo belge, où la préparation mécanique est faite par des indigènes.

*d)* Enfin, l'analyse par amalgamation est d'un prix de revient moins élevé que l'analyse de l'or total.

---

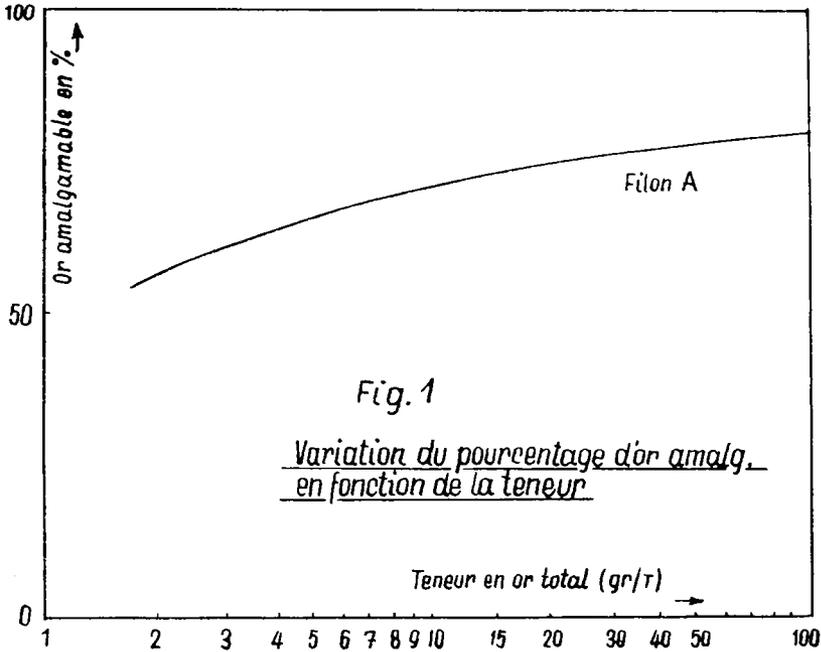
(1) Nous discuterons plus loin les cas où l'analyse par amalgamation peut remplacer l'emplombage.

Il est regrettable que l'on ait toujours considéré l'amalgamation comme un processus très facile ne demandant aucune étude approfondie. C'est ainsi qu'à part quelques renseignements fragmentaires dispersés dans divers traités de métallurgie, on ne trouve aucun travail d'ensemble traitant de cette question. Or, le rendement d'extraction de l'or par amalgamation d'un échantillon et la teneur en or amalgamable qui en résulte peuvent varier entre des limites assez larges et *il est illusoire d'attacher une importance à une détermination de l'or amalgamable si l'on ne spécifie pas rigoureusement les conditions expérimentales*. Il serait, d'ailleurs, fort souhaitable de standardiser ces conditions, ce qui permettrait une comparaison plus facile des teneurs en or amalgamable obtenues par différents laboratoires; nous reviendrons plus loin sur cette question.

Il est évident que *l'analyse par amalgamation ne peut pas remplacer la détermination de l'or total*. Tout d'abord, elle n'est pas applicable à certains échantillons comme, par exemple, aux échantillons contenant beaucoup de sulfures. De même, le contrôle du fonctionnement des usines de traitement doit être basé principalement sur l'or total, la teneur en or amalgamable donnant, cependant, des renseignements fort utiles sur la récupération de l'or libéré par broyage. Ensuite, lors de la découverte d'un nouveau gisement filonien, il est nécessaire de déterminer au début des recherches simultanément la teneur en or amalgamable et celle en or total pour connaître le pourcentage d'or amalgamable de ce gisement et pour pouvoir établir les réserves à la fois en or amalgamable et en or total, *la connaissance des réserves en or total étant primordiale*.

Généralement le pourcentage d'or amalgamable dépend de la teneur : il augmente avec la teneur, ce qui indique que les échantillons à teneur élevée contiennent une proportion plus importante de particules d'or de dimensions

plus grandes, plus facilement amalgamables. La figure 1 montre cette variation du pourcentage d'or amalgamable en fonction de la teneur, dans le cas du filon A de Lutunguru. En partant de cette courbe, qui doit être déterminée expérimentalement pour chaque gisement nouveau, on peut calculer approximativement la teneur en or total d'un



échantillon<sup>(1a)</sup>. Cependant, la teneur trouvée sera toujours affectée d'un facteur d'incertitude. Mais dans certains cas, l'approximation obtenue est suffisante. C'est ainsi que, lors de recherches préliminaires, on peut se contenter de déterminer uniquement l'or amalgamable<sup>(2)</sup> et de véri-

(1a) Voir L. PREUD'HOMME, R.U.M., *Centenaire de l'A.I.E.g.*, Congrès 1947, Section coloniale, p. 332.

(2) Dans ce cas on ne connaît même pas la relation qui lie la teneur en or total à la teneur en or amalgamable, mais presque toujours les résultats négatifs en or amalgamable correspondent tout au plus à des teneurs très faibles en or total, sans intérêt pratique.

fier, de temps à autre, si les échantillons donnant des résultats négatifs ne contiennent pas une teneur intéressante en or total, ce qui, généralement, n'est pas le cas. Évidemment, quand la minéralisation est indiquée par la présence d'une proportion importante de sulfures, la détermination de l'or amalgamable doit être suivie d'une analyse par fusion. Un autre cas se présente quand la prospection systématique d'un gisement *connu* a déjà été poussée suffisamment loin, que l'on connaît la relation donnant la teneur en or total en fonction de la teneur en or amalgamable et que la nature du minerai semble rester la même, par exemple lorsqu'on ne descend pas sous le niveau hydrostatique. De nouveau, on peut se contenter de déterminer l'or amalgamable et d'effectuer un certain nombre d'analyses de contrôle d'or total. Dans la plupart des cas, l'approximation obtenue dans le calcul des réserves en or total n'aura pas de répercussion sur l'exploitabilité du gisement.

## II. — BASES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'AMALGAMATION.

Rappelons que l'amalgamation est basée sur les deux processus suivants :

1. Certains métaux, l'or en particulier, sont mouillés par le mercure (mouillage sélectif).

2. Une fois le métal mouillé, on assiste à une diffusion progressive du mercure à l'intérieur de la phase solide avec formation de plusieurs composés.

Comme la diffusion ne peut avoir lieu que lorsque le métal a été déjà mouillé, il en résulte que *c'est le processus du mouillage qui régit principalement l'amalgamation.*

### 1. Mouillage de l'or par le mercure.

Le mouillage dépend de plusieurs facteurs :

- a) Composition de la phase solide et de la phase liquide;
- b) État de la surface de l'or et du mercure;
- c) Facteurs physiques (température, etc.).

A. — COMPOSITION DE LA PHASE SOLIDE. — Dans le cas des alliages or-argent, Plaksine et Kojoukhova <sup>(3)</sup> ont trouvé que c'est l'or pur qui est le mieux mouillé. Une proportion de 10 % d'argent diminue déjà sensiblement le mouillage.

B. — COMPOSITION DE LA PHASE LIQUIDE. — Depuis longtemps, la pratique de l'amalgamation avait montré que le mercure chimiquement pur amalgame moins bien que le mercure contenant un peu d'or ou d'argent. De même, de très petites quantités de plomb et de cuivre favorisent l'amalgamation <sup>(4)</sup>; cependant, une teneur supérieure à 0,1 % entrave l'amalgamation. L'explication de ce phénomène a été donnée par Plaksine et Kojoukhova <sup>(3)</sup>, qui ont montré que la présence d'or dissous dans le mercure diminue l'angle de mouillage et accélère le processus du mouillage. Il en est de même avec du cuivre aux concentrations inférieures à 0,1 %. Une quantité de zinc supérieure à 0,05 % agit défavorablement sur l'amalgamation en milieu neutre ou alcalin. Une amélioration a lieu seulement en milieu acide.

La présence de petites quantités d'impuretés dans le mercure diminue la tension superficielle du mercure et

---

(3) Voir I. N. PŁAKSINE, *Metallurgy of Gold, Silver and Platinum*, vol. I, Moscow, 1935, p. 78; voir aussi *Chim. et Ind.*, 38, 705, 1935; I. N. PŁAKSINE et M. A. KOJOUKHOVA, *Ann. Inst. Chim. gén. (U.R.S.S.)*, Secteur platine [n° 13], 95, 1936; [n° 15], 101, 1938.

(4) C. J. AUER, *Thesis*, n° 206, Min. Dept. Massach. Inst. of Technol., 1901; voir aussi F. A. THOMSON et R. KEFFER, *Met. Chem. Eng.*, 1915.

améliore le mouillage. Mais des quantités plus importantes de métaux ordinaires provoquent à la surface du mercure la formation de pellicules d'oxydes qui s'opposent au contact entre le mercure et l'or. Lors de l'amalgamation en milieu acide, l'influence des métaux ordinaires se fait moins sentir, puisque l'acide dissout les oxydes formés.

C. — ÉTAT DE LA SURFACE DE L'OR. — Le mercure ne mouille pas l'or lorsque la surface de ce dernier est recouverte d'un film de substances étrangères. C'est ainsi qu'une plaque d'or martelée pendant longtemps ne s'amalgame plus; mais il suffit de nettoyer sa surface des impuretés qui y ont été introduites pendant le martelage et qui sont visibles au microscope pour que la plaque s'amalgame de nouveau <sup>(5)</sup>.

Dans un broyeur, sous l'action des boulets, les paillettes d'or libérées sont déformées et déchirées et de petits cristaux de minerais divers s'incrustent dans leur surface <sup>(6)</sup>. Tout ceci gêne le mouillage de ces paillettes par le mercure.

C'est pourquoi on a avantage à placer dans le circuit broyeur-classificateur des jigs, des corduroys, des trappes, etc., dont le travail consiste à éliminer, le plus tôt possible, l'or gros de ce circuit.

Parfois on rencontre dans la nature des particules d'or enrobées dans une pellicule d'oxyde (« coated gold » ou « rusty gold »). Ainsi, l'or provenant des minerais oxydés a presque toujours une couche protectrice à sa surface (« tarnished gold »). Cette pellicule d'oxydes doit être enlevée par broyage, pour que cet or devienne amalgamable.

Remarquons encore que Plaksine <sup>(7)</sup> signale que la surface des paillettes peut devenir passive à la suite de l'adsorption de certains ions. Cette couche monomoléculaire

<sup>(5)</sup> T. T. READ, *Eng. a. Min. J.*, 125, 228, 1928.

<sup>(6)</sup> G. I. OLDRIGHT a. R. E. HEAD, *Eng. a. Min. J.*, 134, 228, 1933.

<sup>(7)</sup> I. N. PLAKSINE, *loc. cit.*, p. 79.

s'oppose au mouillage des paillettes d'or par le mercure. De même, une pellicule de gaz adsorbé peut empêcher le mouillage.

D. — ÉTAT DE LA SURFACE DU MERCURE. — En ce qui concerne la surface du mercure ou plutôt la surface de séparation mercure-eau, elle peut être contaminée de diverses façons. Tout d'abord, les graisses et les huiles <sup>(8)</sup> arrivées accidentellement dans la pulpe s'étendent sur cette surface, qui devient alors un excellent collecteur de sulfures, de matières graphitiques, de talc, d'argile, de calcite, de chaux, etc. <sup>(9)</sup>. Le mercure est alors incapable d'entrer en contact avec l'or.

Comme nous l'avons vu précédemment, à la suite de la formation d'amalgames de métaux ordinaires, une pellicule d'oxyde peut s'établir à la surface du mercure et gêner l'amalgamation. Enfin, en traitant des minerais contenant des sulfures d'arsenic, d'antimoine et de bismuth, la surface du mercure se noircit. Probablement, il y a formation de sulfure de mercure. Ceci peut être évité en effectuant l'amalgamation dans un milieu contenant des ions  $Pb^{++}$  ou  $Cu^{++}$ , dont la présence réduit fortement la concentration des ions  $S^{--}$ . De même, un milieu fortement alcalin favorise l'amalgamation.

Cette pellicule de sulfures est très préjudiciable à l'amalgamation. Elle empêche le contact avec l'or et elle est à l'origine des pertes de mercure <sup>(10)</sup>.

Pour combattre l'action de certaines impuretés, on ajoute à la pulpe divers réactifs qui dépendent de la nature du minerai et des impuretés présentes <sup>(11)</sup>.

Généralement on effectue l'amalgamation en présence d'alcalis ( $NaOH$ ,  $KOH$ ,  $Na_2CO_3$  ou  $CaO$ ) qui saponifient une

<sup>(8)</sup> Évidemment, les graisses peuvent également contaminer la surface des particules d'or.

<sup>(9)</sup> D'après A. F. TAGGART, *Handbook of Mineral Dressing*, New-York, 1915, p. 14 - 10.

<sup>(10)</sup> Voir A. E. FLYNN, *Canad. Inst. of Min. a. Met.*, 42, 150, 1939.

<sup>(11)</sup> Voir TAGGART, *loc. cit.*, pp. 14 - 16 et 14 - 19.

partie des impuretés organiques. On emploie aussi KCN, qui forme des complexes avec  $\text{Cu}^{++}$  et  $\text{Fe}^{++}$  ou  $\text{Fe}^{+++}$ . Probablement  $\text{NH}_4\text{Cl}$  agit de la même façon. Quelquefois on ajoute des oxydants ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ou  $\text{KMnO}_4$ ) qui détruisent les ions  $\text{S}^{--}$ . Le bichromate serait aussi favorable, dans le cas de paillettes d'or recouvertes d'une couche d'oxyde. Un mélange de plombate-arsenite est avantageux en présence de  $\text{S}^{--}$  (12).

E. — INFLUENCE DES FACTEURS PHYSIQUES. — En augmentant la température, le mouillage de l'or par le mercure s'améliore, ce qui est dû à un abaissement de la tension superficielle du mercure.

L'influence de la température est assez faible; cependant elle se manifeste pendant l'hiver, dans les cas des exploitations situées en Sibérie, par un abaissement du rendement d'extraction par amalgamation (13).

Signalons encore que l'on a essayé d'appliquer le courant électrique (14) et la pression pour améliorer l'amalgamation, mais ces tentatives ne furent pas couronnées de succès.

## 2. Système or-mercure.

Depuis longtemps l'étude des amalgames d'or a attiré l'attention des chercheurs. Malgré cela, la connaissance du système Au-Hg est encore fort incomplète.

Poursuivant les travaux de Henry (15), Kasantseff (16) a déterminé la solubilité de l'or dans le mercure :

Température	Solubilité en %
0°	0,110
20°	0,126
100°	0,630

(12) Voir A. E. FLYNN, *loc. cit.*

(13) D'après I. N. PLAKSINE, *loc. cit.*, p. 80.

(14) SHEPARD, *Amer. Inst. Min. a. Met. Eng.*, Tech. Pub. 676 (1936).

(15) HENRY, *Phil. Mag.*, (4) 9, 468, 1855.

(16) KASANTSEFF, *Bull. Soc. Chim.*, 30, 20, 1878; *Ber.*, II, 1255, 1878; voir aussi A. A. SUNIER a. CH. M. WHITE, *J. Am. Chem. Soc.*, 52, 1842, 1930.

Ces valeurs montrent que le processus de l'amalgamation ne peut pas être expliqué par la dissolution de l'or dans le mercure.

En ce qui concerne la composition des combinaisons chimiques prenant naissance dans le système Au-Hg, les résultats des divers auteurs sont assez discordants (17).

Il semble qu'aux concentrations relativement faibles en or, deux combinaisons  $AuHg_2$  et  $Au_2Hg_3$  existent.

Dans le cas des concentrations relativement élevées, on a affaire à au moins une combinaison, probablement  $Au_3Hg$  et peut-être aussi  $Au_4Hg$  ou  $Au_2Hg$ .

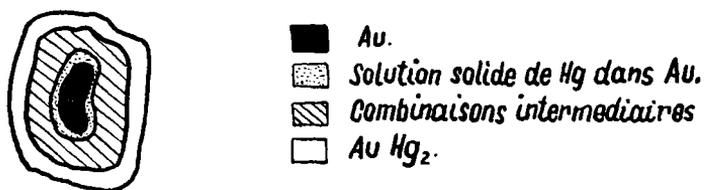


FIG. 2.

On voit donc que le diagramme d'état du système Au-Hg n'est pas encore élucidé. Les difficultés rencontrées sont dues principalement à la non-homogénéité des morceaux d'amalgame (excès d'or dans les parties inférieures) et à la facilité avec laquelle il est possible de passer d'une combinaison à l'autre par simple pression (18).

Il résulte de l'étude du système or-mercure qu'à la température ordinaire le mercure peut dissoudre seulement environ 0,15 % d'or, c'est-à-dire, dans le cas de 20 g de mercure, 30 mg d'or. Lorsque la quantité d'or contenue

(17) Voir T. K. ROSE et W. A. C. NEWMAN, *Metallurgy of Gold*, London, 1934, p. 37; I. N. PLASKINE, *loc. cit.*, p. 49; H. M. DAY et C. M. MATHEWSON, *Trans. Amer. Inst. Min. et Met. Eng. (Metals Div.)*, 128, 261, 1938; I. N. PLASKINE, *Fiz.-Khim. Anal. Akad. Nauk (U.R.S.S.)*, 10, 129, 1938.

(18) L. DE MORTILLET, *Les amalgames*, Paris, 1904, p. 44; PLASKINE, *loc. cit.*, p. 52.

dans l'échantillon est supérieure à 30 mg, la quantité d'or en excès ne sera pas mise en solution dans le mercure, mais formera un mélange hétérogène solide-liquide, la phase liquide étant constituée par la solution de l'or dans le mercure, tandis que la phase solide possède une composition intermédiaire entre l'or et le composé  $AuHg_2$  (voir fig. 2).

### III. — TECHNIQUE DE L'AMALGAMATION AU LABORATOIRE.

La détermination de la teneur en or amalgamable a lieu généralement dans deux types d'appareils :

A. — Dans les mélangeurs genre « automix » <sup>(19)</sup> ou genre « Denver Laboratory Super Agitator » <sup>(20)</sup>.

Ces appareils ne permettent que la détermination de l'or amalgamable « libre », c'est-à-dire soit dans un échantillon d'origine alluvionnaire, soit après libération de l'or par broyage dans un échantillon d'origine filonienne. L'avantage de ces mélangeurs consiste surtout dans la facilité avec laquelle ils peuvent être nettoyés. Cependant, la nécessité de devoir effectuer le broyage des échantillons dans un autre appareil représente un inconvénient, et nous ne nous servons pas de ces mélangeurs pour les analyses courantes de minerais aurifères <sup>(21)</sup>. Par contre, on les emploie principalement pour contrôler le fonctionnement d'appareils d'amalgamation installés dans les usines de traitement, par exemple pour déterminer le rendement de récupération de plaques amalgamées.

---

<sup>(19)</sup> Voir, par exemple, P. SPORCO, *Ingénieur chimiste*, 16, 113, 1932; R. ANTHOINE, *Traitement des Minerais aurifères d'origine filonienne (Mém. Inst. Roy. Col. Belge, in-4°, Bruxelles, 1933, p. 32)*.

<sup>(20)</sup> Construit par la Denver Equipment Co.

<sup>(21)</sup> En Amérique on se sert souvent de simples bouteilles qui sont roulées pendant un temps déterminé, pour les essais par amalgamation.

B. — Dans des broyeurs à boulets <sup>(22)</sup>.

L'échantillon est broyé et amalgamé dans le même appareil. C'est cette technique que nous suivons toujours. En principe, il aurait été préférable d'effectuer simultanément le broyage et l'amalgamation <sup>(23)</sup>. Cependant, ce mode opératoire donne lieu à des pertes de mercure très sensibles qui peuvent atteindre, par exemple, 30 % dans le cas d'un broyage pendant 60 minutes d'un échantillon (minerai fortement oxydé) de 5 kg avec 15 kg de boulets, en présence de 20 g de mercure, à une dilution 1 : 1 (NaOH : 0,1 %). Même en ajoutant un mélange de soude, d'acétate de plomb et d'acide arsénieux comme préconisé par Flynn <sup>(24)</sup>, nous observons, dans les mêmes conditions, des pertes qui vont de 7 à 14 %. Pour cette raison, *il est nécessaire d'effectuer d'abord le broyage et de procéder ensuite à l'amalgamation*, après avoir enlevé les boulets.

La surface intérieure de ces broyeurs doit être parfaitement lisse pour éviter l'accumulation de petites quantités d'amalgame dans les cavités ou fissures, ce qui pourrait conduire à des résultats complètement erronés. D'après Sporcq <sup>(25)</sup>, l'emploi d'acier fondu ordinaire ou au manganèse est à proscrire, car la coulée de ces aciers est souvent accompagnée de soufflures, qui, invisibles au début, n'apparaissent qu'après une certaine usure et provoquent des difficultés pendant le nettoyage. Anthoine <sup>(26)</sup> conseille la fonte ordinaire ou celle de la qualité Griffin.

---

<sup>(22)</sup> Ces broyeurs sont construits notamment par les Ateliers Louis Carton (Tournai), les Ateliers Dutrannoit (Marcinelle), par la Denver Equipment Co et par Knapp and Bates Ltd (London).

<sup>(23)</sup> Au fur et à mesure de la libération des particules d'or, celles-ci seraient captées immédiatement par le mercure.

<sup>(24)</sup> A. E. FLYNN, *loc. cit.*

<sup>(25)</sup> P. SPORCQ, *loc. cit.*; R. ANTHOINE, *loc. cit.*, p. 31.

<sup>(26)</sup> R. ANTHOINE, *loc. cit.*, p. 31.

Remarquons encore qu'il est préférable d'employer des broyeurs dont la cuve est constituée soit d'une seule pièce (type Denver Amalgamation Drum ou Denver Laboratory Ball Mill), soit de deux parties seulement (couvercle et partie principale). L'emploi de cuves formées de trois parties (partie médiane et deux couvercles amovibles) est à déconseiller, puisqu'il est nécessaire d'enlever les deux couvercles pour pouvoir procéder à un nettoyage complet du broyeur et éviter un salage.

Pour la même raison, il ne faut pas munir les cuves de trous de vidanges à faible section, qui sont d'un accès difficile.

En ce qui concerne le mode opératoire à suivre que nous discuterons en détail plus loin, disons seulement qu'après un broyage plus ou moins prolongé de l'échantillon pesant 5 kg <sup>(27)</sup>, on enlève les boulets, on ajoute un certain poids (ou volume) de mercure et l'on amalgame, généralement en milieu alcalin, pendant un temps déterminé.

L'appareil est soigneusement nettoyé, à l'aide d'un jet d'eau. Dans la plupart des cas, ce nettoyage est suffisant et il ne reste plus de mercure ou d'amalgame à l'intérieur de la cuve. Toutefois, lorsque l'échantillon traité a une teneur très élevée, il est prudent de s'assurer que de petites quantités d'amalgames n'ont pas échappé au nettoyage. Ceci se fait le plus facilement en broyant un échantillon stérile pendant 30 minutes environ dans l'appareil et en effectuant ensuite une amalgamation normale. Tout or récolté sera ajouté à l'or de l'échantillon traité précédemment.

---

(27) Pour la simplification des calculs on choisira un chiffre comme 10 ou 5 ou 2 kg. Evidemment, pour avoir le prix de revient le plus bas, on a avantage à prendre le poids le plus faible. Cependant le poids de l'échantillon dépend du diamètre des plus grosses particules qu'il contient, de son homogénéité et de l'erreur admissible et il doit être déterminé par une étude expérimentale.

Le mercure est séparé par des pannages répétés de la pulpe. Lorsque les fines gouttelettes de mercure formées pendant l'agitation n'ont pas tendance à s'unir, on ajoute, en fin de pannage, un peu d'une solution concentrée de soude caustique, ce qui facilite la récupération du mercure.

Remarquons qu'au lieu de séparer le mercure par pannage on peut se servir d'un cône de décantation où un courant d'eau ascendant à débit réglable entraîne la pulpe, tandis que le mercure est recueilli au bas de l'appareil. Toutefois, lorsqu'on emploie un cône de décantation, il est difficile de récupérer complètement les tailings d'amalgamation, ce qui est souvent nécessaire (voir plus bas).

Après avoir séparé le mercure, il est prudent de s'assurer que sa récupération est pratiquement complète et que les pertes sont négligeables. Ce point est surtout important dans le cas de minerais contenant un pourcentage élevé de sulfures <sup>(28)</sup>.

Ensuite, le mercure est attaqué, dans un matras d'essayeur, par l'acide nitrique concentré. Ce mode opératoire est de loin préférable à la distillation du mercure, qui est une opération longue et peu commode.

L'or brut est inquarté et l'on pèse l'or fin après départ.

Lorsqu'on désire connaître la teneur en or total de l'échantillon, les tailings du pannage doivent être recueillis soigneusement en évitant la perte des matières pendant le pannage. On coagule les matières fines en suspension dans l'eau en ajoutant un peu de CaO ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Après décantation, on jette l'eau, on sèche les tailings et l'on détermine leur teneur par fusion.

---

(28) D'après J. Fauconnier (communication personnelle) les pertes en or produites par le mercure perdu pendant le pannage peuvent atteindre 0,8 %.

De petites pertes de minerai peuvent se produire pendant ces manipulations :

- a) Pendant le pannage, par éclaboussures;
- b) Pendant la décantation, sous forme de particules de minerai entraînées par le courant d'eau;
- c) Pendant le séchage de l'échantillon, surtout quand le séchage a lieu à feu nu, par éclaboussures.

Les pertes dues aux causes *a* et *c* sont peu importantes; de plus, comme à ce moment l'échantillon peut être considéré comme à peu près homogène, ces pertes ne changent guère la teneur moyenne de l'échantillon. Mais il n'en est pas de même pour les pertes dues aux matières fines en suspension, perdues lors de la décantation.

Ces matières peuvent montrer des teneurs différentes de la teneur de l'échantillon initial. Suivant le cas, elles peuvent être soit plus riches, soit plus pauvres. Comme nous ignorons leur teneur, *il est essentiel que les matières perdues ne constituent qu'un faible pourcentage du poids initial de l'échantillon*. Dans ce cas, même des variations de teneur assez sensibles auront peu d'effet sur la teneur du résidu.

Quant à l'importance de ces pertes qui dépendent en partie de la nature de l'échantillon, il n'est pas difficile de la maintenir à 2-3 % du poids initial de l'échantillon. Sans commettre une erreur appréciable <sup>(29)</sup> nous pouvons donc admettre que les matières perdues ont une teneur égale à la teneur moyenne des tailings d'amalgamation.

Pour nous rendre compte de la quantité d'or perdue dans les boues entraînées avec l'eau, nous avons récupéré

---

<sup>(29)</sup> L'erreur deviendra sensible seulement dans le cas où les matières perdues montreraient une teneur très supérieure à la teneur moyenne des tailings d'amalgamation. Ce cas nous paraît tout à fait exceptionnel.

ces matières par filtration et nous avons déterminé la quantité d'or qu'elles contiennent <sup>(30)</sup> :

TABLEAU I.

Poids en kg	Teneur en g/T	Au en mg	Au perdu en mg	Au perdu en %
3.570	8.6	30.7	0.07	0.2
3.550	7.6	27.0	0.05	0.2
3.330	7.5	25.0	0.03	0.1
3.360	7.2	24.2	0.17	0.7
3.540	9.2	32.5	0.06	0.2

En moyenne, la quantité d'or perdue s'élève donc à 0,3 %. Même en supposant que toute la quantité de matières perdues (de l'ordre de 2 % pour ces essais) provienne de ces boues, ce qui certainement n'est pas le cas, l'erreur commise restera inférieure à 2 % de la teneur des tailings d'amalgamation et inférieure à 1 % de la teneur en or total de l'échantillon.

La détermination de l'or total d'un échantillon, en opérant d'après la technique décrite ci-dessus, a plusieurs avantages :

Tout d'abord, on élimine l'or gros par amalgamation en travaillant sur 5 kg de matières. Les tailings de l'amalgamation sont nécessairement beaucoup plus homogènes que l'échantillon initial et il est plus facile d'en prélever une prise représentative de 100 g pour la fusion.

Ensuite, lorsqu'on désire connaître le pourcentage d'or amalgamable de l'échantillon, il est de loin préférable d'opérer avec le *même* échantillon pour la détermination de l'or amalgamable et de l'or total, que de prendre une *autre* prise pour l'analyse par fusion, ce qui peut fausser complètement les résultats, quand la répartition de l'or dans le minerai est assez hétérogène.

---

<sup>(30)</sup> Les essais ont été effectués avec l'échantillon C-1111. En moyenne les prises montraient 83 % passant 200 mesh.

#### IV. — PROGRAMME DES ESSAIS.

Nous avons vu que le pourcentage d'or extrait par amalgamation dépend de beaucoup de facteurs, que nous pouvons grouper comme suit :

- a) nature du minerais;
- b) finesse de broyage de l'échantillon;
- c) préparation mécanique;
- d) conditions expérimentales.

Pour un échantillon donné, la finesse de broyage nécessaire dépend de la distribution des particules d'or en fonction de leur grosseur. Il est évident que plus ces particules sont petites, plus le broyage doit être poussé pour les libérer. Il est donc essentiel d'étudier d'abord l'influence de la finesse de broyage sur le rendement d'extraction.

Comme l'état de la surface des particules d'or a une importance décisive sur le mouillage de ces particules par le mercure, il en résulte que toute opération qui peut provoquer une souillure de la surface de l'or a une action défavorable sur l'amalgamation. La préparation mécanique de l'échantillon doit donc influencer l'extraction de l'or par amalgamation.

Enfin, nous arrivons aux conditions mêmes de l'amalgamation, c'est-à-dire à tous les facteurs qui agissent sur le contact entre les paillettes d'or et le mercure, soit : la durée d'amalgamation, la dilution de la pulpe et la quantité de mercure. Ajoutons à cela les caractéristiques de l'appareil dans lequel l'amalgamation a lieu et sa vitesse de rotation. Pour terminer, citons encore l'influence des réactifs qui ont une action sur la surface du mercure.

Dans la partie expérimentale, nous donnerons des exemples pour illustrer l'action de ces facteurs.

## V. — TECHNIQUE EXPÉRIMENTALE ET ÉCHANTILLONS ÉTUDIÉS.

A. — DÉTERMINATION DE L'OR AMALGAMABLE. — Les échantillons sont amalgamés dans un amalgamateur Denver (Denver Laboratory Batch Ball Mill, closed type) qui tourne à la vitesse de 56 t/min.

Un boulet est mis dans l'amalgamateur pour homogénéiser la pulpe.

Quand l'amalgamation est terminée, le mercure est récupéré par pannage très soigneux (plusieurs fois). L'or brut, séparé par l'acide nitrique, est soumis à l'inquartation et au départ. Tous les résultats se rapportent à l'or fin.

B. — DÉTERMINATION DE L'OR TOTAL. — Nous avons suivi le mode opératoire généralement employé aux laboratoires de la Compagnie Minière des Grands Lacs Africains : pour connaître la teneur en or total d'un échantillon, on détermine la teneur en or de ses tailings d'amalgamation; en ajoutant la valeur trouvée à sa teneur en or amalgamable, on obtient la teneur en or total de l'échantillon.

Après la séparation du mercure par pannage, les matières fines en suspension sont coagulées par l'acide sulfurique. On jette l'eau, après décaantation, et l'on sèche les tailings à feu nu.

Les agglomérats formés pendant le séchage sont détruits en faisant passer les tailings par un tamis de 20 mesh. Ensuite après mélange, on prélève, à l'aide du Jones Sampler, environ 500 g qui constituent l'échantillon proprement dit pour la détermination de la teneur en or.

On tamise l'échantillon sur un tamis de 100 mesh et l'on détermine la teneur en or sur la totalité du refus et sur deux prises de 100 g de la fraction — 100 mesh.

C. — ÉCHANTILLONS ÉTUDIÉS. — Nous donnons ci-après la liste des échantillons étudiés.

Tous les échantillons provenant des filons de Lutunguru (échantillons A, B, C, E) sont caractérisés par leur état d'oxydation très avancé. Ces minerais comprennent du quartz, de la pyrite, de la limonite et de l'or natif. Le quartz est aurifère; on y observe de l'or en grains très petits (ordre de grandeur 1-2  $\mu$ ); il en est de même pour la pyrite <sup>(31)</sup>. La limonite qui provient de l'oxydation de la pyrite contient de l'or secondaire, généralement en grains plus gros.

En déterminant la teneur du quartz et de la limonite, on obtient les résultats suivants, qui montrent que l'or est principalement associé à la limonite :

Fraction	Teneur en g/T		% or amalg.
	Or amalg.	Or total	
Quartz blanc ... ..	1,30	2,2	59
Limonite . . . . .	104	117	89

L'analyse de l'échantillon C a donné la composition suivante :

Fe . . . . .	17,82 %
S . . . . .	0,27
Insol. . . . .	68,66

Il en résulte que le minerai ne contient que 0,5 % environ de pyrite; par contre, sa teneur en limonite est de près de 30 %.

#### a) Échantillon A.

Cet échantillon provient en majeure partie du filon EBF de Lutunguru (niveaux 1678 à 1626). Il a subi un broyage à — 100 mesh dans un pulvérisateur Braun (voir tableau XI pour la granulométrie). Après mélange intime,

<sup>(31)</sup> Communication de M. le Prof. Legrâye.

nous avons prélevé, à l'aide d'un Jones Sampler, 16 échantillons de 5 kg environ.

La teneur en or total de l'échantillon A est 6,15 g/T (moyenne).

b) *Échantillon B.*

L'échantillon B provient principalement du filon EBF (niveaux 1626 à 1598) et du filon A (niveaux 1626 à 1578) de Lutunguru. Cet échantillon a été intimement mélangé, après broyage, à —20 mesh au pulvérisateur Braun; ensuite, nous avons prélevé, à l'aide du Jones Sampler, 8 échantillons de 5 kg environ.

La teneur en or total de cet échantillon est 12,3 g/T (moyenne).

c) *Échantillon C.*

Nous pouvons considérer cet échantillon comme représentatif du filon A de Lutunguru (niveaux 1676 à 1598). Après concassage à —4 mm, il est broyé à —20 mesh au pulvérisateur Braun. Après mélange, l'ensemble est divisé à l'aide d'un Jones Sampler, pour obtenir des échantillons d'un poids voisin de 2 kg.

La teneur en or total de l'échantillon C est 29,0 g/T (moyenne).

d) *Échantillon D.*

L'échantillon D a été prélevé au gîte A (Manguredjipa). Il s'agit de quartz ferrugineux qui a dû contenir à l'origine de la pyrite; mais actuellement celle-ci est presque complètement oxydée. Probablement, l'or a été introduit avec la pyrite.

La teneur en or total de l'échantillon D est 34,8 g/T (moyenne).

e) *Échantillon E.*

Cet échantillon est constitué par des schistes minéralisés provenant du filon A de Lutunguru. Sa teneur en or total est 48,5 g/T (moyenne).

## VI. — GRANULOMÉTRIE DE L'ÉCHANTILLON.

Comme nous l'avons vu, le plus souvent, le broyage des échantillons filoniens a lieu dans le même appareil qui sert pour l'amalgamation. Rappelons que, pour un minerai donné et dans un broyeur déterminé, la finesse réalisée dépend de la vitesse de l'appareil, de la proportion des boulets ajoutés et de leur diamètre, de la dilution (éventuellement même broyage à sec) et de la durée du broyage. Notre but n'est pas d'étudier tous les facteurs qui influencent le broyage et qui déterminent la granulométrie de l'échantillon. Mais nous croyons utile de montrer ici l'influence de la durée du broyage et de la dilution sur la granulométrie de l'échantillon.

## 1. Durée de broyage.

L'influence de la durée du broyage sur la granulométrie de l'échantillon et la variation de la teneur en or amalgamable qui en résulte ressortent des tableaux II et III et des figures 3 et 4.

TABLEAU II. — Influence du temps sur la finesse de broyage.

Temps en minutes	Refus en % <sup>(32)</sup>				
	+65 mesh	+100 mesh	+150 mesh	+200 mesh	—200 mesh
0	63,4	7,4	5,0	4,6	19,6
30	4,0	12,6	13,6	18,4	51,4
60	0,7	5,5	10,6	19,5	63,7
90	0,4	2,8	6,8	21,4	68,6
120	0,2	0,8	2,8	5,8	90,4

Echantillon : C-1221.

Poids échantillon : 2,7 à 2,9 kg.

Broyage avec 7,5 kg de boulets.

Dilution : 2 : 1.

(32) Il s'agit partout des tamis Tyler.

**TABLEAU III. — Influence de la granulométrie.**

<i>t</i> en min.	Fraction —200 mesh en % <sup>(33)</sup>	Échantillon en kg	Au en mg	Au/Am <sup>(34)</sup> en g/T
0	19,6	2,800	39,8	14,2
15	—	2,870	58,2	20,3
30	51,4	2,820	61,7	21,9
60	63,7	2,830	62,6	22,1
90	68,6	2,740	61,3	22,6
120	90,4	2,840	62,9	22,1
180	—	2,850	67,0	23,5

Numéro échantillon : C-1221.

Broyage pendant *t* avec 7,5 kg boulets.

Amalgamation pendant 60' avec 20 g Hg.

Dilution : 2 : 1.

NaOH : 0,1 %.

Les résultats obtenus montrent que la teneur maximum en or amalgamable est déjà atteinte à une finesse de 50-60 % passant 200 mesh, ce qui correspond à une durée de broyage de 30-45 minutes dans nos conditions expérimentales.

Il en résulte deux conclusions importantes pour le minerai en question <sup>(35)</sup> :

a) Pour atteindre la finesse de 50-60 % passant 200 mesh, au laboratoire un broyage de 30-45 minutes est suffisant. Cependant, pour des questions de sécurité, nous préférons broyer pendant 60 minutes.

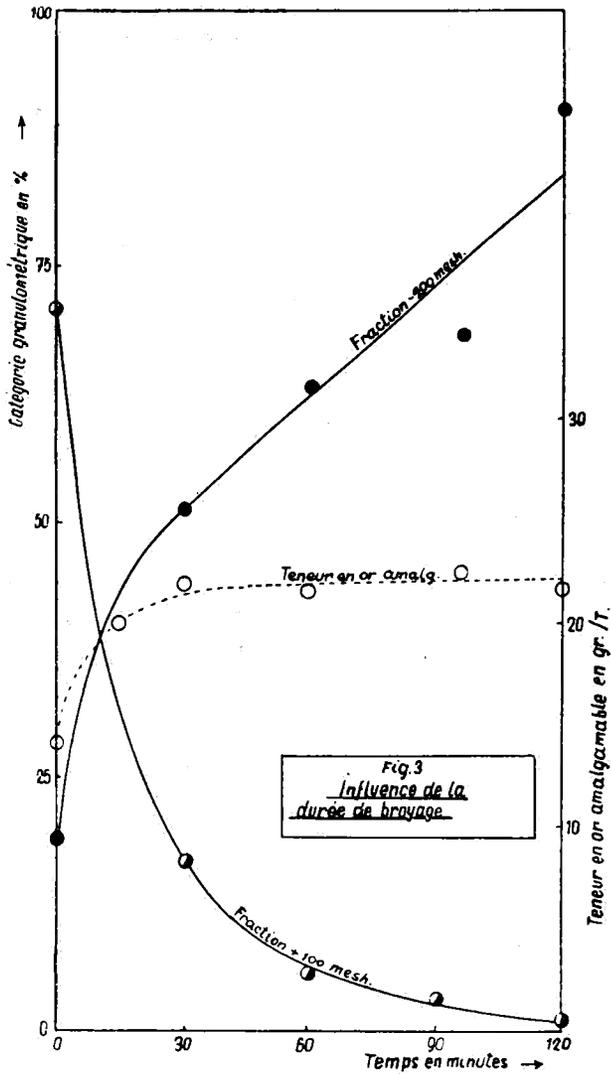
b) Au point de vue métallurgique, il apparaît nettement qu'un broyage plus fin que 50 % passant 200 mesh amé-

<sup>(33)</sup> Voir tableau II.

<sup>(34)</sup> Nous employons partout les abréviations suivantes :

Au, Am : or amalgamable;                      Au/T : or total.

<sup>(35)</sup> Nous insistons que ces conclusions ne s'appliquent qu'au minerai qui a servi pour ces essais et que l'influence de la granulométrie doit être déterminée expérimentalement pour chaque minerai particulier.



lière à peine la récupération de l'or amalgamable. Il faut en conclure que, à la finesse considérée, pratiquement tout l'or amalgamable est déjà libéré.

Disons encore quelques mots concernant la courbe donnant la variation de la teneur en fonction de la granulo-

métrie de l'échantillon. La courbe de la figure 4 montre son allure générale. Cependant, la finesse à laquelle le palier est atteint varie évidemment d'un minerai à un autre, toutes choses étant égales.

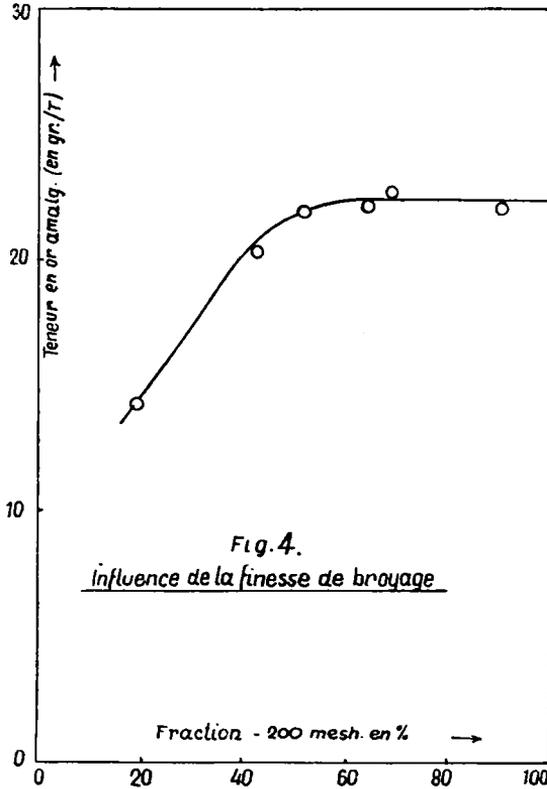
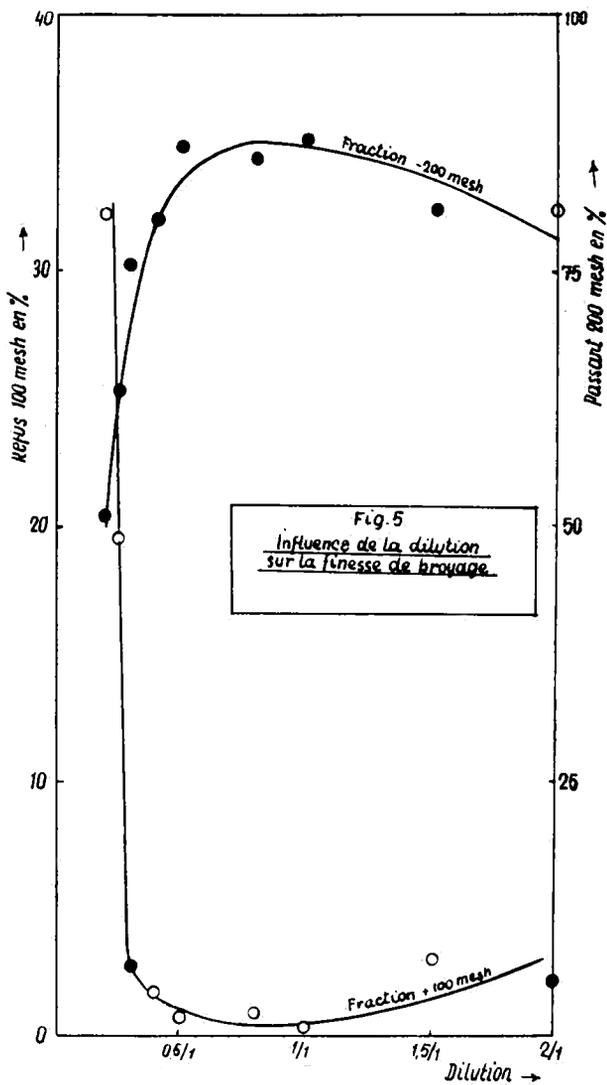


Fig. 4.  
Influence de la finesse de broyage

## 2. Dilution.

Il est connu que le broyage est meilleur lorsque la dilution est faible. Cependant, quand on diminue trop la dilution, on obtient une pulpe trop épaisse qui prend la consistance d'une pâte et qui entrave le broyage. D'après Taggart<sup>(36)</sup>, le meilleur broyage a lieu dans une pulpe

(36) Voir TAGGART, *loc. cit.*, p. 5-123.



suffisamment épaisse pour rester homogène et en même temps suffisamment diluée pour être assez fluide.

Les résultats obtenus sont réunis dans les tableaux IV à VI (voir aussi la figure 5, qui montre les résultats du tableau IV).

TABLEAU IV. — Influence de la dilution sur la finesse de broyage.

Dilution	Refus en %				
	+65 mesh	+100 mesh	+150 mesh	+200 mesh	—200 mesh
— (37)	49,9	7,5	5,6	6,2	30,8
0,2 : 1	21,6	10,5	8,2	8,9	50,8
0,25 : 1	7,1	12,5	8,5	9,1	62,8
0,3 : 1	0,3	2,4	7,0	14,7	75,6
0,4 : 1	0,4	1,4	4,7	13,5	80,0
0,5 : 1	0,2	0,4	2,2	10,3	86,9
0,8 : 1	0,2	0,7	3,0	10,3	85,8
1 : 1	0,2	0,3	2,3	9,4	87,8
1,5 : 1	0,3	2,8	6,1	15,0	75,8
2 : 1	0,2	2,0	5,7	16,1	76,0

Echantillon : C-2221.

Poids échantillon : 2,1 à 2,3 kg.

Broyage pendant 60' avec 7,5 kg boulets.

TABLEAU V. — Influence de la dilution sur la finesse de broyage.

Dilution	Refus en %				
	+65 mesh	+100 mesh	+150 mesh	+200 mesh	—200 mesh
0,6 : 1	0,6	4,2	7,2	16,2	71,8
1 : 1	1,0	5,0	9,0	18,0	67,0
2 : 1	0,7	5,5	10,6	19,5	63,7
3 : 1	1,0	6,6	11,0	18,2	63,2
4 : 1	1,0	6,6	10,6	18,2	63,6

Echantillon : C-1221.

Poids échantillon : 2,8 à 2,9 kg.

Broyage pendant 60' avec 7,5 kg boulets.

Nous constatons donc que la finesse de broyage augmente très rapidement, pour atteindre sa valeur maximum aux dilutions de 0,5 : 1 à 1 : 1. En augmentant encore la dilution, la finesse de broyage diminue un peu.

Dans le cas du minerai étudié, il est donc avantageux de faire le broyage à une dilution située entre 0,5 : 1 et 1 : 1.

(37) Granulométrie de l'échantillon initial (avant broyage).

TABLEAU VI. — Influence de la granulométrie.

Dilution broyage	Fraction —200 mesh en % <sup>(38)</sup>	Echantillon en kg	Au en mg	Au/Am en g/T
—	—	—	—	—
0,2 : 1	50,8	2,220	39,83	17,8
0,25 : 1	62,8	2,160	42,96	19,9
0,3 : 1	75,6	2,130	42,30	19,9
0,4 : 1	80,0	2,290	47,40	20,7
0,5 : 1	86,9	2,280	43,32	19,0
0,8 : 1	85,8	2,130	43,48	20,4
1 : 1	87,8	2,330	51,90	22,3

Numéro échantillon : C-1221.

Broyage pendant 60' avec 7,5 kg boulets.

Amalgamation pendant 60' avec 20 g Hg.

Dilution : 1 : 1 (amalgamation).

NaOH : 0,1 %.

En ce qui concerne la variation de la teneur en or amalgamable, suite à l'influence de la dilution du broyage sur la granulométrie de l'échantillon, nous constatons au début une légère augmentation, mais la valeur maximum est atteinte très rapidement.

Ceci est dû à la nature de l'échantillon C, où, comme nous avons vu précédemment, pratiquement tout l'or amalgamable est libéré déjà à une finesse de broyage relativement faible.

Disons encore que les limites de la dilution entre lesquelles le broyage est le plus efficace dépendent, dans une certaine mesure, de la nature même de l'échantillon. C'est ainsi que, dans le cas d'un échantillon ne contenant que du quartz, la limite inférieure se trouve à une dilution plus faible que dans le cas d'un échantillon contenant des matières argileuses.

<sup>(38)</sup> Voir tableau IV.

VII. — DURÉE D'AMALGAMATION.

L'influence de la durée d'amalgamation résulte du tableau VII et de la figure 6.

TABLEAU VII. — Influence de la durée d'amalgamation.

<i>t'</i> en minutes	Échantillon en kg	Au en mg	Au/Am en g/T
5	2,860	57,5	20,1
10	2,890	61,0	21,1
20	2,830	61,0	20,8
30	2,920	61,4	21,0
60	2,830	62,6	22,1
120	2,825	59,7	21,2

Numéro échantillon : C-1221.

Broyage pendant 60' avec 7,5 kg boulets.

Amalgamation pendant *t'* avec 20 g Hg.

Dilution : 2 : 1.

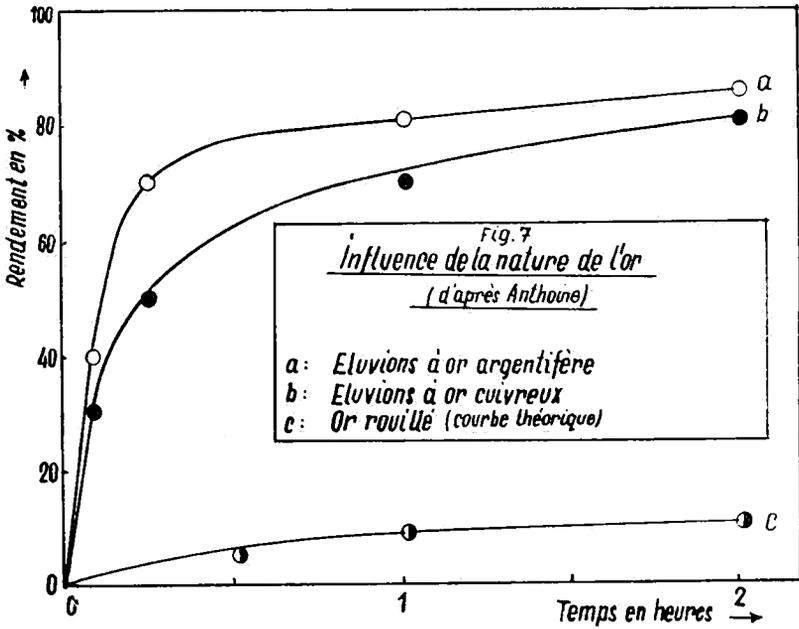
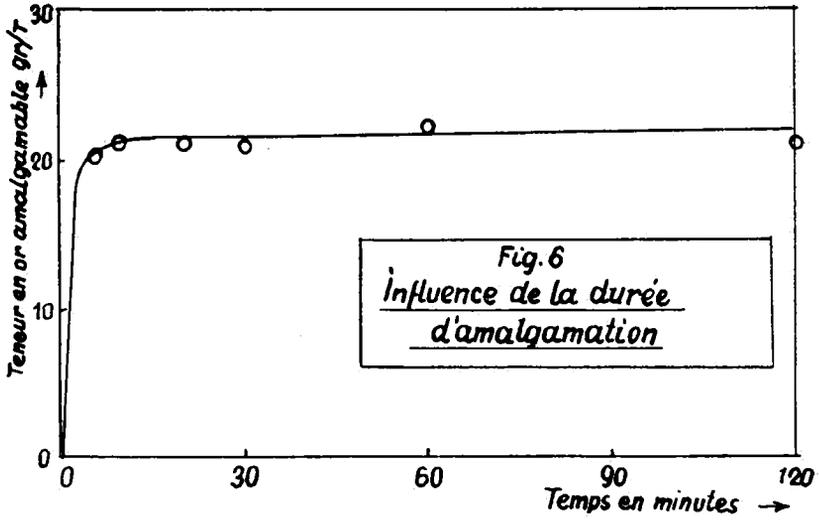
NaOH : 0,1 %.

Déjà après 10 minutes la valeur maximum est atteinte. Toutefois, pour des raisons de sécurité, il est nécessaire d'amalgamer pendant 20-30 minutes.

Remarquons que l'allure de cette courbe doit dépendre de la quantité de mercure ajoutée et du nombre de tours de l'appareil. Lorsque le rapport mercure/échantillon est faible, il faudra amalgamer pendant un temps plus long pour obtenir le même rendement d'amalgamation. La courbe de la figure 6 se rapporte à environ 7 g de mercure par kg d'échantillon.

Anthoine <sup>(39)</sup> discute l'influence de la nature de l'or sur la courbe donnant le pourcentage d'or amalgamé en fonction de la durée d'amalgamation. Dans le cas de l'or argentifère, la courbe d'amalgamation s'élève très rapidement, tandis qu'en présence d'or cuivreux la courbe est plus lente. Enfin, dans le cas de l'or rouillé (enrobé de

<sup>(39)</sup> R. ANTHOINE, *loc. cit.*, p. 34.



cuivre), le pourcentage d'or amalgamé est très faible; de plus, il croît d'une façon continue avec le temps (voir fig. 7).

### VIII. — DILUTION.

Pour mettre en évidence l'influence de la dilution sur l'amalgamation proprement dite, nous avons préparé des échantillons d'une finesse pratiquement semblable. Pour cela, ils ont été broyés exactement dans les mêmes conditions. Leur analyse granulométrique est en moyenne :

Tamis	Refus en % <sup>(40)</sup>
—	—
+ 65 mesh	0,2 ± 0,1
+ 100	1,7 ± 0,3
+ 150	6,7 ± 0,5
+ 200	13,1 ± 1,7
— 200	78,3 ± 2,0

Le tableau VIII montre les résultats obtenus.

TABLEAU VIII. — Influence de la dilution.

Dilution	Échantillon en kg	Au en mg	Au/Am en g/T	Au/T en g/T	R en %
0,6 : 1	2,205	50,65	23,0	28,5	80,6
1 : 1	1,965	43,70	22,2	26,4	84,2
1,5 : 1	1,950	46,10	23,6	28,4	83,1
2 : 1	2,050	46,00	22,4	27,1	82,7
3 : 1	2,200	49,90	22,7	27,3	83,1
4 : 1	2,165	40,00	22,4	27,3	82,0
Moyenne			22,7	27,5	82,6

Numéro échantillon : C-2121.

Broyage pendant 60' avec poids boulets égal 3 fois poids échantillon à une dilution 0,5 : 1.

Amalgamation pendant 30' avec 20 g Hg.

NaOH : 0,1 %.

<sup>(40)</sup> Nous donnons aussi l'écart moyen à la moyenne.

Entre 0,6 : 1 et 4 : 1 la dilution n'a aucune influence sur le rendement d'amalgamation. Cette partie nous intéresse particulièrement, puisque le broyage optimum est réalisé aux dilutions variant de 0,5 : 1 à 1 : 1.

Un autre échantillon a été broyé à sec (pendant 75 minutes). Voici sa granulométrie :

Tamis	Refus en %
—	—
+ 65 mesh	0,2
+ 100	0,8
+ 150	3,6
+ 200	6,2
— 200	89,2

Les résultats obtenus figurent dans le tableau IX.

TABLEAU IX. — Influence de la dilution.

Dilution	Echantillon en kg	Au en mg	Au/Am en g/T	Au/T en g/T	R en %
—	—	—	—	—	—
0,3 : 1	2,800	89,40	32,0	47,8	67,0
0,4 : 1	2,790	84,15	30,2	49,3	61,5
0,6 : 1	2,600	82,25	31,6	48,2	66,5
0,8 : 1	2,620	87,80	33,5	49,1	68,5
1 : 1	2,380	80,50	33,8	47,9	70,5
2 : 1	2,550	89,80	35,2	48,6	72,5

Echantillon : E.

Amalgamation pendant 60' avec 20 g Hg.

NaOH : 0,1 %.

L'influence de la dilution sur le rendement d'amalgamation est faible. Cependant, il semble que, dans le cas de l'échantillon E, le rendement augmente légèrement avec la dilution.

## IX. — QUANTITÉ DE MERCURE.

Nous avons choisi deux exemples, l'un où le mercure a une grande influence sur le rendement en or amalgamable et un autre où cette influence est faible.

 a) *Echantillon A.*

TABLEAU X. — Influence de la quantité de mercure.

Poids Hg ajouté en g	Poids Hg en g/kg ( <sup>41</sup> )	Poids échantillon en kg	Au/Am en g/T	Au/T en g/T	R en %
6,020	1,1	5,480	2,15	6,25	34,4
10,270	1,8	5,590	2,35	5,80	40,5
20,100	3,3	6,180	2,50	5,90	42,4
50,180	8,6	5,850	2,70	6,00	45,0
100,380	20,0	5,130	3,25	6,00	54,1
200,180	33,0	6,085	3,70	6,25	59,2
500,100	87,0	5,760	4,40	6,20	71,0
1000,200	191	5,240	4,95	6,70	74,0

Echantillon : A.

Broyage dans pulvérisateur Braun.

Amalgamation pendant 60' avec 10 l d'eau.

NaOH : 0,1 %.

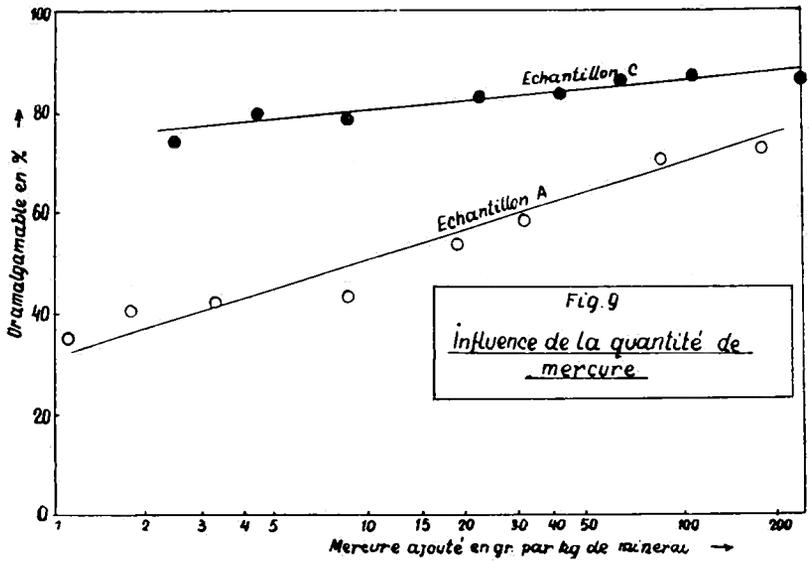
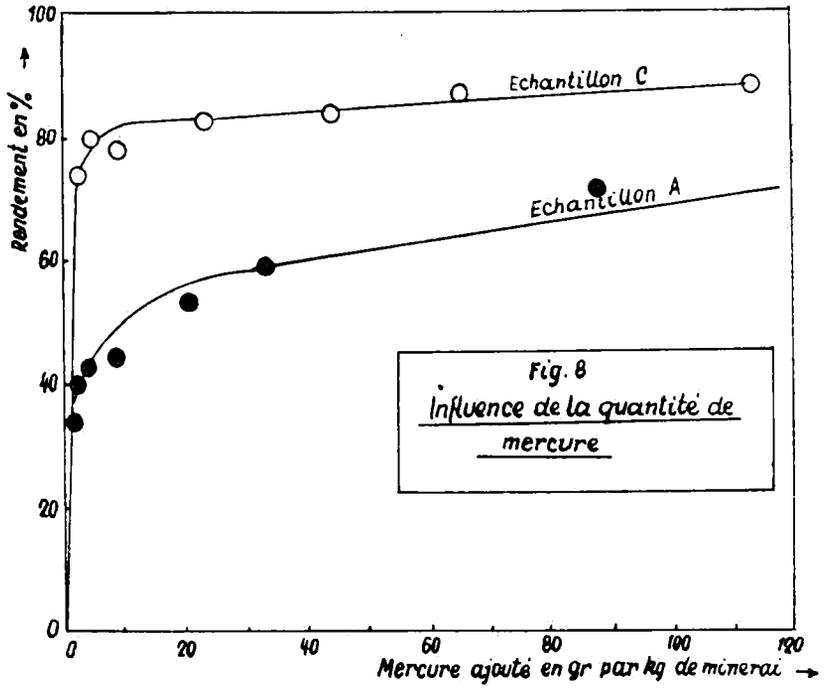
Lorsque, pour un échantillon de 5 kg environ, on augmente progressivement le poids de mercure ajouté de 5 g à 1.000 g (ce qui correspond à une variation de 1 à 200 g/kg), la teneur en or amalgamable croît de 2,15 à 4,95 g/T.

Ces valeurs de la teneur en or amalgamable correspondent aux pourcentages en or amalgamable respectivement de 34 et 74 %.

Lorsqu'on porte les valeurs qui figurent au tableau X dans un diagramme, on obtient les figures 8 et 9.

La figure 8 montre le pourcentage d'or amalgamable en fonction du poids de mercure ajouté.

(<sup>41</sup>) Poids de mercure en g par kg d'échantillon.



La figure 9 utilise une échelle logarithmique. Nous constatons que les résultats expérimentaux peuvent être représentés par une droite, entre les limites étudiées.

Comme le montre le tableau XI, la composition granulométrique n'a pas varié, comme il fallait s'y attendre, pendant l'amalgamation. L'augmentation du pourcentage d'or amalgamable en présence de quantités croissantes de mercure n'est donc pas due à un surbroyage plus poussé.

TABLEAU XI. — Analyse granulométrique de l'échantillon A.

N° du tamis	Avant amalgamation		Après amalgamation	
	Refus en %	Refus cum. en %	Refus en %	Refus cum. en %
+ 65 mesh	0,0	0,0	0,1	0,1
+ 100	0,6	0,6	0,6	0,7
+ 150	12,2	12,8	12,8	13,5
+ 200	16,3	29,1	16,6	30,1
— 200	70,9	100,0	69,9	100,0

Nos résultats montrent que, pour *certain*s minerais, le pourcentage d'or amalgamable (ainsi que la teneur en or amalgamable) dépend fortement de la quantité de mercure ajoutée.

Pour expliquer l'influence marquée de la quantité de mercure sur le rendement de l'amalgamation, nous devons admettre que *les paillettes d'or déjà libres dans l'échantillon se trouvent dans un état peu favorable à l'amalgamation*; en d'autres mots, le contact entre les paillettes d'or et le mercure se fait difficilement <sup>(42)</sup>.

#### b) Échantillon C <sup>(43)</sup>.

Dans le cas de l'échantillon C, la variation du pourcentage en or amalgamable en fonction de la quantité de

---

<sup>(42)</sup> Comme nous le verrons plus loin, le faible pourcentage d'or amalgamable de l'échantillon A est dû, en grande partie, au broyage à sec précédant l'amalgamation.

<sup>(43)</sup> Voir tableau XVIII.

mercure est très faible. Nous observons une augmentation seulement de 74 à 88 % (voir fig. 8 et 9). La teneur en or amalgamable dépend donc relativement peu de la quantité de mercure. Il en résulte que l'essai par amalgamation peut être effectué avec une quantité de mercure relativement faible : environ 4 g par kg d'échantillon, comme nous le faisons normalement pour tous les échantillons filoniens.

### X. — INFLUENCE DES RÉACTIFS.

Les tableaux XII et XIV montrent l'influence de quelques réactifs sur l'amalgamation, dans le cas de l'échantillon C.

Remarquons immédiatement que l'addition d'oxydants et d'acides agit défavorablement sur l'amalgamation et donne lieu à des pertes de mercure.

Par contre, l'ammoniaque semble favoriser un peu l'amalgamation. Toutefois, ces résultats isolés ne permettent pas de tirer des conclusions nettes.

TABLEAU XII. — Influence des réactifs.

Réactif	Échantillon en kg	Au en mg	Au/Am en g/T	Pertes Hg en %
0,1 % NaOH <sup>(44)</sup>	—	—	21,3	0,0
1,0 % NaOH	2,750	60,7	22,1	0,0
0,7 % NH <sub>4</sub> OH ( <i>d</i> = 0,90) <sup>(46)</sup>	2,840	66,7	23,5	0,0
0,2 % Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2,810	64,0	22,8	0,0
0,2 % NH <sub>4</sub> Cl	2,860	60,8	21,3	1,0
0,2 % K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	2,820	40,4	14,3	4,3
0,2 % KMnO <sub>4</sub>	2,790	49,3	17,7	17,7 <sup>(45)</sup>
0,2 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ind.	2,820	47,4	16,8	— <sup>(45)</sup>
0,7 % HCl ind. <sup>(46)</sup>	2,820	40,1	16,3	3,7

Numéro échantillon : C-1221.

Broyage pendant 60' avec 7,5 kg boulets.

Amalgamation pendant 60' avec 20 g Hg.

Dilution : 2 : 1.

<sup>(44)</sup> Voir tableau VII.

<sup>(45)</sup> Hg devient farineux.

<sup>(46)</sup> % - vol.

TABLEAU XIII. — Influence des réactifs.

Réactifs	Echantillon en kg	Au en mg	Au/Am en g/T
NaOH	—	—	20,9
0,1 % NaOH ind. (47)	2,230	46,18	20,8
1,0 % NH <sub>4</sub> OH ( <i>d</i> = 0,90) (48)	2,270	49,40	21,7
1,0 % NH <sub>4</sub> OH ind. ( <i>d</i> = 0,985) (48)	2,240	44,90	20,0

Numéro échantillon : C-2221.

Broyage pendant 60' avec 7,5 kg boulets.

Amalgamation pendant 60' avec 20 g Hg.

Dilution : 2 : 1.

L'influence de la concentration de soude résulte du tableau XIV. Nous constatons que de faibles concentrations de NaOH n'ont aucune influence marquée sur le rendement d'amalgamation.

TABLEAU XIV. — Influence de la concentration de NaOH.

NaOH en %	Echantillon en kg	Au en mg	Au/Am en g/T
0,00	2,240	46,00	20,5
0,05	2,250	47,94	21,3
0,10	2,350	45,42	19,3
0,20	2,240	51,26	22,8
0,50	2,350	48,62	20,7
1,00	2,280	48,16	21,1

Numéro échantillon : C-2221.

Broyage pendant 60' avec 7,5 kg boulets.

Amalgamation pendant 60' avec 20 g Hg.

Dilution : 2 : 1.

Il semble que, même en l'absence de soude, nous obtenions le même rendement. Toutefois, nous estimons qu'il est nécessaire d'ajouter une petite quantité de soude (0,1 %) pour avoir la certitude de ne pas opérer en milieu acide.

(47) Partiellement carbonatée.

(48) % - vol.

Notons encore que certains préconisent l'amalgamation en présence de cyanure qui agit comme décapant sur les paillettes d'or <sup>(49)</sup>. Toutefois, il faut être très prudent dans l'emploi des cyanures pendant l'amalgamation au laboratoire, parce que les résultats peuvent être complètement faussés à la suite de la dissolution de l'or dans la solution de cyanure. C'est ainsi que, dans le cas de l'échantillon C, l'amalgamation pendant 30 minutes, à une dilution 1 : 1, dans une solution contenant 0,1 % NaCN et 0,1 % NaOH, a donné lieu à des pertes très sensibles en or qui correspondent à une teneur voisine de 5 g/T pour l'échantillon étudié.

#### XI. — INFLUENCE DE LA PRÉPARATION MÉCANIQUE.

Toutes conditions étant égales, le rendement d'amalgamation ne dépend pas seulement de la finesse de broyage de l'échantillon, c'est-à-dire de la proportion de particules d'or libérées par le broyage, mais également de l'état de la surface de ces particules <sup>(50)</sup>. C'est ainsi que toutes les impuretés qui se trouvent à leur surface sont nuisibles au bon contact entre le mercure et les paillettes d'or et entravent de ce fait l'amalgamation.

Comme nous l'avons vu précédemment, il en est aussi de même avec toutes les impuretés qui primitivement ne se trouvaient pas à la surface de l'or, mais qui y ont été introduites pendant la préparation mécanique.

De cette façon, nous sommes amené à étudier l'influence du mode de broyage et du séchage sur le rendement d'amalgamation.

---

<sup>(49)</sup> Voir p. 10.

<sup>(50)</sup> Voir p. 8.

**1. Influence du mode de surbroyage.**

Le surbroyage de l'échantillon peut être effectué soit à sec, soit en présence d'eau. Nous avons étudié plusieurs échantillons pour mettre en évidence l'influence du mode de broyage sur le rendement d'amalgamation.

*Échantillon B.*

Quelques essais préliminaires ont été effectués avec l'échantillon B. Nous les signalons pour être complet.

Une partie de l'échantillon B a été surbroyé à —100 mesh, dans un pulvérisateur Braun; une autre partie a été surbroyée pendant 60 minutes avec 15 kg de boulets de 2'' environ, en présence de 10 litres d'eau. L'amalgamation a été effectuée à la même dilution.

Le tableau XV donne la granulométrie de l'échantillon B avant le surbroyage ainsi que la granulométrie après le surbroyage à sec et le surbroyage à l'eau.

**TABLEAU XV. — Analyse granulométrique de l'échantillon B.**

N° du tamis Tyler	Broyage à sec (— 20 mesh)		Surbroyage à sec (— 100 mesh)		Surbroyage à l'eau	
	Refus en %	Refus cum. en %	Refus en %	Refus cum. en %	Refus en %	Refus cum. en %
—	—	—	—	—	—	—
+ 28 mesh	10,2	10,2	—	—	—	—
+ 48	29,2	39,4	—	—	—	—
+ 65	9,3	48,7	0,1	0,1	1,2	1,2
+ 100	10,2	59,9	0,3	0,4	4,9	6,1
+ 150	5,2	64,1	17,6	18,0	10,4	16,5
+ 200	5,5	69,6	18,0	36,0	13,5	30,0
— 200	30,4	100,0	64,0	100,0	70,0	100,0

L'échantillon surbroyé dans le pulvérisateur Braun ne contient pratiquement pas de particules à +100 mesh. L'échantillon surbroyé à l'eau contient 6 % dans la fraction +100 mesh. Par contre, sa fraction —200 mesh est

un peu plus importante que dans l'échantillon qui a été surbroyé à sec. Mais en somme, les deux échantillons sont assez semblables. Les résultats obtenus figurent dans le tableau XVI.

TABLEAU XVI. — Influence du mode de broyage sur l'amalgamation.

Nature surbroyage	Hg en g	Hg en g/kg	Échant. en kg	Au/Am en g/T	Au/T en g/T	R en %
Sec	20,110	3,7	5,385	6,10	12,0	51,0
Sec	1000,300	188	5,305	9,10	12,9	70,5
A l'eau	20,100	3,7	5,405	8,00	11,9	67,0
A l'eau	1000,110	182	5,480	10,1	12,4	81,5

Dans le cas du surbroyage à sec, le pourcentage d'or amalgamable augmente de 51 à 71 %, lorsque le poids du mercure varie de 20 à 1000 g pour un échantillon de 5 kg.

Dans le cas du surbroyage dans l'eau, le pourcentage d'or amalgamable monte de 67 à 81,5 %, lorsque le poids du mercure varie d'une façon identique.

Tout d'abord nous voyons que les chiffres du pourcentage d'or amalgamable, dans le cas du surbroyage à sec, sont plus faibles que les valeurs correspondantes obtenues avec un surbroyage à l'eau, le rapport entre ces deux valeurs étant de 0,76 pour 20 g de mercure et de 0,87 pour 1.000 g de mercure.

De plus, l'augmentation du pourcentage d'or amalgamable est plus forte, dans le cas du surbroyage à sec : 20 % contre 14,5 %.

Par rapport au pourcentage d'or amalgamable obtenu avec 20 g de mercure, cette augmentation est de 39 % contre 22 %.

Pour terminer, disons que les résultats obtenus ne peuvent guère être influencés par les pertes de mercure pendant le panning, qui sont, généralement, très faibles (environ 0,2 %).

*Échantillon C.*

Après mélange, l'échantillon est divisé en deux parties, dont une est broyée à —100 mesh dans le pulvérisateur Braun. Chaque partie est ensuite divisée à l'aide d'un Jones Sampler, pour obtenir des échantillons d'un poids voisin de 2 kg.

Remarquons que la granulométrie était légèrement différente pour les échantillons surbroyés à l'eau et ceux surbroyés à sec (tableau XVII).

TABLEAU XVII. — Analyse granulométrique des échantillons.

N° des tamis Tyler	Surbroyage à l'eau		Surbroyage à sec	
	Refus en %	Refus cum. en %	Refus en %	Refus cum. en %
—	—	—	—	—
+ 65 mesh	0,3	0,3	0,2	0,2
+ 100	2,0	2,3	1,8	2,0
+ 150	6,5	8,8	15,5	17,5
+ 200	11,9	20,7	16,8	34,3
— 200	79,3	100,0	65,7	100,0

Les échantillons surbroyés à sec contiennent donc une proportion plus faible de —200 mesh. Cette légère différence ne peut pas influencer de beaucoup les valeurs du pourcentage d'or amalgamable. En effet, nous avons vu, dans le cas de l'échantillon C, que la teneur en or amalgamable varie à peine en fonction de la finesse de broyage, à condition que la fraction —200 mesh dépasse environ 50 % (voir fig. 4).

Pour pouvoir mettre bien en évidence l'influence de la préparation mécanique sur le pourcentage d'or amalgamable, nous avons établi la courbe donnant sa variation en fonction de la quantité de mercure dans le cas du surbroyage à l'eau et du surbroyage à sec. Les tableaux XVIII et XIX montrent les résultats obtenus (voir aussi fig. 10).

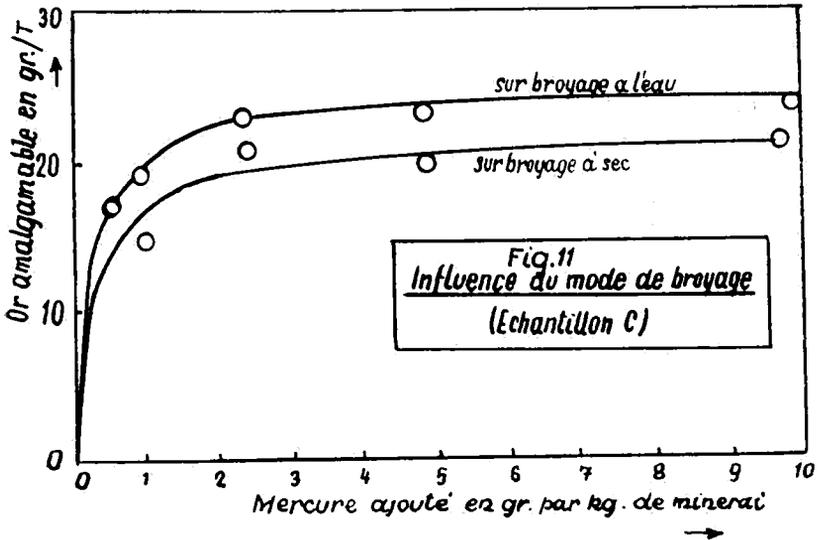
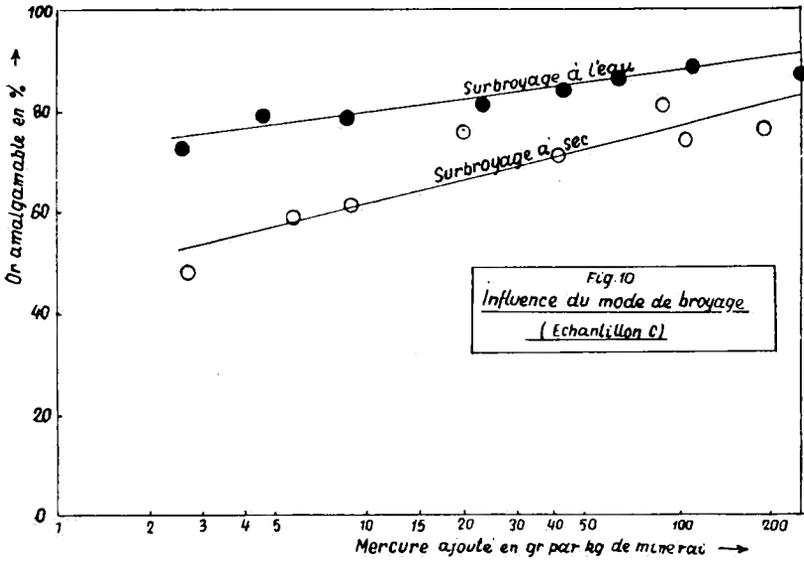


TABLEAU XVIII. — **Surbroyage à l'eau.**

Hg en g	Hg en g/kg	Poids échantillon en kg	Au/Am en g/T	Au/T en g/T	R en %
5,150	2,5	2,060	21,6	(29,1)	74,0
10,200	4,6	2,235	21,4	26,8	79,5
20,000	8,9	2,255	24,4	30,8	79,0
50,000	22,9	2,180	23,0	27,7	83,0
100,150	43,6	2,290	23,9	29,5	84,0
150,000	65,3	2,300	27,0	31,2	86,5
250,700	112	2,230	26,4	29,9	88,0
500,000	252	1,990	25,0	28,8	87,0

Numéro échantillon : C-1221.

Broyage pendant 60' avec 10 kg boulets en présence de 4 l d'eau.

Amalgamation pendant 60' à la même dilution.

NaOH : 0,1 %.

TABLEAU XIX. — **Surbroyage à sec.**

Hg en g	Hg en g/kg	Poids échantillon en kg	Au/Am en g/T	Au/T en g/T	R en %
5,400	2,6	2,040	14,5	29,8	48,5
10,400	5,7	1,820	17,9	(30,0)	59,5
20,250	8,9	2,270	18,2	29,6	61,5
50,100	20,1	2,480	22,3	29,1	76,5
100,100	41,7	2,400	21,5	30,3	71,0
150,150	87,5	1,710	25,0	30,7	81,5
250,010	102	2,450	22,5	30,4	74,0
500,150	198	2,530	23,0	30,2	76,0

Numéro échantillon : C-1221.

Broyage dans pulvérisateur Braun.

Amalgamation pendant 60' en présence de 4 l d'eau.

NaOH : 0,1 %.

Dans le cas du surbroyage à l'eau, le pourcentage d'or amalgamable croît lentement avec le poids du mercure ajouté. Lorsqu'on augmente le poids du mercure dans la proportion de 1 à 100, le pourcentage d'or amalgamable varie seulement de 74 à 88 %, ce qui correspond à une augmentation de 19 %.

Dans le cas du surbroyage à sec, le pourcentage d'or amalgamable est plus faible et croît plus rapidement lorsque le poids du mercure ajouté augmente. Le pourcentage d'or amalgamable passe de 49 à 80 % environ (augmentation de 63 %) lorsque le poids du mercure varie dans la proportion de 1 à 75.

Dans une deuxième série d'essais, nous avons réalisé le broyage à sec également dans un broyeur à boulets. Il a été seulement nécessaire de broyer pendant un temps un peu plus long pour obtenir la même finesse de broyage (pendant 75 minutes au lieu de 60).

Voici la comparaison de la finesse réalisée :

TABLEAU XX.

Tamis Tyler	Refus en % <sup>(51)</sup>	
	Broyage à l'eau	Broyage à sec
+ 65 mesh	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,1
+ 100	3,0 ± 0,5	2,6 ± 0,7
+ 150	6,8 ± 0,6	6,7 ± 0,6
+ 200	12,5 ± 1,0	12,9 ± 1,5
— 200	77,4 ± 1,4	78,1 ± 1,1

Nous pouvons donc affirmer que les échantillons possèdent la même composition granulométrique.

Les résultats obtenus figurent dans les tableaux XXI et XXII (voir également fig. 11).

Il apparaît donc nettement que le broyage à sec entrave l'amalgamation. Au lieu d'obtenir une teneur de 24,0 g/T après broyage à l'eau, on observe seulement 21,2 g/T après broyage à sec, ceci pour 10 g/kg de mercure.

La diminution est de 2,8 g/T, ce qui correspond à 12%.

Ces résultats confirment donc les essais antérieurs. Toutefois, l'écart observé précédemment était plus important (21 % pour la même quantité de mercure).

<sup>(51)</sup> Nous donnons aussi l'écart moyen à la moyenne.

TABLEAU XXI. — **Surbroyage à l'eau.**

Hg en g	Hg en g/kg	Échantillon en kg	Au en mg	Au/Am en g/T	Au/T en g/T	R en %
—	—	—	—	—	—	—
1,120	0,55	2,040	35,55	17,4	27,7	63,0
2,100	0,93	2,260	42,90	19,0	25,9	73,5
5,050	2,34	2,160	49,70	23,0	28,1	82,0
10,050	4,0	2,085	48,65	23,3	29,1	80,0
20,0	9,8	2,040	48,70	23,8	28,8	82,5

Numéro échantillon : C-2121.

Broyage pendant 60' avec boulets égal 3 fois poids échantillon.

Dilution : 1 : 1 (broyage et amalgamation).

Amalgamation pendant 30'.

NaOH : 0.1 %.

TABLEAU XXII. — **Surbroyage à sec.**

Hg en g	Hg en g/kg	Échantillon en kg	Au en mg	Au/Am en g/T	Au/T en g/T	R en %
—	—	—	—	—	—	—
1,150	0,55	2,000	35,10	16,9	29,9	56,5
2,150	1,03	2,090	31,00	14,8 (?)	—	—
5,300	2,40	2,170	45,60	21,0	31,7	66,0
10,100	4,8	2,085	41,15	19,7	28,5	69,0
20,0	9,6	2,090	45,30	21,6	32,0	67,5

Numéro échantillon : C-2121.

Broyage pendant 75' avec boulets égal 3 fois poids échantillon.

Amalgamation pendant 30'.

NaOH : 0.1 %.

### Échantillon D.

Le tableau XXIII montre la granulométrie de l'échantillon D :

TABLEAU XXIII. — **Analyse granulométrique de l'échantillon D.**

Tamis Tyler	Surbroyage à sec		Surbroyage à l'eau	
	Refus en %	Refus cum. en %	Refus en %	Refus cum. en %
—	—	—	—	—
+ 65 mesh	1,9	1,9	0,0	0,0
+ 100	12,2	14,1	0,7	0,7
+ 150	18,1	32,2	22,4	23,1
+ 200	22,8	55,0	27,7	50,8
— 200	45,0	100,0	49,2	100,0

L'échantillon broyé à sec montre donc une finesse un peu plus grande.

Les résultats obtenus sont réunis dans les tableaux XXIV et XXV (voir aussi fig. 12).

TABLEAU XXIV. — *Surbroyage à l'eau.*

Hg en g	Hg en g/kg	Échantillon en kg	Au/Am en g/T
1,000	0,23	4,400	25,0
2,150	0,46	4,670	27,8
5,300	1,1	4,690	30,2
10,150	2,2	4,570	32,1
20,270	4,5	4,540	31,2
50,000	11,0	4,530	35,0
100,020	21,2	4,720	31,1
150,250	35,0	4,290	30,2
250,210	54,8	4,560	32,8

Numéro échantillon : D.

Broyage pendant 45' avec 15 kg boulets en présence de 8 l eau.

Dilution 1,6 : 1 à 1,9 : 1.

Amalgamation pendant 30' (même dilution).

NaOH : 0,1 %.

TABLEAU XXV. — *Surbroyage à sec.*

Hg en g	Hg en g/kg	Échantillon en kg	Au/Am en g/T
1,050	0,26	4,040	22,0
2,400	0,65	3,700	23,6
5,300	1,3	4,120	25,7
10,050	2,6	3,810	27,2
20,150	4,7	4,250	27,8
50,000	12,9	3,870	31,1
100,300	24,1	4,150	30,0
150,700	39,1	3,890	29,0
250,010	62,9	3,980	28,5

Numéro échantillon : D.

Broyage dans pulvérisateur Braun.

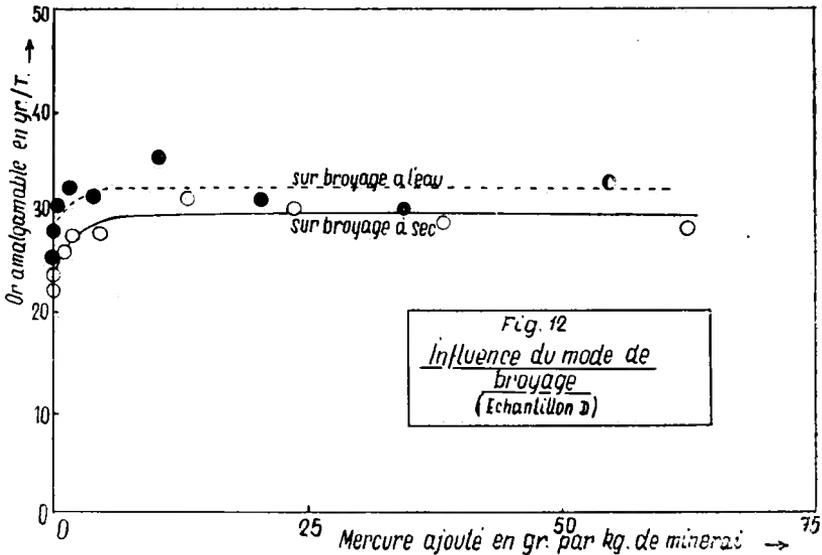
Amalgamation pendant 30' en présence de 8 l eau.

NaOH : 0,1 %.

A. *Surbroyage à l'eau.* — En augmentant la quantité de mercure, la teneur en or amalgamable monte rapidement, pour atteindre un palier près de 32,1 g/T, qui correspond à 92,5 % or amalgamable. La valeur maximum

est déjà atteinte pour environ 2 g de mercure par kg de minéral.

En augmentant encore la quantité de mercure, le pourcentage d'or amalgamable ne monte plus. Peut-être une très légère augmentation existe-t-elle, mais nous ne sommes pas en état de la déceler.



B. *Surbroyage à sec.* — Malgré que la finesse des échantillons broyés à sec soit légèrement plus élevée que celle des échantillons broyés à l'eau, le palier de la courbe se trouve à une valeur plus basse (29,6 g/T) que le palier de la courbe obtenue en broyant à l'eau. La teneur du palier correspond à 85 % or amalgamable. Dans ce cas, la courbe monte beaucoup plus lentement et le palier semble être atteint seulement vers 8 g de mercure par kg de minéral.

Nos essais montrent donc que le rendement d'amalgamation ne dépend pas uniquement de la finesse de broyage, c'est-à-dire du pourcentage d'or libéré par le broyage à une finesse donnée, mais aussi, dans une

*mesure importante, du mode de broyage. Le rendement d'amalgamation est nettement plus faible dans le cas d'un surbroyage à sec.*

L'explication de l'influence du mode de broyage nous apparaît comme suit : dans le cas du broyage à sec, des particules très fines de gangue restent en contact avec des paillettes d'or libérées. En poursuivant le broyage, ces particules s'incrument à la surface des paillettes d'or, dans une mesure plus ou moins grande, et entravent, dans la suite, le mouillage de ces paillettes par le mercure. Par contre, lors du broyage en présence d'eau, les particules de gangue sont mises en suspension, au fur et à mesure de leur formation; une plus petite quantité de particules de gangue est pressée dans la surface de l'or, qui reste plus propre et permet un meilleur contact entre les paillettes et le mercure.

*Le surbroyage à sec est donc défavorable au bon contact du mercure avec l'or. Il est donc à proscrire, si le minerai doit subir une amalgamation <sup>(52)</sup>.*

## 2. Influence du séchage.

Généralement, l'échantillon est immédiatement amalgamé après broyage. Cependant, dans certains cas, par exemple lorsque l'échantillon se trouve à l'état d'une pulpe, un séchage précède l'amalgamation (ceci pour pouvoir prélever plus facilement un échantillon du lot reçu).

Nous avons voulu nous rendre compte si ce séchage préalable à l'amalgamation a une influence sur l'extraction de l'or.

### *Échantillon C.*

10 kg environ ont été broyés dans un broyeur à boulets pendant 60 minutes <sup>(53)</sup>. Après décantation, l'eau a été

<sup>(52)</sup> Voir aussi I. N. PLAKSINE, *loc. cit.*, p. 78.

<sup>(53)</sup> La granulométrie de ces échantillons n'a pas été déterminée.

siphonnée et la pulpe a été séchée à feu nu. Ensuite, l'échantillon a été passé au tamis de 2 mm, pour détruire les agglomérats. Finalement, après mélange, nous avons prélevé 4 échantillons qui ont été amalgamés pendant 30 minutes avec 20 g Hg en milieu alcalin (0,1 % NaOH). Une agitation de 30 minutes en présence d'un boulet précédait l'amalgamation.

Voici les résultats obtenus :

Dilution	Echantillon en kg	Au en mg	Au/Am en g/T
—	—	—	—
0,4 : 1	2,365	33,8	14,3
1 : 1	2,260	35,1	15,5

Rappelons que dans des conditions semblables, nous obtenons une teneur de 20-21 g/T lorsque l'échantillon est soumis à l'amalgamation sans séchage préalable.

#### *Echantillon E.*

Deux échantillons ont été traités d'après la technique habituelle, tandis que deux échantillons ont été séchés à feu nu, après broyage.

Les résultats obtenus figurent dans le tableau XXVI.

TABLEAU XXVI. — Influence du séchage.

Séchage	Echantillon en kg	Au en mg	Au/Am en g/T	Au/T en g/T	R en %
—	—	—	—	—	—
—	2,515	88,0	35,0	47,6	73,6
+	2,460	53,3	21,7	45,7	47,5

Echantillon : E.

Broyage pendant 60' avec poids boulets égal 3 fois poids échant.

Dilution : 1 : 1.

Amalgamation pendant 30' avec 20 g Hg.

Dilution : 1,5 : 1.

NaOH : 0,1 %.

Séchage à feu nu.

Agitation pendant 30' avec 1 boulet (avant l'amalgamation).

Les échantillons avaient la même granulométrie :

Tamis Tyler	Refus en %	
	Sans séchage	Avec séchage
—	—	—
+ 65 mesh	0,6	0,6
+ 100	3,1	3,3
+ 150	6,4	6,6
+ 200	10,0	10,9
— 200	79,9	78,6

Nous constatons donc que *le séchage de la pulpe influence très défavorablement l'extraction de l'or par amalgamation.*

Probablement, la surface des particules d'or se couvre d'un revêtement de gangue qui empêche le contact avec le mercure. Une agitation très prolongée (avec un boulet) avant l'amalgamation détruira, sans doute, cette pellicule de gangue.

## XII. — DISCUSSION DES RÉSULTATS OBTENUS.

Nous avons montré l'influence des facteurs suivants sur l'extraction de l'or par le mercure, dans les conditions du laboratoire :

- a) Finesse de broyage de l'échantillon;
- b) Préparation mécanique;
- c) Conditions expérimentales.

C'est la distribution des particules d'or en fonction de leur diamètre qui détermine la finesse de broyage nécessaire pour la libération de l'or par broyage et il est essentiel de déterminer l'influence de ce facteur pour chaque nouveau minéral étudié.

Comme le montre la figure 4, à partir d'une certaine finesse de broyage, la teneur en or amalgamable n'augmente que très lentement, pour atteindre un palier à des finesse élevées. *La détermination de la teneur en or amal-*

*gamable doit être effectuée à une finesse où sa variation en fonction de la granulométrie est lente* (partie presque horizontale de la courbe). Dans ce cas, de légères variations de la granulométrie n'auront que de faibles répercussions sur la teneur en or amalgamable.

La question se pose : faut-il pousser le broyage précédant l'amalgamation au maximum pour avoir la certitude qu'un surbroyage supplémentaire n'augmente plus l'extraction par amalgamation (au laboratoire), ou bien peut-on se contenter d'effectuer les analyses après un broyage normal, pour obtenir 60-70 % passant 200 mesh ?

Disons immédiatement qu'à notre avis cette dernière solution nous semble suffisante et même préférable à un surbroyage trop poussé.

Tout d'abord nous rappelons que l'un des buts de l'analyse par amalgamation est d'homogénéiser l'échantillon en enlevant l'or gros qu'il contient. Sans aucun doute, ce but est déjà atteint par un broyage relativement grossier.

De plus, l'analyse par amalgamation doit donner la proportion de l'or d'un gisement qui est récupérable *en pratique* par ce procédé, lors du traitement de ce minerai dans une usine. Or, la récupération de l'or par amalgamation est limitée en pratique par des considérations économiques. Généralement, il n'est pas rentable de broyer trop finement pour s'adresser ensuite à l'amalgamation comme seul procédé de récupération.

Lorsqu'on a déjà fait les frais d'un surbroyage, il est plus avantageux d'employer la flottation ou la cyanuration<sup>(54)</sup>, dont le rendement métallurgique dépasse de loin l'amalgamation. En effet, quand la dimension des particules d'or tombe au-dessous d'une certaine limite, il est difficile, voire impossible, de les amener en contact

---

(54) Eventuellement, après séparation de l'or relativement gros par amalgamation.

avec les plaques amalgamées de l'usine. On pourrait augmenter leur surface. Mais de nouveau on est limité par l'accroissement de dépenses qui en résulte.

Nous arrivons donc à la conclusion qu'il *serait peu logique de déterminer au laboratoire une teneur en or amalgamable* (par exemple en broyant très finement et en travaillant dans des conditions expérimentales particulièrement favorables) *qui, de toute façon, ne pourrait être réalisée en pratique et qui, de ce fait, n'aurait aucune signification.*

Vu l'importance de la finesse de broyage sur l'amalgamation, il serait souhaitable de donner, en même temps que la teneur en or amalgamable, la granulométrie de chaque échantillon (ou le passant au tamis de 200 mesh). Mais ceci n'est pas possible pour les déterminations courantes de la teneur en or amalgamable et il *faut se contenter d'effectuer le broyage des échantillons dans des conditions rigoureusement identiques* (durée, proportion de boulets et leur diamètre, dilution). De plus, l'échantillon qui sera chargé dans le broyeur à boulets doit être préalablement concassé à une finesse déterminée, au moins à — 4 mm, le broyeur à boulets convenant peu au broyage des morceaux plus grands. Malgré toutes ces précautions, la finesse de broyage obtenue variera légèrement d'un échantillon à l'autre, puisqu'elle dépend de sa dureté et de sa friabilité. Mais comme nous l'avons déjà fait remarquer, dans le domaine où la détermination de l'or amalgamable doit être effectuée, la granulométrie a une faible influence sur la valeur de l'or amalgamable.

Nos essais ont montré, pour tous les échantillons étudiés, que *la préparation mécanique de l'échantillon a une grande influence sur le rendement de l'extraction de l'or par amalgamation et qu'il ne suffit pas de caractériser un échantillon donné par sa granulométrie.* C'est pourquoi

*le broyage fin d'un échantillon à l'aide d'un pulvérisateur à disques ou dans un broyeur à boulets à sec doit être définitivement écarté si l'on désire soumettre l'échantillon à l'amalgamation. De même, il est préférable de ne pas sécher une pulpe avant l'amalgamation. Quand on est obligé de le faire, il est indispensable d'agiter l'échantillon pendant 2 heures, à une dilution voisine de 1 : 1, en présence d'un boulet, avant d'ajouter le mercure (ou bien, ce qui revient au même, d'amalgamer pendant 2 à 3 heures).*

On n'a pas attribué suffisamment d'importance à l'influence de la préparation mécanique sur l'amalgamation et il existe encore des laboratoires où le broyage des échantillons est effectué à sec.

Nous arrivons aux conditions expérimentales de l'amalgamation au laboratoire. Considérons d'abord la durée d'amalgamation. Le palier de la courbe donnant la variation de la teneur en or amalgamable en fonction de la durée est atteint très rapidement et il suffit d'amalgamer pendant 20-30 minutes pour avoir la certitude que tout l'or amalgamable est extrait. Évidemment, le temps minimum après lequel le palier est atteint dépend de la vitesse à laquelle tourne l'amalgamateur et de la proportion du mercure ajouté. Il ne nous était pas possible d'étudier l'influence du nombre de tours, mais il n'y a aucun doute qu'il faut amalgamer plus longtemps dans un appareil qui tourne plus lentement. De même, la durée d'amalgamation doit être augmentée si la quantité de mercure ajoutée est très faible.

La variation du rendement de l'amalgamation en fonction de la proportion du mercure ajouté à l'échantillon se manifeste surtout dans le cas des échantillons où, à la suite du broyage à sec, la surface des paillettes d'or est souillée par de fines particules de gangue qui s'y sont introduites

pendant le broyage. Mais dans le cas des échantillons qui ont été broyés à l'eau, l'influence de la quantité de mercure se fait sentir beaucoup moins et l'on peut effectuer les amalgamations en présence de 4 à 5 g de mercure par kg d'échantillon. Remarquons d'ailleurs que l'emploi de quantités de mercure plus importantes serait peu pratique, puisque la dissolution des quantités élevées de mercure prendrait trop de temps et entraînerait une consommation exagérée d'acide nitrique.

En ce qui concerne l'influence de la dilution, elle semble être sans grande importance et l'on peut effectuer les amalgamations à la même dilution que celle qui a servi au broyage.

Enfin, dans le cas des échantillons étudiés, nous n'avons pas pu observer une augmentation du rendement de l'amalgamation en ajoutant certains réactifs à la pulpe. Cette question n'a d'ailleurs pas été approfondie suffisamment. Nous avons cependant constaté un abaissement du rendement en présence d'acide, ce qui oblige d'effectuer les amalgamations en milieu légèrement alcalin pour avoir la certitude de ne pas se trouver en milieu acide.

Les conditions expérimentales dans lesquelles on effectue les analyses par amalgamation varient généralement d'un laboratoire à l'autre <sup>(55)</sup>. Il en résulte que le rendement d'extraction de l'or par amalgamation et la teneur en or amalgamable ne seront pas les mêmes pour un échantillon donné lorsque la détermination est faite par des laboratoires différents. Ceci présente, évidemment, de graves inconvénients et nous croyons qu'il *serait fort sou-*

---

(55) Voir, par exemple : ANTHOINE, *loc. cit.*, p. 31; T. K. ROSE a. W. A. C. NEWMAN, *loc. cit.*, p. 536; A. F. TAGGART, *loc. cit.*, p. 19-187; R. PEELE, *Mining Engineers Handbook*, vol. II, New-York, 1944, p. 31-15.

*haitable que tous les laboratoires acceptent d'effectuer les essais standard par amalgamation en opérant rigoureusement comme décrit ci-dessous* <sup>(56)</sup> :

A. *Broyage.*

Placer dans un broyeur à boulets la charge suivante :

5 kg de minerai broyé au préalable à — 28 mesh <sup>(57)</sup>;

5 l d'eau;

15 kg boulets de diamètre 2" au maximum.

Broyer pendant 1 heure, l'appareil tournant à une vitesse de 56 t/min <sup>(58)</sup>.

B. *Amalgamation.*

Le broyage étant terminé, on enlève les boulets (sauf un), on les lave avec un peu d'eau que l'on ajoute au broyeur et l'on complète la charge comme suit :

30 g de mercure <sup>(59)</sup>;

5 g de soude.

Amalgamer pendant 30 minutes, l'appareil tournant à la même vitesse.

Actuellement, une difficulté réside dans la multitude de types d'appareils, de diamètres différents, en usage

<sup>(56)</sup> Nous sommes loin d'affirmer que les conditions proposées ci-dessus sont définitives et que, suite à un échange de vues, elles ne peuvent être modifiées.

<sup>(57)</sup> Dans le cas des schistes, il suffit de les concasser au préalable à — 4 mm.

<sup>(58)</sup> Pour un appareil de 38 cm de diamètre intérieur.

<sup>(59)</sup> Pour tous les échantillons que nous avons étudiés, 20 g de mercure sont bien suffisants. Cependant, pour les essais standard, il est préférable d'employer un poids plus élevé, ceci afin de parer à toute éventualité.

dans les divers laboratoires. Nos essais ont été effectués avec un broyeur de diamètre intérieur de 15" (38 cm), qui est amplement suffisant pour 5 kg de minerai. En vue de standardiser, il serait utile que tous les laboratoires se missent d'accord pour *un type de broyeur déterminé d'un diamètre uniforme*, par exemple un broyeur de 40 cm qui tournerait à une vitesse de 54 t/min.

Pour terminer, nous voudrions remercier la Compagnie Minière des Grands Lacs Africains, qui a bien voulu nous autoriser à publier le présent article.

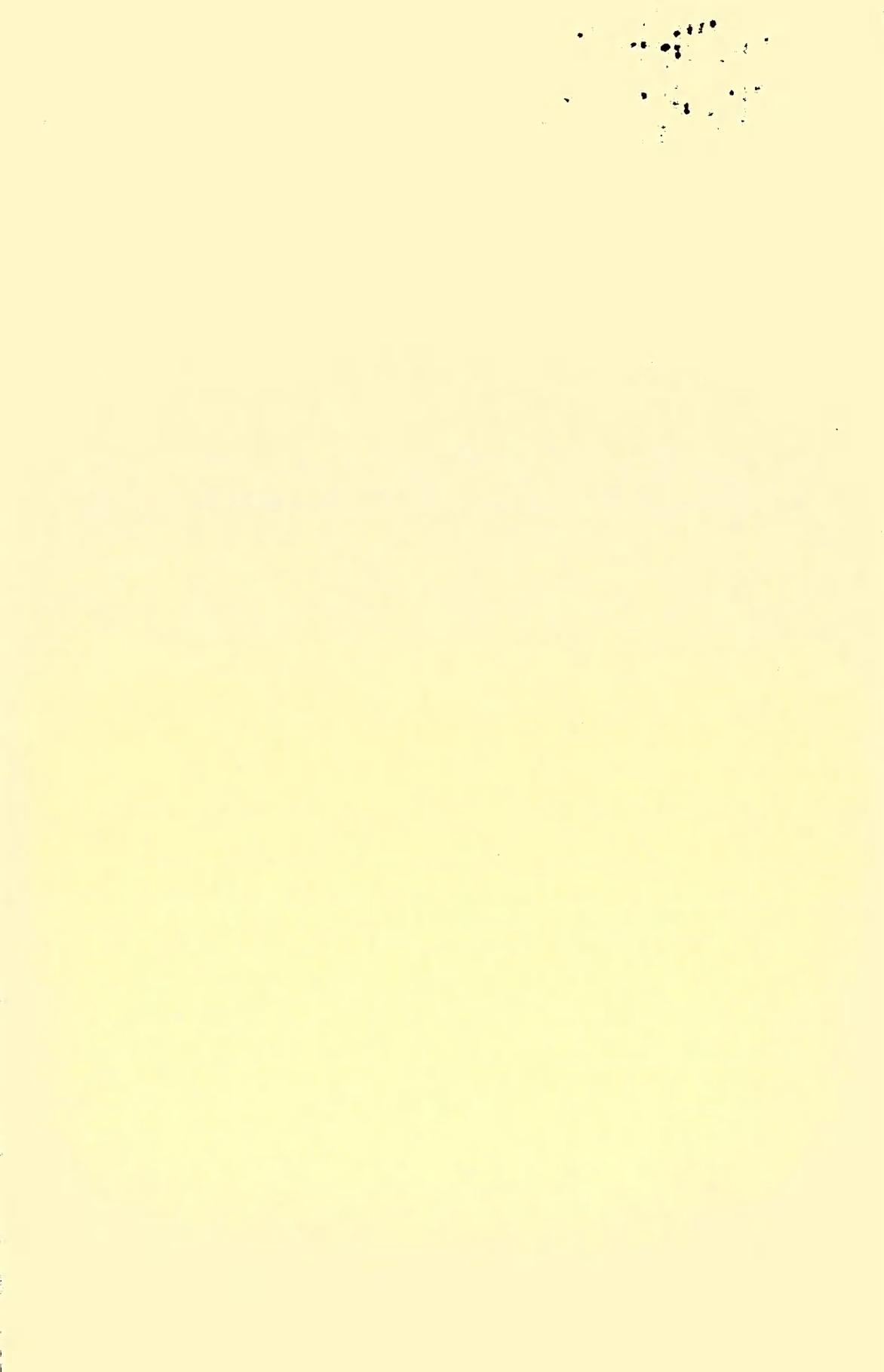
---

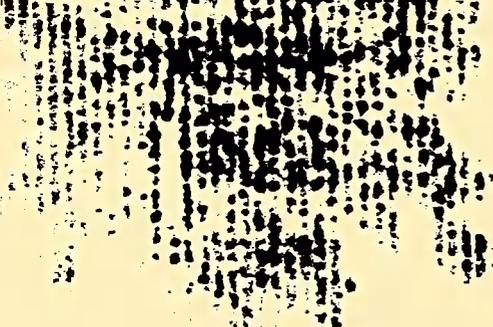
TABLE DES MATIÈRES.

	<b>Pages.</b>
I. Introduction . . . . .	3
II. Bases physico-chimiques de l'amalgamation . . . . .	6
1. Mouillage de l'or par le mercure . . . . .	7
2. Système or-mercure . . . . .	10
III. Technique de l'amalgamation au laboratoire . . . . .	12
IV. Programme des essais . . . . .	18
V. Technique expérimentale et échantillons étudiés . . . . .	19
VI. Granulométrie de l'échantillon . . . . .	22
1. Durée de broyage . . . . .	22
2. Dilution . . . . .	25
VII. Durée d'amalgamation . . . . .	29
VIII. Dilution . . . . .	31
IX. Quantité de mercure . . . . .	33
X. Influence des réactifs . . . . .	36
XI. Influence de la préparation mécanique . . . . .	38
1. Influence du mode de surbroyage . . . . .	39
2. Influence du séchage . . . . .	48
XII. Discussion des résultats obtenus . . . . .	50









---

IMPRIMERIE MARCEL HAYEZ  
Rue de Louvain, 112, Bruxelles  
Domicile légal : rue de la Chancellerie, 4

---

Printed in Belgium.