

bois jusqu'à ce que le mélange soit parfait ; on ajoute encore la seconde poignée de poussière de plombagine , et l'on agite pour arriver à un mélange complet. On retire alors le vase de dessus le feu, en continuant de remuer ce qu'il contient jusqu'à son entier refroidissement.

Usage. — Cette composition est appliquée sans être chauffée , et à l'aide d'un pinceau, sur les tourillons, les dents des roues , etc.; il suffit ordinairement de graisser ainsi toutes les vingt-quatre heures.

Résultats. — Les machines employées à une affinerie de fer, un petit fourneau anglais pour refondre la fonte et une aiguiserie, coûtaient en huile, suif et poix minérale consommés, dans chaque semaine, 6 fl. 29 kr. Depuis qu'on a remplacé ces matières par la composition indiquée ci-dessus, la dépense n'est plus que d'un fl. 38 kr. Il suffit de deux livres de ce mélange pour l'affinerie, autant pour le service du fourneau, et une livre pour l'aiguiserie. L'économie qui peut résulter de l'usage de la composition que nous avons indiquée n'est point à négliger dans les usines où il y a beaucoup de machines.

Sur le traitement métallurgique des alliages de cuivre et d'argent.

Par M. P. BERTHIER.

IL semble, au premier aperçu, que rien ne soit plus facile que de séparer le cuivre et l'argent l'un de l'autre. En effet, la théorie suggère l'idée d'un grand nombre de moyens fort simples qui paraîtraient devoir conduire au but ; cependant il n'en est pas ainsi. La plupart de ces moyens ont été essayés sans succès : ceux qu'on est obligé d'employer sont longs, compliqués et dispendieux, et il est certain que la séparation de l'argent d'avec le cuivre est une des opérations métallurgiques les plus embarrassantes. J'ai fait, à ce sujet, un grand nombre d'expériences de laboratoire, qui montrent à quoi tient la difficulté de cette opération, et qui sont propres à faire apprécier le mérite relatif des différens moyens que l'on a proposés et quelques autres que j'ai cru pouvoir tenter. Je vais faire connaître ces expériences et les observations qui en sont la conséquence, en examinant successivement les procédés qui sont à ma connaissance. Comme mon intention n'est pas de donner les détails techniques de ces procédés, je m'étendrai plus ou moins sur chacun d'eux, selon que cela conviendra au but que je me propose.

1°. *La coupellation* avec le plomb est un moyen extrêmement ingénieux de séparer le cuivre de l'argent. Les anciens le connaissaient, et il paraît même qu'ils n'en avaient pas d'autres. Ce moyen est simple, et ne présente aucune difficulté dans l'exécution. A la rigueur, on peut l'employer,

Coupellation.

quelle que soit la proportion relative de cuivre et d'argent, et c'est ce que l'on fait dans les essais en petit; mais malheureusement son application en grand est restreinte à un certain nombre de cas par la raison d'économie; c'est ce que les considérations suivantes feront facilement concevoir. La quantité de plomb nécessaire pour faire passer à la coupelle une partie de cuivre pur n'est pas constante, elle est d'autant moins grande que la température est plus élevée; mais dans les fourneaux de coupelle ordinaires, on sait qu'elle s'élève à 16 parties (1). Quand le cuivre est allié avec l'argent, il faut beaucoup plus de plomb encore pour en déterminer l'oxidation, et il en faut d'autant plus qu'il y a plus d'argent: ainsi, pour un alliage composé de parties égales des deux métaux, on évalue la quantité de plomb nécessaire pour la coupellation à 10 ou 12 parties, c'est-à-dire à 20 ou 24 fois le poids du cuivre. Il résulte de la coupellation des litharges cuivreuses, les unes pauvres et les autres riches en argent, et des fonds de coupelles qui retiennent aussi de l'argent. Les litharges pauvres ne peuvent pas être livrées au commerce, à cause du cuivre qu'elles contiennent; il faut nécessairement les revivifier et séparer ensuite l'un de l'autre le plomb et le cuivre dont se compose l'alliage; les litharges et les fonds de coupelle qui contiennent de l'argent doivent également être revivifiés, et produisent un alliage de plomb et de cuivre dont il faut extraire l'argent, soit en coupellant de nou-

(1) Elle ne peut réellement pas être beaucoup moindre dans la coupellation en grand, parce que si pour la diminuer on élevait la température, on perdrait du plomb par volatilisation, et les litharges deviendraient si liquides, qu'elles traverseraient rapidement la sole et détruiraient le fourneau.

veau, soit par d'autres moyens. Ces diverses opérations sont longues, et occasionnent toujours des pertes considérables de cuivre, d'argent et sur-tout de plomb. Lorsque l'alliage à traiter est riche, il faut peu de plomb pour le coupeller: l'opération produit peu de litharges, et la quantité d'argent que celles-ci retiennent est très-peu considérable, comparativement à celle que contient l'alliage; mais quand, au contraire, l'alliage renferme peu d'argent, il est nécessaire d'employer beaucoup de plomb: il en résulte une quantité considérable de litharges, et la proportion d'argent qu'elles entraînent est grande, relativement à celle qui se trouve séparée de l'alliage. On voit, d'après cela, que pour extraire une partie d'argent de son alliage avec le cuivre par le procédé de la coupellation, les frais et les pertes augmentent dans une progression très-rapide avec la quantité de cuivre que contient l'alliage. L'expérience a appris que l'on ne doit jamais traiter par la coupellation des cuivres argentifères qui contiennent moins de moitié d'argent: quant à ceux qui sont plus riches, le choix de la méthode dépend des circonstances locales; mais on peut dire qu'en général la coupellation ne convient, pour des alliages qui ne sont pas très-riches, que dans les lieux où le plomb et le combustible sont abondans et à très-bas prix.

2°. Le cuivre et le plomb n'ont qu'une très-faible affinité l'un pour l'autre, il est même douteux qu'ils puissent former entre eux une véritable combinaison; car lorsqu'on les fait fondre ensemble, le culot qu'on obtient est rarement homogène, et présente presque toujours des parties d'un rouge de cuivre et d'autres qui ont la couleur du plomb, et il est d'ailleurs très-facile de sé-

Liquation.

parer les deux métaux l'un de l'autre. Quand on soumet l'alliage à une chaleur modérée, suffisante seulement pour fondre le plomb, tout ce métal s'écoule et le cuivre reste à-peu-près pur : si l'alliage contient de l'argent, le plomb en entraîne une partie, et l'autre partie reste en combinaison avec le cuivre; on a donné à cette opération le nom de *liquation*. La liquation est généralement pratiquée pour traiter les cuivres argentifères pauvres, qui contiennent tout au plus 0,0075 d'argent (12 onces au quintal ancien de cuivre rouge); cette méthode a cependant de grands inconvénients, mais on n'en a pas trouvé de meilleure : elle exige un temps très-long (il faut trois ans pour obtenir à l'état de pureté les deux métaux contenus dans l'alliage et le plomb que l'on emploie pour les séparer); elle nécessite par conséquent un capital considérable. De plus, elle est très-dispendieuse, parce qu'il se perd une grande quantité de plomb dans les différentes opérations inhérentes à la méthode : on évalue généralement cette perte à la moitié du poids de l'alliage. Enfin, elle ne donne pas tout l'argent : le cuivre en retient environ 0,0003 ($\frac{1}{2}$ once au quintal) lorsqu'il est de bonne qualité, et jusqu'à 0,0006 (1 once au quintal) quand il est très-impur. En compulsant le mémoire de M. Manès sur les usines du pays de Mansfeld (*Ann. des mines*, t. IX, p. 3), on trouve que dans ces usines, pour traiter par le moyen de la liquation 1,000^k. de cuivre noir, les consommations et les frais sont comme il suit :

| | | | | |
|--------------------------|--------------------|--------|----------------------|-------------------------|
| Charbon de bois. | 10,3 | valant | 134 ^l ,80 | } 476 ^l ,80; |
| Fagots. | 1270 | | 28, 10 | |
| Bois de corde. | 0,8 | | 7, 00 | |
| Plomb. | 533 ^k . | | 259, 90 | |
| Main-d'œuvre. | | | 47, 00 | |

ce qui fait voir que la dépense équivaut à la valeur de 2^k,2 d'argent, et que par conséquent il n'y aurait aucun bénéfice à liquater du cuivre qui ne contiendrait pas plus de 0,0022 *de fin*. M. Napione rapporte qu'à la fonderie de Tayova, dans la Haute-Hongrie, on déduit pour les dépenses de la liquation 4 onces d'argent contenu dans chaque quintal de cuivre noir (0,0025) qu'on apporte à la fonderie, et que cependant celle-ci est en perte.

L'expérience a montré que lorsque le cuivre renferme plus de 0,006 à 0,008 d'argent, on ne peut pas en séparer ce métal par une seule liquation, et qu'il faut réitérer cette opération un certain nombre de fois, qui dépend de la richesse de l'alliage, en employant chaque fois 3 à 4 parties de plomb pour une de cuivre. M. Napione a été obligé de *rafraîchir* et de *liquater* cinq fois de suite de la monnaie de billon qui contenait environ 0,30 d'argent, pour en extraire tout ce métal. Il est évident, d'après cela, que cette méthode, déjà si peu avantageuse pour traiter des alliages pauvres, ne peut être appliquée à des alliages riches que bien rarement, et seulement dans les lieux où le plomb et le combustible sont à vil prix.

3°. On sait que l'*amalgamation* est employée depuis long-temps, avec un très-grand avantage, pour extraire l'argent des *minerais maigres*, c'est-à-dire des minerais qui ne contiennent ni cuivre ni plomb. Cette méthode paraît avoir été portée à sa perfection en Saxe. On en jugera par le tableau suivant, dans lequel j'ai consigné tous les résultats obtenus pendant le troisième trimestre de 1822, dans la belle usine d'Halsbrucke près Freyberg. Je dois la communication de ces ré-

Amalgama-
tion

sultats, qui sont officiels, à la complaisance de M. Reich, officier des mines de Saxe (1).

Pendant ce trimestre, on a traité dans l'usine

16116¹. $\frac{3}{8}$ de minerai de Freyberg, contenant, d'après l'essai 6556,15 m. d'arg.
327 $\frac{7}{8}$ de minerai du Haut-Elzgebirge, contenant.. 490,6

Tot. 16444 $\frac{3}{8}$, contenant 7047,5

Le minerai cru. 16444 quint. $\frac{3}{8}$
a successivement produit :

Minerai grillé. 15074 quint.
Argent amalgamé. 289 quint.
Amalgame rougi. 10624 marcs.
Argent impur. 10415 marcs.

Cet argent impur contenait, d'après l'essai, argent pur. 7324 11

A soustraire pour les essais. 9 2

A soustraire comme *re-medium*. 256 15

Reste, argent pur. 7058 10 7058 marcs 10 ls.

D'après l'essai du minerai, on ne devait en avoir que 70471,5.

L'opération a donc donné 11 marcs 5 loths de plus.

Les consommations et dépenses ont été comme il suit :

(1) 1 quintal = 110 livres = 53k,845.

1 livre = 2 marcs = 32 loths : 1 loth = 4 gros.

1 écu = 24 gros : 3 écus = à-peu-près 11 fr.

1 mesure de bois = 324 pieds cubes de Leipsick.

1 boisseau de houille = 4,7 pieds cubes.

1 voie de charbon ou de tourbe = 12 corbeilles.

1 corbeille = 14 pieds cubes de Leipsick.

| Opérations | CONSOUMATIONS et motifs des dépenses. | Dépenses. |
|-------------------------|---|--|
| Achat du minerai. | Payé aux exploitations. | écus. gros. 57883,00 |
| | Octroi royal et autres contributions. | 119,22 |
| | Pour les essais. | 44,23 |
| | Pour le transport à l'usine. | 206,23 |
| | | 70054 ^{éc.} , 205 ^{g.} |
| Grillage. | 1558 ¹ . de sel marin, à 2 éc. 12 g. | 389,5 |
| | 5 mesures de bois, à 8 éc. 8 gr. | 41,16 |
| | 5236 boiss. de houille, à 12 gros $\frac{1}{8}$ | 2645, 6 |
| | Aux ouvriers grilleurs. | 1175, 6 |
| | Aux manœuvres. | 189,15 |
| | | 7946 ^{éc.} , 195 ^{g.} |
| Amalga- mation. | Main-d'œuvre pour tamiser. | 215, 4 |
| | Main-d'œuvre pour mouler. | 533,18 |
| | 6 quint. $\frac{1}{4}$ 9 liv. de mercure perdu dans l'amalgamation, à 82 écus $\frac{1}{2}$ | 564, |
| | 16 quint. de plaques de fer, à 6 écus 2 gros. | 110, |
| | Main-d'œuvre. | 357,18 |
| | | 1780 ^{éc.} , 165 ^{g.} |
| Distilla- tion. | 5 quint. 4 liv. de mercure perdu dans la distillation de l'amalgame. | 54,22 |
| | 5 voies 3 corbeilles de charbon, à 5 écus 12 gros. | 28,21 |
| | 19 voies 3 corbeilles de tourbe, à 2 écus 2 gros. | 55, 8 |
| | Main-d'œuvre. | 20, 3 |
| | | 159 ^{éc.} , 6g. |
| Fusion de l'argent. | 6 voies 2 corbeilles de charbon. | 33,22 |
| | 6 voies 10 corbeilles de charbon pour les essais. | 37,14 |
| | Main-d'œuvre. | 6, 3 |
| | | 77 ^{éc.} , 155 ^{g.} |
| | TOTAL. | éc. g. 80,018,4 |

D'après ces données, on voit :

1°. Que pour extraire l'argent de 1000 kilogrammes de minerai contenant environ 0,0019 de fin, on dépense à Freyberg 328 fr., en ayant égard à la valeur du minerai, ou 40 fr. pour tous frais de traitement, et que l'on consomme 0^k,454 de mercure valant 2^f,54. (Dans l'opération, on en emploie 14^k,78, mais la plus grande partie est recueillie dans la distillation);

2°. Que pour obtenir 1 kilog. d'argent, on dépense en frais de traitement 20 fr., et on consomme 0^k,364 de mercure;

3°. Que pour griller 1000 kilogr. de minerai, on dépense 32^f,35, et que l'on consomme 95 kil. de sel marin;

4°. Que pour amalgamer 1000 kil. de minerai grillé, on dépense 7^f,10;

5°. Que pour distiller 1000 kil. d'argent amalgamé, on dépense 36^f,60;

6°. Et enfin que pour fondre 1000 kil. d'amalgamé rouge, on dépense 94 francs.

On n'a fait mention dans ces calculs ni des frais d'administration, ni des dépenses d'entretien, ni de l'intérêt du capital engagé dans l'établissement, parce qu'on manquait des renseignements nécessaires; mais il paraît que ces éléments ne modifieraient pas beaucoup le résultat final que présente le tableau.

J'ai examiné chimiquement quelques-uns des produits de l'établissement d'Halsbrucke, je vais faire connaître les résultats que j'ai obtenus, parce qu'ils sont propres à donner une idée exacte de ce qui se passe dans le travail métallurgique.

Parmi les minerais il y en a qui sont très-pyreux et d'autres qui ne le sont presque pas. Les

minerais les moins pyriteux sont blancs ou blancs-grisâtres; ils contiennent beaucoup de quartz et de baryte sulfatée, environ 0,15 de carbonates de fer et de manganèse, des pyrites arsenicales en très-petite quantité, un peu de cuivre, et ils donnent, à l'essai, 0,0018 d'argent; lorsqu'on les fait bouillir avec de l'acide sulfurique concentré, tout le cuivre se dissout, mais la liqueur ne renferme qu'une trace d'argent.

Le mélange des divers minerais préparés dans l'usine pour être soumis au grillage est composé, indépendamment du sel marin qu'on y ajoute dans la proportion de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{10}$, de :

| | | | |
|-------------------------------|-------|-------|------------------------------------|
| Quarz. | } | 0,278 | |
| Baryte sulfatée, etc. | | | |
| Carbon. de chaux. | | 0,050 | |
| Carbon. de magnésie. | | 0,030 | |
| Carbon. de manganèse. | | 0,042 | |
| Carbon. de fer. | | 0,045 | |
| Carbon. de cuivre. | | 0,012 | |
| Carbon. de plomb. | | 0,040 | |
| Fer métallique. | } | 0,197 | |
| Soufre | | | } Persulfure de fer. 0,285 |
| Arsenic. | | | |
| Argent. | 0,002 | | |
| | 0,982 | 0,483 | |

L'argent est amené en totalité à l'état de chlorure par le grillage; car lorsqu'on fait digérer le minerai grillé avec de l'ammoniaque, tout ce métal est dissous, et en saturant l'alcali par de l'acide nitrique, il se précipite sous forme de chlorure.

Les boues qui sortent des tonnes d'amalgamation ont donné, à l'analyse :

| | |
|--|-------|
| Matières insolubles dans les acides. . . | 0,446 |
| Peroxyde de fer. | 0,380 |
| Chaux, alumine, acide sulfurique. . . | 0,018 |
| Oxyde de cuivre. | 0,010 |
| Oxyde de plomb. | 0,028 |
| Sels solubles dans l'eau. | 0,100 |

0,982

Elles ne produisent, à l'essai, que 0,0002 d'argent, ce qui fait voir que ce métal est très-exactement enlevé par le mercure.

L'eau d'amalgamation, dans laquelle se trouvent tous les sels solubles qui se forment dans l'opération, contient :

| | | | | |
|----------------|---|------------------------------|-------|-------|
| Sels anhydres. | { | Sulfate de soude | 0,069 | 0,526 |
| | | Muriate de soude. | 0,019 | 0,143 |
| | | Muriate de magnésie... . . | 0,009 | 0,067 |
| | | Muriate de manganèse. . . | 0,036 | 0,264 |
| | | Fer, cuivre, mercure.. . . . | 0,000 | 0,000 |
| | | | 0,133 | 1,000 |

On l'emploie, dit-on, comme engrais : il serait facile d'en extraire beaucoup de sulfate de soude. On pouvait s'attendre à y trouver des sels de fer ; mais il paraît que ce métal, continuellement agité au contact de l'air, passe entièrement à l'état de peroxyde, et que cet oxyde est précipité par les bases plus fortes que lui, la chaux, la magnésie et le protoxyde de manganèse.

Outre l'argent, l'amalgame renferme du cuivre et une trace d'autres métaux. L'amalgame qui s'écoule immédiatement des tonnes est beaucoup moins cuivreux que celui que l'on recueille par le lavage des boues dans les cuves. On a trouvé dans l'argent provenant de la distillation du premier 0,15 à 0,20 de cuivre, et dans le résidu de

la distillation du second 0,67 de cuivre sur 0,33 d'argent. Quoiqu'il en soit, on voit que tout le cuivre ne passe pas à beaucoup près dans l'amalgame : il est probable que la seule portion qui se combine avec le mercure est celle qui se trouve encore à l'état de chlorure quand le grillage est terminé.

Les grands avantages que présente l'amalgamation pour traiter les minerais maigres ont fait penser à plusieurs métallurgistes qu'on pourrait l'appliquer au traitement des alliages de cuivre et d'argent : c'est à cause de cela que j'ai cru devoir entrer dans quelques détails relativement à cette méthode. Napione dit qu'il l'a vue s'exécuter en grand sur du cuivre noir à Smoëlnitz, dans la Haute-Hongrie ; mais il ne donne aucun renseignement technique et économique ; il en a lui-même fait l'essai en petit sur des mattes cuivreuses qui contenaient 0,11 à 0,12 d'argent (1), et quoiqu'il ait été obligé de griller et d'amalgamer à trois ou quatre reprises, il prétend que, par ce moyen, la dépense ne s'élèverait pas au cinquième de ce que coûterait la liquation.

M. Schwartz, après beaucoup de tentatives, est parvenu à extraire complètement par l'amalgamation l'argent contenu dans les mattes cuivreuses et ferrugineuses qui proviennent des schistes bitumineux de Mansfeld, et le gouvernement saxon a fait construire, auprès de Grosörner, une usine, dans laquelle on peut amalgamer annuellement 50,000 à 60,000 kil. de matte par son procédé. L'usine a été en activité pendant quelque temps, et le procédé, mis ainsi à l'épreuve en

(1) *Journal des mines*, n°. 58, p. 791.

grand, a parfaitement réussi : M. Manès nous en a fait connaître tous les détails (1). En comparant ce procédé à la liquation, on trouve qu'il est plus expéditif, qu'il donne plus d'argent et du cuivre plus pur, mais qu'il produit une quantité moindre de ce dernier métal. Quant à la question principale, celle de la dépense, elle n'est malheureusement pas encore résolue : les travaux de l'usine ont été interrompus par suite de circonstances particulières, et l'on n'a pas encore les renseignements économiques suffisants. La multiplicité des opérations que M. Schwarz est obligé de faire pour amener tout l'argent à l'état de chlorure et pour retirer ensuite le cuivre des boues qui contiennent beaucoup de sulfate de chaux fait craindre que sa méthode ne soit pas plus économique que la liquation ; mais peut-être apprendra-t-on à la simplifier par l'usage, en évitant, par exemple, l'addition de la chaux, si cela est possible.

Scorification
avec la
litharge.

4°. L'affinité du cuivre et du plomb pour l'oxygène est très-peu différente : dans la coupellation, le plomb s'oxide beaucoup plus rapidement que le cuivre ; le deutoxide de cuivre oxide facilement le plomb, mais il n'est ramené par ce métal qu'à l'état de protoxide ; enfin, la litharge peut protoxider le cuivre ; mais son action est limitée par les masses : théoriquement, il semble que 1 atome de litharge (2789,00) devrait suffire pour protoxider 2 atomes de cuivre (1582,78) ; mais l'expérience démontre qu'il en faut une bien plus grande quantité. J'ai chauffé 10 parties de cuivre rouge en limaille avec 2, 3, 4 et jusqu'à 10 par-

(1) *Annales des mines*, t. IX, p. 68.

ties de litharge, et j'ai toujours obtenu pour culots métalliques des alliages imparfaits de cuivre et de plomb ; les scories étaient très-fluides, compactes, opaques, d'un rouge foncé et presque toujours très-cristallines. Dans l'expérience où j'ai employé 3 parties de litharge, le culot métallique pesait 10,5, et s'est trouvé composé de :

Cuivre. 7,74
Plomb. 2,76 ;

la scorie devait par conséquent contenir environ :

0,915 d'oxide de plomb,
et 0,085 de protoxide de cuivre.

D'une part, une portion du cuivre échappe à l'action de l'oxide de plomb, à cause de la grande fusibilité de la scorie qui permet à l'alliage de se précipiter promptement au fond du creuset, et d'un autre côté cette action s'affaiblit à mesure que la proportion de protoxide de cuivre qui se combine avec l'oxide de plomb augmente, et il y a même un terme où elle devient tout-à-fait nulle.

Comme la litharge n'attaque aucunement l'argent, il est certain qu'on pourrait en séparer beaucoup de cuivre en fondant l'alliage granulé avec cette matière ; mais il est évident, d'après ce qu'on vient de voir, qu'il en faudrait une très-grande quantité, d'autant plus que la forte affinité que possède l'argent pour le cuivre serait un nouvel obstacle à l'oxidation de celui-ci. Ce moyen, qui d'ailleurs ne dispenserait pas de faire une coupellation, n'est donc pas susceptible d'être employé en grand.

5°. Selon M. Andrew Thomson, on peut sé-

Scorification
avec le per-
oxide de
manganèse.

parer tout le cuivre des alliages d'argent riches en les traitant par le peroxide de manganèse.

On réduit l'alliage en lames très-minces, qu'on roule en spirale et qu'on enveloppe de peroxide de manganèse; on chauffe pendant un quart d'heure à la température de la fusion de l'argent; on mélange ensuite le tout avec trois parties de verre pilé, et l'on pousse à fusion: tout l'argent se réunit en culot, et les oxides de manganèse et de cuivre se dissolvent dans la scorie.

On parvient effectivement à affiner complètement par ce moyen de l'argent, tel que celui des monnaies, qui ne contient que 0,10 de cuivre tout au plus; il n'est pas même nécessaire pour cela de faire deux fusions, en ajoutant à l'oxide de manganèse environ la moitié de son poids de verre à pivettes et, si l'on veut, un peu de litharge, pour rendre la scorie plus fusible. En réitérant plusieurs fois la même opération, il serait évidemment possible aussi d'extraire de l'argent pur d'un alliage de cuivre quelconque; mais il y a beaucoup de motifs pour que ce procédé, que l'on n'emploiera pas dans les laboratoires, parce qu'on en a de meilleurs, ne puisse pas non plus être pratiqué en grand: d'abord, le peroxide de manganèse est une substance assez rare et chère; en second lieu, la grande masse de matière qu'il faudrait fondre occasionnerait une grande consommation de combustible; mais un inconvénient beaucoup plus grand encore, et qui paraît être inévitable, c'est que les scories retiendraient une quantité très-notable d'argent, que l'on ne pourrait en extraire qu'allié avec le cuivre. En effet, non-seulement l'argent est oxidé comme le cuivre par le peroxide de manganèse, mais lorsqu'il a été amené à cet état, un grand nombre de substances, entre autres les silicates

de cuivre et de manganèse, empêchent l'oxide de se réduire par la chaleur. J'ai chauffé à la température d'environ 60° pyrométriques,

| | | |
|--------|---|---------------------------------|
| 33 gr. | { | 5 gr. d'argent fin en poudre, |
| | | 5 gr. de peroxide de manganèse, |
| | | 3 gr. de verre à pivettes, |
| | | 20 gr. de litharge: |

j'ai eu une scorie très-fluide, compacte, à cassure unie et luisante, opaque et d'un noir brunâtre foncé, et un petit bouton d'argent pesant seulement 0,85; 4,85 de ce métal étaient donc restés en combinaison dans la scorie à l'état d'oxide.

| | | |
|--------|---|---|
| 30 gr. | { | 10 gr. d'alliage de cuivre et d'argent contenant environ 0,13 d'argent, |
| | | 10 gr. de peroxide de manganèse, |
| | | 5 gr. de verre à pivettes, |
| | | 5 gr. de litharge, |

chauffés comme ci-dessus, ont donné une scorie bien fondue, compacte, à cassure unie, noire et un peu métalloïde, et un culot métallique blanc rougeâtre pesant 18,20. Par la coupellation, ce culot a produit 08,80 d'argent, la scorie devait donc en contenir environ 08,50, c'est-à-dire plus du tiers de ce qu'en renfermait l'alliage.

6°. Le sulfate de plomb oxide très-promptement le cuivre à la chaleur rouge:

Scorification
avec le sul-
fate de
plomb.

| | | |
|---------------------|---|--|
| 53 ⁸ ,73 | { | 15 ⁸ ,82 cuivre métallique en limaille. 2 at. |
| | | 37 ⁸ ,91 sulfate de plomb. 1 at. |

se sont fondus avec effervescence et bouillonnement, et ont produit une scorie très-liquide, compacte, à cassure unie et luisante, opaque, et d'un très-beau rouge de cire à cacheter. Lorsqu'on emploie le double de sulfate de plomb, la

scorie contient du deutroxyde de cuivre, et est de couleur chocolat.

Le sulfate de plomb oxide aussi l'argent; mais comme lorsqu'on a poussé à fusion, la plus grande partie de l'oxide formé se réduit, on espérait pouvoir précipiter la portion restée dans les scories par un métal plus oxidable, tel que le cuivre ou le plomb: malheureusement les choses ne se passent pas de cette manière, et les expériences qui suivent prouvent au contraire que l'oxide d'argent est retenu dans les oxides métalliques par une très-forte affinité.

16^g,26 { 6^g,76 d'argent fin en poudre. 1 at.
 { 9^g,50 sulfate de plomb. 1 at.

ont donné une scorie aussi fluide que de la litharge, d'un gris sale, opaque, mate et un peu cristalline, et un culot d'argent pesant 5^g,85. Il y avait donc dans la scorie 0^g,91 d'argent, c'est-à-dire environ un dixième de son poids. La plus grande partie de l'argent a dû être oxidée et réduite ensuite, sans quoi il n'y aurait eu qu'une très-petite quantité de sulfate de plomb de décomposée, et la scorie ne se serait pas fondue.

30 gr. { 10 gr. alliage de cuivre contenant 0,14 d'arg.
 { 20 gr. sulfate de plomb

ont donné une scorie très-liquide, que l'on a pu couler dans une lingotière, et un culot métallique blanc d'argent pesant 1^g,10. On a refondu la scorie dans le même creuset, et on a placé par-dessus 10^g. de plomb: on a eu un culot métallique pesant 10 grammes.

Le premier culot ayant été coupellé, on l'a trouvé composé de 0,78 d'argent et 0,32 de cuivre.

Le second culot n'a pu passer à la coupelle qu'avec l'addition de 10^g. de plomb; il a laissé

0^g,20 d'argent, et il contenait 1^g. de cuivre et 7^g. de plomb.

Ainsi, au total, en employant 2 de sulfate de plomb et 2 de plomb, on a extrait de l'alliage 0,10 d'argent et 0,13 de cuivre; mais il est resté dans les scories 0,04 d'argent et 0,73 de cuivre combinés à l'état d'oxide avec 2,5 d'oxide de plomb. Ces scories réduites donneraient un alliage qui pourrait être liquaté, mais dont on ne séparerait pas tout l'argent par une seule opération, puisque ce métal s'y trouverait dans la proportion de 5 sur 95 de cuivre.

45 gr. { 15 gr. alliage de cuivre contenant 0,05 d'arg.
 { 30 gr. sulfate de plomb,

chauffés jusqu'à fusion, ont laissé un bouton métallique pesant 0^g,20, et contenant seulement 0^g,02 d'argent. On a refondu la scorie dans le même creuset avec 20^g. de plomb, et on a eu un culot pesant 15^g., qui, pour passer à la coupelle, a exigé l'addition de 30^g. de plomb, et a produit un bouton d'argent pesant 0^g,14: il suit de là qu'il contenait environ 3^g. de cuivre, et que la scorie devait encore retenir 0^g,29 d'argent et 12^g. de cuivre.

J'ai essayé d'ajouter au mélange de l'alliage et du sulfate de plomb une certaine quantité de sable siliceux (environ un cinquième); mais les scories ont toujours retenu au moins le septième de l'argent contenu dans l'alliage. Dans une expérience où j'ai employé 13^g. de pièces de 1 fr., 19^g. de sulfate de plomb et 6^g. de quartz, j'ai obtenu immédiatement 9^g,2 d'argent parfaitement fin.

7°. La présence de l'oxide de cuivre contribue plus que toute autre substance à empêcher la

Action du sulfate de cuivre sur l'argent.

réduction de l'oxide d'argent par la chaleur. Quand on chauffe 1 atome d'argent en poudre avec environ 1 atome de sulfate de cuivre anhydre, il y a dégagement rapide de gaz sulfureux; tout l'argent s'oxide, et la combinaison qui se produit fond et traverse le creuset beaucoup plus promptement que ne le fait la litharge. Quand on ajoute une certaine quantité de deutoxide de cuivre pour diminuer la fusibilité, lors même que la matière reste pâteuse, elle attaque très-fortement le creuset, et le pénètre totalement si l'on ne se hâte de le retirer du feu aussitôt que la réaction a eu lieu.

Action du deutoxide de cuivre sur l'argent. 8°. Le deutoxide de cuivre oxide l'argent aussi facilement que le sulfate, et est ramené à l'état de protoxide par l'action de ce métal. Un mélange, à parties égales d'argent en poudre et de deutoxide de cuivre, est à peine chauffé au rouge, que tout l'argent est oxidé, et que la matière, devenue liquide comme de l'eau, passe à travers le creuset.

Action du minium sur l'argent. 9°. Enfin, l'argent est oxidé aussi par le minium, et l'oxide formé reste en partie combiné avec la litharge que le minium produit. On a chauffé jusqu'au rouge, en graduant la chaleur avec ménagement, 1^{g.} d'argent en poudre et 25^{g.} de minium. La matière est devenue promptement très-fluide, mais n'a pas traversé le creuset: elle ressemblait à de la litharge, mais sa couleur tirait plutôt sur le jaune verdâtre que sur le rouge: il y avait au fond du creuset un bouton d'argent du poids de 0^{g.}5; il y en avait donc une quantité égale en combinaison avec la litharge.

Lorsque l'on chauffe un alliage de cuivre et d'argent avec du minium, une partie de l'argent

s'oxide et reste dans les scories, quoique le culot métallique que l'on obtient contienne une certaine quantité de plomb.

35 gr. } 10 gr. d'un alliage de cuivre conten. 0,14 d'arg.
25 gr. de minium

ont produit une scorie cristalline, opaque, d'un vert foncé terne, et un culot composé de 5,65 de cuivre, 0^{g.}65 de plomb et 0^{g.}90 d'argent: la scorie contenait par conséquent 0^{g.}5 d'argent.

L'argent se comporte avec un grand nombre de matières oxidantes comme le plomb, métal avec lequel il a d'ailleurs beaucoup d'autres analogies, et son oxide est un fondant beaucoup plus actif encore que la litharge.

L'oxide d'argent, une fois qu'il est combiné avec d'autres oxides, résiste à l'action des métaux plus oxidables que lui et de tous les réductifs; ou bien il ne s'en réduit qu'une portion, qui est à-peu-près proportionnelle à celle des autres oxides qui se réduisent en même temps, et l'autre portion reste dans les scories. Cette propriété mérite d'être remarquée, parce qu'elle rend raison d'un grand nombre de faits métallurgiques, et parce qu'elle est la cause des grandes difficultés que l'on éprouve à séparer complètement l'argent de toutes les matières cuivreuses.

J'ai chauffé 20^{g.} d'une scorie argentifère, composée de 0,40 de protoxide de cuivre et 0,60 d'oxide de plomb avec 1^{g.} de charbon en poudre, j'ai obtenu un culot de cuivre un peu plombeux, du poids de 4 grammes.

J'ai fondu 20^{g.} de la même scorie avec 3^{g.} de fer métallique en limaille, il en est résulté un culot rouge grisâtre, qui pesait 7^{g.}, et qui conte-

nait 4g. de plomb et 3g. de cuivre; dans les deux essais, la scorie retenait un peu d'argent.

Sulfuration
par le soufre.

10°. Il y a long-temps que l'on sait employer le soufre pour séparer l'argent de l'or. M. Nazione a proposé, à la fin du siècle dernier, de se servir du même agent pour séparer le cuivre de l'argent (1). Il a fait l'essai de son procédé sur de la monnaie de billon, qui contenait environ 0,25 de fin, et il a obtenu un alliage à 0,75 d'argent, et une matte dans laquelle il n'y avait plus que 0,11 de ce métal; mais il a reconnu que l'on ne pouvait séparer exactement les deux métaux l'un de l'autre, et que ce moyen ne pouvait servir qu'à concentrer une bonne partie de l'argent dans un nouvel alliage susceptible d'être passé immédiatement à la coupelle, sauf à traiter ensuite la matte d'une manière convenable, et la meilleure lui a paru être l'amalgamation. J'ai chauffé

32 gr. | 30 gr. de pièces de 1 fr. laminées, avec
2 gr. de soufre,

il s'est formé un culot pesant 21g., qui contenait 20g,15 d'argent et 0g,85 de cuivre, et une matte, dans laquelle il devait y avoir, d'après cela, 7g. d'argent sur 2g,2 de cuivre.

29g,5 | 25g. de cuivre contenant 0,14 d'argent et
4g,5 de soufre

ont donné un culot métallique d'un blanc pâle, pesant 5g,2, et composé de 2g. d'argent et de 3g,2 de cuivre, et une matte qui devait contenir 1g,5 d'argent sur 18g,3 de cuivre: ainsi l'alliage obtenu n'était pas assez riche pour mériter d'être

(1) *Journal des mines*, n°. 58, p. 791.

coupellé, quoiqu'il pesât cinq fois moins que l'alliage employé.

11°. La pyrite de fer ordinaire agit sur les alliages de cuivre et d'argent à-peu-près comme le soufre pur.

Sulfuration
par les
pyrites.

12°. Le cuivre a plus d'affinité pour le soufre que le plomb, car ce dernier métal est sans action sur le sulfure de cuivre; cependant il paraît qu'il est impossible de désulfurer complètement la galène par le cuivre, il se forme toujours en même temps un alliage des deux métaux, et une matte, qui est composée de sulfure de cuivre et de sous-sulfure de plomb.

Sulfuration
par la
galène.

63g,4 { 50g. de galène. 1 at.
13g,4 de cuivre rouge 1 at.,

pouvant donner le sulfure double PS+CS, ont été chauffés dans un creuset brasqué à la température d'environ 60° pyr.; le culot obtenu a pesé 60g,50: ainsi il y a eu perte de 2g,9 par volatilisation. Le culot se composait de 20g. de plomb un peu cuivreux et d'une matte lamelleuse grise, semblable à de la galène: cette matte pesait 40g,50, ce qui prouve qu'elle devait contenir beaucoup de sulfure de plomb; car 13g,4 de cuivre ne donneraient que 16g,8 de sulfure; de plus, il est évident que le plomb ne pouvait y être qu'à l'état de sous-sulfure.

76g,80 { 50g. de galène. 1 at.
26g,8 de cuivre rouge 2 at.

chauffés à la même température que l'essai précédent, ont donné un culot de plomb bien ductile, pesant 38g., et une matte semblable pour l'aspect au sulfure de cuivre. Le culot de plomb contenait 2g,6 de cuivre et 35g,4 de plomb; il

devait par conséquent y avoir dans la matre 50g. de sulfure de cuivre et 7 à 8g. de sous-sulfure de plomb, en supposant qu'il y ait eu une légère perte par volatilisation.

Comme l'argent pur n'est pas sulfuré par la galène, on pouvait espérer qu'en fondant du cuivre argentifère avec cette matière on concentrerait tout le métal fin dans du plomb un peu cuivreux, mais susceptible de passer à la coupelle: en conséquence, on a fait les essais suivants, qui ont montré qu'il reste toujours dans les mattes une quantité d'argent variable, mais que l'on ne peut jamais négliger, et qui est même quelquefois considérable.

12g,25 { 10g. pièces de 1 fr. laminées,
2g,5 de galène,

ont donné un culot métallique pesant 10g,8, et qu'on a trouvé composé de 8g,60 d'argent, 0g,50 de cuivre et 1g,70 de plomb: d'après cela, la matre devait retenir 0g,4c d'argent.

27 gr. { 10 gr. de cuivre contenant 0,14 d'argent,
17 gr. de galène,

chauffés dans un creuset brasqué, ont donné un culot pesant 26g,4, formé de 14g,3 de plomb un peu cuivreux et d'une matre pesant 12g,1, et qui ne retenait que 0g,014 d'argent.

50 gr. { 10 gr. de cuivre contenant 0,14 d'argent,
20 gr. de galène,
20 gr. de plomb,

ont donné un culot de plomb très-peu cuivreux, pesant 32g., et une matre dans laquelle on a trouvé par la coupellation 0g,50 d'argent.

30 gr. { 10 gr. de cuivre contenant 0,03 d'argent,
20 gr. de galène

ont donné un culot de plomb qui pesait 11g,1, et qui contenait 0g,24 d'argent et 1g. de cuivre, et une matre qui retenait 0g,06 d'argent.

70 gr. { 10 gr. de cuivre contenant 0,03 d'argent,
20 gr. de galène,
40 gr. de plomb

ont donné un culot de plomb pesant 50g., et une matre dans laquelle on n'a trouvé; par la coupellation avec du plomb, que 0g,0025 d'argent.

La galène ne peut donc pas servir pour séparer immédiatement tout l'argent du cuivre par simple sulfuration; mais on verra plus tard qu'il est très-probable qu'en procédant d'une autre manière cet agent pourrait être employé avec grand avantage pour traiter les cuivres argentifères.

Le sulfure d'argent joue, par rapport aux sulfures de cuivre et de plomb, le même rôle que l'oxide d'argent par rapport aux oxides de ces deux métaux, et il est même plus difficile de séparer complètement l'argent d'une matre sulfureuse que d'une matière oxidée.

11 gr. { 10 gr. de sulf. de cuiv. contenant 0,008 d'arg.
1 gr. de nitre

ont donné un bouton de cuivre rouge, pesant 0g,27, et une matre. Le bouton de cuivre, coupellé avec 5g. de plomb, a laissé 8 millig. d'argent, c'est-à-dire le dixième de ce qu'en contenait le sulfure.

31g,5 { 50g. du même sulfure,
1g,2 de carbonate de soude,
0g,3 de poussière de charbon

ont produit 1g. de cuivre rouge et une matre

cristalline, d'un gris sombre. On a trouvé par la coupellation que le bouton de cuivre contenait 12 millig. d'argent. La matte ayant été refondue avec 25. de carbonate de soude et 05,4 de charbon, on a eu 25. de cuivre rouge, qui renfermait 20 millig. d'argent et une seconde matte, dans laquelle se trouvait la plus grande partie de l'argent.

145,2 $\left\{ \begin{array}{l} 10\text{g.} \text{ du même sulfure,} \\ 4\text{g.} \text{ de carbonate de soude,} \\ 05,2 \text{ de poussière de charbon} \end{array} \right.$

ont donné un culot de cuivre pesant 15., qui ne contenait que 10 millig. d'argent, et une matte dans laquelle il devait y avoir sept fois autant de ce métal.

Grillage et fusion alternative des mattes cuivreuses argentifères.

13°. Jars, ayant remarqué que le cuivre métallique que l'on trouve çà et là dans les tas de minerais pyriteux grillés à Chessy contient une quantité notable d'argent, quoique le minerai n'en renferme qu'une trace, en conclut que l'on pourrait, en grillant imparfaitement et fondant alternativement une pyrite cuivreuse argentifère, concentrer tout l'argent dans une très-petite masse de cuivre; mais il s'est convaincu en même temps que pour extraire par ce moyen tout l'argent du minerai, il faudrait réitérer les mêmes opérations un grand nombre de fois; ce qui occasionnerait une très-grande consommation de combustible et des pertes importantes sur les métaux (1).

Grillage et fusion avec matières plombées.

14°. Crammer fondait le cuivre argentifère déjà liquaté avec des pyrites, puis il refondait la matte crue avec des scories, des matières plombées

(1) *Voyages métallurgiques*, t. 3, p. 264 et 281.

et du fer métallique; il en résultait une nouvelle matte et un alliage de plomb et de cuivre argentifère; il soumettait cet alliage à la liquation pour en séparer le cuivre, et il coupellait le plomb; il faisait griller la seconde matte à 4 ou 5 feux, mais avec de grandes précautions, afin de ne pas en séparer trop de soufre; il fondait cette matte rôtie au fourneau à manche, et elle produisait du cuivre plombifère qui contenait encore beaucoup d'argent et une troisième matte, que Crammer traitait pour cuivre noir, quoiqu'elle retint encore une quantité très-notable d'argent (1). On voit par ces exemples avec quelle opiniâtreté l'argent est retenu par les métaux sulfurés.

15°. Jars a conseillé de traiter les minerais de cuivre sulfurés ou les mattes cuivreuses argentifères avec de la litharge au four à réverbère, en chauffant d'abord avec ménagement, pour minéraliser, dit-il, une partie du plomb par le moyen du soufre contenu dans les minerais ou dans la matte; puis, ajoutant de la poussière de charbon et de la chaux, et élevant la température pour réduire le reste de la litharge, d'où il résulterait, selon lui, du plomb cuivreux qui entraînerait la plus grande partie de l'argent et des mattes, dans lesquelles il y aurait encore une certaine quantité de ce métal (2). Mais il paraît que Jars n'a fait pas l'essai de ce procédé; car il aurait vu que la litharge n'agit pas sur le sulfure de cuivre comme il le pense.

Sulfure de cuivre argentifère et litharge.

La litharge décompose le sulfure de cuivre; le cuivre est oxidé au minimum, le soufre se dégage

(1) *Voyages métallurgiques*, t. 3, p. 271.

(2) *Voyages métallurgiques*, t. 3, p. 274.

à l'état d'acide sulfureux et il se produit une quantité de plomb pur correspondante à la quantité de cuivre et de soufre brûlés; mais jamais il ne se forme de sulfure de plomb. L'action de la litharge est d'ailleurs faible, ou plutôt très-limitée, parce qu'elle devient nulle dès que l'oxide de plomb se trouve combiné avec une certaine quantité de protoxide de cuivre. J'ai fondu :

sulfure de cuivre. . . 10g. — 10g. — 10g.
avec litharge 20 — 100 — 250;

les scories étaient vitreuses, d'un beau rouge vif, et j'ai eu, dans la première expérience, un mélange de sulfure de cuivre et d'un peu de plomb; dans la seconde, un culot de plomb surmonté d'une petite quantité de sulfure de cuivre, et pesant ensemble 28g, et dans le troisième, un culot de plomb tout pur, qui pesait 38g,50.

Dans la méthode de Jars, il serait donc superflu d'ajouter du charbon, cette addition serait même nuisible; ce serait une véritable scorification. Pour obtenir tout l'argent du sulfure par une seule opération, il faudrait employer vingt-cinq fois son poids de litharge, ce qui serait fort dispendieux, et l'on aurait ensuite à coupeller environ quatre fois son poids de plomb. Si l'on employait moins de litharge, il resterait des mattes moins riches peut-être que le sulfure, mais dont on serait obligé d'extraire l'argent par un moyen quelconque : cette méthode n'est donc pas praticable.

Sulfure de cuivre argentifère et sulfate de plomb. 16°. On pourrait scorifier complètement une partie de sulfure de cuivre avec 10 parties de sulfate de plomb; mais alors tout l'argent se

trouverait à l'état d'oxide dans la scorie, et l'on a vu qu'il serait fort difficile de l'en extraire.

17°. Le sulfure et le deutoxide de cuivre réagissent l'un sur l'autre à une température peu élevée : quand on les mélange dans le rapport de leurs atomes, ils se réduisent en totalité en cuivre rouge; quand on emploie 2 atomes de deutoxide pour 1 atome de sulfure, le tout se transforme en protoxide. Le protoxide de cuivre est peu fusible, mais si l'on y ajoute une certaine quantité d'oxide de plomb, il devient parfaitement liquide. D'après cela, j'ai essayé de fondre du sulfure de cuivre argentifère avec un mélange de deutoxide de cuivre, ou du même sulfure changé en deutoxide par le grillage, et de litharge ou de galène; mais dans toutes les expériences que j'ai faites, les scories ont toujours retenu beaucoup d'argent.

53 gr. $\left\{ \begin{array}{l} 10 \text{ gr. de sulfure de cuivre conten. } 0,10 \text{ d'arg.} \\ 25 \text{ gr. de deutoxide de cuivre,} \\ 18 \text{ gr. de litharge} \end{array} \right.$

se sont parfaitement fondus à la chaleur de 60° pyr. On a eu une scorie compacte, éclatante, d'un très-beau rouge et un culot métallique rouge pâle, pesant 3g. Ce culot, soumis à la coupellation, n'a laissé que 0g,60 d'argent, tandis que le sulfure en contenait 1g.

126 gr. $\left\{ \begin{array}{l} 10 \text{ gr. du même sulfure,} \\ 80 \text{ gr. de deutoxide de cuivre,} \\ 56 \text{ gr. de galène} \end{array} \right.$

se sont facilement liquéfiés et ont donné une scorie compacte, d'un très-beau rouge, et un bouton de cuivre du poids de 1g, qui ne contenait que 2 décigrammes d'argent.

Sulfure de cuivre argentifère et deutoxide de cuivre avec matières plombeuses.

Dans un troisième essai, où l'on a employé un peu plus de galène, il est resté le sixième de l'argent dans les scories, quoique la quantité de cuivre produite fût de 15 parties pour 10 de sulfure.

Sulfure de
cuivre ar-
gentifère
grillé et ga-
lène.

18°. Si l'argent contenu dans les matières oxidées était moins difficile à réduire, on aurait eu un moyen très-simple de le concentrer en entier dans une petite quantité de cuivre, en oxidant d'abord l'alliage et en le fondant ensuite avec de la galène; ce moyen aurait pu être d'autant plus avantageux qu'il aurait servi en même temps à désulfurer la galène et à en extraire l'argent.

69^g,55 } 39^g,64 de deutocide de cuivre. . . 4 at.
29^g,91 de galène. 1 at.

ont réagi promptement l'un sur l'autre; il y a eu grand dégagement d'acide sulfureux, et la matière est facilement entrée en pleine fusion. Elle se composait d'un culot de cuivre rouge pur, pesant 7^g. et d'une scorie compacte, vitreuse, d'un beau rouge foncé et un peu métalloïde. Il s'est probablement volatilisé du soufre dans le commencement de l'opération, sans quoi on aurait obtenu deux fois plus de cuivre, puisqu'on aurait dû avoir 2 atomes d'acide sulfureux, 1 atome d'oxide de plomb, 2 atomes de protoxide de cuivre et 1 atome de cuivre métallique. Les scories devaient être composées d'environ 28^g. d'oxide de plomb et 32^g. de protoxide de cuivre. Elles auraient indubitablement retenu de l'argent, si les matières employées dans l'expérience en eussent contenu; mais peut-être que la quantité en aurait été assez peu considérable pour qu'on pût l'extraire par une seule liquation, quelle qu'ait été la richesse de la galène et du deutocide

de cuivre. Il serait utile de faire l'essai de ce moyen en grand, en employant des minerais de cuivre sulfuré ou de cuivre gris très-argentifères grillés au four à réverbère.

19°. On coupelle facilement le sulfure d'argent avec trois fois son poids de plomb et même avec moins. Le cuivre pur en exige environ 16 fois son poids; mais il devient infiniment plus oxidable lorsqu'il est combiné avec le soufre: aussi peut-on coupeller le sulfure de cuivre avec une proportion de plomb beaucoup moindre. A la rigueur, 2 parties suffisent lorsque la chaleur est très-forte; mais alors la coupelle se couvre d'une croûte épaisse de scories presque jusqu'à son centre, et elle se fend presque toujours. Avec 3 parties, la matière forme promptement un bain à surface plane, qui ne tarde pas à se découvrir au centre, et qui se coupelle facilement et très-promptement; il y a des scories sur les bords, mais le fond est parfaitement uni. Avec quatre parties, il y a moins de scories, et avec cinq parties il n'y en a souvent pas du tout. Quand le sulfure de cuivre contient une forte proportion d'argent, l'opération marche mieux encore, et l'on peut employer moins de trois parties de plomb.

Coupe-
lacion directe
du sulfure de
cuivre argen-
tifère avec
du plomb.

L'argent que l'on obtient ainsi est pur et forme un bouton très-net; mais il en reste toujours dans les scories et dans le fond de coupelle une quantité très-notable, qui, d'après ce qu'on a vu plus haut, s'y trouve probablement à l'état d'oxide. Cette quantité est d'autant plus grande que la matte est plus riche, mais elle n'est pas à beaucoup près proportionnelle à cette richesse: en sorte que plus la matte est pauvre et plus est

grande la quantité d'argent qui reste dans les scories proportionnellement à celle que l'on obtient sur la coupelle. J'ai coupellé

| | | | | |
|-------|---|--------|---|--------------------------------------|
| 8 gr. | { | 2 gr. | { | 2 gr. de sulfure de cuivre contenant |
| | | 10 gr. | | 0,015 d'argent, |
| | | 6 gr. | | 8 gr. de plomb, |

et j'ai obtenu, dans diverses opérations 20 à 25 milligr. d'argent; c'est-à-dire des deux tiers aux $\frac{3}{4}$ du total. Dans un essai qui n'avait produit que 20 milligr., j'ai fondu la coupelle pulvérisée avec trois fois son poids de flux noir, et j'ai soumis l'alliage qui en est résulté à la coupellation avec quantité suffisante de plomb: le grain d'argent qui est resté pesait 10 milligr., qui, ajoutés aux 20 milligr. déjà obtenus, donnent le total contenu dans la matte.

5g. d'une matte contenant 0,64 d'argent ont été coupellés avec 6g. de plomb; l'opération n'a présenté aucune difficulté, et elle a donné 1g,82 d'argent: il a dû, par conséquent, rester dans la scorie 0g,10 de métal; c'est le dix-neuvième du total.

La coupellation directe du sulfure de cuivre argentifère avec trois ou quatre parties de plomb ne serait donc pas un moyen rigoureux d'en faire l'essai en petit; mais il serait possible que, dans plusieurs circonstances, on trouvât de l'avantage à l'exécuter en grand, et alors l'emploi du soufre pour enrichir les alliages deviendrait fort commode: il conviendrait de faire l'opération dans un fourneau à sole de marne fortement tassée; on aurait soin de repousser fréquemment les scories de la circonférence au centre, et de les plonger de temps en temps dans le bain métallique: comme la plus grande partie du cuivre s'oxide

pendant le grillage du sulfure, on pourrait enlever le plomb au moment où il serait complètement découvert et brillant, et en achever la coupellation dans un autre fourneau: alors l'opération se ferait en deux parties, dont la première serait analogue à ce qu'on appelle en docimasie une *scorification*. J'ai trouvé par expérience que quand on coupelle du sulfure de cuivre avec trois parties de plomb, il reste encore au moins la moitié de ce métal au moment où le grillage s'achève, et que le bain contient environ 0,09 de cuivre, ou le cinquième de ce qu'en renferme le sulfure: d'après cela, les matières oxidées qui restent sur la coupelle au même moment doivent être composées d'à-peu-près 0,66 d'oxide de plomb et 0,34 d'oxide de cuivre.

Ce résultat fait voir que l'on pourrait commencer la coupellation avec plus de trois parties de plomb sans consommer une plus forte proportion de ce métal, pourvu que l'on chargeât la coupelle d'une nouvelle dose de sulfure aussitôt que le bain serait découvert. Cette manière de procéder serait peut-être préférable à la première, parce que l'œuvre ne s'enrichirait que peu-à-peu, et parce que la matière argentifère présenterait une plus grande surface de contact au plomb et au vent qui devrait en opérer l'oxidation.

Quant aux divers produits de la coupellation, il faudrait les classer suivant leur richesse pour en extraire l'argent. La plupart seraient susceptibles d'être liquatés après avoir été réduits, et donneraient du cuivre pur et du plomb argentifère, qui servirait pour de nouvelles opérations. Les premiers produits seraient les plus riches, et souvent on ne pourrait pas en retirer

tout l'argent par la liquation : alors ils donneraient un cuivre argentifère, qu'il faudrait soumettre à de nouvelles opérations métallurgiques ; mais, dans ce cas, je crois qu'il serait préférable de les traiter par l'acide sulfurique de la manière qui sera décrite plus loin ; la plus grande partie de l'argent se dissoudrait probablement avec le cuivre ; on le précipiterait par ce métal, l'on ferait cristalliser le sulfate de cuivre, et s'il restait de l'argent dans le sulfate de plomb, rien ne serait plus aisé que de l'en extraire : l'acide sulfurique combiné au plomb serait perdu ; mais c'est un inconvénient qu'il ne me paraît pas possible d'éviter.

Coupellation des alliages de cuivre et d'argent avec de la galène et du plomb.

20°. La galène, mêlée avec à-peu-près son propre poids de plomb, se transforme en sous-sulfure en se combinant avec ce métal. Le sous-sulfure de plomb passe très-bien à la coupelle, et perd tout son soufre long-temps avant que l'opération soit terminée (1) ; d'un autre côté, on a vu que le cuivre décompose la galène en grande partie, et qu'il en résulte une matte composée de sulfure de cuivre et de sous-sulfure de plomb. Il était naturel de penser, d'après cela, que le cuivre rouge, et à plus forte raison les alliages de cuivre et d'argent, pourraient se coupler directement avec un mélange de galène, auquel on ajouterait une certaine quantité de plomb beaucoup moindre que celle qui aurait été nécessaire sans la présence de la galène. L'expérience a pleinement confirmé cette conjecture,

14 gr. $\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ gr. de cuivre rouge,} \\ 4 \text{ gr. de galène,} \\ 8 \text{ gr. de plomb} \end{array} \right.$

(1) *Annales des mines*, t. 5, p. 334.

se sont coupillés comme du sulfure de cuivre et de plomb : il y avait des scories brunes mamelonnées sur les bords de la coupelle ; et sur le fond, qui était uni, on apercevait dans une fissure un très-petit grain d'argent qui provenait de la galène.

La coupellation peut même s'effectuer sans difficultés avec une proportion moindre de plomb. Avec

11 gr. $\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ gr. de cuivre,} \\ 4 \text{ gr. de galène,} \\ 5 \text{ gr. de plomb,} \end{array} \right.$

elle a eu lieu de la même manière que dans l'essai précédent, et il n'est pas resté du tout de cuivre au fond de la coupelle.

Pour savoir si la totalité de l'argent de l'alliage pouvait être immédiatement séparée du cuivre par ce moyen, j'ai coupillé

11 gr. $\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ gr.} \\ 4 \text{ gr.} \\ 7 \text{ gr.} \end{array} \right.$ 11 gr. $\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ gr. d'un alliage contenant } 0,14 \\ \text{d'argent,} \\ 4 \text{ gr. de galène,} \\ 5 \text{ gr. de plomb.} \end{array} \right.$

Les deux essais ont très-bien marché, et ils ont donné chacun un bouton d'argent pesant 29 centig. : on a trouvé, par la voie humide, que ces boutons contenaient encore un peu de cuivre, mais en quantité très-petite : il s'ensuit que le fond de coupelle et les scories ne devaient pas retenir sensiblement d'argent.

J'ai encore coupillé

8 gr. $\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ gr. d'alliage contenant } 0,90 \text{ d'argent,} \\ 2 \text{ gr. de galène,} \\ 4 \text{ gr. de plomb,} \end{array} \right.$

j'ai obtenu 18,76 d'argent pur ; il n'en restait donc que très-peu dans la coupelle.

Enfin, j'ai essayé de diminuer la proportion du plomb pour coupeller les alliages riches.

30 gr. $\left\{ \begin{array}{l} 10 \text{ gr. d'un alliage contenant } 0,90 \text{ d'argent,} \\ 10 \text{ gr. de galène,} \\ 10 \text{ gr. de plomb,} \end{array} \right.$

se sont coupelés sans difficulté; la coupelle n'était pas gercée et ne contenait pas de scories, et l'argent est resté tout-à-fait pur.

Il résulte des expériences que je viens de rapporter, que la galène est un des meilleurs agens dont on puisse se servir pour traiter les alliages de cuivre et d'argent par la voie sèche. L'emploi de cette matière est d'autant plus avantageux que lorsqu'elle est elle-même argentifère, on en extrait l'argent dans l'opération. Comme les scories, les litharges et les fouds de coupelles contiendraient beaucoup d'acide de cuivre, on serait nécessairement obligé de les réduire et de liquater l'alliage pour obtenir le cuivre pur; l'alliage étant peu riche, le plomb entraînerait tout l'argent, et l'on n'éprouverait par conséquent aucune perte sur ce métal. Ce procédé, qui paraît devoir être fort simple et peu dispendieux, mérite, ce me semble, d'être essayé par les métallurgistes qui ont à leur disposition de la galène argentifère et des alliages de cuivre et d'argent, ou des minerais de cuivre argentifères.

Coupe-
lation du sul-
fure de cui-
vre argenti-
fère avec de
la galène et
du plomb.

21°. J'ai voulu voir si le sous-sulfure de plomb ne pourrait pas servir tout aussi bien que le plomb métallique à la coupellation du sulfure de cuivre; en conséquence, j'ai placé dans une coupelle

10 gr. $\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ gr. de sulfure de cuivre contenant } 0,015 \text{ d'arg.} \\ 4 \text{ gr. de galène} \\ 4 \text{ gr. de plomb} \end{array} \right\} 8 \text{ gr. de sous-sulfure de plomb,}$

et je me suis convaincu que l'essai marchait absolument de la même manière que lorsqu'on emploie quatre parties de plomb sans galène: la coupelle n'était pas du tout fondue; mais je n'ai obtenu que 23 millig. d'argent: ainsi il en est resté 7 mill. (plus du cinquième) dans le fond de coupelle.

22°. La séparation de l'argent d'avec le cuivre étant toujours longue et difficile par la voie sèche, on a songé dès long-temps à l'opérer par la voie humide, en imitant ce que l'on fait souvent en petit dans les laboratoires; on a proposé successivement l'acide nitrique et l'acide sulfurique: il y a effectivement des localités où ces deux acides peuvent être employés avec beaucoup d'avantage, et comme le prix en diminue tous les jours, il est probable que l'usage s'en propagera.

L'acide nitrique de force ordinaire attaque très-facilement le cuivre et l'argent, même à froid; les deux sels qui se forment sont très-solubles: on en précipite l'argent par une portion de l'alliage, s'il est suffisamment cuivreux; en sorte que l'on ne consomme que la quantité d'acide nécessaire pour dissoudre le cuivre; cette quantité peut être évaluée à sept ou huit parties d'acide à 1,25 de densité pour une partie de cuivre. Si, comme de savans praticiens l'assurent, on peut, par des moyens simples, ramener à l'état d'acide nitrique le gaz nitreux qui se dégage, la consommation serait diminuée d'un tiers. Ce procédé très-simple est excellent et doit être employé de préférence à tous les autres pour traiter des alliages un peu riches par-tout où l'acide nitrique est à bas prix; c'est

Traitement
des alliages
de cuivre et
d'argent par
l'acide
nitrique!

le seul qui soit pratiqué à Birmingham, la ville du monde où l'on fabrique la plus grande masse d'objets en cuivre plaqué et argenté. Malheureusement on ne peut l'employer actuellement nulle part en France, parce que le nitre de l'Inde, qui est reçu en Angleterre presque sans rien payer, n'entre en France que chargé de droits exorbitans qui maintiennent cette matière à un prix très-élevé.

On peut extraire l'acide nitrique du nitrate de cuivre par le moyen de l'acide sulfurique; mais cela ne se fait jamais à Birmingham, parce que les grandes fabriques qui se sont élevées dans cette ville pour préparer des couleurs cuivreuses, et entre autres des cendres bleues, avec les sels qui proviennent du traitement des matières argentifères, préfèrent pour cet usage le nitrate de cuivre au sulfate, et paient le premier beaucoup plus cher qu'elles ne paieraient le dernier. Cette circonstance contribue à rendre l'emploi de l'acide nitrique très-avantageux. On voit ici un exemple frappant du secours mutuel que peuvent se prêter divers genres d'industrie. En Angleterre, ce secours ne manque jamais quand il est possible, parce que lorsqu'un produit secondaire quelconque d'une fabrique peut être de quelque utilité, il est aussitôt mis à profit.

Traitement des alliages de cuivre et d'argent par l'acide sulfurique. 23°. On sait que l'acide sulfurique concentré et bouillant attaque le cuivre et l'argent: cet acide peut donc servir, comme l'acide nitrique, à séparer ces deux métaux l'un de l'autre. Bucholz a le premier proposé de l'employer en grand, et il a recherché, par des expériences faites avec beaucoup de soin sur un des alliages au titre de 0,63, quelle serait la consommation de l'acide,

et quel devait être son degré de concentration pour qu'il agisse avec le plus d'efficacité sur l'alliage. Comme l'acide sulfurique est maintenant à très-bas prix, ce moyen paraît, au premier coup-d'œil, devoir être très-économique; mais l'expérience a fait voir qu'il présente dans l'exécution des difficultés difficiles à vaincre, et qui en restreignent beaucoup les avantages: aussi, jusqu'à présent, on ne l'a employé que dans un petit nombre d'endroits. On tient généralement secrets les détails du procédé; mais nous devons à M. Karsten une relation circonstanciée d'un essai qu'il a fait sur 50 kilog. de billon (*Archives métallurgiques*, t. 6, pag. 370), dans laquelle on trouve tous les renseignemens essentiels. C'est de cette relation que j'ai extrait ce qui suit.

Théoriquement, pour dissoudre 1 atome de cuivre, il faut 4 atomes d'acide sulfurique, d'où il suit qu'une partie de cuivre en poids exige un peu plus de 3 parties d'acide sulfurique au maximum de concentration. L'argent en exige un peu moins de son propre poids. Mais dans la réalité, on ne parviendrait pas à dissoudre ces métaux si l'on n'employait que la quantité d'acide rigoureusement calculée, il faut nécessairement que celui-ci soit en excès. L'acide le plus concentré possible n'est pas celui qui agit le mieux sur le cuivre et sur l'argent: il convient de le mêler, en commençant, avec la moitié de son poids d'eau.

Le sulfate de cuivre, étant peu soluble dans les liqueurs acides, se dépose promptement au fond des vases, pêle-mêle avec des grains d'alliage qu'il défend contre l'action de l'acide, avec de l'argent précipité par le cuivre, et avec du sulfate d'argent qui, ne s'étant pas trouvé en contact immédiat avec

Le cuivre, n'a pas été réduit ; lorsqu'on étend d'eau pour dissoudre le sulfate de cuivre, tout l'argent est précipité, et il n'en reste pas la plus petite trace dans la liqueur, si l'opération n'a pas été trop loin ; mais le dépôt retient du cuivre. Il paraît qu'il contient aussi des sulfates ; car si on le fond avec de la potasse, on trouve dans la scorie une certaine quantité de sulfure d'argent que l'on ne doit pas négliger.

La dissolution de l'alliage n'ayant lieu qu'à la température de l'ébullition de l'acide ne peut s'effectuer que dans des vases très-résistans et inattaquables : on se sert de chaudières de platine ou de plomb. Les chaudières de plomb sont sensiblement attaquées et sujettes à se percer et à se fondre ; les chaudières de platine ne laisseraient rien à désirer si elles n'exigeaient pas l'emploi d'un capital aussi considérable.

M. Karsten a pris 100 parties (108 marcs, poids de Cologne) de monnaie de billon au titre de 0,208 ; il a fait rougir les pièces pour les débarrasser des matières grasses dont elles étaient enduites, et il les a placées dans une cuvette en plomb criblée de petits trous, et soutenue par trois pieds peu élevés au milieu d'une chaudière aussi en plomb ; puis il a versé dans la chaudière d'abord 150 parties d'eau et ensuite 300 parties d'acide sulfurique concentré, au lieu de 260, qui rigoureusement auraient pu suffire ; il s'est développé une très-grande chaleur, mais la dissolution n'a cependant commencé à s'opérer que lentement. Au bout de trois heures, il a chauffé le liquide jusqu'à l'ébullition, et l'a maintenu dans cet état pendant trente-quatre heures, en remuant fréquemment les pièces avec une barre de cuivre,

et en ajoutant de temps à autre un peu d'eau pour empêcher la dissolution de trop s'épaissir. Au bout de ce temps, l'action de l'acide avait presque entièrement cessé ; les pièces n'étaient pas dissoutes en totalité, mais elles étaient toutes fortement attaquées, et la plupart étaient tombées au fond de la chaudière, en passant à travers les trous de la cuvette : alors il a versé sur la matière une quantité d'eau distillée chaude, suffisante pour dissoudre tout le sulfate, et il a recueilli par la filtration l'argent pulvérulent que la liqueur tenait en suspension : cette liqueur ne renfermait pas la plus petite trace de sulfate d'argent.

Les dissolutions ayant été alternativement concentrées et mises à cristalliser à plusieurs reprises ont produit 183 parties de sulfate de cuivre, équivalant à 56,9 de cuivre, et 223 parties d'eau-mère contenant encore 12,1 de cuivre et 115 parties d'acide sulfurique concentré : il s'était donc dissous 69 parties de cuivre, et comme l'alliage employé en renfermait 79,2 parties, il devait en rester 10,2 parties avec l'argent. En calculant la quantité d'acide sulfurique contenue dans la dissolution, on trouve un déficit d'environ 2 pour 100, qui paraît provenir de ce qu'il se forme du sulfate de plomb et du sous-sulfate d'argent et de cuivre, qui restent dans le dépôt.

On a fondu ce dépôt dans un creuset avec de la potasse ; on en a obtenu, outre un culot métallique, une scorie noire qui contenait du sulfure d'argent ; pour réduire ce sulfure, on a délayé la scorie dans l'eau, et on a fondu le résidu avec de la potasse et un peu de nitre. On a eu en total

un alliage pesant 31,4 parties, et qui contenait 20,3 d'argent 10,2 de cuivre et 0,9 de plomb; il en résulte que la perte d'argent a été de 6 pour 1000 d'alliage et de 3 pour 100 d'argent.

M. Karsten fait observer que l'attaque des alliages, sur-tout de ceux qui ne sont pas très-riches, se ferait beaucoup plus facilement et plus promptement en employant 5 à 6 parties d'acide sulfurique : la dépense ne serait d'ailleurs pas plus grande, puisque l'excès d'acide se retrouverait dans les eaux-mères et pourrait servir à dissoudre une autre partie d'alliage. Il pense aussi que l'on ne peut opérer avec quelque sécurité qu'en employant des vases de platine ou des vases de terre capables de contenir de l'acide sulfurique bouillant : malheureusement les premiers sont fort chers, et l'on sait que l'on n'a pas encore réussi à fabriquer des vases de terre qui remplissent la condition qui paraît nécessaire.

Traitement
du sulfure de
cuivre ar-
gentifère par
grillage et
lexiviation.

24°. Si l'on commençait par sulfurer les alliages de cuivre et d'argent, il serait possible d'en extraire beaucoup de cuivre, et par conséquent de concentrer l'argent dans une petite quantité de ce métal, en traitant la matte comme on traite le sulfure de cuivre lorsqu'on veut en fabriquer du sulfate sans employer d'acide sulfurique, c'est-à-dire en grillant la matière, réduite en poudre fine, dans un four à réverbère, à une température convenablement modérée, la lavant dans l'eau pour dissoudre le sulfate formé, grillant de nouveau le résidu, etc.; mais comme il serait nécessaire de répéter ces opérations un grand nombre de fois, les manipulations seraient longues et exposeraient à perdre beaucoup d'argent.

25°. Il serait certainement préférable de griller les mattes aussi complètement que possible, c'est-à-dire de manière à oxider tout le cuivre, en faisant en sorte cependant de ménager la chaleur avec le plus grand soin, afin d'éviter, autant que cela se peut, la décomposition du sulfate qui se forme, et de faire bouillir la matière grillée avec de l'acide sulfurique. S'il se dissolvait de l'argent avec le cuivre, ce qui arriverait peut-être, on le précipiterait par une portion de l'alliage non sulfuré ou par du cuivre pur. En suivant ce moyen, on économiserait une grande quantité d'acide sulfurique, et l'on n'éprouverait aucune des difficultés que l'on rencontre dans le traitement direct de l'alliage par cet acide. J'entrerai dans quelques détails relativement à ce procédé dans l'article suivant, qui a pour objet l'examen des moyens qu'on pourra appliquer au traitement des minerais d'argent de Sainte-Marie.

Traitement
du sulfure de
cuivre ar-
gentifère
grillé par
l'acide sul-
furique.

Essais sur le cuivre gris de Sainte-Marie-aux-Mines (département du Haut-Rhin);

Par M. P. BERTHIER.

La découverte des mines de Sainte-Marie remonte à une date très-ancienne. L'exploitation de ces mines, fréquemment abandonnée et reprise, a eu des époques très-florissantes. Dans ces derniers temps, elle languissait entre des mains inhabiles sans donner aucun produit. Grâce à M. l'ingénieur Voltz, une société composée d'un petit nombre d'actionnaires riches et éclairés a entrepris de la relever et de lui rendre son ancienne splendeur. Les premiers travaux ont eu le résultat le plus heureux : la société a eu le bon