

de soude ; de sorte qu'il se forme du sulfate de soude et du muriate de cuivre et de fer. J'ai aussi vu mêler au magistral des terres vitrioliques ou de couperose (*tierras de tinta o de alcaparosa*), qui sont des terres ocreuses renfermant de l'oxide de fer au *maximum* et des sulfates de fer. Dans le district des mines de Real de Moran, on emploie, pour préparer le magistral, des pyrites de cuivre de San Juan Sitacora, dont la *carga* se paye à raison de dix piastres. La chaux s'obtient en calcinant de la pierre à chaux bien pure, et en l'éteignant dans l'eau : rarement on substitue l'action des cendres alcalines à celle de la chaux.

C'est par le contact de ces différentes substances, savoir : de la farine métallique humectée, du mercure, du muriate de soude, des sulfates de fer et de cuivre et de la chaux, que se forme l'amalgame d'argent dans le procédé de l'amalgamation à froid (*de patio y por cruto*). On commence d'abord à mêler le sel à la farine métallique, et on remue (*repassa*) la *tourte*. Selon la pureté du sel employé, on donne à chaque quintal de *schlich* une quantité qui varie de deux et demi à vingt

livres : si le muriate de soude est d'une pureté médiocre, on en prend trois à quatre pour cent. On appelle *metales salineros* ceux que l'on croit exiger beaucoup de sel, et dans lesquels le minerai d'argent se trouve en grains d'un volume considérable : on laisse reposer le minerai mêlé au sel (*metal ensalmorado*) pendant plusieurs jours, afin que ce dernier se dissolve et se répartisse également. Si l'*azoguero* juge que les métaux sont *chauds* (*calientes*), c'est-à-dire dans un état d'oxidation, et chargés naturellement, soit de sulfures de fer et de cuivre qui se décomposent rapidement à l'air, soit de muriate d'argent, on ajoute de la chaux pour *refroidir* la masse : cette opération s'appelle *curtir los metales con cal*. On emploie, au contraire, du *magistral*, si les *schlich* paroissent trop *froids* (*frios*), par exemple s'ils proviennent de minerais qui présentent un grand éclat métallique ; s'ils contiennent du sulfure de plomb (*negrillos agalenados*), ou des pyrites difficiles à se décomposer à l'air humide : cette opération s'appelle *curtir con magistral*. On attribue au sulfate de fer et de cuivre la propriété d'*échauffer* la masse ;

on ne la regarde comme bien préparée que lorsque, humectée et placée sur la main, elle cause une sensation de chaleur. Dans ce cas, l'acide sulfurique, qui est concentré dans le sulfate acide, attire l'eau, et se combine avec elle en dégageant du calorique.

Nous venons de décrire deux procédés de préparation chimique de minerais, la *salaison* (*el ensalmarar*), et la manière de les *tanner* (*curtir*) avec de la chaux ou du magistral. Après quelques jours de repos, on commence à *incorporer* (*incorporar*), c'est-à-dire à mêler le mercure à la farine métallique. La quantité de mercure est déterminée par la quantité d'argent que l'on croit retirer des minerais: généralement on emploie dans l'incorporation (*en el incorporo*) six fois autant de mercure que la *tourte* contient d'argent. On compte pour un marc d'argent, trois à quatre livres de mercure: avec ce dernier, ou peu de temps après, on ajoute à la masse, du magistral, selon la nature, ou plutôt, pour n'employer que le langage barbare des *azogueros*, selon la *température* des minerais, *segun los grados de frialdad*. On compte d'une à sept livres de magistral pour chaque

livre de mercure: si le mercure prend une couleur de plomb (*color aplomado*), c'est une marque que la *tourte* travaille, ou que l'action chimique a commencé. Pour favoriser cette action et pour augmenter le contact des substances, on *repassé* (*se da repasso*) ou on remue la masse, soit en forçant une vingtaine de chevaux et de mulets de courir en cercle pendant plusieurs heures, soit en faisant fouler les *schlich* par des ouvriers qui, pendant des journées entières, marchent pieds nus dans ces boues métalliques. Tous les jours l'*azogueros* examine l'état des farines; il fait l'essai (*la tentadura*) dans une petite auge (*xicara*) de bois, c'est-à-dire, il lave une portion de *schlich* avec de l'eau, et juge, d'après l'aspect du mercure et de l'amalgame, si la masse est *trop froide* ou *trop chaude*. Lorsque le mercure prend la couleur cendrée (*en lis cenicienta*); lorsqu'il s'en sépare une poudre grise très-fine qui s'attache aux doigts, on dit que la *tourte* a trop de *chaleur*: on la refroidit en ajoutant de la chaux. Si, au contraire, le mercure conserve un éclat métallique; s'il reste blanc, couvert d'une pellicule rougeâtre ou dorée

(*telilla roxiza* ò *de tornasol morado* ou *en lis dorada*); s'il ne paroît pas agir sur la masse, alors on considère l'amalgame comme trop froid, et on croit l'échauffer (*calentar*) en y mêlant du magistral.

C'est ainsi que, pendant l'espace de deux, de trois, et même de cinq mois, on balance la *tourte* entre le *magistral* et la chaux; car les effets sont très-différens, selon la température de l'atmosphère, selon la nature des minerais et le mouvement que l'on donne au *schlich*. Croit-on que l'action est trop forte et que la masse travaille trop? on lui laisse du repos: veut-on, au contraire, accélérer l'amalgamation et augmenter la chaleur? on répète plus souvent les *repassos*, en employant soit des hommes, soit des mulets. Si l'amalgame se forme trop vite, et qu'il se présente sous la forme de petits globules appelés *pa-sillas* ou *copos*, on nourrit la *tourte* (*si ceba la torta*), en ajoutant de nouveau du mercure avec un peu de magistral, quelquefois même avec du sel. Lorsque, par des caractères extérieurs, l'*azoguero* juge que le mercure s'est uni avec tout l'argent contenu dans les minerais, et que la *tourte* a rendu (*ha rendido*),

on jette les boues métalliques dans des cuves, dont les unes sont de bois et les autres de pierre. Des moulinets garnis d'ailes placées perpendiculairement tournent dans ces cuves. Ces machines (*tinas de cal y canto*), qui sont surtout très-bien exécutées à Guanaxuato, ressemblent à celles établies à Freiberg pour le lavage des résidus de l'amalgamation¹: les parties terreuses et oxidées sont emportées par l'eau, tandis que l'amalgame et le mercure restent au fond de la cuve. Comme la force du courant entraîne en même temps quelques globules de mercure, on voit, dans les grandes usines, de pauvres femmes indiennes occupées à retirer ce métal des eaux du lavage. On sépare du mercure l'amalgame réuni au fond des *tinas del lavadero*, en le pressant à travers des sacs; on le moule en pyramides que l'on recouvre d'un creuset renversé en forme de cloche: l'argent est séparé du mercure au moyen de la distillation. Dans le procédé que je viens de décrire, on perd généralement onze, douze à quatorze onces de mercure sur un marc d'argent que

¹ Fragoso de Sequeira, Description de l'amalgamation de Freiberg, 1800, p. 36.

l'on retire, c'est - à - dire, $1 \frac{4}{10}$ à $1 \frac{7}{10}$ kilogramme de mercure sur un kilogramme d'argent. Dans le procédé d'amalgamation introduit en Saxe par MM. Gellert et Charpentier, la perte du mercure est de $\frac{2}{10}$ kilogramme par kilogramme d'argent, ou huit fois moindre qu'au Mexique ¹.

Nous avons décrit l'amalgamation (*por crudo y de patio*) à froid, sans griller les minerais, et en les exposant dans une cour à l'air libre. Medina ne connut que l'emploi du sel et des sulfates de fer et de cuivre;

² Année commune, on traite par l'amalgamation à l'usine de Halsbrücke, près de Freiberg, cinquante-huit à soixante mille quintaux de minerais maigres, qui tiennent sept à huit lots d'argent par quintal (deux lots font une once). La perte du mercure, dans l'amalgamation proprement dite (*im anquicken*) et dans le lavage des résidus, est de trois quarts d'once (ou d'un lot et un quart) par quintal de minerai. Dans la vaporisation du mercure (*im ausglühen*), on perd un quart de lot de mercure pour la quantité d'argent qui correspond à un quintal de minerai; d'où il résulte, d'après M. Héron de Villefosse, que pour 60,000 quintaux de minerais, on perd ou l'on détruit $25 \frac{1}{2}$ quintaux de mercure. (*Lampadius*, B. II, p. 178.)

mais en 1586, quinze ans après que son procédé fut introduit au Pérou, un mineur péruvien, Carlos Corso de Leca ¹, découvrit le *beneficio de hierro*: il conseilla de mêler de petites plaques de fer aux farines métalliques, assurant que par ce mélange on perdoit neuf dixièmes de mercure de moins. Ce procédé, comme nous le verrons dans la suite, se fonde sur la décomposition du muriate d'argent par le fer, et sur l'attraction de ce métal pour le soufre: il est connu, mais très-peu suivi des *azogueros* mexicains. En 1590, Alonzo Barba proposa l'amalgamation à chaud ou par cuisson dans des cuves de cuivre: on appelle ce procédé le *beneficio de cazo y cocimiento*; c'est celui que M. de Born proposa en 1786. La perte du mercure y est beaucoup moindre que dans le *beneficio por patio*, parce que le cuivre des vaisseaux sert à décomposer le muriate d'argent: la chaleur favorise en même temps l'opération, soit en rendant plus énergique le jeu des affinités, soit en donnant du mouvement à

¹ Carta de Don Juan Carbajal y Sandi, presidente de la real audiencia de la Plata, al Excellentiss. Señor Conde de Chinchon, virey del Perú, 1736.

la masse liquide qui entre en ébullition. On emploie cette amalgamation par cuisson dans plusieurs mines du Mexique qui abondent en argent corné et en *colorados*. Juan de Ordoñez, dont l'ouvrage a été cité plus haut, conseilla même d'amalgamer dans des étuves chauffées par des poêles. En 1676, Juan de Corrosegarra découvrit un procédé peu usité aujourd'hui, que l'on appelle le *beneficio de la pella de plata*, et dans lequel on ajoute au mercure de l'amalgame d'argent déjà formé. On prétend que cet amalgame (*pella*) favorise l'extraction de l'argent, et que la perte du mercure est d'autant moindre que l'amalgame se dissémine plus difficilement dans la masse. Une cinquième méthode est le *beneficio de la colpa*, dans lequel, au lieu d'un *magistral* artificiel, qui contient beaucoup plus de sulfate de cuivre que de sulfate de fer, on emploie la *colpa*, qui est un mélange naturel de sulfate acide de fer et d'oxide de fer au *maximum*. Ce *beneficio de la colpa*, préconisé par Don Lorenzo de la Torre, présente une partie des avantages que nous venons d'indiquer en parlant de l'amalgamation par le fer.

Le procédé inventé par le mineur de Pachuca, est une de ces opérations de chimie que, depuis des siècles, on pratique avec un certain succès, sans que les personnes qui retirent l'argent de son minerai par le moyen du mercure, aient la moindre connoissance et de la nature des substances employées, et du mode particulier de leur action. Les *azogueros* parlent d'un amas de minerais comme d'un corps organisé dont ils augmentent ou diminuent la chaleur naturelle. Semblables aux médecins qui, dans des siècles de barbarie, divisoient tous les alimens et tous les remèdes en deux classes, de chauds et de froids, les *azogueros* ne voient dans les minerais que des substances qu'il faut chauffer par des sulfates, si elles sont trop froides, ou qu'il faut refroidir par les alcalis, si elles sont trop chaudes. L'usage déjà introduit du temps de Pline, de frotter les métaux avec du sel, avant d'y appliquer l'amalgame d'or, a sans doute donné lieu à l'emploi du muriate de soude dans le procédé de l'amalgamation mexicaine : ce sel, disent les *azogueros*, sert à nettoyer (*limpiar, castrar*) et à décaper (*desenzurronar*) l'argent qui se trouve en-

veloppe de soufre, d'arsenic et d'antimoine, comme d'une peau (*telilla* ou *capuz*) dont la présence empêche le contact immédiat de l'argent avec le mercure. L'action de ce dernier métal est rendue plus énergique par les sulfates qui échauffent la masse : il est même probable que Medina n'a employé simultanément le sulfate de fer et de cuivre et le muriate de soude, que parce qu'il reconnut, dans ces premiers essais, que le sel ne favorisoit le procédé que dans des minerais qui contiennent des pyrites décomposées. Sans avoir aucune idée nette de l'action des sulfates sur le muriate de soude, il tâchoit de *refaire les minerais*, c'est-à-dire, d'ajouter du magistral à ceux que le mineur regarde comme *non vitrioliques*.

Depuis qu'en Europe on a commencé à pratiquer l'amalgamation des minerais d'argent, et que des savans de toutes les nations se sont réunis au congrès métallurgique de Schemnitz¹, la théorie confuse de Barba et des *azogueros* américains a été remplacée par

¹ Proprement de Szklono ou Glashütte, près de Schemnitz.

des idées plus saines et mieux adaptées à l'état actuel de la chimie. On suppose que tout ce qui se passe dans l'usine de Freiberg, où l'on amalgame en très-peu d'heures une masse de minerais grillés, doit s'opérer peu à peu dans l'amalgamation du Mexique, où les minerais ne sont généralement pas grillés, et où ils restent exposés à l'air libre, au soleil et à la pluie pendant plusieurs mois. On croit que, dans le mélange humecté de minerais d'argent, de mercure, de sel, de chaux et de *magistral*, ce dernier, qui est un sulfate acide de fer et de cuivre, décompose le muriate de soude; qu'il se forme du sulfate de soude et du muriate d'argent, et que le muriate d'argent est décomposé par le mercure qui s'unit à l'argent désoxidé. On admet que la chaux ou la potasse sont ajoutées pour empêcher que l'acide sulfurique surabondant n'agisse sur le mercure. D'après cette explication, l'argent qui se trouve dans son minerai à l'état métallique, quoique uni au soufre, à l'antimoine, au fer¹, au cuivre,

¹ Dans l'argent noir prismatique. *Klaproth's Beiträge*, T. I, p. 166. *Berghbaukunde*, B. I, p. 239.

au zinc ¹, à l'arsenic ² et au plomb ³, passe à l'état de muriate avant de se combiner avec le mercure.

Un auteur mexicain, M. Garcès ⁴, que nous avons eu occasion de citer plusieurs fois, pense, au contraire, qu'il ne se forme pas de muriate d'argent dans le procédé de l'amalgamation : il suppose que l'acide muriatique ne se combine qu'avec les métaux qui se trouvent unis à l'argent ; que l'eau entraîne les muriates solubles de fer et de cuivre, et que l'argent, dégagé de ces substances métalliques, se combine librement avec le mercure. Cette explication, très-simple en apparence, est contraire aux lois des affinités. Si l'acide muriatique, dégagé par l'action des sulfates sur le muriate de soude, agit sur un minéral d'argent quelconque, par exemple, sur la mine d'argent noir prismatique qui renferme de l'argent, du fer, de l'antimoine, du soufre, du cuivre et de

¹ Dans le fahlerz, le weissgültigerz et le graugültigerz. *Klaproth*, T. IV, p. 61.

² Dans le fahlerz ou cuivre gris argentifère.

³ Dans le weissgültigerz.

⁴ *Teorica del beneficio*, p. 112-116.

l'arsenic, il se formera nécessairement du muriate d'argent, dès que l'acide aura épuisé les autres métaux. La théorie de M. Garcès est aussi inapplicable à l'amalgamation des minerais d'argent sulfuré, qui sont abondamment répandus dans la plupart des filons du Mexique.

Sans entrer, dans cet ouvrage, dans une discussion approfondie des phénomènes que présente le contact de tant de substances hétérogènes ; sans résoudre la question importante si l'on peut amalgamer à froid, sans sel et sans magistral, je me bornerai à citer plusieurs expériences que nous avons faites, M. Gay-Lussac et moi, et qui peuvent répandre quelque jour sur l'amalgamation mexicaine.

Il est faux que le mélange de soufre empêche entièrement l'argent de s'unir au mercure, et qu'un sulfure d'argent ne donne de l'amalgame à froid qu'en y ajoutant du muriate de soude et du sulfate de fer : nous avons observé, au contraire, qu'en triturant du mercure et du sulfure d'argent artificiel, le mercure s'éteint promptement, et que l'on obtient un peu d'argent par la distillation de

l'amalgame. Nous avons mêlé du mercure à de la mine d'argent vitré réduite en poudre : après un contact de quarante-huit heures, il s'est formé un peu d'amalgame d'argent. Dans cette expérience et dans les suivantes, on a agi sur deux ou trois grammes de minéral, la température de l'air étant de dix à douze degrés centigrades, et les mélanges ayant été légèrement humectés.

En imitant l'amalgamation *de patio*, usitée au Mexique, et en mêlant à froid du sulfure d'argent naturel, du sulfate de fer, du muriate de soude et de la chaux, nous n'avons pas trouvé de vestige de muriate d'argent, quoique le mélange soit resté en contact pendant une semaine : on en a obtenu, au contraire, lorsque la masse a été exposée pendant quelques heures à une température artificielle de 30° à 34° centigrades. Dans la région chaude de la Nouvelle-Espagne, les *tortas* exposées au soleil s'échauffent davantage ; aussi observe-t-on que l'amalgamation est bien plus lente sur les plateaux où le thermomètre descend jusqu'au point de la congélation, que dans les vallées profondes et dans les plaines voisines des côtes. Il est probable que

le muriate d'argent qui se forme promptement à 34° de température, se formeroit, dans un long espace de temps, à une température beaucoup moindre.

En mêlant du muriate de soude, du sulfate de fer et du mercure à froid, on obtient du muriate de mercure : ce même muriate se présente aussi lorsqu'on triture du mercure avec du muriate d'argent artificiel. On peut croire que, dans le procédé de l'amalgamation en grand, une partie du mercure se convertit en muriate par deux voies distinctes, savoir, par la décomposition du muriate d'argent, et par l'action immédiate du magistral et du sel, employés en trop grande abondance. La chaux, qui remédie à ce dernier mode d'action, n'enlève pas à froid le soufre à l'argent ; car en mêlant du sulfure d'argent naturel à la chaux, il ne se forme pas de sulfure de chaux, quoique le mélange ait été trituré pendant plusieurs jours. La chaux s'oppose d'une manière très-remarquable à la combinaison de l'argent et du mercure : on observe que celui-ci s'éteint difficilement lorsqu'on triture un mélange de chaux, de sulfure d'argent et de mercure.

De même, en formant une pâte de minéral d'argent, de sel, de magistral et de mercure, et en triturant les *schlich* jusqu'à ce que le mercure devienne invisible, on voit ce dernier métal se séparer de la farine métallique, et se réunir en masses considérables dès que l'on y ajoute de la chaux : des globules de mercure, qui augmentent peu à peu en grosseur, paroissent partout où des molécules de chaux touchent le mélange ; c'est à cause de cette action particulière de la chaux que les *azogueros* disent qu'elle *refroidit* le mercure, ou qu'elle *empêche la tourte de travailler*.

L'acide muriatique, dégagé du muriate de soude par le sulfate de fer, attaque l'argent, quoique ce dernier se trouve dans son minéral à l'état métallique. En traitant de l'argent vitreux avec de l'acide muriatique, on obtient du muriate d'argent en abondance : en versant le même acide sur du sulfure d'argent naturel, il se dégage de l'hydrogène sulfuré. M. Proust a observé que les piastres tombées au fond de la mer, lors du naufrage mémorable du vaisseau San Pedro Alcantara, s'étoient couvertes, dans un court espace de temps, d'une

croûte de muriate d'argent d'un demi-millimètre d'épaisseur : j'ai fait la même observation pendant mon séjour au Pérou, lors du naufrage de la frégate Santa Leocadia, sur les côtes de la mer du Sud, près du cap de Sainte-Hélène. M. Pallas¹ affirme qu'en Sibérie, sur les rives du Jaïk, on a trouvé d'anciennes monnoies tatars converties en muriate d'argent par le contact d'un terrain qui est imprégné de muriate de soude. Tous ces faits tendent à prouver que, dans beaucoup de circonstances, l'acide muriatique exerce de l'action sur l'argent métallique.

Nous avons réussi parfaitement, M. Gay-Lussac et moi, à imiter en petit le *beneficio de hierro*, procédé ingénieux connu au Pérou depuis la fin du seizième siècle, et introduit par M. Gellert dans les usines de Saxe. Nous avons vu qu'en mêlant à froid du sulfure d'argent naturel, du sel, du *magistral*, de la chaux et du mercure, l'amalgame se forme plus abondamment, lorsqu'on ajoute à la *tourte* de la limaille de fer : en ce cas, le fer ne sert pas seulement pour décomposer le

¹ Nordische Beiträge, B. III, p. 64.

muriate d'argent, comme dans le procédé d'amalgamation de Freiberg, mais surtout à séparer le soufre de l'argent minéralisé. En laissant en contact, pendant vingt-quatre heures, de l'argent sulfuré et de la limaille de fer, l'argent a été tellement mis à nu, qu'en ajoutant du mercure, on a obtenu, en peu de minutes, une quantité considérable d'amalgame d'argent. Si l'on verse sur le mélange de l'acide muriatique, il se dégage infiniment plus d'hydrogène sulfuré qu'on n'en obtient en traitant, avec le même acide, l'argent sulfuré seul. Il est probable que l'oxide de fer au *maximum* qui se trouve dans les *colorados* ou *pacos*, et dans des minerais mêlés de pyrites décomposées, agit d'une manière analogue à la limaille de fer.

L'énorme perte de mercure que l'on observe dans l'amalgamation américaine, provient de plusieurs causes qui agissent simultanément. Si, dans le procédé *por patio*, tout l'argent retiré étoit dû à une décomposition de muriate d'argent par le mercure, il se perdrait une quantité de mercure qui seroit à celle de l'argent dans le muriate, à peu près comme 4 : 7,6; car cette proportion est celle des

oxidations respectives des deux métaux. Une autre partie de mercure, et peut-être la plus considérable, se perd parce qu'elle reste disséminée dans une immense masse de *schlich* humecté, et cette division du métal est si grande, que le lavage le plus soigné ne peut suffire pour réunir les molécules cachées dans les résidus. Une troisième cause de la perte du mercure doit être cherchée dans son contact avec l'eau salée, dans son exposition à l'air libre et aux rayons du soleil pendant l'espace de trois, de quatre et même de cinq mois. Ces amas de mercure et de *schlich*, qui renferment un grand nombre de substances métalliques hétérogènes et humectées par des solutions salines, sont composés d'une infinité de petites *piles galvaniques*, dont l'action lente mais prolongée favorise l'oxidation du mercure et le jeu des affinités chimiques.

Il résulte de l'ensemble de ces recherches, que l'emploi du fer perfectionneroit sensiblement le procédé de l'amalgamation. Si les minerais que l'on traite n'étoient que de l'argent vitreux, la limaille de fer seule suffiroit peut-être pour mettre l'argent à nu et pour le séparer du soufre, qui retarde l'union