

# EXTRACTION & METALLURGIE

## L'extraction

Le cuivre n'est présent dans l'écorce terrestre qu'à la concentration moyenne de 5 parties par million. Il n'existe plus dans la nature à l'état natif, comme dans l'antiquité.

Il se présente sous forme de sels contenant 30 à 90 % de cuivre, eux-mêmes mélangés aux stériles et quelquefois à d'autres métaux, dont certains peuvent être plus rares que le cuivre, comme l'or et l'argent. Un minerai est considéré comme riche à partir de 1,8 % de cuivre pur.

Selon la forme des gisements et leur profondeur, il existe 2 types d'exploitation :

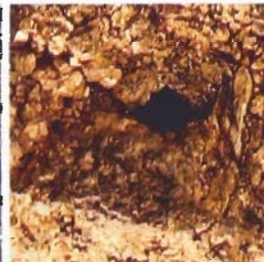
- Les mines à ciel ouvert
- Les mines souterraines.

L'exploitation à ciel ouvert a lieu lorsque les gisements sont relativement proches de la surface du sol, de façon à ce que les travaux d'excavation et de terrassement puissent se faire dans des conditions économiquement rentables.

1.



2.



3.

4.

Minerais de cuivre :  
(détail de la couverture)  
1. Diopside.  
2. Pyrite octaédrique.  
3. Azurite.  
4. Cuivre Natif.  
(Compagnie Générale  
de Madagascar).

A titre d'exemple, dans la mine à ciel ouvert de Chuquicamata au Chili, le rapport déchets-minerais est de 3 à 1.

Lorsque le pourcentage de déchets est trop élevé ou lorsque la typologie du terrain ou les conditions climatiques sont défavorables, il devient opportun de creuser des mines souterraines.

A la surface du globe, les minerais de cuivre se présentent généralement sous 2 formes :

- Les minerais sulfurés
- Les minerais oxydés.

Cette différenciation définit le processus à suivre pour l'obtention du cuivre pur : pyroméallurgie pour les minerais sulfurés, hydroméallurgie pour les minerais oxydés.

Les minerais sulfurés ont une origine géologique profonde et proviennent de la cristallisation à l'abri de l'air de composés sulfurés de cuivre et d'autres métaux. Ils sont souvent appelés minerais primaires.

Les minerais sulfurés sont les plus répandus et représentent plus de 80 % de la production mondiale. Ces minerais sont très nombreux. Les espèces minéralogiques les plus courantes sont :

- la chalcopryrite  $\text{CuFeS}_2$
- la chalcosine  $\text{Cu}_2\text{S}$
- la covelline  $\text{CuS}$
- la bornite  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$
- l'énargite  $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ .

Ces différents minerais se trouvent assez souvent mélangés et leurs teneurs moyennes en cuivre varient généralement de 0,7 à 2 %.

Les minerais oxydés sont des carbonates complexes ayant subi une oxydation par l'eau et l'air au cours des âges. On rencontre les principales formes suivantes :

- malachite  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$
- cuprite  $\text{Cu}_2\text{O}$
- azurite  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$
- diopside  $\text{Cu}_3\text{H}_2\text{O}$

dont les teneurs sont d'environ 1 à 2 %.

Il faut mentionner pour mémoire que les nodules polymétalliques présents sur les fonds de certains océans contiennent du cuivre à côté de nickel, cobalt, et manganèse. Mais de difficiles problèmes juridiques et techniques sont encore à résoudre avant de pouvoir les exploiter.





## La production des concentrés

Quels que soient son ampleur et le perfectionnement des moyens qu'elle emploie, la mine elle-même n'extrait donc qu'un mélange de minéraux à faible teneur en cuivre, qu'il faudra concentrer avant d'en envisager le transport hors de la zone du complexe minier.

Le processus suivant qui décrit la production des concentrés par le procédé de flottation, ne concerne que les minerais sulfurés.

Les minerais oxydés donnent lieu, de leur côté, à un traitement particulier par voie chimique, dit procédé de lixiviation.

La première étape du traitement des minerais sulfurés en vue de l'obtention de concentrés consiste en des opérations successives de tamisage, concassage, broyage et triage, qui les transforment en poudre grossière, sur laquelle on projette de l'eau. Par un traitement de flottation dans l'eau puis de décantation, qui consistent à faire remonter à la surface la partie la plus riche du minerai pour le séparer des boues qui restent au fond du bain, on obtient un concentré contenant 25 à 40 % de cuivre.

## L'élaboration métallurgique : le blister

Elle part de concentrés de cuivre pour aboutir aux blisters. C'est le premier traitement à haute température.

Dans un premier temps, à l'état liquide en présence de fondants, on sépare par gravité et par grillage les stériles plus légers des sels de cuivre plus lourds, pour obtenir la matte fortement chargée en soufre, contenant 40 à 60 % de cuivre.

Dans un deuxième temps, un convertissage à environ 1 300° dans un four rotatif permet de séparer le cuivre des autres constituants contenus dans la matte. Cette opération aboutit à la production de blisters contenant 98 à 99,5 % de cuivre, qui se présentent sous forme de plaques.

Les blisters (vocabulaire anglais rappelant les cloques de leur surface oxydée) sont encore impropres à une utilisation dans l'industrie, parce que leur pureté est insuffisante, et doivent subir par conséquent une nouvelle opération d'affinage. Ils peuvent être achetés tels quels par les pays consommateurs équipés d'une industrie de raffinage. Le Japon et l'Allemagne Fédérale sont les principaux acheteurs.

## L'affinage

Le blister doit être affiné pour obtenir la pureté nominale de 99,90 % utilisable dans la plupart des applications.

Il existe deux procédés d'affinage :

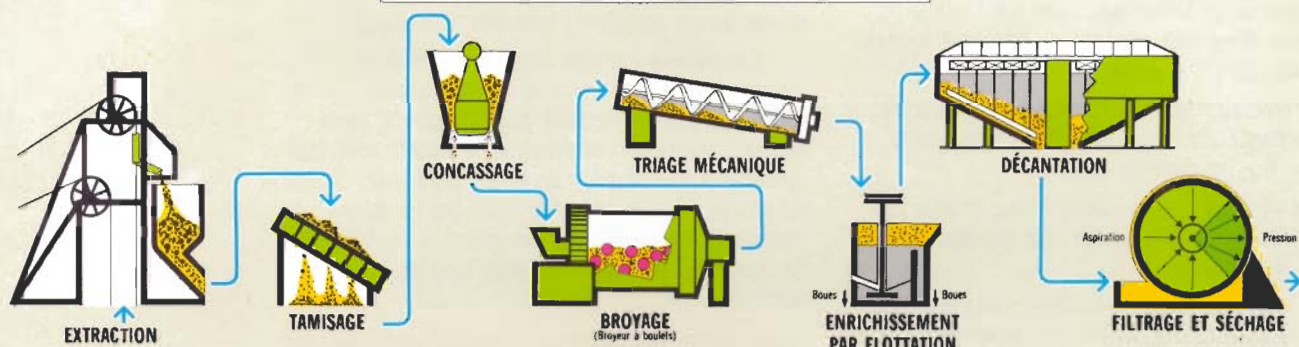
- L'affinage thermique, qui consiste à refondre le blister en l'oxydant pour éliminer les impuretés sous forme d'oxyde qui se volatilisent. Au cours de ce traitement, le cuivre se charge de 0,6 à 0,9 % d'oxygène dont il faut éliminer l'essentiel par une opération de perchage, qui consiste à introduire des troncs de bois vert dans le bain de cuivre. On obtient alors un cuivre de qualité thermique, qui contient encore de 0,02 à 0,04 % d'oxygène et un peu d'hydrogène, et qui, de ce fait, n'a que peu d'applications dans l'industrie. Ce procédé n'est presque plus utilisé aujourd'hui.
- L'affinage électrolytique qui transforme le blister, préalablement coulé sous forme d'anode, en cathode par le procédé de l'anode soluble. Le cuivre obtenu est pur mais il n'est pas encore utilisable en l'état à cause de sa porosité et de la présence possible d'inclusions d'électrolyte.



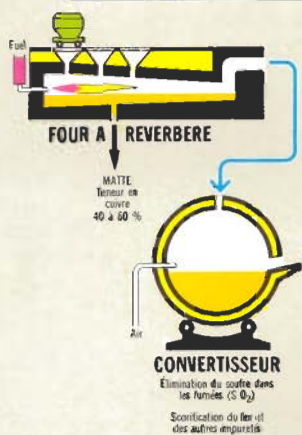
# METALLURGIE DU CUIVRE

Elaboration à partir de minerais sulfurés

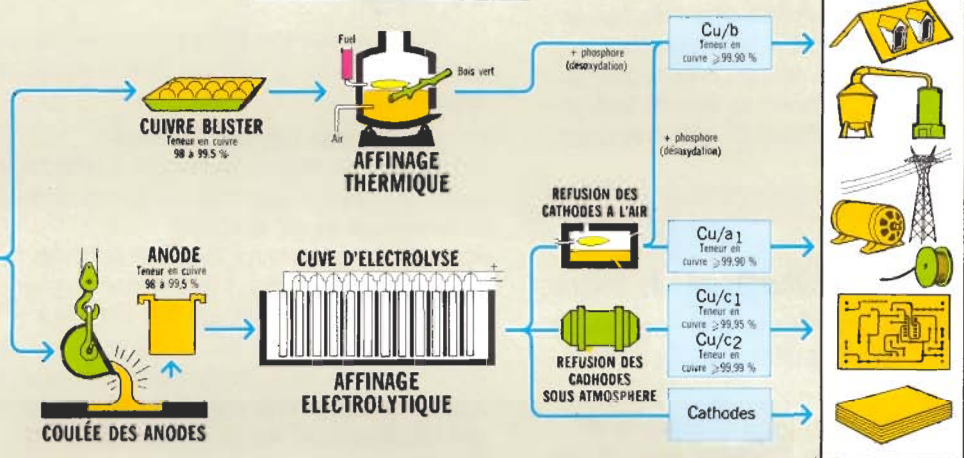
## TRAITEMENT DU MINERAIS



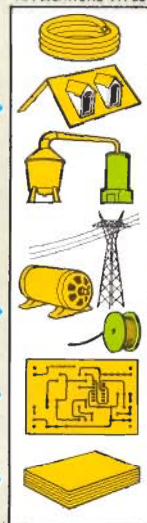
## ELABORATION



## AFFINAGE



## APPLICATIONS TYPES



Pour avoir à la fois le cuivre pur à 99,90 % ou davantage et les meilleures caractéristiques de plasticité, on refond ultérieurement les cathodes suivant plusieurs procédés, qui permettent d'obtenir les différentes qualités de cuivre utilisées dans l'industrie et qui correspondent aux diverses catégories d'applications.

On distingue ainsi les trois principales catégories de cuivre suivantes :

- le cuivre Cu/a1, contenant de l'oxygène, qui est caractérisé par sa haute conductibilité électrique, mais se prête mal au soudage à température supérieure à 400°, à cause de sa sensibilité aux atmosphères réductrices (hydrogène),
- le cuivre Cu/b1, desoxydé au phosphore, à conductibilité électrique réduite, mais particulièrement apte aux déformations et au soudage,
- le cuivre Cu/c1, exempt d'oxygène, qui réunit les avantages des deux catégories précédentes. Il correspond à des applications particulières.