

CUIVRE 1996

MATIÈRES PREMIÈRES : teneur moyenne de l'écorce terrestre : 5 ppm.

Minerais : très divers, 165 variétés. Teneurs : entre 0,7 et 2 %, exceptionnellement jusqu'à 8 % par exemple pour la mine de Neves Corvo (Portugal).

- Sulfurés : 80 % de la production mondiale : chalcopirite (CuFeS_2), chalcosine (Cu_2S).

- Oxydés (carbonates) : malachite ($\text{CuCO}_3, \text{Cu}(\text{OH})_2$), azurite ($2\text{CuCO}_3, \text{Cu}(\text{OH})_2$).

De nombreux autres éléments métalliques sont souvent associés au cuivre : Fe, Ni, Zn, Pb, Co, Mo, Ge, Au, Ag.

Exploitations minières :

Au Chili :

- Souterraines : la plus importante, El Teniente, exploitée par la société Codelco : 1 700 km de galeries, teneur moyenne : 1,6 %. Production : 296 000 t de Cu/an, 3 500 t de molybdène, effectif : 9 000 personnes.

- A ciel ouvert : la plus importante : la Escondida (Chili), ouverte en 1991, située à 3000 m d'altitude dans le désert d'Atacama, avec une production de 800 000 t en 1995. Teneur moyenne du minerai : 1,6 %, réserves : 1,8 milliard de t de minerai. Exploitée par Broken Hill Proprietary (57,5 %), RTZ-CRA (30 %), Mitsubishi (10 %).

Autre mine importante : Chuquicamata, exploitée par la société Codelco, à 2 870 m d'altitude, réserves : 2,7 milliards de t de minerai. Production en 1995 : 618 000 t de Cu, 10 000 t de Mo, 141 t de métal doré (98,5 % de Ag, 1,2 % Au). De 1952 à 1995, extraction de 1 milliard de t de minerai pour produire 14,5 millions de t de cuivre. Effectif : 7 700 personnes en 1995.

Aux Etats-Unis, les mines sont situées, par ordre décroissant, dans les Etats suivants : Arizona, Utah, New Mexico, Montana, Michigan. 15 mines extraient 95 % de la production.

En Europe, début de l'exploitation, en 1990, de la mine de Neves Corvo (Portugal), production, en 1996, de 110 000 t de Cu contenu soit près de la moitié de la production de l'Union européenne.

Fermeture, fin 1992, sûrement du plus vieux lieu de travail industriel, au monde : la mine de Falun, en Suède, en activité depuis plus de 1000 ans. Au XVI-XVIIème siècle, elle produisait les 2/3 du Cu mondial et a fait la richesse de la Suède. Au total extraction de : 500 000 t de Zn, 400 000 t de Cu, 160 000 t de Pb, 380 t de Ag, 5 t de Au.

Minéralurgie : concerne les minerais sulfurés. Broyage des minerais (grains < 0,5 mm) et concentration par flottation. Obtention de concentrés contenant de 20 à 50 % de Cu.

Productions : en 1996, en 103 t de Cu contenu récupérable. Monde : 10 923, Union européenne : 228 dont 110 au Portugal.

Chili	3 116	Russie	480
États-Unis	1 909	Pérou	479
Canada	689	Pologne	422
Indonésie	526	Chine	368
Australie	525	Zambie	364

- Ces dernières années, chute régulière de la production zaïroise : 505 800 t en 1988, 454 600 t en 1989, 356 200 t en 1990, 236 000 t en 1991, 147 000 t en 1992, 28 600 en 1996.

Producteurs : n°1 mondial, Codelco, société d'état chilienne, 19 000 salariés. En 1993, dans 4 mines, extraction de 11 % de la production mondiale. Codelco détient 20 % des réserves mondiales du cuivre. Autre producteur mondial important : RTZ-CRA.

Marché international : il est important car les pays producteurs et consommateurs (sauf les États-Unis et l'ex URSS) sont distincts. Plutôt que sur le minerai, le commerce international porte sur le blister et surtout sur le cuivre raffiné.

Principaux pays exportateurs : en 1994.

Pays exportateurs	Productions minières	Exportations de cuivre		Consommations
		non raffiné	raffiné	
Chili	2 219 900	198 100	1 193 300	86 300
Canada	593 700	0	388 600	199 500
Zambie	384 400	0	360 700	18 000
Pologne	378 200	0	254 700	146 000

Situation française : pas de production minière et l'industrie métallurgique est peu développée. Les réserves sont très faibles : Rouez (Sarthe, 200 000 t), Chessy (Rhône, 150 000 t), Salsigne (Aude, 15 000 t).

MÉTALLURGIE : selon 2 voies :

- Pyrométallurgique destinée aux minerais sulfurés : concerne environ 80 % de la

production et nécessite un raffinage ultérieur.

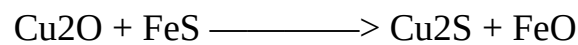
- Hydrométallurgique destinée aux minerais oxydés - ou aux minerais sulfurés pauvres traités par biolixiviation : concerne 20 % de la production et ne nécessite pas de raffinage ultérieur.

Pyrométallurgie : 3 étapes suivies d'un raffinage.

- Grillage partiel des concentrés vers 550-650°C : l'oxydation partielle des sulfures de fer donne un "mixte" composé de sulfures de Cu et Fe et d'oxyde de fer. As et Sb sont éliminés sous forme de composés volatils et récupérés.

- Fusion pour matte : la poursuite de l'oxydation, à 1100-1200°C, a lieu après la fusion des concentrés.

L'oxyde de Cu formé réagit avec le sulfure de Fe restant selon la réaction :

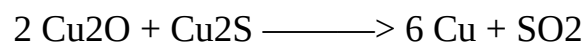
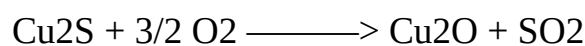


FeO passe dans les scories qui surnagent sur une matte fondue (formée de Cu₂S et FeS restant) sous forme de silicates. La plus grande partie du Fe est éliminée ainsi qu'une partie du Pb. La fusion a lieu dans des fours réverbères, électriques ou flash-smelting afin de limiter la pollution par les fumées riches en SO₂.

- Conversion : poursuite de l'oxydation de la matte liquide par de l'air ou du dioxygène vers 1300°C, en 2 étapes dans des convertisseurs de type Pierce-Smith ou Hoboken (durée 4 heures).

- 1ère phase : soufflage scorifiant : élimination totale du fer et des autres éléments métalliques plus oxydables que Cu qui passent dans des scories. Il reste Cu₂S (matte blanche).

- 2ème phase : soufflage pour cuivre selon la réaction :



On obtient du cuivre noir, appelé blister, contenant de 98 à 99,5 % de Cu. Il reste un peu de Cu₂O. Le dioxyde de soufre est récupéré pour produire de l'acide sulfurique : par exemple, 1,3 million de t/an à Chuquicamata.

Raffinage du blister : par électrolyse à anode soluble.

Le blister est coulé sous forme d'anodes : 350 kg, 1 m² de surface, 13 à 50 mm d'épaisseur.

Les cathodes sont formées de feuilles de départ minces de Cu raffiné (8 kg).

L'électrolyse, à 65°C, dure de 21 à 28 jours et chaque anode soluble donne deux cathodes de teneur minimale : 99,9 % de Cu.

- Tension : de 0,25 à 0,4 V, consommation électrique : 250 kWh/t Cu.

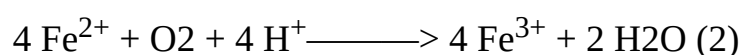
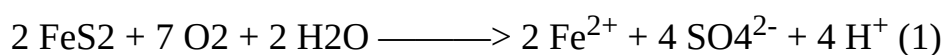
- Composition du bain d'électrolyse : Cu²⁺ : 45 g/L, H₂SO₄ : 185 g/L.

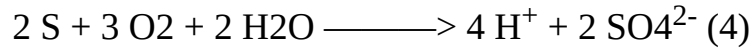
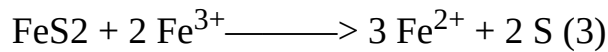
- Les impuretés métalliques présentes dans le blister soit restent en solution ou précipitent (Zn, Fe, Ni, Co, Sn, Pb) soit sont insolubles (Ag, Au, Pt) et elles sont récupérées dans les boues anodiques. D'autres impuretés (As, Sb, Bi) se déposent, en partie avec Cu, et devront être éliminées ultérieurement. La purification de 100 t de Cu donne de 0,5 à 1 t de boues de composition moyenne : Cu : 20 à 50 %, Ag : 5 à 25 %, Au < 4 %, ainsi que : As, Sb, Sn... On estime que 80 % de l'argent et 15 % de l'or produits dans le monde, sont extraits de boues provenant de l'électro-affinage de métaux, principalement de cuivre.
- Aux Etats-Unis, 7 usines pyrométallurgiques de production de cuivre de première fusion et 7 usines de raffinage à anode soluble.
- En France, une seule usine de raffinage : Compagnie Générale d'Électrolyse du Palais (87, contrôlée à 58 % par Pechiney), production de 63 113 t en 1996. Traite du Cu recyclé et du blister importé.

Hydrométallurgie : le traitement des minerais par ce procédé entraîne une pollution atmosphérique nettement plus faible que lors des opérations pyrométallurgiques, mais les métaux précieux restent dans la gangue et ne sont donc pas récupérés. Ce procédé concerne, principalement les minerais "oxydés" facilement solubles.

- Dissolution des minerais par lixiviation sulfurique ou ammoniacale.
 - Purification par précipitation des hydroxydes de fer.
 - Électrolyse de la solution contenant Cu^{2+} :
 - Anode insoluble en Pb (+ 6 % Sb) : 100 kg, durée de vie 4 ans.
 - Cathode en Cu : feuille de départ de 5 kg.
 - Consommation électrique importante : 2500 kWh/t de Cu.
 - Composition du bain d'électrolyse : 15 g $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{L}$, de 70 à 25 g Cu^{2+}/L .
- Les cathodes sur lesquelles se dépose Cu sont déchargées tous les 5 à 6 jours lorsqu'elles atteignent 60 kg. Elles titrent 99,8 % Cu et sont utilisées sans raffinage ultérieur pour des usages non électriques de Cu (Pb est dans ce cas une impureté gênante).

Biolixiviation : l'hydrométallurgie est également utilisée pour traiter des minerais sulfurés mais il faut, à la lixiviation classique associer une attaque bactériologique, appelée biolixiviation. Les bactéries utilisées (thiobacillus ferrooxidans, thiobacillus thiooxidans leptospirillum ferrooxidans) se développent dans les gisements sulfurés. Elles tirent leur énergie de l'oxydation des formes réduites du soufre et de celle du fer (II) en fer (III). Ces bactéries catalysent l'oxydation des ions sulfures en sulfates et de Fe(II) en Fe (III) (réactions 1,2,4) :





Dans les minerais sulfurés de cuivre, il y a toujours présence de sulfure de fer (pyrite, FeS₂) et la formation de Fe³⁺ (réactions 1 et 2) oxydant puissant, permet d'oxyder les ions sulfures des sulfures de cuivre selon une réaction analogue à la réaction 3 et ainsi de dissoudre le cuivre (II).

La biolixiviation est employée pour traiter des minerais de faible teneur ou les stériles de traitements antérieurs. Elle peut être utilisée in situ mais est surtout employée pour traiter des minerais ou des stériles disposés en amas (tels que sortis de la mine, pouvant comprendre des blocs de plusieurs m³) ou en tas (concassé en grains de quelques cm) sur des sols étanches. La solution lixiviante (pH de 1,5 à 2) enrichie d'éléments nutritifs pour les bactéries (azote...) percole dans le minerai en s'enrichissant en cuivre (II). La biolixiviation en amas peut durer jusqu'à plusieurs années. Par exemple, à Bingham Canyon, aux Etats-Unis, un minerai de faible teneur (< 0,4 % de Cu) disposé en amas de plusieurs millions de t permet de récupérer ainsi jusqu'à 200 t/jour de Cu.

- Aux Etats-Unis, 15 usines de traitement hydrométallurgique sont en activité.

Après métallurgie, quel que soit le procédé utilisé, Cu se présente sous forme de cathodes.

PRODUCTIONS :

Blister : en 1996, en 103 t. Monde : 10 000, Union européenne : 1 022.

États-Unis	1 638	Chine	538
Chili	1 343	Allemagne	358
Japon	1 233	Pérou	347
Canada	613	Pologne	320
Russie	540	Mexique	298

Cuivre raffiné : en 1996, en 103 t. Monde : 12 578, Union européenne : 1 808.

États-Unis	2 341	Russie	577
Chili	1 748	Canada	559
Japon	1 251	Pologne	425
Chine	1 000	Belgique	354
Allemagne	671	Pérou	342

- La Chine importe 900 000 t/an.

Producteurs (principaux) :

Codelco (Chili), Phelps Dogde Corp (Etats-Unis, 787 000 t en 1995), Asarco Incorporated (Etats-Unis, 407 000 t en 1995), Freeport-McMoRan Copper and Gold

Company (Etats-Unis, 444 000 t en 1995), Magma Copper, Kennecott, Cyprus (États-Unis), Canadian Copper, Inco, Falconbridge, Noranda (Canada), Broken Hill Proprietary (Australie, 524 000 t en 1995)...

- En 1993, les 2 principales usines métallurgiques de Russie ont été fermées pour cause de vétusté et de dommages causés à l'environnement.

Union Minière : groupe belge produisant de nombreux métaux non ferreux (voir le chapitre zinc). La production de cuivre (n°2 européen) est réalisée dans les usines belges de :

- Hoboken : produit du Cu blister et effectue des opérations complexes de métallurgie en extrayant et séparant plus de 20 métaux différents.

- Olen : raffine du blister importé et le blister produit à Hoboken (la 3ème, en importance unité de raffinage de Cu par électrolyse en Europe, la 8ème du monde occidental). D'autre part, dans cette usine sont transformés, par pyrolyse et extraction par solvants, les matières cobaltifères secondaires ainsi que le cobalt métal provenant du Zaïre et extrait le germanium (65 t/an de capacité) de sous-produits d'électrolyse de l'Union Zinc Inc, ancienne filiale d'Union Minière aux États-Unis, vendue, en 1994, au groupe australien Savage.

Les capacités annuelles de production de ces 2 usines sont les suivantes :

Cu raffiné : 330 000 t Ag : 2 400 t In : 30 t

Cu transformé : 350 000 t Se : 360 t Pd : 26 t

Pb : 125 000 t Te : 156 t Pt : 15 t

Co : 9 500 t Au : 50 t Rh : 2,5 t

Union Minière possède une participation (21,2 %) dans la mine de cuivre de Cananea au Mexique, production de 115 177 t de Cu en 1996 ainsi que 42,45 % de la Compagnie Générale d'Électrolyse du Palais, en France.

En septembre 1997, annonce d'une prise de participation de 56 % dans l'usine de cuivre MDK située à Pirdop en Bulgarie. La capacité annuelle de production doit être portée à 185 000 t de cuivre pour la fusion et 120 000 t pour le raffinage.

En 1996, les productions de cuivre raffiné ont été de 272 000 t et celle de platine, palladium et rhodium de 21 290 t.

- Autres producteurs européens : Norddeutsche Affinerie (Metallgesellschaft, Allemagne - MIM, Australie), Rio Tinto Minera (Espagne), Boliden (Suède), Outokumpu Oy (Finlande), KGHM (Pologne).

Evolution historique de la production de cuivre (d'après Pour la Science n°228) :

Début il y a 7 mille ans à partir de cuivre natif. A l'époque de l'empire romain, production jusqu'à 15 000 t/an (entre 250 avant J.C. et 350 après J.C., la production cumulée aurait été de 5 millions de t). En Europe, jusqu'au XVIIIème siècle, stagnation de la production à des valeurs inférieures à 2 000 t/an. En Chine, sous la

dynastie Sung (X - XIIème siècle), production jusqu'à 13 000 t/an. Ces pointes de production ont été retrouvées par analyse des glaces du Groenland. Dans l'Antiquité et au Moyen-Age, la dissémination de cuivre dans l'atmosphère représentait 15 % de la production. Actuellement celle-ci n'est que de 0,25 %. Les quantités de cuivre déposées sur la calotte glaciaire du Groenland au cours des 2500 ans qui ont précédé la révolution industrielle sont 15 fois plus importantes que celles déposées entre le début de la révolution industrielle et nos jours.

RECYCLAGE : lors de son utilisation, une grande partie du cuivre ne se dégrade pas et peut donc être recyclé. On estime que 75 % du Cu en circulation est récupérable et que sa durée moyenne d'utilisation est de 20 ans. Le Cu recyclé est soit raffiné, de façon identique au blister, soit réutilisé directement (dans le cas des câbles électriques ou des alliages).

Cuivre recyclé après raffinage : en 1996, en milliers de t. Monde : 1 590, Union Européenne : 872.

Allemagne	342	Mexique	95
Etats-Unis	327	Italie	86
Belgique	217	Canada	83
Japon	117	France	58

Cuivre directement recyclé : en 1996, en milliers de t. Monde : 4 584, Union Européenne : 901.

Etats-Unis	948	Allemagne	264
Japon	594	France	115
Italie	312	Royaume Uni	70

- La part du Cu recyclé dans la consommation du monde occidental est de 35 à 40 %.
- Aux Etats-Unis, en 1995, 850 000 t ont été recyclées à partir de chutes de fabrication, 460 000 à partir de matériaux usagés. Au total, dans ce pays, le recyclage couvre 39 % de la consommation.

SITUATION FRANÇAISE : en 1995, en milliers de t, y compris l'industrie de 1ère transformation.

- Chiffre d'affaires : 10 366 millions de F (dont 44 % à l'exportation en 1994).
- Effectifs : 5 548 personnes, dans 29 entreprises.

Production de blister : 2,5 à Poissy (78) à partir de déchets.

- Importations (1994) : 4,7

Production de Cu raffiné : 63,1 en 1996, au Palais (87), principalement à partir de déchets.

- Importations (1994) : 470 (Chili : 36 %, ex-URSS : 13 %, Allemagne : 10 %).
- Exportations (1994) : 22.

La France est pratiquement absente d'une grande partie du cycle du Cu, en particulier de la métallurgie et du raffinage, contrairement à l'Allemagne et la Belgique. Par contre, elle possède une importante industrie de première transformation.

L'industrie française de première transformation de Cu : en 1995.

- Fabrication de "fil machine" (ébauche pour fils et câbles) par coulée continue puis laminage à chaud : donne des bobines pesant jusqu'à 7 t (fils de diamètre, en général, 8 mm et jusqu'à 20 mm).
 - Production : 393 400 t.
 - Importations : 117 900 t en 1994.
 - Exportations : 213 700 t en 1994.
 - Producteur : Alcatel Alsthom (secteur câbles et composants). N°1 mondial pour les câbles de télécommunications (18 % du marché mondial) et d'énergie.
 - Consommation de 700 000 t/an de cuivre, 1er consommateur mondial de cuivre.
 - Produit des câbles en cuivre ou en aluminium mais aussi des fibres optiques (2 millions de km en 1995, 2ème producteur mondial). Les câbles sont utilisés pour transporter de l'électricité, des communications, des données informatiques...
 - Deux usines en France de fabrication de "fil machine" :
 - Société de Coulée Continue du Cuivre (S3C) en association avec la Zambie à Chauny (02), production : 150 000 t/an.
 - Laminoirs-Tréfileries-Câbleries de Lens (LTC) en association avec le Chili, production : 120 000 t/an.
 - Tréfilage alimenté en fil machine pour produire fils et câbles.
 - Production : 362 700 t.
 - Diverses sociétés dont :
 - Alcatel Câble à Chauny (02) : 60 000 t/an.
 - Câbles Pirelli : 14 sites industriels en France.
 - Autres producteurs français : Silec, Câbleries de Crosne...
 - Fabrication de demi-produits (barres, fils, profilés, tubes, laminés) directement ou après élaboration d'alliages par fonderie.
 - Production : 264 800 t.
 - Producteurs :
 - Tréfimétaux, 1er transformateur français du cuivre et de ses alliages, 1/3 du marché. Filiale de la société allemande KM Europa Metal AG (détenue elle-même par la holding italienne SMI). En 1996 :
 - Chiffre d'affaires : 3,3 milliards de F (60 % à l'exportation).
 - Effectifs : 1 978 personnes.
 - Productions : 195 870 t.
- Barres, fils : 85 000 t, tubes : 40 000 t, laminés : 55 000 t, étirés cuivre : 20 000 t.

- Usines : Boisthorel (61), Sérifontaine (60), Givet (08), Niederbrück (68), Pont de Chéruy (38).
- La production européenne de tubes de cuivre du groupe KME est, en 1996, de 160 000 t.
- Autres producteurs français : Desnoyers-Degond-Gindre (CA : 600 millions de F, 360 personnes, 25 000 t de tubes à Laigneville (60) et Longueville (77)), acheté en 1997 par l'américain Mueller, Griset (CA 1995 : 358 millions de F, production de 12 900 t d'alliages laminés de cuivre, usine à Villiers-Saint-Paul (60), 250 personnes)...

UTILISATIONS :

Consommations mondiales* : en 1996, en 103 t de cuivre raffiné. Monde : 12 155, Union européenne : 3 330.

États-Unis	2 629	Taiwan	544
Japon	1 480	Italie	514
Chine	1 042	France	512
Allemagne	958	Royaume Uni	396
Corée du Sud	586	Belgique	362

* la consommation de cuivre recyclé, non raffiné, n'est pas prise en compte.

Formes d'utilisations : en France, en 1995, sur une consommation totale de 695 000 t.
Demi-produits : 533 600 t, pièces moulées : 23 500 t, chimie et poudres : 5 t

Secteurs d'utilisations : en 1995, dans le monde et () en France.

Bâtiment	38,5 % (29 %)	Transport	10 % (12 %)
Électricité	28,7 % (43 %)	Electroménager	9 %
Mécanique	13,8 % (14 %)		

Utilisations particulières :

- Résistant à la corrosion marine, il est utilisé pour des pompes et canalisations d'eau de mer.
- Fongicide : utilisé sous forme de sulfate. Consommation française (1992) : 5 200 t.
- Pigment pour céramiques et verres.
- Additif à l'alimentation des porcs : sous forme de sulfate.
- Couvertures dans le bâtiment : utilisation relativement faible en France (2 500 t/an), plus importante en Allemagne (55 000 t/an).
- L'or de bijouterie (18 carats) contient 15 % de Cu.
- Automobile : 8 kg de câbles de Cu dans une R 25 haut de gamme.
- Les pièces françaises jaunes ou la partie jaune des pièces de 10 F et 20 F utilisent un alliage à 92 % de Cu, 6 % de Al et 2 % de Ni.

- Le cuivre est concurrencé par les fibres optiques dans les réseaux de télécommunications. La consommation française de câbles de télécommunication en cuivre est de 4,5 millions de km/an de fils isolés (14 millions de km en 1993, 38 millions de km en 1978).
- Câbles de transmission de données : en 1995, parts cuivre/fibres optiques, 70-30 aux Etats-Unis, 85-15 en Europe.
- En 1997, début de l'utilisation, par IBM, de l'utilisation du cuivre, en remplacement de l'aluminium, pour le transport des électrons dans les puces en microélectronique. La mise au point d'une couche barrière entre le silicium et le cuivre a permis d'éviter la diffusion de ce dernier dans le substrat de silicium.