

Chapitre 2

CONTEXTE ECONOMIQUE DU CUIVRE

Avec l'or, le cuivre est le seul métal naturellement coloré et le meilleur conducteur d'électricité et de la chaleur après l'argent. La présence moyenne dans l'ensemble de l'écorce terrestre est de 55 g à la tonne. Sa présence dans les organismes vivants est de 1 à 10 milligrammes par kg.

Le cuivre a des propriétés remarquables extrêmement nombreuses. Celles-ci ne sont pas forcément exigées par l'utilisateur systématiquement en même temps. La grande majorité des applications du cuivre se réfère à l'une des 2 propriétés dominantes : sa conductibilité électrique et thermique d'une part et sa résistance à la corrosion d'autre part. Mais à ces deux propriétés de base, il faut souvent ajouter des propriétés de résistance mécanique, d'aptitude à la mise en œuvre ou à l'usinage, que le cuivre ne possède pas ou insuffisamment. On fait appel alors aux alliages de cuivre. Partant des deux propriétés dominantes qui demeurent souvent les préoccupations principales, le prescripteur doit chercher ensuite dans le large éventail des additions possibles celle qui lui permettra, avec des caractéristiques mécaniques renforcées et une bonne aptitude à l'usinage, d'obtenir le meilleur compromis entre toutes les autres exigences.

2.1 Propriété du cuivre [4]

Le cuivre est un élément chimique de symbole Cu et de numéro atomique 29. Naturellement présent dans la croûte terrestre, il est essentiel au développement de toute forme de vie. Il est majoritairement utilisé par l'homme sous forme de métal. Il figure parmi les métaux de base.

Masse molaire : 63,546 g/mol

Masse atomique : $63,546 \pm 0,003$ u

2.1.1 Propriétés chimiques du cuivre

- **Aptitude à la constitution d'alliages :**



Figure 17: Aptitude à la constitution d'alliages
(Source : Institut Européen du cuivre, 2016)

La plupart des éléments sont solubles dans le cuivre, et peuvent constituer avec lui des alliages dont certains ont des applications d'un intérêt considérable. On peut introduire dans le cuivre jusqu'à 100 % de nickel, 40 % de zinc, 25 % d'étain et 15 % d'aluminium. Le domaine d'application des alliages de cuivre, et en particulier du laiton, est immense.

- **Résistance à la corrosion**



Figure 18: Résistance à la corrosion
(Source : Institut Européen du cuivre, 2016)

Le cuivre et ses alliages ne sont pas attaqués par l'eau ni par un grand nombre de produits chimiques. On met cette propriété à profit pour faire des tuyaux en cuivre ou des récipients et containers pour de nombreuses industries. La robinetterie est en laiton ou en bronze.

Les toitures en cuivre défient le temps. Lorsque le cuivre doit évoluer en milieu marin, on l'allie généralement à l'aluminium ou au nickel pour lui donner une bonne résistance à l'agression contre l'eau de mer. Les pompes et canalisations d'eau de mer, dont les

débats atteignent parfois plusieurs m³ par seconde, utilisées sur les plates-formes pétrolières off-shore, à bord des navires, dans les centrales électriques du bord de mer, sont exclusivement en alliages cupro-aluminium ou en cupro-nickel.

- **Propriété biologique :**



Figure 19: Propriété biologique
(Source : Institut Européen du cuivre, 2016)

Le cuivre a autrefois été considéré comme un poison dangereux, en particulier sous forme de vert-de-gris, qui est un des nombreux oxydes de cuivre.

On sait maintenant que le cuivre est nécessaire à la vie : l'homme et les animaux ont besoin d'absorber quotidiennement quelques milligrammes de cuivre pour assurer la formation de l'hémoglobine du sang. Il n'existe pas de maladie professionnelle dans l'industrie du cuivre. Le cuivre possède des propriétés bactéricides reconnues. En effet, il détruit les micro-organismes et les bactéries et assainit les canalisations qui sont utilisées dans le monde entier pour la distribution de l'eau, la fabrication de la bière, des confitures et la distillation des alcools.

2.1.2 Propriétés mécaniques

Le Cu est très intéressant en mécanique dans différents facteurs :

- **Usinabilité et traitement de surface**



Figure 20: Usinabilité et traitement de surface
(Source : Institut Européen du cuivre, 2016)

Le cuivre n'a pas en lui-même une grande aptitude à être usiné. En revanche, certains de ses alliages, et tout particulièrement le laiton, ont d'excellentes capacités d'usinabilité et notamment aux grandes vitesses. Le cuivre et ses alliages se prêtent très bien à la plupart des traitements de surface.

- **Malléabilité et plasticité :**



Figure 21: Malléabilité et plasticité

(Source : Institut Européen du cuivre, 2016)

Le cuivre est un métal extrêmement ductile. Non allié, il n'y a pratiquement pas de limite à son travail à froid. Le cuivre et les alliages cuivreux se laminent facilement en tôles, se martèlent en feuilles très minces et s'étirent en fils extrêmement fins. Ils se prêtent particulièrement bien à la déformation à chaud.

- **Soudabilité :**



Figure 22: Soudabilité

(Source : Institut Européen du cuivre, 2016)

Le cuivre et ses alliages se soudent bien : qu'il s'agit de soudage autogène, de soudure électrique, de brasage ou de soudage à l'étain.

2.1.3 Propriétés physiques

- **Propriété électrique :**

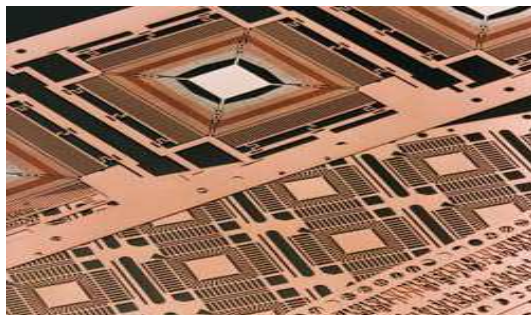


Figure 23: Propriété électrique

(Source : Institut Européen du cuivre, 2016)

La caractéristique essentielle du cuivre est sa qualité de bon conducteur de l'électricité. La conductibilité électrique du cuivre a été prise comme référence par la Commission Électrotechnique Internationale (CEI) en 1913 et la résistivité du cuivre, d'une valeur de 1,724 microhm.cm à l'état recuit, est l'étalon de cette mesure. La conductibilité du cuivre est, par définition, égale à 100 % IACS (International Annealed Copper Standard). Seul l'argent a des performances légèrement meilleures sur ce point (environ 106 IACS).

La solidité du fil de cuivre et la fiabilité des contacts qu'il permet d'obtenir constituent les raisons essentielles de l'emploi généralisé du cuivre dans toute l'industrie de la construction électrique, dans la distribution de l'énergie électrique, dans la fabrication du matériel électrique et des composants électroniques.

A titre d'exemple, 95 % des fils conducteurs d'un Airbus sont en cuivre. Si une très haute fiabilité de contact est nécessaire, comme dans un satellite, on envisagera alors une dorure, une argenture ou un étamage : le cuivre s'adapte très bien à ces revêtements de surface.

- **Conductibilité thermique :**



Figure 24: Conductibilité thermique

(Source : Institut Européen du cuivre, 2016)

Le cuivre étant le métal usuel conduisant le mieux la chaleur. Cette propriété est mise à profit pour chauffer ou refroidir rapidement un liquide ou un gaz : chauffe-eau ou chaudières murales, radiateurs de véhicules, condenseurs et réchauffeurs des centrales électriques, thermiques, nucléaires.

- **Amagnétisme :**

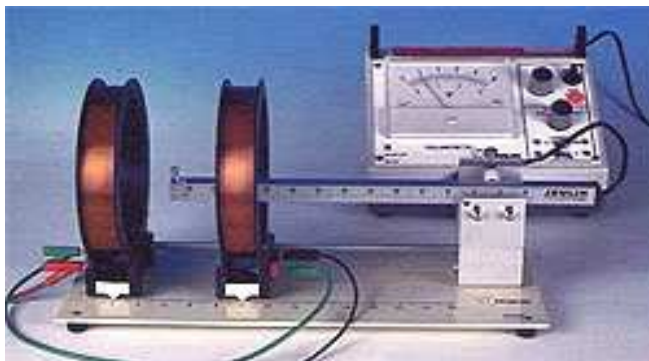


Figure 25:Amagnétisme

(Source: Institut Européen du cuivre, 2016)

Le cuivre est amagnétique. Cette propriété lui vaut de nombreuses applications, en tout premier lieu dans l'horlogerie, mais aussi dans la construction électrique et électronique, et dans l'armement (dragueurs de mines).

2.2 Potentialité en chiffre des gisements cuprifères

2.2.1 Carte des principaux indices et potentiels cuprifères

La carte suivante nous présente les principaux indices et potentiels cuprifères :

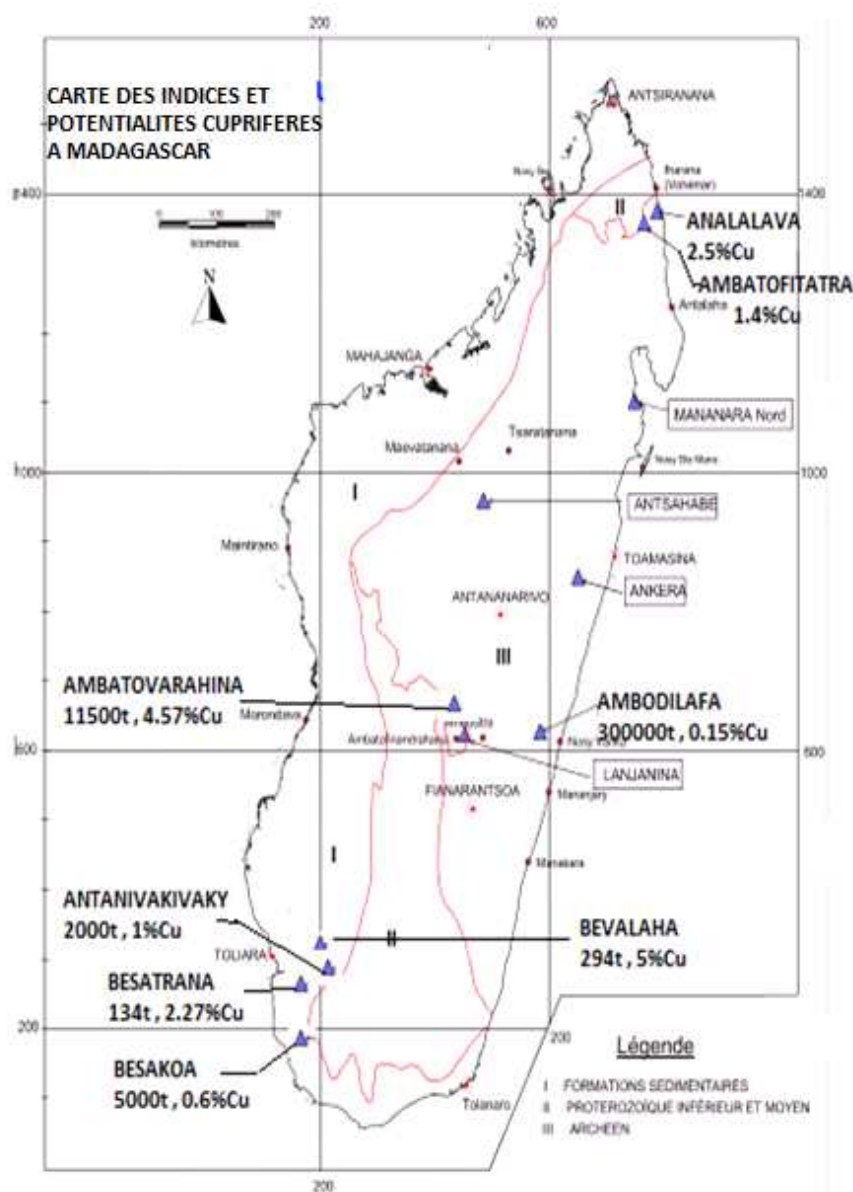


Figure 26: Carte des indices et potentiels en cuivre à Madagascar
(Source : Service de la géologie-SGIM)

2.2.2 Caractéristiques de chaque zone [5], [6], [7]

La description suivante nous donne les caractéristiques de chaque zone d'étude.

2.2.2.1 Secteur d'Iharana(Vohémar)

La Région de **Vohémar** est riche en veines de quartz pneumatolytique, montrant souvent de minimes indices cuprifères : malachite, érubescite, chalcosine, parfois du cuivre natif.

Un seul point, à **Matsaborivaky**, au Sud-Est de Vohémar, près de Milanoa, montre un indice plus important avec une veine de 30cm d'érubescite et de chalcosine sans continuité. Des travaux souterrains du Bureau minier sont restés sans résultats.

Le gîte d'**Ambohijanahary** au Sud de Vohémar, constitué par des filons quartzo-barytiques à érubescite, est encore plus minime.

Les analyses géochimiques n'ont pas apporté les résultats positifs que laissait espérer la prospection marteau. Sur les quatre (4) sondages peu profonds réalisés sur **Analalava**, seul le dernier a rencontré une faible minéralisation disséminée sur 36.5 m.

Aucun sondage n'a fait l'objet d'analyses. Les différences existant entre les teneurs géochimiques sols et roches et les teneurs des « échantillons moyens » provenant de la campagne 1974 du service géologique : **1.4% Cu** sur **Ambatofitatra** et **1 à 2.5% Cu** sur **Analalava** mériteraient d'être élucidées.

2.2.2.2 Secteur d'Ambatovarahina

L'ancienne mine PACHOUD est située dans la partie centrale des hautes terres, à 60Km à l'Ouest d'Ambositra. On y accède, en toutes saisons, en empruntant la route nationale d'Ambositra à Ambatofinandrahana (PK 65) sur 59 Km, puis la route de Soavina sur 7 Km.

En 1958-1959, le BUMIFOM reprend l'étude du gisement et de ses environs (échantillonnage de surface, géochimie, géophysique). Les résultats de cette campagne amènent à réévaluer les réserves à **550 000t** de tout venant à **0.3% Cu**, soit **1 500t** de cuivre métal.

En 1969, après un accord signé par le BRGM et le Ministère de l'Industrie et des Mines, après 2 sondages qu'ils ont effectués, il existait une minéralisation cuprifère dont les réserves sont estimées à **252 000t** de tout venant à **4.57% Cu**, représentant **11 500t** de cuivre métal. Ces réserves sont jugées insuffisantes et le BRGM arrête les travaux qui n'ont plus été repris depuis cette date.

Des indices de minéralisation apparemment du même type que PACHOUD sont connus dans les cipolins de la même série : **Marofarafara**, **Ampangadiambato**, **Bedihy**, **Ambatofinandrahana-Est**, **champ de tir d'Antsirabe**. La plupart de ces indices sont situés à la base de la série calco-magnésienne, dans les cipolins de couleur sombre. Les rares études détaillées faites sur ces différents indices ne sont pas très encourageantes si on les compare avec PACHOUD qui reste, apparemment, la meilleure cible.

2.2.2.3 Secteur d'Ambodilafa

Le gisement à Ni-PGE d'**Ambodilafa** se trouve au sein du massif basique-ultrabasique de Vohipaha. Il est marqué par des anomalies géophysiques et aussi par des anomalies géochimiques en Ni et Cu. La ressource probable peut être estimée à **300 000t** de minerais à basse teneurs **0.3%Ni et 0.15%Cu**.

2.2.2.4 Secteur de Vohibory

Des indices cuprifères y sont connus depuis 1924 et la série de **Vohibory** est caractérisée par la fréquence des indices de cuivre liés aux roches amphiboliques.

L'étude de la province cuprifère dans son ensemble est reprise par le BUMIFOM (1950-1958) et le Service géologique (BOULANGER, 1954-1956). Les conclusions de cette étude distinguent 3 types d'indice :

- les indices du sédimentaire liés à la série rouge inférieure, d'âge permien(Karoo), surmontant les couches à charbon de **Besakoa**. De type très classique, ces indices sont nombreux mais ne présentent aucun intérêt économique, le plus important **Antanivakivaky** correspondant à **2 000t** de minerai à **1% Cu** ;

- les indices du socle de type pegmatitique ; il s'agit de pegmatite à amphibole, biotite, tourmaline noir, sphène, apatite, apatite et épidote, et de filon de quartz pegmatoïde, concordant au sein des amphibolites. Le caractère pegmatitique de ces indices leur enlève tout intérêt du point de vue des tonnages possibles ;

- les indices de minéralisation disséminée dans les amphibolites. Ce dernier type présente en outre des phénomènes de concentration relativement intéressants, que l'on interprétait alors comme liés à une shear-zone.

Le gîte le plus important et d'ailleurs très minime se trouve à **Besakoa**, à 25 km à l'Est de la Sakoa. On trouve là une formation minéralisée lenticulaire, allongée sur une longueur de 500m qui présente une épaisseur moyenne de 10m. Elle a été reconnue par 19 sondages, sur une levée moyenne de 100m. Cette formation quasi-interstratifiée s'enfonce avec un pendage moyen de 50 à 60°.

Les réserves sont de **875 000t** de minerais sulfurés à **0.6%Cu** soit **5 000t** de cuivre métal. Un tel gisement paraît inexploitable. Quelques lentilles de beaucoup plus faible volume sont connues aux environs.

Le gîte de **Bevalaha**, à 25 km au Nord-Est de la Sakoa, est constitué par une brèche cuprifère incluse dans la zone faillée formant le contact du socle (séricitoschistes) et de la série sédimentaire du golf de Vohibory.

Elle a été étudiée par tranchées, puits, galeries et sondages. La brèche s'allonge sur 500 m de longueur. La zone superficielle est enrichie avec chalcosine, cuprite et malachite. En profondeur, on trouve des pyrites plus ou moins cuprifères qui se diffusent largement dans la brèche. Le bureau minier n'a indiqué ni teneurs ni réserves. Les anciens travaux du service des mines en 1941 ont reconnu une partie du gîte sur 35 m de longueur et 12m de profondeur. La teneur moyenne s'établissait à **5%Cu** et les réserves étaient estimées à **294t** de cuivre métal renfermant **11.7kg d'or** et **57.6kg d'argent**.

Le secteur de **Besatrana**, à 3Km au Sud de Bevalaha, est situé dans la ceinture amphibolique du massif granitique du Besera. On trouve là un champ filonien de 200m de largeur avec 500 à 800m de longueur, renfermant plusieurs veines quartzeuses pneumatolytique minéralisées en chalcopyrite, chalcosine, malachite et azurite. Ces veines ont des épaisseurs variant de 30cm à 2m s'allongent sur quelques dizaines de mètres, se prolongeant parfois en chapelets sur quelques centaines de mètres. La minéralisation est très irrégulière et la zone d'enrichissement superficiel ne dépasse pas une douzaine de mètre de profondeur. La veine principale de Besatrana a été étudiée par tranchée, descenderies et sondages.

Elle a été décapée sur une longueur totale à 220m. Le prolongement est d'environ 45%. Le minerai des descenderies, traité dans une petite usine de concentration munie de concasseur, broyeurs, tamis et bacs à pulsion, a donné 3.9% de chalcosine et de chalcopyrite ; les minerais oxydés n'ont été récupérés qu'en très faible proportion. Le calcul des réserves entre les deux descenderies distantes de 50m et sur une profondeur de 16m, avec une épaisseur moyenne d'1m, a donné un chiffre de **134t** de cuivre métal renfermant **156Kg d'argent** et **13.8Kg d'or**.

2.3 Situation des gisements cuprifères

2.3.1 Principaux explorateurs cuprifères [8]

Le tableau suivant montre l'occupation actuelle minière par les opérateurs du secteur grande mine :

Tableau 7: Mine à explorer

Produits	Localisations géographiques	Logos	Compagnies minières
Cuivre-Nickel-Graphite	Ampanihy		MADA-AUST
Cuivre-Or-Argent	Vohibory		Titulaire du permis de recherche (PR)
Graphite-Vanadium	Fotadrevo		
Cuivre-Zinc-Or	Besakoa		SUNRIDGE GOLD CORP

(Source : Monographie secteur minier Malgache 2014)

2.3.2 Situation du gisement cuprifère dans le monde [9]

2.3.2.1 Le marché du cuivre : la folie du métal rouge

Selon l'International Copper Study group de Londres, le prix du cuivre s'envole fortement de 2010 à 2012 et devrait atteindre 12 000 \$ la tonne (3115 \$ le 4 janvier 2005 ; 10 050 \$ le 4 février 2011) car le marché du cuivre est déséquilibré.

La forte demande et consommation de cuivre explique la hausse des cours : la Chine représente 40% de la demande soit 45 milliards de dollars par an (2011).

Le cours du cuivre est négocié à Londres, à la bourse des métaux (LME, le London Metal exchange fondé il y a 400 ans sous Elizabeth I) et supervise le stockage des lots de cuivre qui sont chaque jour échangés en bourse. Le LME organise et supervise l'équivalent de quelques semaines de consommation de cuivre dans quelques 600 zones de stockage réparties dans le monde entier.

La production mondiale de cuivre a été de 4,3 millions de tonnes en 2011.

2.3.2.2 Le classement mondial 2012 des Pays producteurs de cuivre

Il est réalisé par l'ISCG dans son Rapport Copper Supply and Consumption. Il est élaboré en short tons (un short ton équivaut à 907 kilos), en usage aux USA, mais nous l'avons traduit en tonnes métriques pour nos abonnés. Les points importants de ce classement sont :

- Le **Chili** détient le 1^{er} rang mondial dans la production de cuivre avec 32% du total mondial.

- La **Chine** s'adjuge le second rang et progresse régulièrement, à un rythme soutenu : 780 000 short tons en 2002, 1 766 000 short tons en 2012
- Le **Pérou** occupe le troisième rang, et accroît régulièrement sa production, mais moins vite que la Chine : 931 000 short tons en 2002, et 1 431 000 short tons en 2012.
- Les **Etats Unis d'Amérique** sont tombés au quatrième rang suite à une baisse régulière de leur production, depuis le sommet atteint en 1997 : 2 138 000 short tons à l'époque, pour 1 286 000 short tons en 2012.

La production mondiale de cuivre augmente régulièrement : 10,4 millions de short tons en 1992, 15 millions en 2002 et 18,8 millions en 2012, soit l'équivalent de 17,1 millions de tonnes métriques, grâce à l'essor de production dans les Pays émergents. (source : lasynthese.fr)