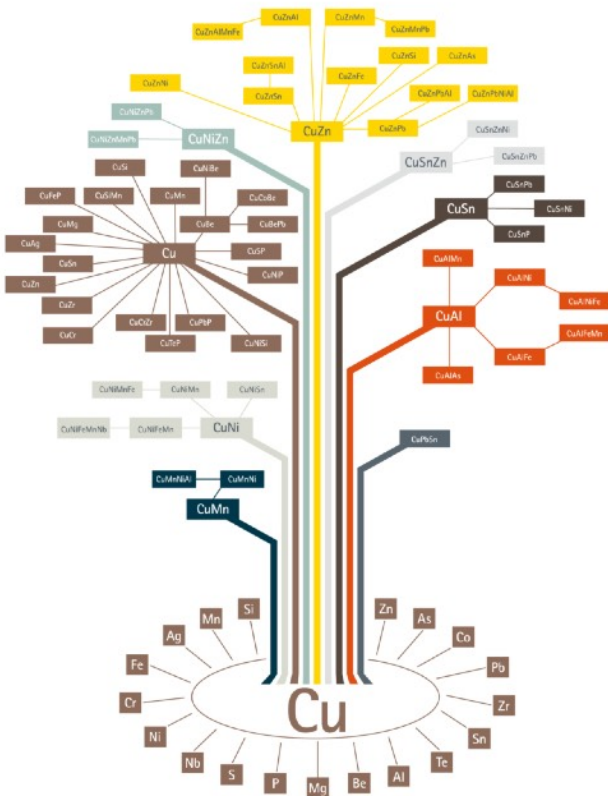


## Sommaire

1. Métallographie .....	2
2. Méthodes de préparation des échantillons .....	4
Tronçonnage .....	4
Enrobage .....	5
Polissage .....	5
3. Problèmes et solutions .....	6

Le cuivre est utilisé depuis des dizaines de milliers d'années et revêt donc une importance historique dans le domaine de la métallurgie. En tant que métal dont les alliages ont été explorés et mis au point depuis des millénaires, les alliages de cuivre sont connus pour leur conductivité thermique et électrique, et leur ductilité. Par exemple, le bronze est un alliage de cuivre qui a été le métal le plus exploré au cours de l'âge du bronze, bien nommé. En outre, leur résistance à la corrosion, leur solidité et leur abondance les rendent précieux pour de nombreuses industries.

Aujourd'hui, il existe une pléthore d'alliages de cuivre sur le marché, parmi lesquels on peut choisir la bonne qualité en fonction des propriétés requises. L'arbre des alliages de cuivre publié par l'Institut européen du cuivre donne une vue d'ensemble des alliages de cuivre existants. Comme on peut le voir dans l'arbre des alliages, le cuivre peut être allié à une variété d'autres métaux. Il existe 6 grandes catégories d'alliages de cuivre largement utilisés :



1. Laiton - allié au zinc
2. Bronze - allié à l'étain
3. Cuivre-nickel - Allié au nickel
4. Maillechort - Allié au nickel et au zinc
5. Gunmetal - Allié à l'étain, au zinc et au plomb
6. Cuivre Béryllium - Alliage avec du béryllium.

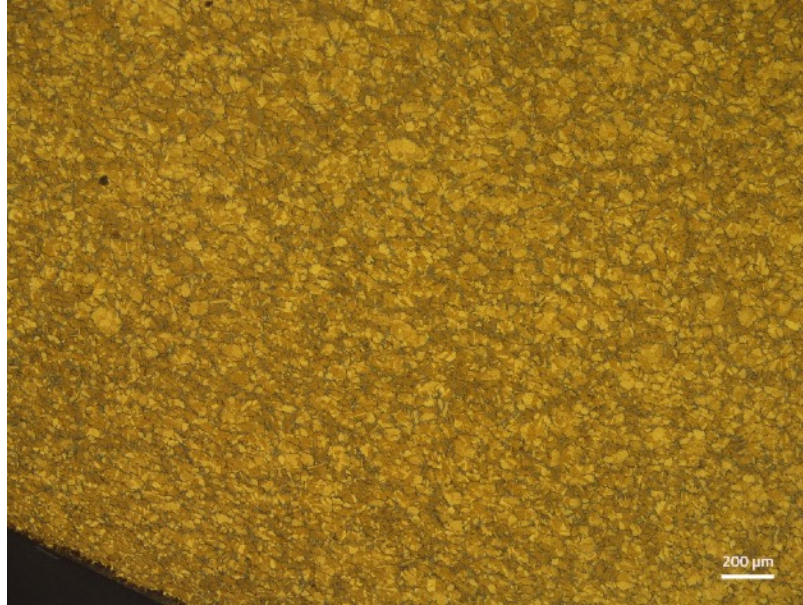
Arbre des alliages de cuivre publié par l'European Copper Institute<sup>1</sup>

Il convient de noter que le cuivre pur non allié est également utilisé pour de nombreuses applications électriques. Quel que soit l'alliage considéré, la métallographie joue un rôle essentiel dans la qualification d'un alliage pour une application donnée et dans le développement de nouveaux alliages pour certaines applications.

<sup>1</sup> <https://copperalliance.eu/about-copper/copper-and-its-alloys/allloys/>

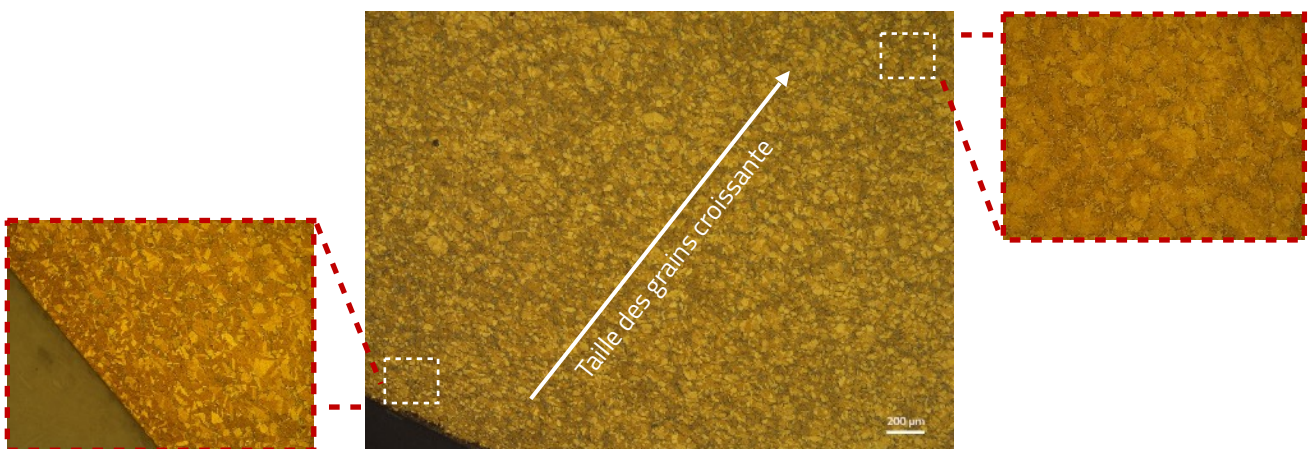
# 1. Métallographie

Les alliages de cuivre peuvent être corroyés ou coulés. Étant ductiles, ils peuvent être laminés à froid ou à chaud plus facilement que les autres systèmes d'alliages non ferreux conventionnels. Selon la technique de fabrication et le traitement auquel ils sont soumis, on peut tirer plusieurs conclusions importantes de la caractérisation microstructurale. Par exemple, dans les alliages de laiton et de bronze, la déformation due à l'extrusion entraîne une formation importante de "twinning" dans la microstructure. L'image ci-dessous montre comment les twinning se révèlent dans un alliage de laiton laminé. Il faut faire attention à ne pas induire de déformation lors de la préparation de l'échantillon.



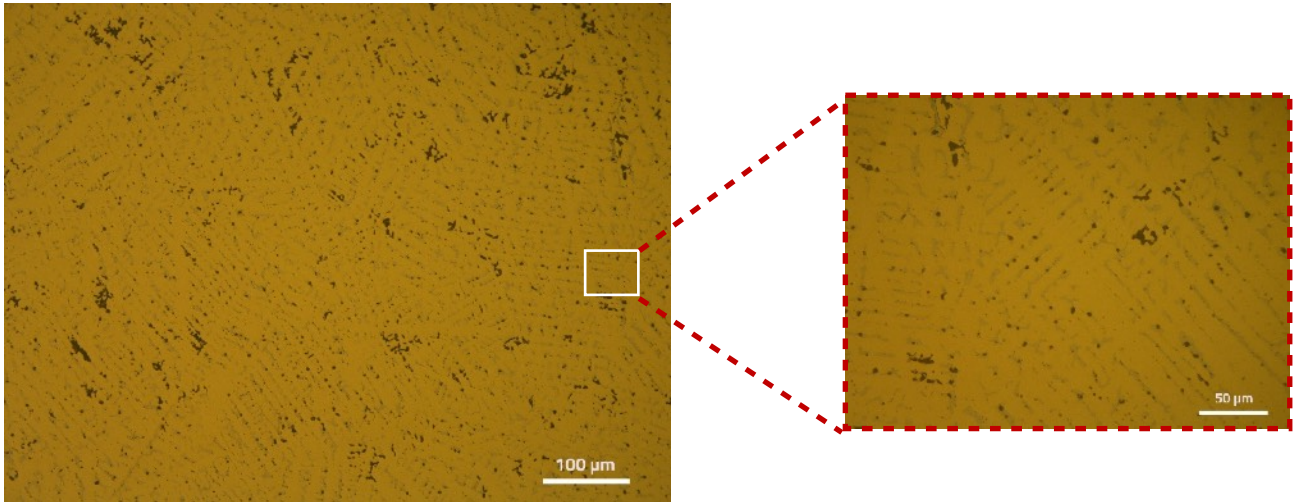
*Microstructure d'un alliage de laiton corroyé illustrant des twinning dans la structure du grain (les twins sont les régions en bandes observées dans les grains). Polie avec la méthode de polissage donnée dans cette page et en utilisant le réactif d'attaque chlorure ferrique alcoolique.*

Selon les paramètres de traitement auxquels l'alliage est soumis, comme la température de recuit, les grains peuvent se recristalliser ou croître. Lorsque la répartition de la température dans le matériau n'est pas uniforme, la taille des grains peut varier. Le même phénomène peut se produire sous l'effet de charges d'extrusion ou de laminage. Étant donné que les alliages de cuivre se déforment facilement, la variation de la taille des grains peut jouer un rôle essentiel dans la détermination des propriétés mécaniques de la pièce finale.

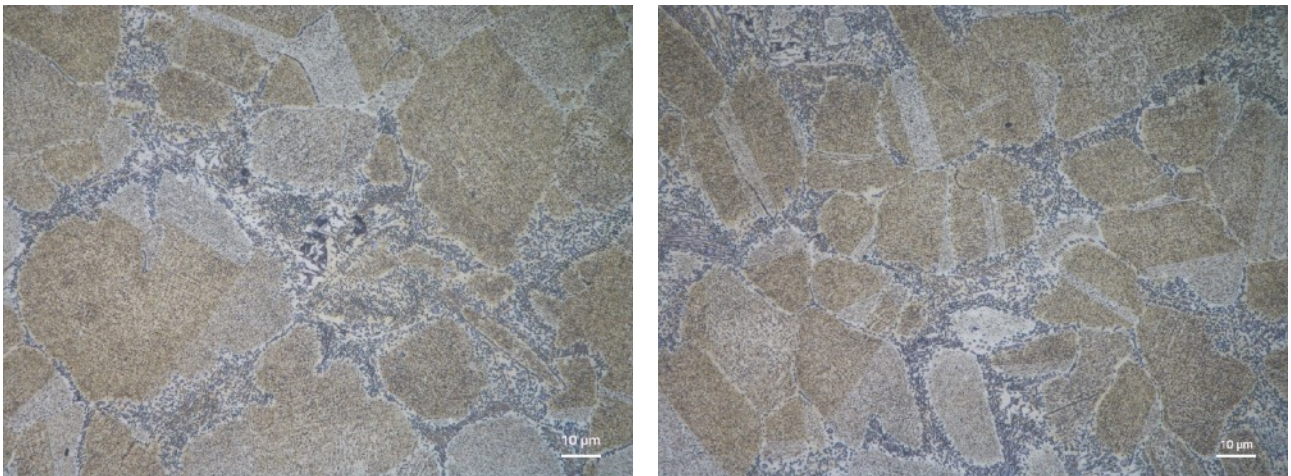


*Microstructure d'un alliage de laiton extrudé illustrant une taille de grain croissante de la surface vers le centre. Polie avec la méthode de polissage donnée dans cette page et attaquée avec du chlorure ferrique alcoolique.*

Les microstructures d'alliages de cuivre peuvent contenir un large éventail de phases identifiées par des lettres de l'alphabet grec. La présence d'une phase particulière dépend du système d'alliage et de la méthode de fabrication. Parmi les différentes phases, la phase alpha " $\alpha$ " peut être considérée comme la principale car elle indique la structure CFC (Cubique Face Centrée) du cuivre à l'équilibre. Lorsque tous les éléments d'alliage sont dissous dans la matrice de cuivre, ce qui est généralement le cas dans les systèmes Cu-Ni, on observe une seule phase  $\alpha$ . Cependant, l'ajout d'éléments peut favoriser la formation d'autres phases donnant lieu à des microstructures polyphasées. Par exemple, l'augmentation de la concentration d'étain au-dessus de 11% dans les bronzes-étain coulés peut donner lieu à des microstructures polyphasées avec des îlots de phase  $\delta$  (une phase riche en étain à structure CFC). La photo ci-dessous montre la microstructure polyphasée d'un alliage de bronze coulé.



*Une microstructure polyphasée d'un alliage de bronze coulé montrant des  $\alpha$ -dendrites avec deux phases différentes (grise et noire) dans les zones interdendritiques révélées après polissage avec de la silice colloïdale.*



*Microstructure polyphasée d'un alliage de laiton corroyé présentant une grande quantité de précipités d'alliage dans les zones intergranulaires.*

Les précipités intermétalliques, comme ceux que l'on voit dans la microstructure ci-dessus, dans les régions intergranulaires, peuvent être désastreux pour les applications structurales. Pour certaines applications, les précipités sont avantageux car ils permettent d'affiner la taille des grains. Quel que soit le cas, la métallographie permet l'analyse des microstructures et donne des indications critiques sur la morphologie et les caractéristiques de ces précipités.

Un des principaux facteurs affectant les propriétés conductrices du cuivre pur est la quantité d'oxygène qu'il contient. L'oxygène peut également modifier profondément la microstructure de l'alliage. Il est intéressant de noter que le cuivre et l'oxygène forment un système eutectique comme les systèmes d'alliage Cu-Al.

## 2. Méthodes de préparation des échantillons

Afin d'analyser la microstructure, l'échantillon doit être préparé correctement sans endommager la microstructure. Voici ci-dessous les méthodes à suivre à chaque étape du processus de préparation de l'échantillon pour analyser correctement la microstructure.

### Tronçonnage

Lors de la préparation d'un échantillon métallographique, les régions d'intérêt doivent être choisies avec soin. Une fois la région choisie, les consommables de coupe, la machine et les systèmes de fixation peuvent être choisis correctement. Souvent, plusieurs coupes sont nécessaires pour séparer la zone d'intérêt.

#### Disques de tronçonnage

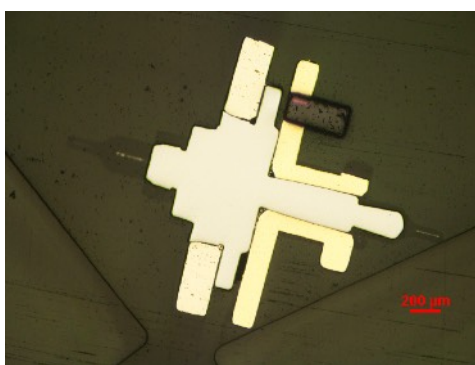
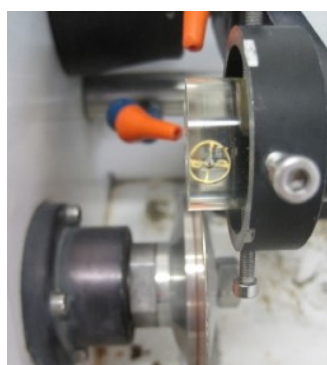
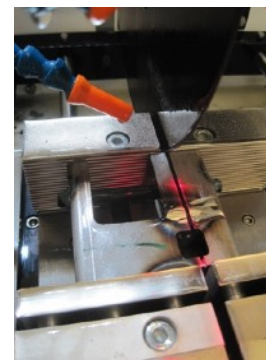
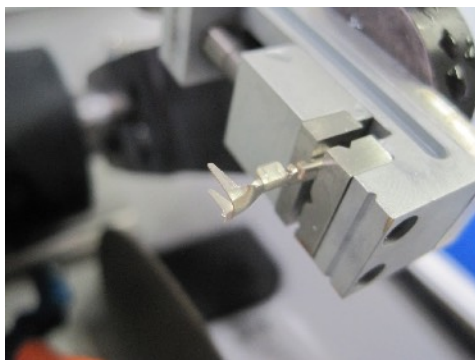
Pour une découpe rapide, les disques de tronçonnage Excellence LAM PLAN peuvent être utilisés. Pour les coupes de précision, les disques de tronçonnage de Précision LAM PLAN sont recommandés. Pour plus de conseils sur les consommables et les paramètres de coupe, consultez nos articles sur la métallographie du matériau à tronçonner.

Pour les alliages de cuivre, les disques de tronçonnage Excellence H4 et les disques de Précision Blanc sont des choix appropriés. Ces disques contiennent des abrasifs SiC, ce qui en fait le meilleur choix pour le tronçonnage des alliages de cuivre.



#### Fixation

Selon la forme et la taille de la pièce, il faut choisir un étau ou un système de fixation. Les formes complexes de certaines pièces peuvent ajouter des complications à ce processus. Parfois, lorsque la pièce est complexe, elle est enrobée dans une résine avant d'être découpée. Les systèmes de fixation de LAM PLAN permettent d'éviter les vibrations excessives et la libération dangereuse des pièces des systèmes de fixation lors de la découpe avec les machines Cutlam.



À gauche - Sectionnement d'un composant en cuivre de forme complexe comportant plusieurs éléments après enrobage dans une résine transparente ; à droite - Composant poli vu au microscope optique.

#### Fluide de tronçonnage

Pour les alliages non-ferreux, il est recommandé d'utiliser le fluide de coupe LAM PLAN 723 pour éviter un échauffement excessif et une déformation de la microstructure. Le fluide fournit la bonne proportion de lubrification et d'effet de refroidissement, ce qui le rend idéal pour les applications métallographiques.

## Enrobage

Les alliages de cuivre peuvent être sensibles aux températures supérieures à 150°C, qui sont généralement atteintes dans les processus d'enrobage à l'aide d'une presse à enrober. Selon la sensibilité thermique de l'information à interpréter à partir de la microstructure, on peut choisir soit l'enrobage à chaud (presse à enrober) ou l'enrobage à froid (température ambiante).

Les résines 605 sans CMR largement utilisées par LAM PLAN peuvent offrir des solutions d'enrobage rapides à température ambiante et faciles à utiliser. Lorsque le retrait sur les bords de l'échantillon devient critique pour l'analyse, la résine à base de polyester 607 ou les résines époxy 603 et 603.2 fonctionnent efficacement.

Lorsque la pièce doit être analysée sous un MEB, des résines conductrices spéciales sont disponibles. On peut aussi utiliser une résine d'enrobage d'usage général et pulvériser de la fine poudre d'or sur la surface après polissage.

Pour en savoir plus sur tous nos consommables d'enrobage :

[Consulter](#)

## Polissage

La première étape consiste généralement en un pré-polissage ébauche pour mettre plan les échantillons. Les papiers abrasifs SiC sont largement utilisés pour le pré-polissage des alliages de cuivre car ils permettent un enlèvement de matière rapide.

Une fois que les échantillons sont plats, ils peuvent être pré-polis/polis. Les disques de polissage LAM PLAN Touchlam 2TS3 et Touchlam 3FV1 sont très efficaces lorsqu'ils sont utilisés avec les liquides Biodiamant Neodia sur les alliages de cuivre. Les disques de polissage conservent la planéité des échantillons pendant le processus de polissage.

Souvent, cette étape de polissage est complétée par une étape de polissage plus fin pour affiner les rayures afin d'analyser la microstructure à des grossissements plus élevés (>200X) ou même au MEB (microscope électronique à balayage). Cette étape peut être définitivement sautée lorsque seules des caractéristiques relativement grandes sont analysées.

ÉTAPES	1	2	3	4	5
SUPPORTS	PAPIER ABRASIF P600	PAPIER ABRASIF P1200	TOUCLAM 2TS3	TOUCLAM 3FV1	TOUCLAM 4MP2
FLUIDE	EAU	EAU	BIODIAMANT NEODIA 3P	BIODIAMANT NEODIA 1P	LIQUIDE FINALE diluée à 50% dans l'eau
VITESSE DE TÊTE (tr/min.)	60	60	60	60	60
VITESSE DE PLATEAU (tr/min.) / SENS	150 / H	150 / H	150 / H	150 / H	150 / AH
FORCE (N)	25	25	20	20	20
DURÉE (min.)	1	1.5	3	2	2

*H – Horaire / AH – Anti-horaire / rotation de la tête : Anti-horaire  
(La procédure est présentée pour le polissage de 6 échantillons enrobés en diamètre 30 mm)*

Pour des conseils sur les étapes de polissage, consultez nos articles sur la métallographie de matériaux spécifiques :

[Consulter](#)

### 3. Problèmes et solutions

Voici quelques solutions aux problèmes courants qui peuvent survenir lors de la préparation d'échantillons métallographiques des alliages de cuivre.

<b>Problème(s)</b>	<b>Cause(s)</b>	<b>Solution(s)</b>
<b>Surface de découpe brûlée</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Avance de disque trop rapide</li><li>▪ Disque pas adéquat</li><li>▪ Débit de fluide lubrifiant insuffisant</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Réduire la vitesse d'avance</li><li>▪ Bien positionner le fluide dans la région de tronçonnage</li></ul>
<b>Des rayures restent après le polissage</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Disque de polissage pollué</li><li>▪ Échantillons mal nettoyés entre les différentes étapes de polissage</li><li>▪ Espace (retrait) entre l'enrobage et l'échantillon</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Remplacer le disque de polissage. Rangez le disque de polissage dans une armoire fermée/BoxLam</li><li>▪ Bien rincer les échantillons après chaque étape de polissage. Utiliser un bac à ultrasons avant le polissage final</li><li>▪ Essayer les résines époxy pour éviter le retrait autour de l'échantillon</li></ul>
<b>Attaque chimique pas homogène</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Le réactif n'est pas le bon</li><li>▪ Espace (retrait) entre l'enrobage et l'échantillon</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Utiliser le bon réactif et technique (Réf. ASM Handbook)</li><li>▪ Essayez les résines époxy pour éviter le retrait autour de l'échantillon</li></ul>
<b>Abrasifs incrustés après polissage</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Utilisation excessive de liquide abrasif</li><li>▪ Force excessive lors du polissage</li><li>▪ Liquide abrasif incorrect</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Réduire la fréquence de dosage des abrasifs</li><li>▪ Réduire la pression de polissage</li><li>▪ Vérifiez si vous utilisez les bons consommables</li></ul>
<b>Pollution/traces sur la surface</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mal nettoyé ou mal séché après polissage</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Utiliser de l'alcool pour nettoyer</li><li>▪ Bien sécher la surface</li><li>▪ Utiliser le LAM15 pour essuyer</li></ul>
<b>Formes de porosité pas nettes</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Temps de polissage sur un disque de polissage trop long</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Réduire le temps de polissage en silice colloïdale</li></ul>