

Le cuivre béryllium : un alliage indispensable au quotidien

Charles Gayot, ingénieur développement et Angélique Renier, responsable communication et environnement, NGK Berylco France

Dans les alliages cuivre béryllium, le béryllium améliore les qualités mécaniques du cuivre, sans nuire à sa conductivité électrique et thermique, ainsi que la résistance à la fatigue et à la corrosion. Ses avantages font du béryllium et des alliages qui en sont composés, un matériau particulièrement adapté aux systèmes de haute technologie.

Le cuivre béryllium est un alliage utilisé dans tous les secteurs mais très peu connu du grand public, qui toutefois l'utilise au quotidien. Tour d'horizon de ses propriétés et des applications où il est intégré.

Le béryllium

Le béryllium est un métal peu dense (1,848 g/cm³) aux nombreuses qualités, difficilement substituable qui est utilisé dans de nombreux secteurs d'activité et produits de hautes technologies. Les propriétés du béryllium en font un matériau de premier choix dans de nombreux domaines industriels. En effet, il est un tiers plus léger que l'aluminium et six fois plus rigide que l'acier, très résistant à la torsion, très bon conducteur de chaleur, bon conducteur d'électricité, résistant à la corrosion et aux acides et il ne fond qu'à très haute température (1287 °C). Il est aussi non magnétique et est perméable aux rayons X, sa transparence est dix-sept fois plus élevée que celle de l'aluminium à épaisseur égale.

Ce métal a véritablement commencé à prendre une importance stratégique à partir de 1965 dans les domaines du spatial, de la défense et du nucléaire. Il est désormais majoritairement utilisé dans les applications que nous utilisons quotidiennement tels que les secteurs de la communication, automobile, aéronautique, électroménager, horlogerie, médical notamment sous forme d'alliages cuivre béryllium (ou bronze béryllium). Dans ces alliages, le

béryllium améliore les qualités mécaniques du cuivre, sans nuire à sa conductivité électrique et thermique, ainsi que la résistance à la fatigue et à la corrosion. Ses avantages, inégalés par d'autres matériaux en termes de performance et de fiabilité, font du béryllium et des alliages qui en sont composés, le matériau le plus adapté aux exigences actuelles des produits et systèmes de haute technologie.

Les principaux usages du béryllium métal

Le béryllium métal pur est utilisé dans le secteur médical tel que pour les fenêtres protégeant les sources d'émissions des rayons X, auxquels il est transparent, ainsi que les équipements de recherche ou de radiographie et autres imageries médicales (mammographie, lasers médicaux, scanners, IRM, lasers médicaux pour l'analyse ADN). Le premier usage du

béryllium pur a été sous la forme de pastilles de 0,5 mm d'épaisseur comme fenêtre interne de rayonnement et fenêtre de sortie des tubes à rayons X. C'est actuellement le béryllium qui équipe la quasi-totalité des fenêtres de rayons X pour sa transparence aux rayons X mous et durs. Des outils de maintenance et pièces en béryllium métal sont utilisés pour les équipements d'imagerie par résonance magnétique, dont les champs magnétiques très intenses nécessitent l'utilisation de matériaux amagnétiques. Le béryllium est également utilisé dans l'industrie nucléaire comme source de neutron lorsqu'il est mélangé à un émetteur alpha comme le polonium ou le plutonium. Le béryllium métal pur est aussi utilisé dans les systèmes de détection dans les aéroports, les ports et les postes frontières pour détecter des explosifs ainsi que dans l'aérospatial (composition des structures légères supérieures de lanceurs, système de guidage et gyroscope). Pour ces applications exigeantes où la sécurité est un élément majeur, il n'y a souvent aucun autre matériau capable d'égaliser la performance, la précision et la fiabilité du

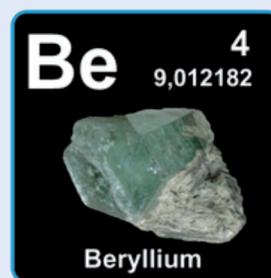


FIGURE 1 : Sources naturelles de béryllium dans l'environnement général (sols, plantes et légumes, et les minéraux comme la bertrandite ou le béryl)^[1].

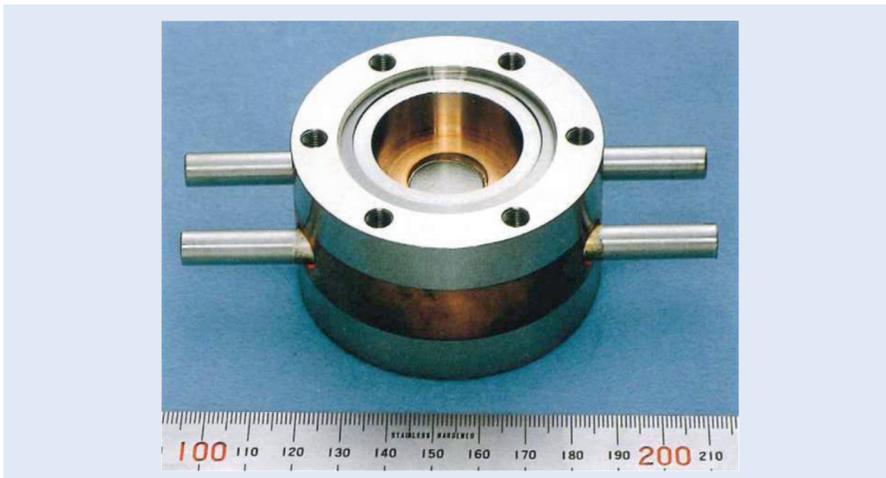


FIGURE 2 : Bride utilisée sur un montage de ligne de synchrotron munie d'une fenêtre de béryllium métal.

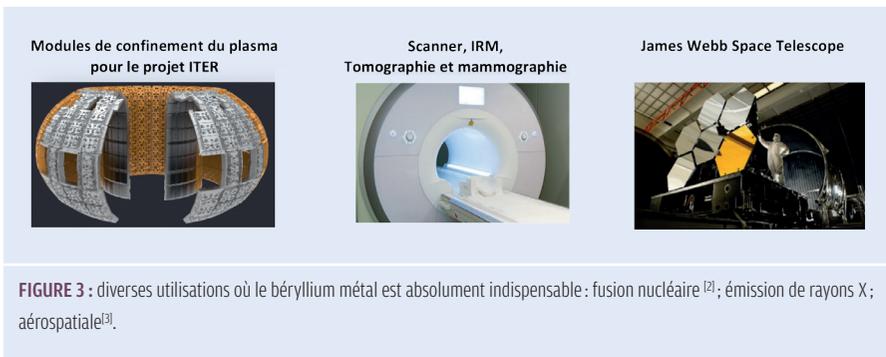


FIGURE 3 : diverses utilisations où le béryllium métal est absolument indispensable: fusion nucléaire [2]; émission de rayons X; aérospatiale[3].

béryllium. Il sera aussi utilisé dans la confection de miroirs réflecteurs comme ceux du nouveau télescope spatial James Webb destiné à remplacer Hubble. Le béryllium métal est par ailleurs indispensable à la réussite du ITER (International Thermal Energy Reactor), en cours de construction à Cadarache en France, dans lequel il permet entre autres de contrôler la température extrêmement chaude du plasma créé dans le réacteur thermonucléaire [2].

L'alliage cuivre béryllium, un alliage irremplaçable utilisé au quotidien

Le cuivre béryllium est produit industriellement depuis 1935 et constitue la principale utilisation actuelle du béryllium adjoint au cuivre à une concentration de 0,2 à 2 % en masse. Cette addition de béryllium permet un accroissement spectaculaire de la résistance mécanique du cuivre passant de 200 MPa pour le cuivre électrolytique à plus de 1500 MPa pour l'alliage CuBe2 (2 % de béryllium dans du cuivre). Il est utilisé dans des industries et secteurs aussi divers que l'aéronautique,

l'aérospatiale, l'automobile, l'informatique, la téléphonie mobile, le médical, l'électroménager, le bâtiment, et la défense.

La raison de l'importance industrielle de ces alliages est leur combinaison unique de très hautes résistances mécaniques proches de la plupart des aciers tout en maintenant une

bonne conductivité électrique et thermique dans la plage de 20 à 70 % de celle du cuivre pur, ainsi que des propriétés amagnétique et anti-étincelant. La plupart des métaux et alliages à haute résistance ont une conductivité bien inférieure. À titre d'exemple, la conductivité de l'acier est de l'ordre de 5-10 % celle du cuivre. Parmi les alliages de cuivre, les alliages de cuivre au béryllium présentent la meilleure combinaison possible entre résistance mécanique et conductivité électrique (figure 4). L'alliage cuivre béryllium est ainsi largement utilisé dans des applications critiques telles que les airbags, ABS, capteurs, systèmes avioniques, altimètres, GPS, connecteurs des cellules photovoltaïques, prises pour les véhicules électriques (EV) et hybrides (HEV) et appareils médicaux. Dans les applications quotidiennes, il est utilisé dans les contacteurs et connecteurs électroniques dans les domaines de la téléphonie, de l'informatique, de l'électroménager et de l'automobile. En mécanique de précision, il est utilisé en tant que ressorts miniatures d'appareils électriques et informatiques, balanciers et remontoirs en horlogerie, diaphragmes des stéthoscopes dans le médical, outils antidéflagrants pour les industries gazière et pétrolière, ainsi que, du fait de son excellente conductivité thermique, dans l'industrie pour les moules de coulée de l'aluminium et de la plasturgie (pistons, injecteurs). Le cuivre béryllium offre aussi des propriétés antigrippantes aux bagues de frottement utilisées dans l'aéronautique ou encore dans l'industrie du forage pétrolier, ainsi que dans des solutions de blindage aux interférences électromagnétiques.

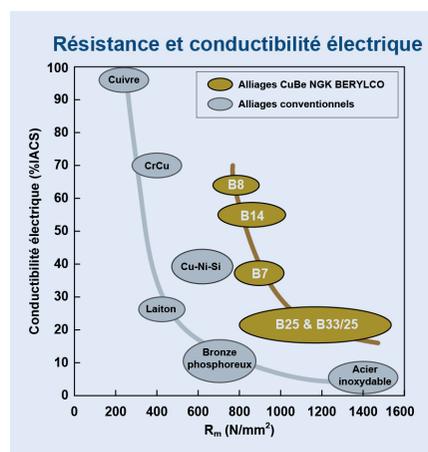


FIGURE 4 : Conductivité électrique vs résistance mécanique pour les alliages Cuivre béryllium et d'autres alliages courants.

Contactes et connecteurs électriques

Ces applications constituent de loin l'utilisation la plus importante des alliages de cuivre béryllium. Les connecteurs au cuivre béryllium se retrouvent notamment dans les systèmes de télécommunications, les ordinateurs et les commandes industrielles et médicales mais aussi de façon indispensable dans l'aéronautique et l'automobile.

La défaillance de connexion dans les circuits est l'une des plus grandes causes de panne électrique et doit être absolument évitée, particulièrement dans les circuits critiques dont dépend le fonctionnement sécuritaire de l'équipement comme dans un avion. Ainsi, la conception des connecteurs et le choix des matériaux utilisés ont une grande influence sur leur fiabilité. Ils doivent ainsi présenter une bonne

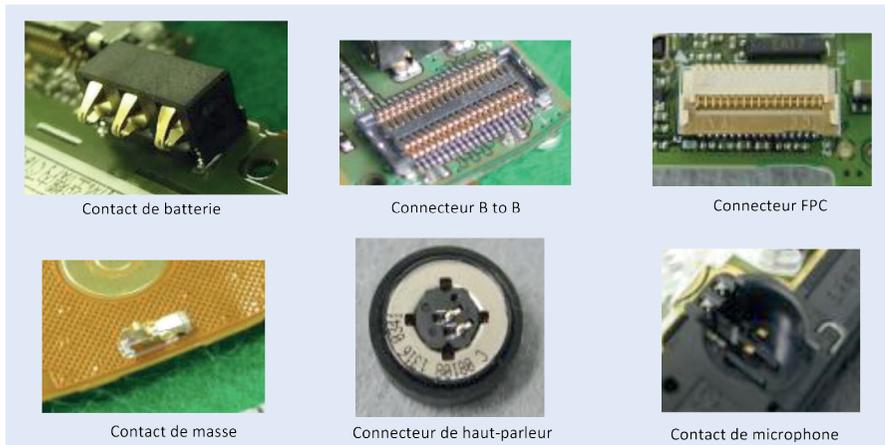


FIGURE 5 : Contacts stratégiques en cuivre béryllium.

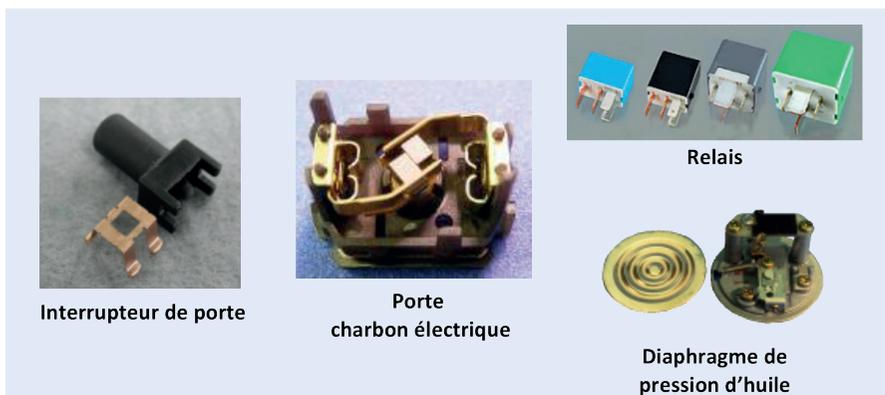


FIGURE 6 : Exemples de pièces en cuivre béryllium.



FIGURE 7 : Différents connecteurs utilisés dans l'industrie aéronautique, un altimètre et des soufflets métalliques de mesure de pression^[4] et les bagues utilisées sur les trains d'atterrissage.

conductibilité électrique, être suffisamment robustes pour endurer toutes les contraintes mécaniques comme les vibrations, serrages des serrages, être capable de rester stables dans le temps malgré des contraintes environnementales sévères, être résistants à la corrosion et doivent pouvoir adopter des formes complexes et la plupart du temps miniaturisées. Presque tous les connecteurs électriques incorporent des bornes à base de cuivre pour transporter un courant ou un signal en raison de

sa très grande conductivité. Cependant, pour la plupart des connecteurs, le cuivre doit être renforcé mécaniquement pour obtenir la force de ressort requise grâce à une combinaison d'alliages et au laminage à froid du matériau. Les laitons laminés à froid (alliages de cuivre et zinc) et les bronzes (cuivre et étain) sont des matières couramment utilisées pour les connecteurs moins critiques, bien que ces alliages présentent des conductivités comprises entre 10 et 15 % celle du cuivre.

Les alliages cuivre béryllium présentent les plus grandes combinaisons de robustesse, de conductivité, de résistance à la relaxation des contraintes à températures élevées et de formabilité parmi tous les alliages cuivreux. C'est pourquoi ils sont utilisés pour la partie femelle des contacts car ils permettent un très bon maintien de la partie mâle.

Le cuivre béryllium est alors très souvent utilisé sur les cartes électroniques et en téléphonie dans les connecteurs de batteries, *board-to-board*, d'antennes, de cartes SIM ou bien encore pour les contacts de type jack ou pour les haut-parleurs pour son « effet ressort » et donc garantir le maintien du contact tout au long de la vie de l'appareil. Les dernières tablettes, téléphones, matériels électroniques intègrent ainsi la plupart du temps un grand nombre de contacts stratégiques en cuivre béryllium. Il existe également de nombreux secteurs où le cuivre béryllium est utilisé de façon systématique pour des raisons liées à la sécurité et la longévité des appareils dans lequel il est intégré. Le secteur de l'automobile utilise de nombreuses pièces en cuivre béryllium. En moyenne, plus de 30 g de CuBe peuvent être trouvés dans une voiture dans les connecteurs, les interrupteurs, capteurs et relais. On en retrouve dans les contacts et les bras de brosse des micromoteurs pour les lève-vitres, les interrupteurs pour les lampes, les commodos ou bien encore le contact de marche arrière sur la boîte de vitesses. La membrane de jauge de pression d'huile est également réalisée en cuivre béryllium.

Le secteur de l'aéronautique en utilise également beaucoup pour ses caractéristiques exceptionnelles mais aussi pour la sécurité de fonctionnement de l'avion. En effet, même si beaucoup de systèmes redondants sont installés, il est inconcevable qu'il y ait des problèmes électroniques sur un avion. Ainsi, énormément de connecteurs de câbles de transmission de données sont en cuivre béryllium. Des pièces mécaniques d'importance comme les bagues sur les trains d'atterrissage, les ressorts pour faire sauter les portes en cas d'atterrissage d'urgence ou bien les systèmes de déploiement des toboggans sont en cuivre béryllium pour leur grande résistance mécanique et l'effet ressort qui perdure dans le temps, malgré les conditions extrêmes auxquelles sont soumis les avions durant leur durée de vie. En ce qui concerne les instruments de mesures, les baromètres anéroïdes de précision sont utilisés depuis le XIX^e siècle pour mesurer la

Gestion responsable des alliages contenant du béryllium



Les alliages contenant du béryllium, sous forme solide et intégrés dans des produits finis, ne présentent pas de risque particulier pour la santé. Toutefois, comme de nombreux autres matériaux industriels, les alliages contenant du béryllium présentent un risque pour la santé s'ils ne sont pas manipulés correctement. L'inhalation de poussières, de brouillards ou de fumées contenant du béryllium peut provoquer des affections pulmonaires graves chez certains individus. Le degré de risque varie en fonction de la forme du produit et du mode de traitement et de manipulation du matériau. Vous êtes tenu de lire la fiche de données de sécurité (FDS) spécifique au produit pour obtenir des informations supplémentaires relatives à l'environnement, à la santé et à la sécurité avant de travailler avec des alliages contenant du béryllium.

Les huit éléments sont définis par la mise en place de procédures et bonnes pratiques sur le lieu de travail, telles que décrites ci-dessous :

1 Protéger les poumons du béryllium

Lorsque les dispositions techniques et les contrôles des bonnes pratiques ne suffisent pas à réduire les expositions à des niveaux inférieurs à la valeur limite d'exposition recommandée (VLER) par l'association du béryllium BeST, de 0,6 microgramme de béryllium par mètre cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (inhalable), ou à la limite d'exposition professionnelle (VLEP) applicable dans l'État Membre, une protection respiratoire doit être portée. Ce niveau n'est pas visible à l'œil nu et doit être mesuré par prélèvement d'air.

2 Éloigner le béryllium de la peau

Évitez tout contact avec la peau de solutions, composés ou particules contenant du béryllium. Se laver les mains, le visage, les cheveux et la peau en cas de salissures.

3 Éloigner le béryllium des vêtements

Assurez-vous que les vêtements de travail, par exemple les pantalons et chemises, restent dans un état visuellement propre à l'œil nu en cas de contact potentiel avec des particules ou solutions contenant du béryllium. Ne portez pas de vêtements personnels dans les zones de travail où se trouve du béryllium sans sur-vêtement de protection.

4 Contenir le béryllium à la source

Les procédures de travail doivent être évaluées pour déterminer les voies qu'empruntent les particules ou solutions contenant du béryllium pour s'échapper des procédés de production (par exemple sur les opérateurs, les produits ou les équipements). Utilisez des mesures techniques (ventilation

par aspiration à la source) et contrôles des bonnes pratiques (exemple : utilisation de méthodes humides) pour minimiser la production de particules aéroportées contenant du béryllium.

5 Contenir le béryllium dans la zone de travail

Contrôlez le transport involontaire de solutions ou particules contenant du béryllium vers d'autres postes de travail, et empêchez la propagation du béryllium vers des zones de travail sans béryllium sur le site.

6 Contenir le béryllium sur le site industriel

Empêchez les particules contenant du béryllium de sortir du site industriel d'une manière incontrôlée, par exemple sur la peau, les cheveux, les vêtements, les chaussures, les outils, les équipements...

7 Maintenir la propreté des zones de travail du béryllium

Assurez-vous que les zones et surfaces de travail soient ordonnées, bien éclairées, dégagées et visuellement propres (exemptes de poussière ou de saleté). Nettoyez les surfaces avec un aspirateur Hepa (filtre des particules de l'air à haute efficacité) ou utilisez des méthodes humides : n'utilisez pas d'air comprimé ou de balais.

8 Sensibiliser les travailleurs exposés au béryllium

Les travailleurs doivent être formés, entraînés, motivés, impliqués et équipés pour respecter les consignes précédentes, dès leur premier jour de travail avec des alliages contenant du béryllium. <http://berylliumsafety.eu/>

pression atmosphérique absolue. En raison des excellentes propriétés et de la fiabilité de ces instruments, ils sont indispensables pour la météorologie, la navigation maritime, l'industrie, la recherche et le médical.

En **figure 7**, on peut voir un ensemble de cinq cellules anéroïdes qui constituent la pièce principale mesurant la pression atmosphérique d'un altimètre par exemple. Son fonctionnement est simple : lors d'un changement de pression, la capsule anéroïde se déforme et son mouvement est transmis à l'axe du pointeur en entraînant un segment et une roue. Ces cellules sont obligatoirement fabriquées en cuivre béryllium pour ses propriétés élastiques qui sont exemptes de durcissement avec l'âge et d'hystérésis ainsi qu'une tenue exceptionnelle à la corrosion.

Sans cuivre béryllium, il ne serait pas possible de garantir le fonctionnement optimal de la connectique et de diverses pièces liées à la sécurité pendant toute la durée de vie de l'avion. Il en va de même pour les éléments de sécurité des automobiles comme l'ABS où seul le cuivre béryllium est en mesure de fournir, grâce à ses propriétés inégalées, une fiabilité dans le temps.

Protection contre les rayonnements électromagnétiques

Les circuits électriques et électroniques doivent souvent être protégés contre des rayonnements électromagnétiques RFI/RMI émanant d'autres sources qui pourraient interférer avec ces derniers mais ils doivent aussi éviter d'émettre ce rayonnement afin de ne pas parasiter le signal d'autres composants. La protection consiste souvent en des enceintes métalliques qui, pour des raisons de contact mécanique et électrique, ont besoin de maintenir un contact fort avec la carte de circuits et d'autres composants. Elles ont aussi besoin d'avoir une bonne conductivité électrique, en particulier pour la protection contre les rayonnements haute fréquence.



FIGURE 8 : Ressorts de type « Fingerstock » en cuivre béryllium permettant un blindage magnétique [5].

Le cuivre béryllium est une matière idéale pour ce type d'application car elle garantit des propriétés mécaniques tout en maintenant une efficacité de blindage sur une gamme de fréquences extrêmement large. Le cuivre béryllium est donc utilisé à cet effet dans les téléphones portables ou bien les portes de chambres blindées dans l'industrie avec les pièces de type « *Fingerstock* ».

Applications médicales et métrologiques

Le cuivre béryllium est utilisé sous forme de fines feuilles estampées dans les diaphragmes des stéthoscopes, sphygmomanomètres et autres dispositifs de lecture de pression les plus sensibles utilisés au quotidien par les professionnels de la santé (précision de ± 2 mmHg). L'utilisation du cuivre béryllium offre ainsi une sensibilité accrue de la détection d'ondes mécaniques, dont les ondes sonores.

Les instruments électroniques médicaux tels que les scalpels chirurgicaux de cautérisation endoscopique, les ECG et autres systèmes

cardiaques, les dispositifs de stimulation nerveuse, doivent comprendre des systèmes de connecteurs électroniques extrêmement fiables. En effet, ces systèmes qui fonctionnent grâce à des composants jetables ou réutilisables et qui sont soumis à de fréquents cycles de stérilisation sont tous munis de bornes en cuivre béryllium.

Les fabricants qui produisent des lignes de connecteurs miniatures et subminiatures pour les instruments médicaux utilisent du cuivre béryllium car c'est le seul matériau capable de résister aux rigueurs imposées par les actions répétitives de connexion et de déconnexion.

Les fils de connexion ultrafins utilisés pour connecter des dispositifs de stimulation cardiaque et des défibrillateurs sont soumis à des millions de contraintes alternées pendant les nombreuses années au cours desquelles ils doivent fonctionner sans jamais faillir. Étiré très finement, le fil en alliage de cuivre béryllium à haute conductivité, qui est recouvert d'une épaisse couche de platine ou d'or, est fréquemment utilisé pour

offrir une combinaison de conductivité électrique à haute résistance et une résistance à la fatigue.

Les usages insoupçonnés du cuivre béryllium

Le cuivre béryllium, de par ses propriétés, est utilisé dans beaucoup de produits techniques. De plus, grâce à sa teinte soit dorée (2 % de béryllium) ou cuivrée (0,5 % de béryllium) et sa propension au formage, il peut aussi être utilisé dans l'industrie du luxe. En effet, l'industrie horlogère de luxe en utilise beaucoup dans les montres pour les mécanismes comme les roues dentées, les masses de balanciers annulaires des montres à remontage automatique ou bien encore les membranes de mesure de la pression pour la plongée. Ses propriétés mécaniques sont mises à contribution tandis que l'accent est mis sur l'esthétique grâce à sa teinte et son état de surface brillant. La lunetterie utilise le cuivre béryllium principalement pour la monture. En effet, il permet de réduire son épaisseur et accroît sa résistance.



NEW

Q60 A+
Appareil de micro dureté

Essais de micro dureté avec une précision ultime

QNESS se concentre sur le développement et la fabrication de produits haut de gamme innovants pour les essais de dureté. Sur la base de développements de pointe, QNESS a pour objectif de définir de nouvelles normes pour les machines d'essais et de redéfinir le segment des essais de dureté.

www.qness.com

part of **VERDER**
scientific



FIGURE 9 : Le cuivre béryllium est choisi sur la montre de luxe pour la pièce en contact entre le chariot et le rail. www.corum-watches.com

Miniaturisation et conception

La miniaturisation des composants, pour en réduire la taille ou le poids, doit pouvoir se faire sans pour autant sacrifier la performance et la fiabilité des connecteurs. Les connecteurs miniaturisés ont toujours besoin d'avoir une résistance et une conductivité suffisantes pour remplir leur fonction, bien que ces deux propriétés soient réduites à mesure de la réduction des dimensions du connecteur.

Grâce à ses propriétés principales qui sont une grande conductibilité électrique et une grande résistance mécanique, les alliages de cuivre béryllium offrent au concepteur la flexibilité d'employer des bornes et contacts de taille plus petite tout en maintenant leur fiabilité et leur performance. Avec une masse et un encombrement du connecteur réduits, une quantité moindre de plastique est utilisée, ce qui engendre une économie d'énergie et limite les coûts liés au recyclage.

Les alliages cuivre béryllium permettent une plus grande liberté de conception dans les applications complexes et exigeantes des

contacteurs et connecteurs électriques. Des économies de poids de matière de l'ordre de 75 % peuvent être réalisées en utilisant un alliage de cuivre béryllium par rapport à d'autres alliages. Ainsi, le coût de la pièce unitaire se retrouve diminué bien que le prix de l'alliage puisse être plus élevé que d'autres alliages communs.

Matière première stratégique et risques de rupture d'approvisionnement

L'irruption des terres rares sur la scène médiatique en 2010 a accru la confusion autour des notions de métaux « rares, stratégiques ou critiques ». En résumé, le béryllium n'est pas un métal rare car il n'existe pas de risque de pénurie mondiale, mais est un métal identifié comme étant stratégique par la Commission Européenne, car il est utilisé dans des applications critiques où les notions de sécurité et de fiabilité sont primordiales. Le béryllium n'est pas extrait en Europe et l'impact économique en cas de rupture des approvisionnements serait fort dans de nombreux domaines d'activité.

En effet, utilisé dans l'industrie de haute technologie, pour lesquels les risques industriels liés à un déficit de l'offre ou d'approvisionnement sont élevés et pour lesquels il n'y a pas de substitution possible, et de par ses propriétés uniques, le béryllium est identifié comme matière première stratégique par la Commission européenne depuis la première liste de matières premières critiques pour l'UE établie en 2011 (2017) [6] ainsi que par le Comité français pour les métaux stratégiques (COMES) [7]. L'impossibilité de remplacer le béryllium est également reflétée dans le rapport géologique américain sur le béryllium (et par le ministère français de la Défense [8]). Le béryllium est critique pour l'industrie française et européenne, en particulier compte tenu de son utilisation dans des projets de développement de hautes technologies (Iter, Galileo...).



FIGURE 10 : Les alliages cuivre béryllium sont les plus utilisés par les industries et contribuent à la miniaturisation et la fiabilité. Source NGK Beryllco.

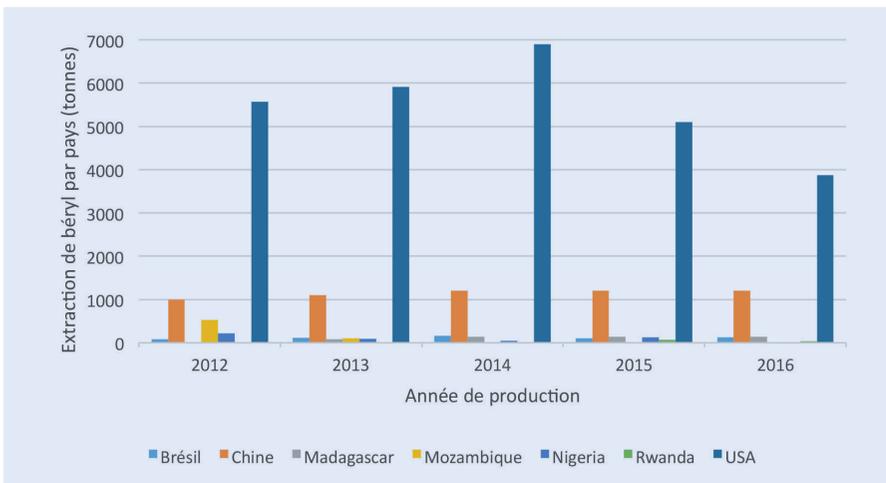


FIGURE 11 : Production mondiale de béryl par pays de 2012 à 2016 [8].

Substitution

Il n'existe pas d'autre élément chimique possédant une combinaison de propriétés similaire au béryllium. Les différents travaux de recherche sur des alliages de substitution ont démontré qu'il n'existait pas de solution alternative présentant des performances équivalentes. Un cas possible de solution alternative

est signalé pour les électrodes de soudage. Pour d'autres applications plus critiques, il s'avère qu'une substitution non maîtrisée peut présenter des risques importants en terme de sécurité.

Certains utilisateurs essaient parfois de remplacer ces alliages par des alliages différents, moins coûteux, mais avec des caractéristiques techniques inférieures, qui ont entraîné une perte de performances, de fiabilité et de sécurité. Ses propriétés et avantages par rapport à d'autres matériaux font du béryllium, et des alliages qui en sont composés, le matériau le plus adapté aux exigences actuelles des produits et systèmes de haute technologie. En effet, les propriétés des alliages à base de cuivre et de béryllium ne se retrouvent dans aucun autre alliage. L'incapacité de remplacer le béryllium est également reflétée dans le rapport géologique américain sur le béryllium^[9] ainsi que dans le Rapport de la Commission Européenne sur les matières premières critiques pour l'Union européenne, « Critical Raw Materials Profiles » 2017^[10].

Ressources Consommation mondiale

La consommation mondiale de béryllium, tous composés confondus, a été de l'ordre de 400 tonnes en 2011^[11]. Environ 86 % du béryllium est utilisé sous forme d'alliage, le plus répandu étant le cuivre béryllium, contenant typiquement de 0,4 à 2 % de béryllium, bien que des alliages de béryllium 4 à 10 % connus sous le nom d'alliage mère soient également utilisés. Il est également utilisé sous forme de béryllium métal (13%) et d'oxyde de béryllium pour la production de céramiques (1 %). La consommation mondiale se répartit pour moitié entre les secteurs des télécommunications et de l'informatique, pour l'autre moitié les industries de l'espace, de la défense, de l'automobile et autres utilisations industrielles. La consommation mondiale est distribuée équitablement entre l'Europe, l'Amérique et l'Asie-Pacifique (Japon inclus). La demande devrait continuer de croître assez fortement, tirée par les nombreux domaines d'application du béryllium et de ses alliages ainsi que par des applications telles que la construction du réacteur de fusion Iter.

Recyclage

À l'échelle industrielle, tous les déchets existants après usage sont collectés et recyclés pour fabriquer de nouveaux matériaux à base de cuivre béryllium. Le recyclage, en majorité de déchets générés lors de la fabrication de produits à base béryllium, peut représenter jusqu'à 10 % de la consommation apparente^[8,10]. Les déchets d'alliages cuivre béryllium ou nickel béryllium sont directement recyclés pour produire un nouvel alliage car cela reste intéressant d'un point de vue économique et de conservation de l'énergie. Cependant, les composants de béryllium métal pur utilisés dans des applications technologiques ont des durées de vie extrêmement longues et, par conséquent, retournent très lentement dans le circuit de recyclage. Certains composants utilisés dans les applications spatiales ou militaires reviennent rarement dans le circuit de recyclage, mais lorsque cela est possible, ils sont immédiatement recyclés.

La récupération de métal à partir d'alliages au béryllium dans les déchets (comme les déchets électroniques) est impossible en



ADVANCED MATERIALOGRAPHY

**Solutions pour la Matérialographie
au laboratoire**

PREMIUM QUALITY
MADE IN GERMANY

NEW

OPAL X-PRESS
Enrobage à chaud



Machines et consommables ATM pour:

- tronçonnage
- enrobage
- prépolissage, polissage et attaque électrolytique
- analyses microscopiques

Elles suivent les normes internationales dans la qualité et la R&D. Elles sont caractérisées par une utilisation simple, par une technologie innovante, une grande longévité et un design clair et modulaire.

www.atm-m.com

part of **VERDER**
scientific

raison de l'extrême petite taille des composants et du pourcentage très faible de béryllium dans chaque appareil (moins de 40 ppm dans les dispositifs ayant la plus forte teneur en béryllium). Alors que les alliages représentent 0,15 % du cuivre utilisé dans le matériel électrique, le béryllium se retrouve dilué dans le flux de recyclage du cuivre et peut représenter alors environ 2 ppm du cuivre collecté.

Risque lié à l'utilisation des alliages de cuivre au béryllium

Le béryllium, élément naturel présent dans les sols, ne présente pas de risque sur l'environnement, ni sur la santé des consommateurs. Le risque lié au métal béryllium est limité à la santé des travailleurs sur le lieu de travail en cas d'inhalation de particules fines. L'exposition à des poussières de béryllium peut en effet provoquer chez des individus sensibilisés une réaction au niveau des poumons pouvant engendrer une maladie respiratoire chronique appelée béryllose. Aussi, dès qu'il y a émission de poussières, brouillards ou fumées contenant du béryllium, comme pour beaucoup d'autres métaux, des mesures de gestion du risque doivent être mises en place afin de minimiser l'émission et la dispersion de particules aéroportées. Sauf en cas d'usinage pouvant générer des poussières, les alliages de cuivre au béryllium en eux-mêmes ne présentent pas de risque particulier pour la santé. Ils sont stables et non réactifs dans des conditions atmosphériques ambiantes normales et leur manipulation n'est absolument pas dangereuse.

L'industrie du béryllium a développé un programme de gestion responsable des produits contenant du béryllium, appelé « *Be Responsible* », accessible en ligne sur www.berylliumsafety.eu (voir encadré). Ce programme, approuvé par l'agence européenne de la santé et sécurité au travail (EU OSHA), fait actuellement l'objet de campagnes de prévention. Des guides simplifiés traduits dans les principales langues européennes expliquent les risques et mesures à prendre par type d'opération. Par exemple, les opérations de découpe sur presse sont à risque faible. Par contre, les opérations d'usinage électrochimique, d'électroérosion, de brasage ou de soudage induisent un risque probable d'inhalation et doivent faire l'objet d'une vigilance particulière.

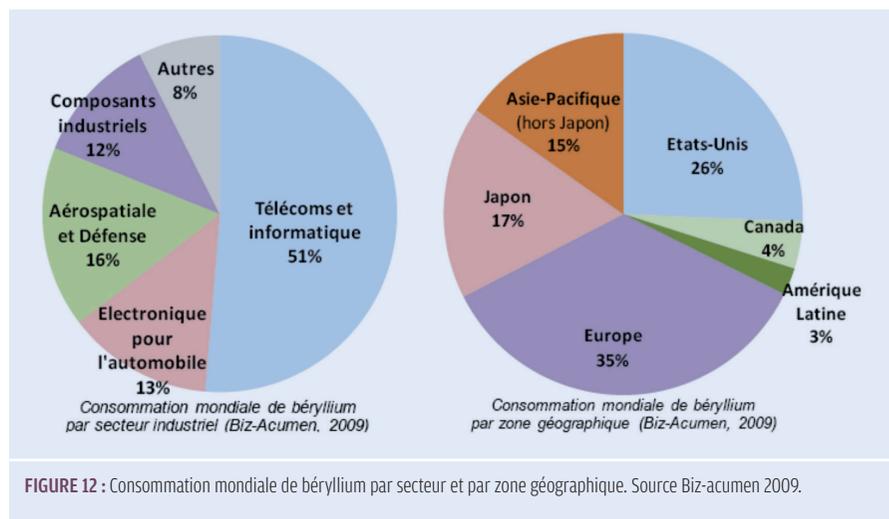


FIGURE 12 : Consommation mondiale de béryllium par secteur et par zone géographique. Source Biz-acumen 2009.

Le niveau d'exposition aux particules de béryllium n'est pas visible à l'œil nu. La seule façon d'évaluer le risque pour les travailleurs est de mesurer les concentrations de béryllium dans l'air aux postes de travail concernés. Chez NGK Berylco France à Couëron près de Nantes, qui transforme des alliages de cuivre béryllium depuis 46 ans par laminage et étirage, deux campagnes de mesure sont effectuées annuellement. En respectant la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) recommandée actuellement en France pour le béryllium (2 µg/m³), aucun cas de béryllose n'a été constaté.

État des lieux de la réglementation

Dans le cadre du règlement Reach, à la suite de plusieurs évaluations effectuées en Allemagne entre 2013 et 2016, la recommandation est de ne pas inclure le béryllium dans la liste des substances préoccupantes (SVHC) candidates à l'autorisation (RMOA publiée par le BAuA en novembre 2016). Du fait de leur utilisation dans les équipements électriques et électroniques, dits EEE, les alliages de cuivre au béryllium sont également concernés par la directive européenne RoHS (Restriction of Hazardous Substances in EEE). Le béryllium n'est pas dans la liste des substances soumises à restriction. Il n'est pas non plus dans la liste des substances interdites de la directive ELV (End of Life Vehicles) relative à l'industrie automobile (véhicules en fin de vie).

Le béryllium sera cependant prochainement soumis à une valeur limite d'exposition professionnelle harmonisée au niveau de l'Union Européenne. La commission européenne a

récemment publié sa proposition pour une VLEP de 0,6 µg/m³, qui serait abaissée à 0,2 µg/m³ après une période de transition de 5 ans. L'industrie du béryllium supporte la valeur de 0,6 µg/m³ à la fois protectrice pour les travailleurs et réalisable techniquement et économiquement pour l'ensemble des opérations industrielles. Cette valeur est en outre cohérente avec les valeurs limites en place en dehors de l'Union Européenne (USA, Japon, Chine, Russie notamment). Des discussions sont en cours au niveau du conseil et Parlement européen. Le vote final devrait avoir lieu début 2019.

Le développement actuel de mesures de gestion du risque professionnel garantit un avenir réglementaire serein au béryllium métal et à ses alliages, dont les caractéristiques uniques et exceptionnelles sont indispensables aux innovations technologiques de demain.

[1] <http://beryllium.eu>.
 [2] Iter Organisation, www.iter.org.
 [3] <https://jwst.nasa.gov/images.html>.
 [4] www.starpath.com.
 [5] www.kemtron.co.uk.
 [6] Report on Critical Raw Materials for the EU, Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials May 2014 : http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-report-on-critical-raw-materials_en.pdf.
 [7] Comité pour les Métaux Stratégiques (2011), www.euractiv.fr/sites/default/files/point_presse_besson.pdf.
 [8] Ministère français de la Défense chapitre IV - Prospective géostratégique des ressources à l'horizon des trente prochaines années.
 [9] U.S. Geological Survey (2016), Beryllium - A critical mineral commodity (2016).
 [10] <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/08fdb5f-9766-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>.
 [11] Beryllium Science & Technology aisbl (2012), <http://beryllium.eu>.