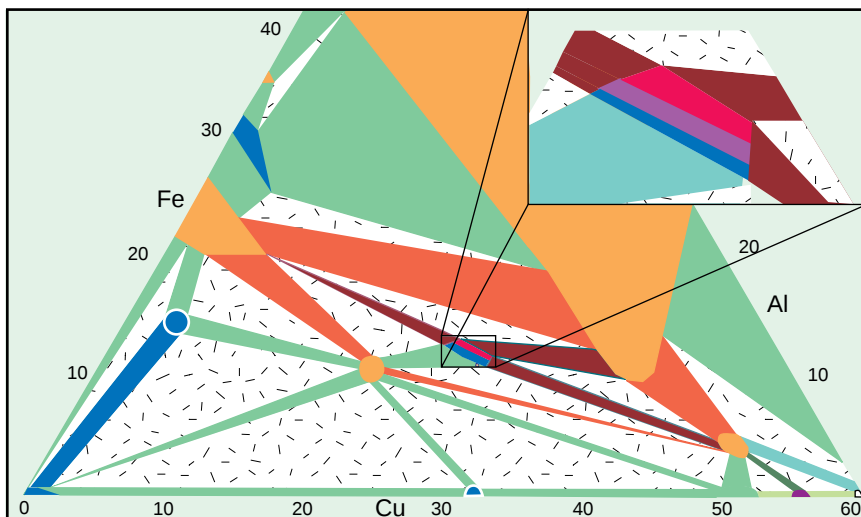




4. COUPE À 700°C du diagramme de phases Al-Cu-Fe montrant en insert un agrandissement de la région de la phase icosaoédrique. Celle-ci se forme dans l'étroite région colorée en rouge qui correspond à une concentration de 1,86 électron par atome. Elle voisine avec des composés cristallins à grande maille (région marquée en bleu) qui possèdent des arrangements atomiques presque identiques. Ce diagramme de phases est la version moderne du diagramme de ce système publié en 1939. Les auteurs soulignaient alors l'existence dans cette région d'une phase nouvelle, impossible à identifier par diffraction des rayons X sur poudre. Les microscopes électroniques n'existaient pas à l'époque...

Les caractéristiques mécaniques sont plus intéressantes à température élevée. La résistance mécanique observée à la température ambiante persiste jusqu'au-delà de 600 °C, ce qui est intéressant industriellement. En comparaison, les alliages aéronautiques de haute performance perdent leurs caractéristiques dès 300-350 °C. Lorsque la température dépasse 650 °C, le quasicristal n'est plus fragile et, au contraire, devient ductile. Des déformations sans rupture de plus de 100 pour cent ont été obtenues par compression de certains alliages quasi cristallins.

Cette transition n'est pas liée uniquement à la mobilité des joints de grains, puisqu'elle est aussi observée dans les monocristaux. L'apparition de la ductilité a été associée à la création d'une forte densité de dislocations, comme dans les alliages classiques lorsqu'ils dépassent leur limite élastique : il est possible que les sauts atomiques entre sites énergétiquement équivalents contribuent également à la déformation du quasicristal ou participent à la création de dislocations dans le cristal.

Avec les techniques modernes de la microscopie à champ proche, on voit les atomes de la surface d'un cristal. Pour cela, on part d'un monocristal que l'on clive directement dans l'ultravide du microscope pour prévenir toute dégradation ultérieure à la fracture. Un

bon métal ou un matériau comme le silicium présente alors des facettes planes où il est facile de reconnaître les arrangements atomiques réguliers du cristal.

Dans les quasicristaux, de telles images sont très difficiles, voire impossibles, à observer. Il est préférable d'abandonner la résolution atomique pour regarder la surface d'un peu plus loin. On voit alors une surface rugueuse, faite de creux et de bosses. La hauteur moyenne (et le diamètre) de ces irrégularités est variable, mais elle ne descend pas au-dessous d'une dizaine d'angströms. Il est tentant d'assimiler ces bosses à des amas constitués d'entités de base qui remplissent, selon une règle d'inflation hiérarchique, la totalité de l'espace (voir la figure 3).

On admet alors que la rupture se propage entre les amas, dans la zone interstitielle, et non pas le long des plans denses d'atomes qui sont identifiés sans difficulté dans les modèles atomiques. Cette hypothèse n'est pas encore complètement validée. Elle aurait pour conséquence, entre autres, que la mécanique de la rupture des quasicristaux serait semblable à celle des verres et que la transition fragile-ductile serait provoquée par une transition de nature semblable à la transition vitreuse caractéristique des matériaux amorphes (mais se produirait au chauffage, et non au refroidissement).

Sauf précautions exceptionnelles, les quasicristaux sont soumis à l'action de l'oxygène de l'air. Des études récentes ont montré qu'ils se couvrent d'une couche d'un oxyde d'aluminium. À la température ambiante, la vitesse à laquelle cet oxyde recouvre la surface est très importante. En revanche, son épaisseur est très faible, de l'ordre de une ou deux couches atomiques, contrairement aux alliages d'aluminium classiques qui se couvrent d'oxydes beaucoup plus épais. Cette couche d'oxyde est étanche (passivante) et elle empêche le passage ultérieur de l'oxygène. Même à des températures proches du point de fusion de l'alliage, la couche d'oxyde ne dépasse pas quelques nanomètres d'épaisseur.

Il en résulte que les quasicristaux sont particulièrement résistants à l'oxydation et qu'ils peuvent soutenir des utilisations prolongées à des températures de quelques centaines de degrés, ce qui est appréciable pour un composé de faible densité. De même, leur résistance à la corrosion est intéressante.

Adhérence et frottements

La faible réactivité chimique de la surface des quasicristaux, que soulignent les expériences d'oxydation et de corrosion, est industriellement prometteuse. C'est vers son étude que se tournent maintenant nombre de recherches tant fondamentales qu'appliquées, puisqu'elle explique vraisemblablement la faible adhérence des quasicristaux avec des liquides ou d'autres solides. Cet effet est, lui aussi, surprenant, car les métaux et alliages usuels présentent des énergies de surface assez élevées qui correspondent habituellement à des forces de « collage » importantes.

Nous avons mis en évidence cette caractéristique des quasicristaux de deux manières distinctes. Notre première approche, très empirique, se rapporte au problème quotidien et incontournable de la cuisson des aliments. Ainsi, nous avons préparé des surfaces de cuisson revêtues de quasicristaux. Elles sont plus adhérentes que les revêtements de PTFE (polytétrafluoroéthylène), mais meilleures que les autres surfaces, en particulier métalliques. Comme la résistance des quasicristaux aux agressions mécaniques, leur stabilité thermique et leur durée de vie sont bien supérieures à celles