

## Chapitre 6 – Modification des propriétés mécaniques

### EXERCICE 6-4

#### a) Composition de la phase $\gamma$

La phase  $\gamma$  est le composé intermétallique **CuBe**, dans lequel, de part sa formule chimique, les atomes de cuivre et ceux de béryllium sont en proportion égale. Sa composition, exprimé en % at. de Be, est donc égale à 50 %:

$$\%at\ Be = 50\ \%at.$$

#### b) Proportions des phases d'équilibre à 20 °C dans l'alliage à 1,9 %at. Be :

Il suffit d'appliquer la règle des bras de levier à la température de 20 °C pour cet alliage.

Phase	Composition (%at Be)	Proportion (%)
$\alpha$	0,05	$f_{\alpha} = \frac{50,00 - 1,9}{50,00 - 0,05} = 0,963 = \mathbf{96,3\ \%}$
$\gamma$	50,00	$f_{\gamma} = \frac{1,9 - 0,05}{50,00 - 0,05} = 0,037 = \mathbf{3,7\ \%}$

#### c) Température de mise en solution de l'alliage

Pour dissoudre tout le béryllium dans le cuivre afin d'obtenir une solution solide d'équilibre Cu-Be, il faut porter l'alliage à une température située dans le domaine de la phase  $\alpha$ . En général, on choisit une température voisine de celle pour laquelle la solubilité de l'élément d'alliage est maximale, c'est-à-dire la température de l'eutectique (c'est le cas ici) ou la température de l'eutectoïde. Ici, d'après le diagramme Cu-Be, **la température optimale de mise en solution est égale à 860 °C.**

Toute température comprise entre 680 et 910 °C est aussi acceptable, quoique, industriellement, il faut éviter de réaliser la mise en solution à une température trop proche d'une frontière du domaine  $\alpha$  car la température n'est généralement constante dans toutes les parties d'un four ; de plus, la forme et les dimensions de la pièce à traiter peuvent aussi entraîner des variations locales de température.

$$\theta_{\text{optimale}} \approx 860\ ^{\circ}\text{C}$$

$$680 < \theta < 910\ ^{\circ}\text{C}$$

**d) Traitement de vieillissement après trempé**

Grâce aux critères de valeurs minimales des propriétés en traction, il est possible de délimiter, sur les courbes de vieillissement, des zones où ces critères sont simultanément satisfaits (voir figure ci-jointe). D'après cette figure, deux fenêtres de vieillissement sont possible, l'une à 370 °C, l'autre à 315 °C, quoique cette dernière soit très étroite.

**$\theta = 370 \text{ °C}; \quad 6 \text{ à } 12 \text{ min}$**

**$\theta = 315 \text{ °C}; \quad 55 \text{ à } 60 \text{ min}$**

**e) Composition de la phase  $\alpha$  après vieillissement :**

L'un ou l'autre des traitements de vieillissement possibles conduisent à un **état sous-vieilli**, puisque l'on n'a pas encore dépassé le pic de vieillissement. L'état d'équilibre thermodynamique stable de l'alliage n'a donc pas encore été atteint. Si une fraction certainement importante du béryllium en sursaturation a précipité pour former de fins précipités durcissants, il restera toutefois une fraction non négligeable de béryllium non précipité lorsque le vieillissement sera interrompu. Par conséquent, **la phase  $\alpha$  aura une concentration en béryllium, certes inférieure à 1,9 %at., mais aussi supérieure à la solubilité maximale du béryllium à 20 °C, soit 0,05 %at.** À 20 °C, cette phase  $\alpha$  sera une phase métastable puisqu'elle n'évoluera qu'infiniment lentement vers l'équilibre thermodynamique au cours du temps si l'alliage n'est pas réchauffé.

**$0,05 < \%at \text{ de Be dans } \alpha < 1,9$**