

I. Trempe et revenu d'un alliage d'aluminium 2017

L'alliage d'aluminium 2017 contient 4 wt% de cuivre et une quantité de magnésium que l'on pourra négliger, si bien que ses équilibres peuvent être décrits par le diagrammes Al-Cu dont la partie utile est présentée figure 1a.

1. Rappeler la constitution d'équilibre de l'alliage 2017 à 20°C (point A sur la figure 1a).

2. La figure 1b représente le diagramme TTT de cet alliage. Après une trempe depuis 550°C (trajet a-b), au cours d'un revenu à basse température (trajet b-c-d-e) la constitution de l'alliage passe par plusieurs étapes métastables avant d'atteindre un état stable. Le graphique joint présente l'évolution qualitative des principales propriétés mécaniques pendant ce revenu. Attribuer à chacune des étapes (b à e) du revenu, la microstructure correspondante parmi celles numérotées 2 à 5 de la figure 2.

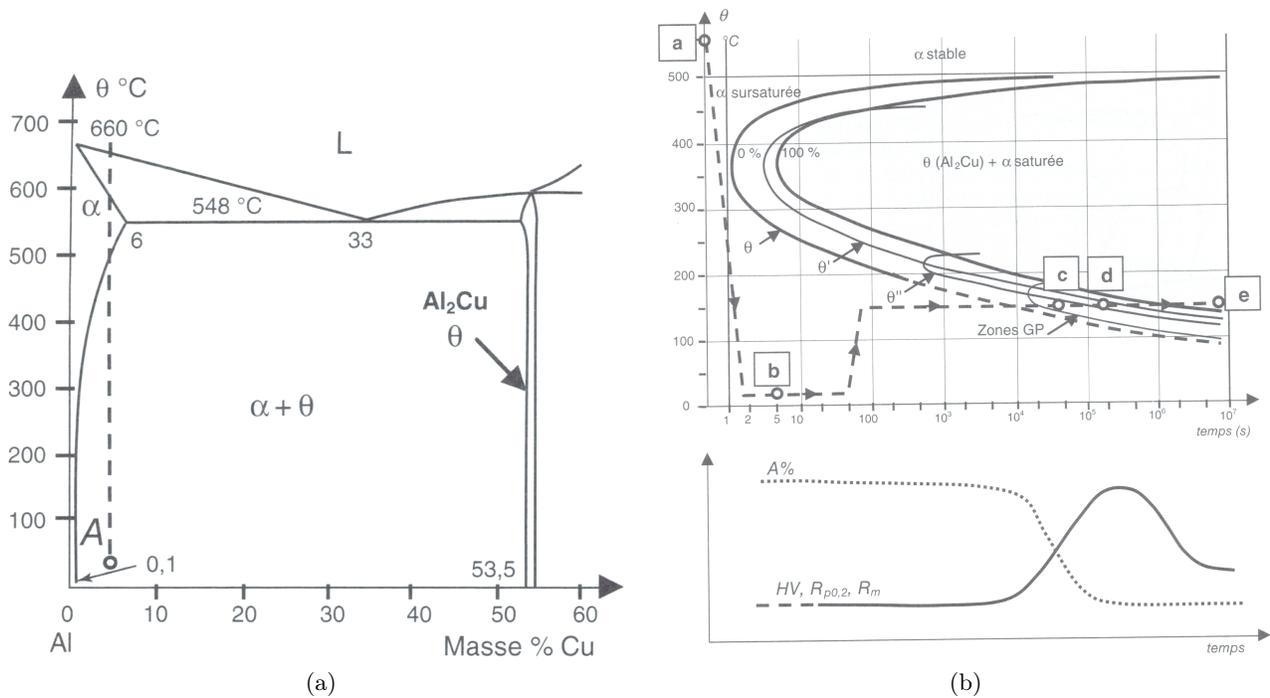


FIGURE 1 – a) Diagramme de phases du système Al-Cu. b) Diagramme TTT et évolution qualitative des propriétés mécaniques.

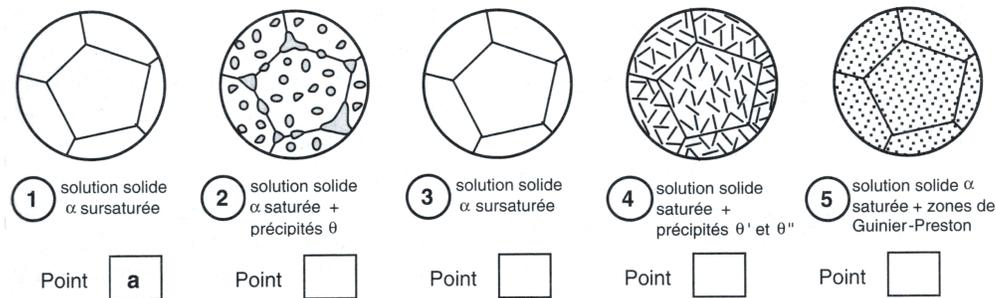


FIGURE 2 – Schémas de microstructures de l'alliage Al-Cu.

3. Justifier brièvement l'évolution des propriétés mécaniques au cours des différentes étapes b à e du revenu après trempe.

## II. Trempe et revenu de pièces en acier

Un mécanisme comprend un rouleau conique massif de 1 m de longueur dont le diamètre varie linéairement de 10 à 250 mm. Deux nuances d'acier sont envisagées pour réaliser ce rouleau qui doit avoir une dureté superficielle  $HRC = 30$ .

1. Pour la nuance C 40, par superposition du diagramme TRC (figure 3a) et des courbes de refroidissement appropriées (cf. figures 3c et 3d), tracer l'évolution à cœur obtenue après austénitisation de 30 minutes à  $850^{\circ}\text{C}$  et trempe à l'huile, en fonction du diamètre de la partie de la pièce concernée. Pour les diamètres 10 et 250 mm, indiquer quelles phases constituent l'acier après ce traitement. La dureté  $HRC = 30$  peut-elle être atteinte ?

2. Mêmes questions pour la nuance 35 Cr Mo 4.

3. On souhaite obtenir la dureté  $HRC = 30$  (soit, par conversion,  $R_e = 1000 \text{ MPa}$ ) sur la pièce en acier 35 Cr Mo 4 en combinant une trempe à l'huile et un revenu. Expliquer qualitativement les mécanismes mis en œuvre lors du traitement de revenu, ses effets et ses avantages. À l'aide du diagramme de revenu (figure 3e), déterminer à quelle température on doit effectuer le revenu dans ce cas précis et quelles seront les propriétés mécaniques de l'acier après ce traitement.

## III. Propriétés mécaniques et mise en œuvre d'une tôle d'acier

L'objectif est déterminer les différentes étapes de la mise en œuvre d'une tôle d'acier de 1 mm d'épaisseur par déformation plastique en y intégrant les traitements thermiques appropriés, en vue d'une utilisation optimale des propriétés des matériaux. L'acier utilisé est le 35 Cr Mo 4.

1. Quelles sont les combinaisons de propriétés mécaniques souhaitables pour 1) l'opération de découpe et pliage ? 2) l'utilisation ultérieure des profilés comme pièces de structure ?

2. On peut négliger les éléments d'alliage autre que le carbone et donc utiliser le diagramme de phase Fe-C. Quelle est alors la microstructure attendue après refroidissement lent après austénitisation ?

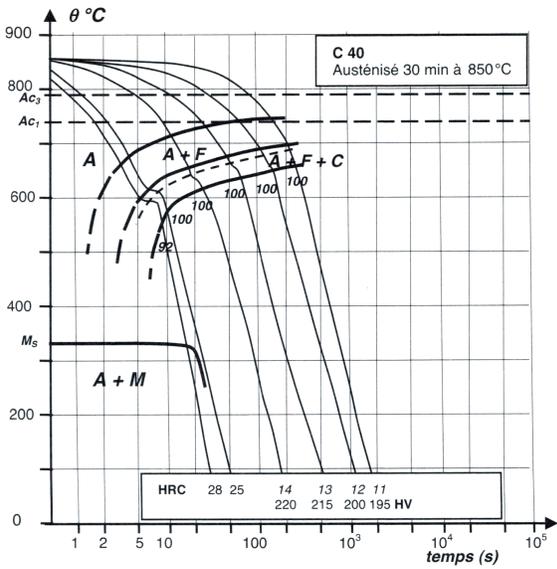
3. Quelle serait la microstructure prévisible après trempe rapide à l'eau à  $20^{\circ}\text{C}$  ?

4. Avec des indications qualitatives à trois niveaux (élevé, moyen, faible) indiquer dans le tableau 1 comment varient de manière relative les propriétés mécaniques de l'acier.

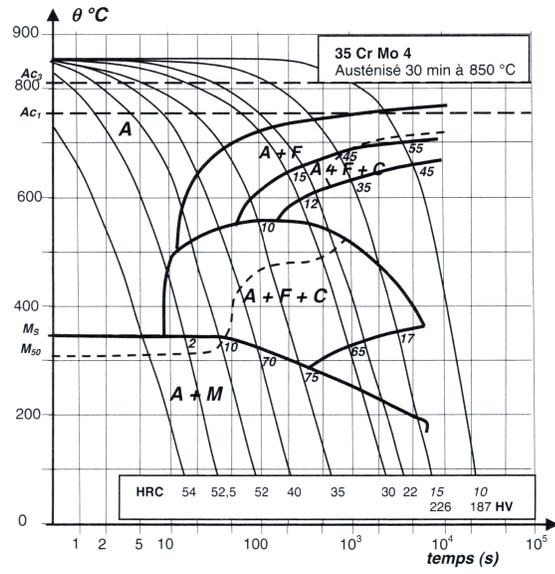
Propriétés mécaniques	État recuit	État trempé	État trempé et revenu
Dureté			
Limite élastique			
Résilience			
Allongement à rupture			

TABLEAU 1

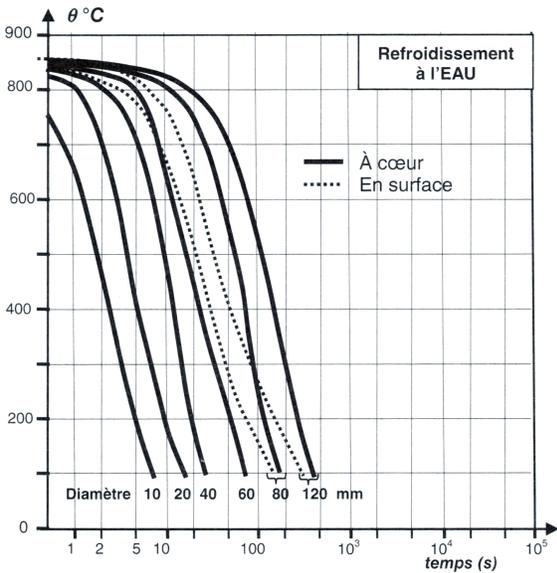
5. En déduire les principales étapes de la gamme de mise en œuvre combinant opérations de traitement thermique et de mise en forme de manière logique. Les tôles sont supposées livrées à l'état recuit. Pour chaque traitement thermique, on précisera les conditions (temps, température, refroidissement) et les propriétés mécaniques obtenues. On utilisera les informations du diagramme TRC de la figure 3b et de la courbe de revenu 3e ainsi, éventuellement, que les abaques des figures 3c et 3d.



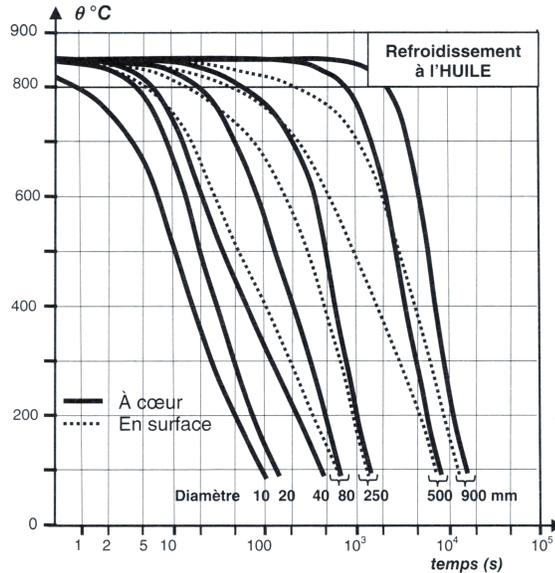
(a)



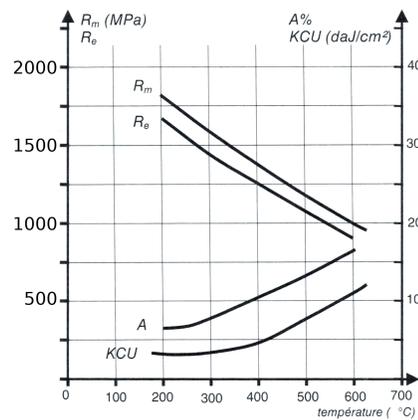
(b)



(c)



(d)



(e)

FIGURE 3 – Diagrammes TRC a) C 40, b) 35 Cr Mo 4. Abaqués de refroidissement de barres d'acier de différents diamètres depuis 850°C c) trempe à l'eau, d) trempe à l'huile. e) Diagramme de revenu, nuance 35 Cr Mo 4, durées de revenu entre 1H et 3H.