

Examen Matériaux
Mardi 28 Avril 2020 – 1h
Deux exercices à faire au choix

EXERCICE 1 : Dimensionnement en fluage par l'approche de Larson-Miller

Des essais préliminaires de fluage sous différentes conditions (contrainte, température) ont permis de tracer la courbe maîtresse de fluage d'un superalliage base nickel (cf. Fig. 1).

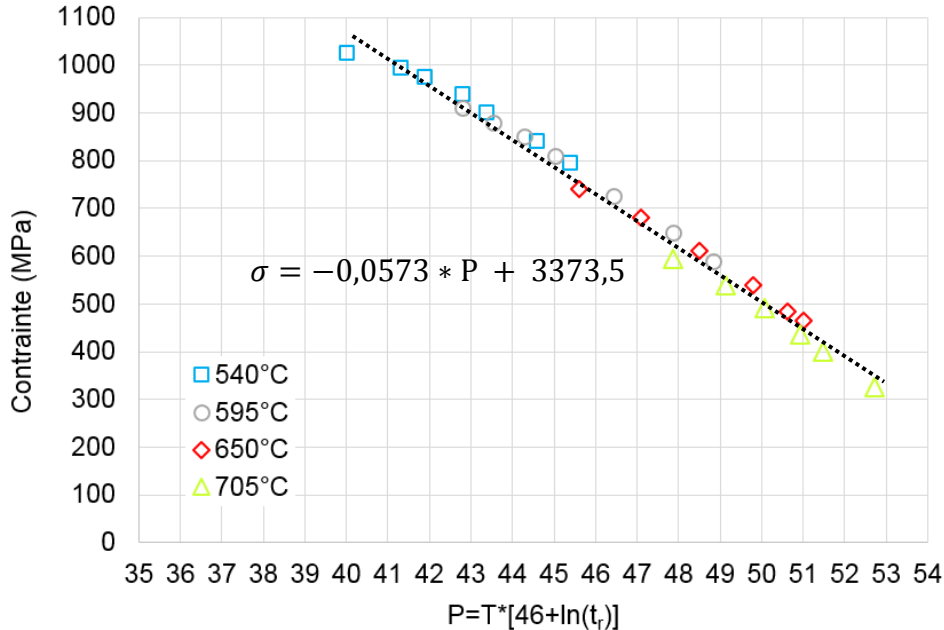


Fig. 1 - Courbe maîtresse de fluage d'un superalliage base nickel

En utilisant une interpolation linéaire des données de la figure 1, on peut approximer l'évolution de la contrainte de fluage en fonction du paramètre P de Larson-Miller par la relation suivante :

$$\sigma = -0,0573 \cdot P + 3373,5 \quad (1)$$

On fait l'hypothèse que le fluage primaire est négligeable devant le fluage stationnaire de sorte que la déformation d'origine visqueuse $\varepsilon(t) \approx \varepsilon_{stat.}(t)$.

Pour ce matériau, on donne $B = 10000$ et $n = 5$ les paramètres de la fonction $A(\sigma) = B \cdot \sigma^n$

- A partir de l'expression (1), exprimer le paramètre P de Larson-Miller en fonction de σ .
A une température $T = 813K$ donnée, calculer P pour $\sigma = 500 - 700 - 1000MPa$ et reporter les valeurs obtenues dans le tableau 1.
- Que peut-on dire de la cinétique de fluage $\dot{\varepsilon}$ dans la phase de fluage stationnaire ?
- Rappeler l'expression de $\dot{\varepsilon}(\sigma, T)$ en fonction de $A(\sigma)$, P et T lors du fluage stationnaire.

σ (MPa)	P	t_r (h)	$\dot{\varepsilon}(\sigma, T)$	$\varepsilon_r = \varepsilon(t_r)$ (%)
500		6341532		
700		86753		
1000		139		

Tab. 1 – Valeurs représentatives du comportement en fluage stationnaire d'un superalliage base nickel pour une température donnée $T = 813K$

- A partir du résultat de la question 1, exprimer $\dot{\varepsilon}(\sigma, T)$ en fonction des variables σ et T .
A une température $T = 813K$ donnée, calculer $\dot{\varepsilon}$ pour $\sigma = 500 - 700 - 1000MPa$ et reporter les valeurs obtenues dans le tableau 1.

- Par la méthode de votre choix, exprimer la déformation de fluage à rupture $\varepsilon_r = \varepsilon(t_r)$.
A une température $T = 813K$ donnée, calculer ε_r pour $\sigma = 500 - 700 - 1000MPa$ et reporter les valeurs obtenues dans le tableau 1.
- On considère une éprouvette cylindrique en superalliage de longueur initiale $L_0 = 100mm$ et de module d'Young $E = 200GPa$ soumise à une contrainte de fluage σ .

Montrer que **l'allongement total** de l'éprouvette Δl_{tot} peut se mettre sous la forme :

$$\Delta l_{tot} = \alpha(\sigma) \cdot \exp(-P/T) \cdot t + \beta(\sigma)$$

Où les fonctions $\alpha(\sigma)$ et $\beta(\sigma)$ doivent être identifiées à partir des paramètres L_0, B, n et E .

EXERCICE 2 : Pli UD sollicité en traction

- On considère un pli élémentaire UD en graphite/epoxy dont la fraction volumique de fibres est $v_f = 40\%$. Déterminer la rigidité des fibres E_f et de la matrice E_m pour obtenir des rigidités longitudinale et transverse du pli UD :

$$E_1 = 207GPa \text{ et } E_2 = 5GPa$$

- Pour une sollicitation dans la direction des fibres (direction longitudinale ou direction 1), déterminez la déformation à rupture des fibres de graphite ε_f^u en utilisant la valeur de E_f obtenue dans la question 1. Calculez ensuite la contrainte à rupture du composite σ_c^u en utilisant les résultats de la question précédente et les données du Tab. 2. On supposera que le composite casse lorsque les fibres cassent.

Constituant	σ_y (MPa)	σ^u (MPa)	ε^u (%)
Epoxy	60	90	7
Graphite	-	2500	?

Tab. 1 – Propriétés mécaniques des constituants du composite graphite/epoxy

Comparer enfin la valeur de σ_c^u à celle indiquée dans le tableau de la Fig. 3b. Est-ce cohérent ? Représentez les courbes contrainte-déformation des fibres, de la matrice et du composite.

EXERCICE 3 : Dimensionnement en statique et en fatigue d'une passerelle

Dans cet exercice, l'objectif est de dimensionner correctement, d'un point de vue statique et dynamique (fatigue), des barres de soutien d'une passerelle piétonnière. Cette passerelle est constituée d'une grille en acier inoxydable d'un mètre de large pour trois mètres de long. Les barres de soutien, au nombre de 4 et de masse négligeable, permettent de maintenir la passerelle au-dessus du sol. La figure 1 ci-dessous représente schématiquement la structure (passerelle + barres). La masse de la passerelle est de 100 kg.

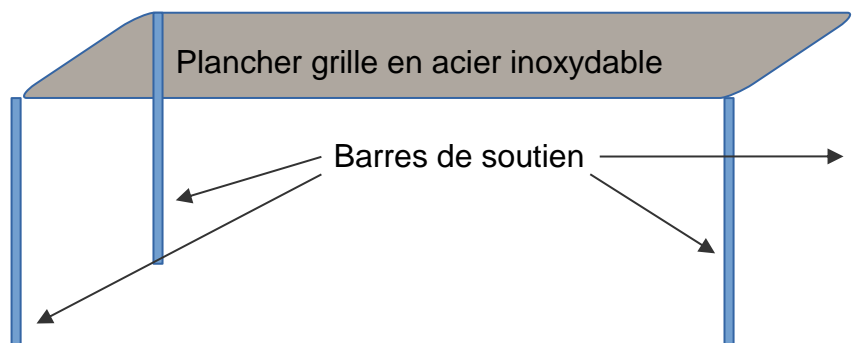


Figure 1 : Vision schématique de la structure

Pour la fabrication des barres, on envisage d'utiliser un alliage d'aluminium contenant 4% de cuivre. Son comportement mécanique en traction est donné en figures 2 et 3 tandis que sa courbe de Wöhlher est représentée figure 4.

La plateforme doit être capable de supporter le poids de 20 personnes de 100 kg avec un coefficient de sécurité de 3 (chargement statique). La durée de vie doit être de 20 ans avec un passage équivalent à 10 personnes par seconde pendant 10h par jour (chargement cyclique dynamique).

Répondre aux questions suivantes :

- 1) A l'aide des courbes de traction, déterminer les différentes propriétés mécaniques du matériau considéré.
- 2) Comparativement à un essai de traction, que permet de déterminer un essai de dureté ? Quels sont les avantages et inconvénients de ce type d'essai ?
- 3) A partir des propriétés mécaniques déterminées à partir de la figure précédente, déterminer la section des barres dans le cas d'un chargement statique (on cherchera à éviter que les barres se déforment plastiquement).
- 4) Donner les caractéristiques du chargement cyclique (R , σ_{min} , σ_{max} et la contrainte moyenne σ_m) en considérant la section des barres obtenues à la question précédente.
- 5) Avec la section déterminée à la question 4, le cahier des charges concernant la durée de vie en fatigue est-il vérifié (utiliser pour cela la courbe avec le ratio de contrainte le plus proche de celui du chargement considéré) ? Si non, déterminer la nouvelle section permettant de vérifier le cahier des charges (vous baserez alors sur la limite d'endurance du matériau que vous définirez pour le paramètre R le plus proche de celui de votre chargement).

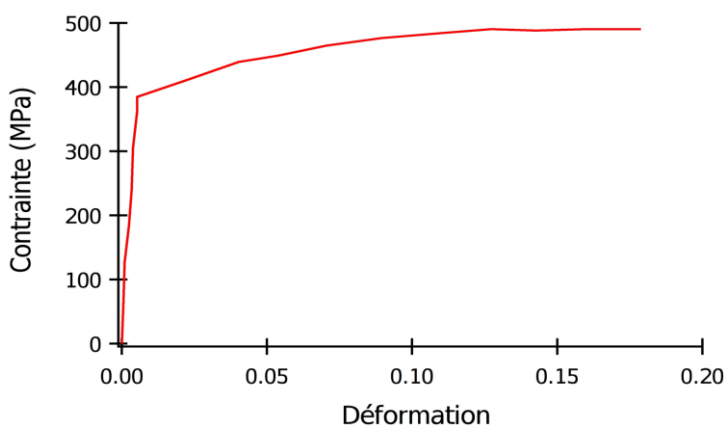


Figure 2 : Courbe de traction de l'alliage considéré

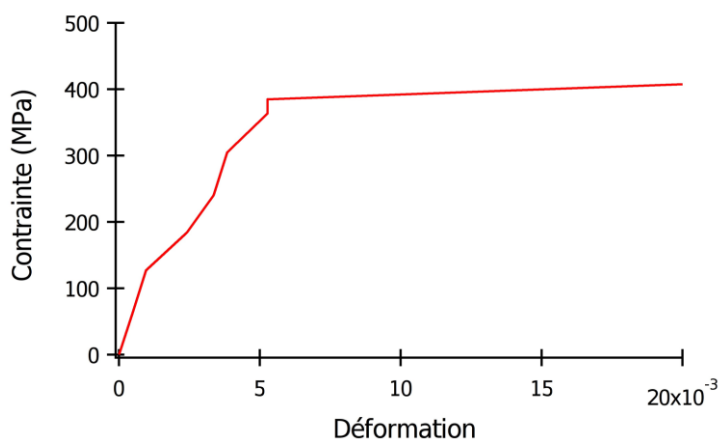


Figure 3 : Courbe de traction de l'alliage considéré : zoom sur le domaine élastique

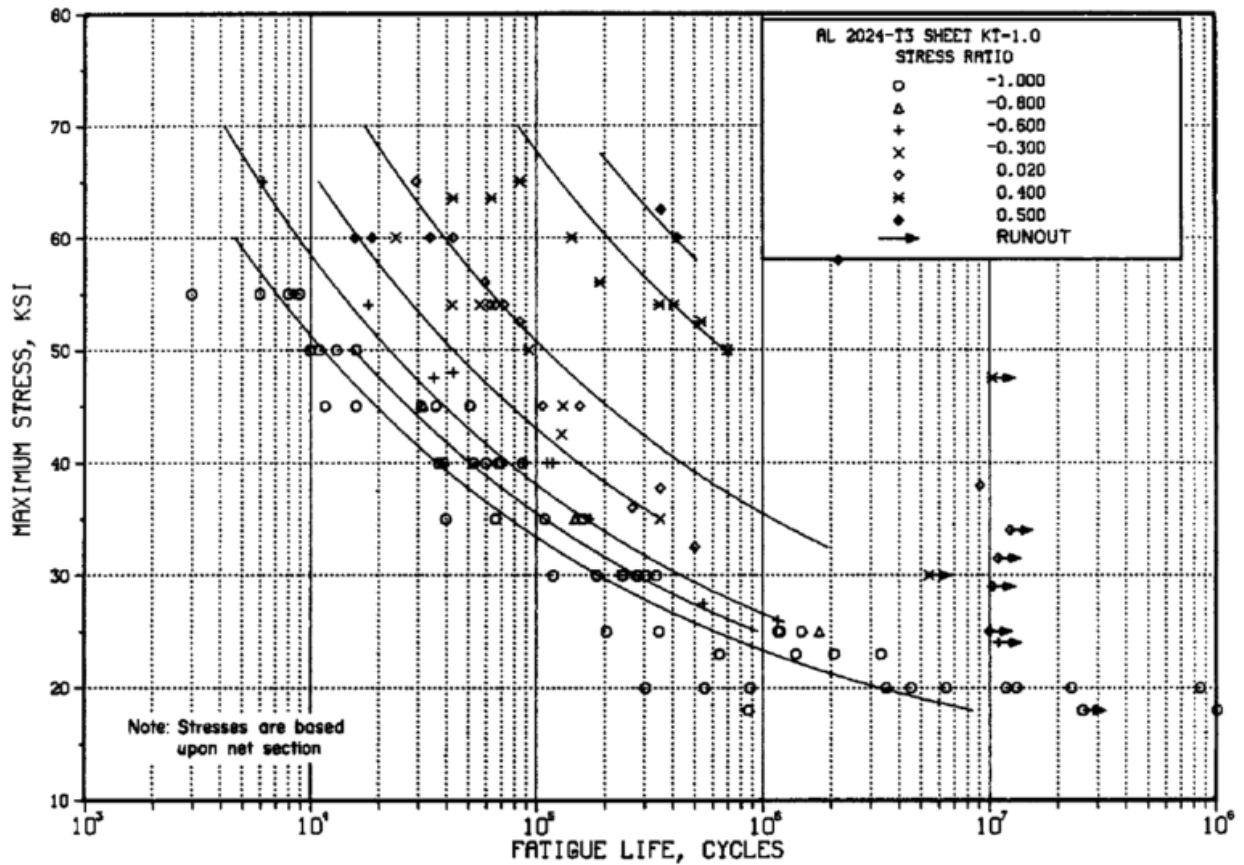


Figure 4 : Courbe Wöhler de l'alliage considéré en fonction pour différentes valeurs de R. RUNOUT signifie que l'échantillon n'a pas rompu et 1ksi=6.895 MPa