

Série 2.

Exercice 1

- a) On vous demande de calculer les taux de déformation réels en limite élastique de deux matériaux, un matériau A et un matériau B , pour lesquels on connaît les limites élastiques, les modules d'élasticité et les coefficients de Poisson :

propriété	symbole	valeur mat. A	valeur mat. B	unité
limite élastique	R_e	3'500.0	4'500.0	MPa
module d'élasticité	E	75.0	8.1	GPa
coefficient de Poisson	ν	0.4	0.45	-

TABLE 1 – Propriétés mécaniques des matériaux à analyser

Pour y parvenir vous observerez que le taux de déformation réel en limite élastique ε_e est lié aux données R_e , E et ν par l'équation de la déformation maximale élastique. Vous appliquerez alors l'algorithme qui permet de résoudre cette équation transcendante.

Exercice 2

Vous disposez de deux barres cylindriques faites dans le même matériau recuit (qui satisfait une loi de Ludwik en plasticité). La première de ces barres a une longueur de $l_0 = 500$ mm et un rayon de $r_0 = 2$ mm. La seconde barre a des dimensions doubles, sa longueur est donc de $L_0 = 2l_0 = 1000$ mm et son rayon de $R_0 = 2r_0 = 4$ mm.

- a) Vous placez la première barre sur une machine d'étirage et vous faites progressivement monter la force jusqu'à la valeur $f = 0.275$ kN. Vous observez que la longueur passe de la valeur l_0 à la valeur $l = 505$ mm. Vous placez ensuite la seconde barre sur une autre machine (plus puissante) et vous faites monter la force jusqu'à une valeur quatre fois supérieure $F = 4f = 1.1$ kN. Pouvez-vous prédire la valeur L de la longueur de la barre à ce moment-là ? Si oui, calculez L .
- b) Vous mesurez très précisément le volume de la première barre au moment de la relaxation : $v_r = 6283.89$ mm³ puis vous relâchez la force qui lui est appliquée. Vous la sortez de la machine et vous mesurez sa longueur $l_p = 504.8$ mm. Si vous admettez que les déformations permanentes sont incompressibles (hypothèse de Hencky), avez-vous assez d'informations pour calculer le coefficient de Poisson ν et le module d'élasticité E du matériau ? Si oui, calculez ν et E .
- c) Vous relâchez à son tour la force sur la machine sollicitant la seconde barre. Vous atteignez une situation de déformation permanente dans laquelle la barre présente une longueur L_p et une section S_p . On vous demande de calculer ces valeurs.

- d) Vous remontez ensuite la force appliquée à la seconde barre jusqu'à une valeur de $F' = 0.65 \text{ kN}$? Pouvez-vous calculer la longueur L' de l'échantillon à ce moment-là?
- e) La dernière expérience est destinée à compléter les données sur le matériau. Vous montez la première barre (écrouie) sur la machine et vous l'amenez en rupture. Vous observez que le maximum de la force de traction est atteint lorsque la longueur de la barre est $l_m = 618 \text{ mm}$. Avez-vous assez d'informations pour calculer le coefficient d'écrouissage n ? Si oui, calculez sa valeur¹.
- f) On vous demande d'achever la caractérisation du matériau recuit en calculant sa limite élastique R_e , son taux de déformation réel ε_e et nominal e_e en limite élastique, son module d'écrouissage K et sa résistance R_m .
- Indication :** Si vous n'avez pas été en mesure de calculer le coefficient d'écrouissage n au point d), estimez sa valeur en vous basant sur le fait que le matériau dont les barres sont faites est un aluminium recuit.
- g) Est-ce que la première barre (la plus petite) aurait été capable de supporter votre poids en suspension sans rompre? Justifiez votre réponse.

Exercice 3

La section circulaire d'un lopin d'acier de hauteur initiale $h_0 = 100 \text{ mm}$ et de diamètre $D = 75 \text{ mm}$ doit être augmentée d'un facteur 2 par compression. En admettant que le comportement plastique de l'acier est donné par la loi de Ludwik :

- a) Calculez la hauteur h_p à laquelle vous devez amener le lopin pour opérer l'augmentation de section souhaitée.
- b) Utilisez les informations de la Tab. 1 pour évaluer le taux de déformation réel ε_e en limite élastique ainsi que le module d'écrouissage K de l'acier constituant le lopin.
- c) Au départ de l'opération, la partie mobile de la presse est posée au sommet du lopin. On vous demande de calculer (dans la précision du centième) la distance de laquelle vous devez la faire descendre avant de relâcher la force.
- d) Calculez sans approximation aucune (i.e en appliquant la théorie de Hencky) la surface du lopin au moment où on relâche la force.
- e) A quelle moment la force de compression est-elle maximale? Calculez sa valeur. Peut-on effectuer cette opération avec la presse de la Fig. 1?
- f) Estimez l'énergie nécessaire pour effectuer l'opération. Que constatez-vous?

Les propriétés mécaniques qui caractérisent l'acier en lequel le lopin est fabriqué sont données à la Tab. 1

TABLE 1 – Propriétés mécaniques de l'acier constituant le lopin

limite élastique	module d'Young	coefficient de Poisson	coefficient d'écrouissage
$R_e = 150 \text{ MPa}$	$E = 300 \text{ GPa}$	$\nu = 0.3$	$n = 0.26$

1. Pour effectuer ce calcul, on n'hésitera pas à appliquer une des hypothèses standard vue au cours sur la compressibilité dans le domaine plastique.

FIGURE 1 – Une presse de bonne taille



Exercice 4

Vous disposez d'une machine de traction capable de développer une force de

$$F_{max} = 100\text{kN}.$$

Vous l'utilisez pour diminuer de moitié la section d'une barre d'acier recuit (presque incompressible) dont les caractéristiques mécaniques et thermiques sont données ci-dessous :

TABLE 1 – Les caractéristiques mécaniques et thermiques de l'acier en question

grandeur	Symbole	Valeur	Unité
limite élastique	R_e	450	MPa
module d'élasticité	E	200	GPa
coefficient d'écrouissage	n	0.2	-
taux de déf. réel en rupture	ε_{rup}	0.8	-
densité	ρ	7.872	g/cm ³
chaleur spécifique	C_p	0.481	J/g/°C
Temp. de recuit	T_{rec}	1000.0	°C

Sachant que la section initiale de la barre est de

$$S_0 = 1.2 \text{ cm}^2$$

On vous demande de

- i) Vérifier que l'opération ne peut pas se faire en une fois sur la machine de traction.
- ii) Déterminer le nombre de cycles étirage-recuit qui seront nécessaires pour réaliser l'opération.
- iii) Comparer l'énergie dépensée dans l'ensemble des cycles étirage-recuit à l'énergie qu'on utiliserait si la machine développait une force suffisante pour réaliser la diminution de section en une seule fois.