

# Comportement Mécanique des Matériaux

## EPFL - Cours MSE 234, Edition 2025

### Exercices du Chapitre 1

---

**Exercice 1-1** – a – Montrez que si  $V$  est un volume d'un matériau prenant la forme d'un parallélépipède dont les arêtes sont de longueur  $L_x$ ,  $L_y$  et  $L_z$  selon chacun des axes  $x$ ,  $y$  et  $z$  respectivement, alors après une déformation menant à une élongation (positive ou négative)  $\varepsilon_{xx}$ ,  $\varepsilon_{yy}$  et  $\varepsilon_{zz}$  du matériau selon chacun de ces trois axes respectivement, le changement de volume  $dV$  de ce parallélépipède du matériau est :

$$\frac{\Delta V}{V} \approx \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} \text{ (cette équation figure en Diapo 9 du chapitre)}$$

b - Montrez que le volume de la section réduite d'un barreau de traction fait d'un matériau isotrope n'est généralement pas constant lors de sa déformation linéaire élastique, et énoncez la condition qui doit être remplie pour que tel soit le cas (supposez que le matériau soit linéaire isotrope).

**Exercice 1-2** – La contrainte vraie (true stress)  $\sigma$  à laquelle se déforme le *GéniAl*, nouvel alliage composé de 99% d'aluminium lancé par la startup innovante *GénialMetal* est donnée en fonction de la déformation vraie (true strain)  $\varepsilon$  par :

$$\sigma = K \varepsilon^n$$

où  $\varepsilon$  est l'allongement vrai (true strain) avec  $K = 900$  MPa et  $n = 0.2$ .

a – Quelle est la valeur de l'allongement vrai  $\varepsilon$  auquel va apparaître la striction lors de la déformation en traction uniaxiale d'un barreau d'essai de traction en *GéniAl* ?

b – Quelle est la valeur de  $\sigma$  à ce moment ?

c – Quel est l'allongement (relatif) réparti  $e_h$  de ce matériau lors d'un essai de traction ?

d - Quelle est la résistance mécanique (ultimate tensile stress) du *GéniAl* ?

**Exercice 1-3** – Considérez un échantillon cylindrique d'aire dans un plan normal à la contrainte  $A$  et de hauteur  $h$ , fait d'un matériau plastique (= capable de déformation irréversible) qui se déforme sans écrouissage et donc avec une contrainte uniaxiale (vraie) d'écoulement constante,  $\sigma = 400$  MPa (on appelle ce type de matériau, exempt d'écrouissage, un matériau « idéalement plastique »; "*an ideally plastic material*"). Supposez que pendant la déformation le volume du matériau reste inchangé.

a – Quelle est la charge unitaire (engineering stress) du matériau après qu'il ait été déformé en compression pour voir sa hauteur passer de  $h_0$  à  $h < h_0$  ?

b – Quel est l'incrément d'énergie par mètre cube de ce matériau qui doit être fourni pour le déformer de façon à ce que sa hauteur passe de  $h$  à  $h-dh$  ?

c – Quelle est l'énergie  $W$  par mètre cube de ce matériau qui doit être fournie pour le déformer de façon à ce que sa hauteur passe de  $h_0$  à  $h_0/2$  ?

d- La capacité calorifique du matériau est de  $900 \text{ J.kg}^{-1}.\text{°K}^{-1}$ , et sa densité est de  $2700 \text{ kg m}^{-3}$  (c'est un alliage d'aluminium). De combien s'échauffe-t-il si toute cette énergie fournie pour déformer le matériau est subitement dégagée sous forme de chaleur ?

**Exercice 1-4** – La loi dite de Voce est parfois utilisée pour décrire la courbe de déformation uniaxiale d'un matériau plastique (les métaux et alliages principalement) en termes de contraintes et déformations vraies ( $\sigma, \varepsilon$ ) :

$$\frac{\sigma_s - \sigma}{\sigma_s - \sigma_0} = e^{-\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}}$$

a – Tracez la forme de cette courbe dans le graphe ci-dessus, en indiquant sur le graphe les trois paramètres ( $\sigma_s, \sigma_0$  et  $\varepsilon_0$ ) de l'équation ci-dessus.



b – Quelle est la contrainte vraie  $\sigma$  au moment où est amorcée la striction ?

**Exercice 1-5** – La vitesse de fluage du Déformium obéit la loi d'Arrhénius avec une énergie d'activation  $Q = 142 \text{ kJ/mole}$ . Si la vitesse de fluage est de  $10^{-4} \text{ s}^{-1}$  à  $500^\circ\text{C}$ , quelle sera-t-elle à  $600^\circ\text{C}$  si le mécanisme régissant le fluage n'a pas changé entre ces deux températures et que donc la loi de déformation et l'énergie d'activation restent inchangés entre ces deux températures ?

**Exercice 1-6** – Le Déformium est un matériau ductile dont la loi de déformation en traction ou compression uniaxiale reliant contrainte vraie ( $\sigma$ ) et déformation vraie ( $\varepsilon$ ) est :

$$\sigma = 200 \varepsilon^{0.2} \text{ (MPa)}.$$

quand  $\varepsilon$  est suffisamment grande pour que la déformation élastique puisse être négligée par comparaison à la déformation plastique.

Pour rappel :

- l'allongement relatif ( $e$ , engineering strain) est relié à la déformation vraie ( $\varepsilon$ , true strain) par la relation  $\varepsilon = \ln(1 + e)$
- la contrainte vraie ( $\sigma$ , true stress) est liée à la charge unitaire ( $R$ , engineering stress) par la relation  $\sigma = R(1+e)$

a – quelles vont être les valeurs de la contrainte vraie ( $\sigma$ ) et de la déformation vraie ( $\epsilon$ ) au moment où la déformation de traction uniaxiale devient instable ?

b – Un barreau de traction de Déformium a une section réduite mesurant 5 cm de long et 1 cm<sup>2</sup> d'aire dans le plan perpendiculaire à son axe. Quelle est la charge (en N) maximale que l'on peut appliquer sur ce barreau sans qu'il ne casse ?

c – Le Déformium pourrait-il être un alliage d'aluminium ?

e – Le Déformium pourrait-il être un polymère thermodurcissable (thermoset polymer) ?