

Examen de science des matériaux

NOM et prénom :

Répondre sur la feuille exclusivement - durée : 1,5h

Propriétés mécaniques (7 pts)

1. Un barreau métallique cylindrique de rayon $r = 4$ mm et longueur $l = 22$ cm est soumis à une force de traction selon son axe. À la fin du domaine élastique, la force est $F_e = 10$ kN, la longueur du barreau est $l_e = 22,1$ cm. Le coefficient de Poisson de ce matériau est $\nu = 0,3$.
 - (a) Donner l'expression littérale puis calculer le module de Young E de ce matériau. **(1 pt)**
 - (b) Donner l'expression littérale du diamètre d_e à la fin du domaine élastique puis calculer sa valeur. **(1 pt)**
 - (c) On continue à appliquer une force de traction jusqu'à la rupture, pour laquelle $F_f = 15,5$ kN et $l_f = 228$ mm. Donner l'expression de la longueur du barreau l_R après rupture puis calculer sa valeur. **(1 pt)**
 - (d) Que vaut la déformation à la rupture ε_r ? **(0,5 pt)**
2. Tracer sur le même graphe les courbes contrainte-déformation de deux matériaux 1 et 2 tels que : $E_1 > E_2$, $\nu_1 < \nu_2$, $R_{m1} < R_{m2}$, $\varepsilon_{R1} < \varepsilon_{R2}$ (E module de Young, ν coefficient de Poisson, R_m résistance à la traction, ε_R déformation après rupture). **(2 pts)**

3. On soumet une éprouvette métallique de longueur $l_i = 6$ cm et diamètre $d_i = 20$ mm à une compression. Sachant que son coefficient de Poisson est $\nu = 0,33$ et que sa longueur a varié de 10%, calculer sa longueur finale l_f et son diamètre final d_f : expressions littérales et applications numériques. **(1,5 pts)**

Défaillance en service (7 pts)

On s'intéresse à un réservoir de gaz servant à stocker de l'oxygène médical. Ce réservoir d'un diamètre de $\phi = 10$ m et d'une épaisseur $e = 3$ cm est réalisé en acier, dont on donne un ensemble de propriétés dans le tableau ci-après, utilisant les notations du cours :

E (GPa)	ν	Re (MPa)	G_c (kJ/m ²)
150	0,3	700	20

On souhaite étudier les risques de défaillance de ce réservoir sous pression. Pour un réservoir sphérique, la contrainte dans la coque est donnée en fonction de la pression par

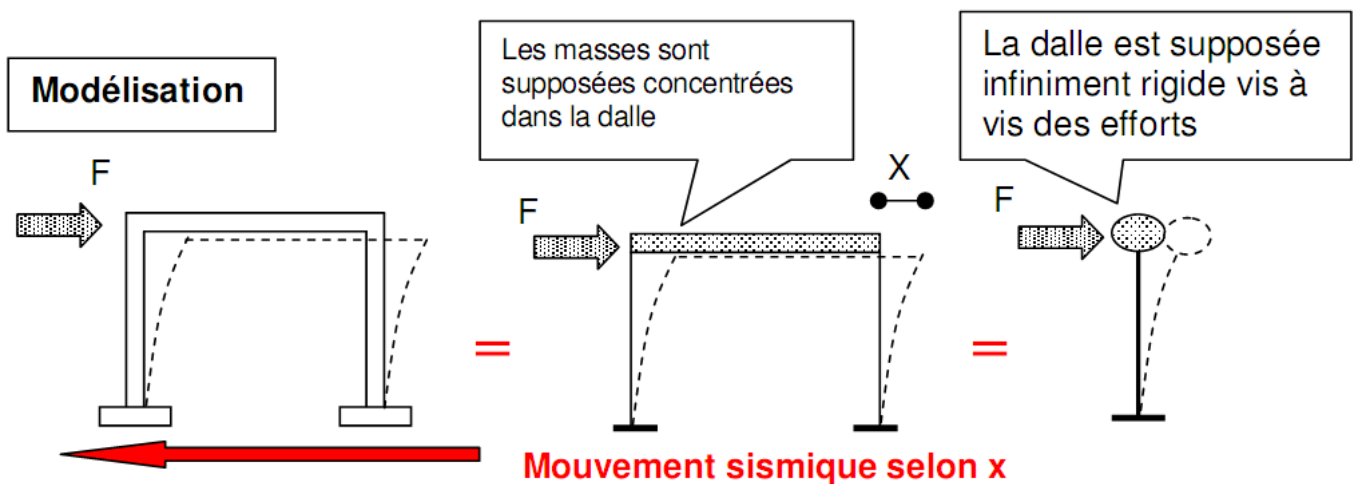
$$\sigma = \frac{P\phi}{4e}.$$

1. Sachant qu'un réservoir doit fonctionner en régime élastique, donner la pression maximale de cette enceinte. **(0,5 pt)**
2. Dans la suite, le réservoir est pressurisé à $P_{\max} = 40$ bars. Quelle est la taille maximale admissible des fissures de surface pour éviter une rupture fragile ? **(2 pts)**
3. Pour augmenter la capacité de stockage, on souhaite passer à une pression maximale en service de $P'_{\max} = 50$ bars. La société acquiert alors un nouveau réservoir de mêmes dimensions et met en place un dispositif de contrôle par ultrasons dont la résolution est de 10 mm. Est-ce suffisant pour éviter les défauts internes critiques ? **(1,5 pts)**
4. Sachant que l'acier suit une loi de Basquin ($a = 0,082$, $C_1 = 900$ MPa), donner la durée de vie en fatigue en nombre de cycles de ce nouveau réservoir pour des cycles de remplissage à cette pression $P'_{\max}$. **(1,5 pts)**

5. L'ancien réservoir ($P_{\max} = 40$ bars) a fonctionné pendant 20×10^3 cycles. Dans une démarche éco-responsable, la société souhaite le revendre, plutôt que le détruire. En basant votre raisonnement sur l'usure accumulée, donner en pourcentage la décote minimale à appliquer. (1,5 pts)

Choix de matériau pour un pilier porteur en zone sismique (6 pts)

Lors d'un séisme, les ondes sismiques font se déplacer le sol horizontalement d'une façon qu'on va considérer périodique. Du fait de l'inertie des bâtiments, ceux-ci subissent donc une force latérale F proportionnelle à leur masse m et à l'accélération a : $F = ma$. Dans cet exercice, on va dimensionner les N piliers porteurs d'une maison d'un étage. Comme sur le schéma ci-dessous, on va considérer que toute la masse M du bâtiment est située dans la dalle du premier étage. Comme cette dalle est considérée infiniment rigide, le problème se ramène à une masse $m = M/N$ soutenue par un seul pilier de hauteur h et de rayon r , et soumise à la force latérale F .



On note qu'en flexion les contraintes s'appliquent aussi bien en compression qu'en traction. On admet que F exerce dans le pilier une contrainte maximale $\sigma_{\max}$ telle que

$$F = \frac{\pi r^3 \sigma_{\max}}{8h}. \quad (1)$$

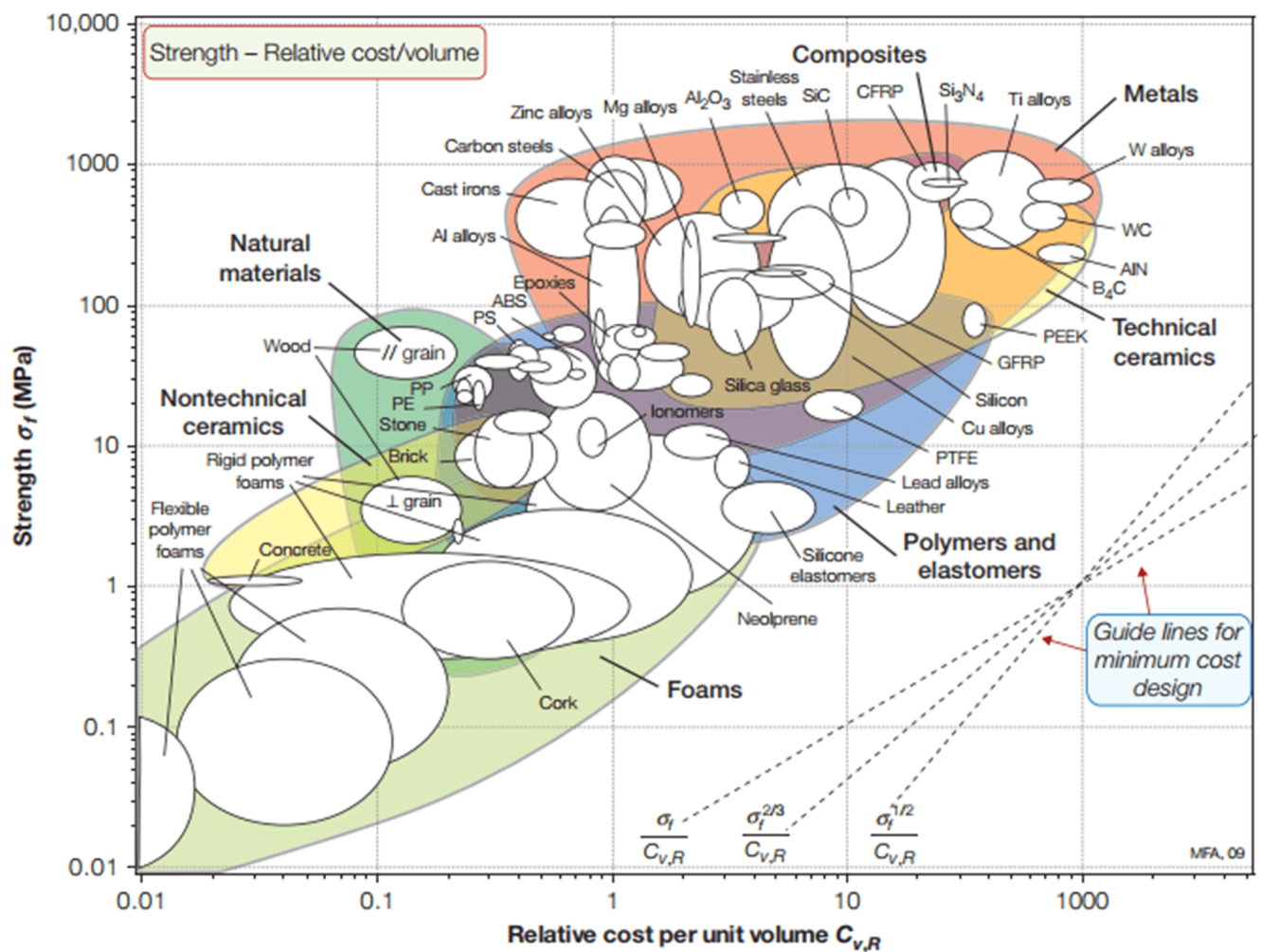
Le bâtiment étant fait pour durer, et les séismes étant nombreux dans la région, le pilier ne doit pas se déformer de façon plastique. En accord avec les notations anglophones du diagramme ci-après, on note σ_f la limite d'élasticité notée Re dans le cours.

On se fixe comme objectif de minimiser le coût du pilier.

1. Si l'on ne se fixe aucune contrainte sur la valeur de r , établir par une démarche rigoureuse et détaillée de choix de matériaux la liste des 4 matériaux les plus performants. On donnera les noms en anglais comme sur le diagramme. (5 pts)

(...)

2. Historiquement, la région a subi un séisme de magnitude 6, avec des accélérations estimées à 10 m/s^2 . Sachant que le bois de pin a été choisi ($\sigma_f = 13 \text{ MPa}$ en flexion) et que le pilier fait 20 cm de rayon pour une hauteur $h = 3 \text{ m}$, quelle masse m peut supporter chaque pilier sans se déformer plastiquement lors d'un séisme historique ? (2 pts)



Michael F. Ashby, *Materials selection in mechanical design* fourth edition, butterworth-heinemann publication, October 2010