

Série N° 12 — Semaine du 2 décembre 2024

Thermique/acide-base

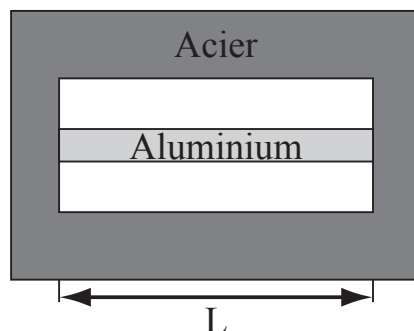
1. Vrai ou faux ?

	Vrai	Faux
a. De manière générale, plus un matériau est rigide, plus son expansion thermique est importante.	☐	☐
b. Plus un matériau a une grande conductivité thermique, plus il laissera passer un grand flux de chaleur lorsqu'il est soumis à un même gradient de température.	☐	☐
c. A l'exception de quelques matériaux comme le diamant, les céramiques et les polymères sont en général bien moins bons conducteurs de la chaleur que les métaux.	☐	☐
d. Si on colle ensemble à $T=20^{\circ}\text{C}$ une plaque d'aluminium avec une plaque de verre très fine par rapport à l'épaisseur de l'aluminium, on risque de faire casser le verre lorsque l'on chauffe cette plaque à 100°C .	☐	☐
e. La diffusivité thermique d'un matériau est le rapport entre sa conductivité thermique et sa chaleur latente.	☐	☐
f. Le module d'élasticité et la limite d'élasticité d'un matériau augmentent en général quand on augmente la température.	☐	☐
g. Une base de Bronsted est susceptible de céder un ou plusieurs protons.	☐	☐
h. La force d'un acide diminue lorsque le pK_a de son couple acide/base conjuguée diminue.	☐	☐
i. Si on ajoute à 1L d'eau, 500mg de KCl , cette solution reste à pH neutre.	☐	☐
j. Si on dilue une solution d'acide faible de 0.1mol/L à 0.01 mol/L, le degré de dissociation augmente.	☐	☐

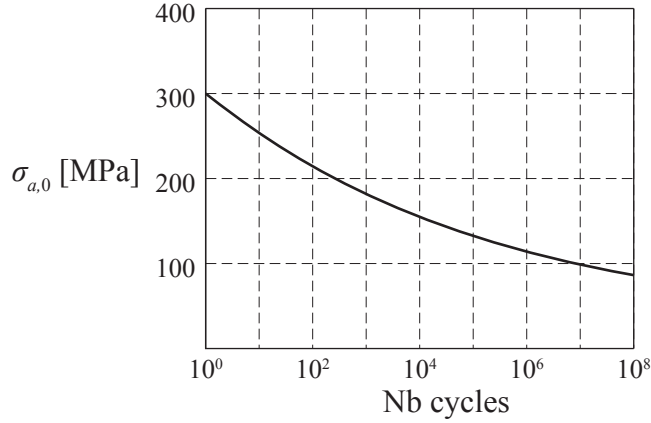
2. Fatigue thermique

Un dispositif mécanique est conçu pour aller dans l'espace, il s'agit d'une pièce centrale en alliage d'aluminium soudée sur un cadre très rigide en acier. À température ambiante (25°C), le système est libre de contraintes internes. Dans l'espace, ce dispositif est placé à l'extérieur d'un satellite, où il passe alternativement du côté ensoleillé ($T = +120^{\circ}\text{C}$) au côté à l'ombre

($T = -170^\circ\text{C}$). On supposera que le cadre en acier est beaucoup plus rigide que la pièce centrale en aluminium, donc c'est ce cadre qui va imposer la déformation à la pièce en Alu. On connaît les caractéristiques suivantes de nos matériaux : $\alpha_{acier} = 11 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; $L = 20 \text{ cm}$
 $\alpha_{alu} = 25 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; $E_{alu} = 70 \text{ GPa}$; $\sigma_{Y,alu} = 250 \text{ MPa}$.

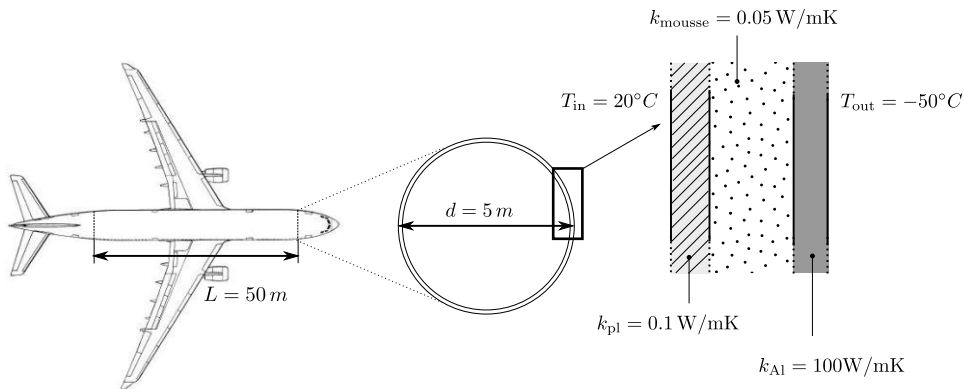


- Calculez la déformation ε de la pièce centrale d'aluminium lorsqu'elle est au soleil et à l'ombre, si elle était libre de se déformer, et son allongement dans les deux situations.
- Calculez l'allongement de la pièce centrale d'aluminium au soleil et à l'ombre quand elle est fixée dans le cadre qui impose sa propre déformation. Pour cela, en première approximation, ne considérez pas la forme géométrique de la pièce mais estimez simplement l'allongement dû à la thermique pour l'acier sur cette même longueur L dans les deux cas, et prenez l'hypothèse que cet allongement est imposé à la pièce d'aluminium.
- Calculez les contraintes dans cette pièce d'aluminium au soleil et à l'ombre. La variation de la contrainte entraîne-t-elle de la fatigue oligocyclique ?
- Comme vous craignez une rupture en fatigue (et que vous avez eu le cours sur la fatigue il y a quelques semaines..) vous pouvez vite faire estimer si cette pièce pourra survivre 10 ans dans l'espace. À l'aide de la courbe de fatigue donnée ci-dessous et de la loi de Goodman, déterminez le nombre de cycles à rupture N_f , et donnez vos conclusions.



3. Isolation d'une structure- diffusion thermique stationnaire

Le fuselage d'un avion commercial Airbus A330 est schématisé dans la figure ci-dessous. Le fuselage, de dimensions indiquées sur la figure (et que l'on va considérer comme un simple cylindre pour simplifier), a la fonction de protéger les passagers de l'environnement externe, notamment d'une température à 10000 m d'altitude d'environ -50°C . Une structure multicouche (et du chauffage dans l'avion) permet de garder la température à l'intérieur de l'avion à 20°C . Nous supposons que les parois sont composées d'une couche en alliage d'aluminium ($k = 100 \text{ W/mK}$) et d'une en matière plastique ($k = 0.1 \text{ W/mK}$) d'épaisseur, respectivement, 5 mm et 10 mm ; les deux sont séparées par une couche en mousse ($k = 0.05 \text{ W/mK}$) d'épaisseur 5 cm.



En supposant une diffusion à l'état stationnaire, donc en régime établi qui ne dépend pas du temps :

- Schématisez le profil de température à travers le fuselage, c'est à dire à travers une couche formée des 3 matériaux comme indiqué sur la figure.

Pas besoin de faire de calcul, juste un dessin mais en réfléchissant à la pente de chaque segment.

- b. Calculez la perte thermique totale (en W) sur la surface S du fuselage, en prenant l'hypothèse que c'est un cylindre de longueur et de diamètre comme indiqué sur la figure. Pour cela, il faut écrire que les différences de températures dans chaque couche s'ajoutent $\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 = \Delta T$, et écrire l'équilibre des flux thermiques au passage de chaque couche. Cette perte thermique est ce qui sera compensé par du chauffage dans l'avion pour garder sa température de cabine constante.

4. Effusivité au sauna- diffusion thermique transitoire et analyse par la température d'interface

Pour le confort des pieds d'un individu, il vaut mieux faire un sauna avec des planches en bois plutôt qu'avec des plaques d'aluminium. Pour démontrer cela, nous demandons de calculer la température d'interface T^* entre deux corps (sol-pied) mis en contact parfait. Ces deux "matériaux" ont respectivement une température initiale T_1 et T_2 , une chaleur spécifique volumique $(\rho c_p)_1$ et $(\rho c_p)_2$ et une conductivité thermique k_1 et k_2 . On utilisera pour cela le fait que :

- les flux de chaleur dans les deux corps à l'interface sont égaux ;
- dans chacun des matériaux, les couches limites thermiques à un instant t ont une épaisseur L_c qui est telle que :

$$Fo = \frac{at}{L_c^2} \approx 1$$

où Fo est le nombre adimensionnel appelé nombre de Fourier. On vous donne les valeurs suivantes pour le bois, l'aluminium, et finalement le corps humain qui est ici assimilé à de l'eau :

$$k_{bois} = 0.15 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}, (\rho c_p)_{bois} = 0.5 \times 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$k_{alu} = 237 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}, (\rho c_p)_{alu} = 2.42 \times 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$k_{eau} = 0.56 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}, (\rho c_p)_{eau} = 4.18 \times 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$$

- a. Calculez les coefficients de diffusion thermique du bois, de l'aluminium et de l'eau.
- b. Calculez la taille des couches limites de diffusion thermique L_c après 1 seconde, dans chacun de ces éléments.
- c. Calculez la température d'interface T^* entre deux corps mis en contact parfait, en posant les hypothèses indiquées ci-dessus, et en vous reportant à la slide du cours, qui indique que la valeur de température dans le matériau à une distance L_c de l'interface est la moyenne de la température d'interface T^* et de la température au loin du côté considéré, pour chaque côté. Ce calcul fait apparaître ce que l'on appelle l'effusivité d'un matériau, donnée par $(k_i \rho_i c_{pi})^{0.5}$. Faites ensuite

l'application numérique avec les propriétés du bois et de l'aluminium, en assimilant les propriétés du corps humain à celles de l'eau. Prenez comme températures initiales 30 pour le pied et 80 pour le sol.

5. Le grand nettoyage

Avant de partir en vacances, vos colocataires vous imposent de nettoyer un peu la salle de bains.

- ☞ Vous décidez de préparer une solution d'ammoniac NH_3 à 0.1M, pour récurer la baignoire. On voudrait quand même vérifier quel est son pH pour savoir si vous devriez porter des gants pour éviter de vous brûler la peau. Vous trouvez dans une table que $K_b = 1.66 \cdot 10^{-5}$, donc $pK_b = 4.78$.
 - a. Cette solution est-elle à priori basique ou acide (à regarder dans le formulaire?)
 - b. Écrivez l'équation chimique et calculez la concentration en ions OH^- dans la solution à l'équilibre. Calculez ensuite le pH (si pas encore vu, le pH, on écrit $pH = 14 - pOH = 14 + \text{Log}[OH^-]$ pour trouver). Du coup, est-ce à priori ok (donc pas trop loin du pH neutre?)
- ☞ Pour continuer sur la lancée, vous décidez aussi de détartre les pommeaux de douche qui sont couverts d'une couche de calcaire, $CaCO_3$. Pour cela, vous prenez du vinaigre de ménage, donc une solution de CH_3COOH , et vous voulez tremper le pommeau de douche dans la solution.
 - a. Question facultative pour les curieux... On observe un dégagement gazeux lorsque l'acide entre en contact avec le calcaire. Que se passe-t-il? Est-ce que ce gaz est nocif? Pour cela, essayez d'imaginer la réaction qui peut avoir lieu.

6. Solution des exercices

- a. exercice 2 a. (réponse : 0.48 et -0.98mm), b. (réponse : 0.209 et -0.429 mm). d. (réponse : $N_f = 3000$ cycles environ, donc non...)
- b. exercice 3 (b) : (Réponse : 50kW)
- c. exercice 4 c (Réponse : 37.6°C pour le bois et 77°C pour l'alu.)
- d. exercice 5 Solution : (a) : $pH = 11$ puis (a) : il sort du CO_2