

Série N° 14 — Semaine du 15 Décembre 2025
Thermique, propriétés fonctionnelles

1. **Vrai ou faux ?**

	Vrai	Faux
a. Selon le diagramme d'Ashby donné en cours, un barreau d'alliage de titane de 1m de long s'allongera de 1mm si j'élève sa température de 100°C.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Un alliage de titane à 200°C est moins dense qu'à la température ambiante.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Plus un matériau a une grande conductivité thermique, plus il y aura, en valeur absolue, un grand flux de chaleur lorsqu'il est soumis à un même gradient de température.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. A l'exception de quelques matériaux comme le diamant, les céramiques et les polymères sont en général bien meilleurs conducteurs de la chaleur que les métaux.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Plus la constante diélectrique d'un matériau isolant est grande, plus la charge que peut accumuler un condensateur qui contient ce matériau comme couche isolante peut être grande.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Les métaux ont une forte conductivité électrique du fait de leur grande densité d'électrons libres, et celle-ci augmente avec la température.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. Un matériau magnétique qui à un champ coercitif très grand sera considéré comme un aimant dur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Un matériau ferroélectrique cristallise dans une structure qui n'est pas centro-symétrique, cela permet la présence d'une polarisation spontanée qui peut être inversée par l'application d'un champ électrique.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. La valeur de l'aimantation rémanente pour un matériau ferromagnétique permet de distinguer un aimant doux d'un aimant dur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. **Isolation thermique au chalet**

Vous voici enfin en vacances de Noël dans un chalet de montagne construit il y a fort longtemps, avec des planches en bois ($k = 0.15 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$). La température extérieure est de -20°C . Vous voudriez pour pouvoir être

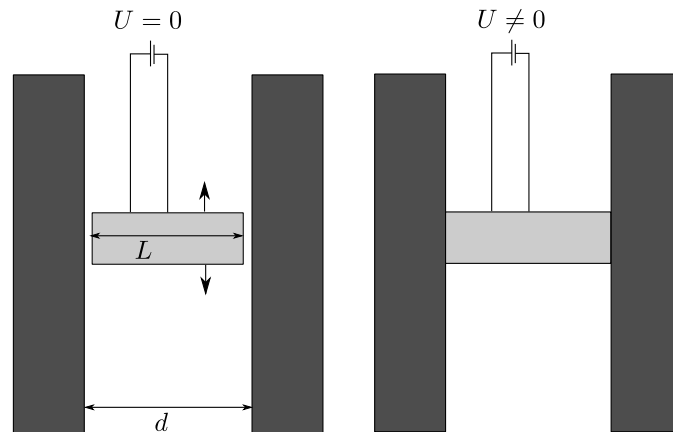
confortable garder la température dans le chalet à 20°C. Nous supposons que la paroi est d'épaisseur 5 cm, que la surface des 4 murs externes du chalet est de $S = 80\text{m}^2$, et que la chaleur peut sortir seulement par les murs (le toit est super bien isolé!).

En supposant une diffusion de chaleur à l'état stationnaire :

- Schématisez le profil de température à travers la paroi d'un des murs.
- Calculez la perte thermique (en $\text{W}=\text{J/s}$) sur la surface S du chalet (pour cela, calculez d'abord la densité de flux thermique).
- On cherche à réduire cette perte thermique en mettant une isolation en laine de roche ($k = 0.04 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), collée contre le bois (à l'intérieur du chalet). Schématisez le nouveau profil de température quand on a deux matériaux en série. Calculez l'épaisseur de laine de roche à poser pour réduire la perte thermique de moitié.
- Sachant que le poêle à bois présent dans le chalet a une puissance maximale de 5kW, est-ce que vous allez passer des vacances confortables dans ce chalet ?

3. Freinage électrothermomécanique

Un système électromécanique utilise un dispositif de freinage qui permet de faire glisser un barreau en forme de parallélépipède en alliage Cu-Be ($\alpha = 17 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $E = 200 \text{ GPa}$), entre deux parois rigides à température ambiante. Lorsque le passage d'un courant fait augmenter la température du barreau de $\Delta T = 187^\circ\text{C}$ par effet Joule, celui-ci se dilate et le système est bloqué. Initialement, dans la configuration qui permet au barreau de glisser, sa longueur vaut $L = 10 \text{ cm}$, sa section $S = 1 \text{ cm}^2$ (qui donnera la surface de contact avec les parois de chaque côté), une surface externe $S_{ext} = 40 \text{ cm}^2$ et la distance entre les parois est $d = 10.02 \text{ cm}$.



- Calculez l'allongement L' que le barreau aurait avec $\Delta T = 187^\circ\text{C}$ s'il n'y avait pas les parois.

- b. Le système est cependant contraint. Quelle est la contrainte de compression dans le barreau et la force qui agit sur les parois? Pour cela, évaluez la déformation élastique dans le matériau sachant que la déformation totale est limitée par la distance entre les parois, puis estimez la contrainte résultante.
- c. Sachant que le coefficient de friction statique entre barreau et parois est $\mu_s = 0.2$, quelle masse pourrait-on suspendre au barreau une fois qu'il est bloqué, sans que celui-ci glisse?

4. Trempe d'un acier

La trempe est une opération métallurgique qui consiste à tremper rapidement une pièce métallique qui a préalablement été chauffée, dans de l'eau ou un autre liquide comme de l'huile, afin de la refroidir rapidement, ce qui peut entraîner des changements de phase intéressants. Elle est par exemple utilisée depuis longtemps par les fabricants de sabres Samurais, ce qui permettait d'avoir des lames d'acier avec un tranchant très dur. Votre cousin historien s'intéresse aux techniques ancestrales des samurais (en effet, vous l'avez invité à prendre le thé dans votre chalet bien isolé...), et vous demande s'il est plus efficace de tremper le métal dans de l'huile ou dans de l'eau. Vous allez pouvoir estimer la réponse à sa question.



Pour cela, considérons donc une pièce en acier (indice "s" pour "steel") chauffée à 520°C , qui est soudainement plongée dans un bain de liquide (donnez lui l'indice "l") à température ambiante. On négligera la convection (on ne considèrera donc que la diffusion thermique dans les deux milieux) et on fait l'hypothèse d'un contact thermique parfait entre les deux milieux. Vous avez aussi trouvé les données nécessaires pour le calcul :

$$k_s = 45 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}, (\rho c_p)_s = 5 \times 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$k_{huile} = 0.2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}, (\rho c_p)_{huile} = 1.8 \times 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$$
$$k_{eau} = 0.56 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}, (\rho c_p)_{eau} = 4.18 \times 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$$

- Calculez les coefficients de diffusivité thermique du métal, de l'huile et de l'eau.
- Calculez la taille des couches limites de diffusivité thermique (L_c) après 1 seconde, dans chacun de ces éléments (eau ou huile, métal)
- Calculez la température d'interface T^* entre deux corps 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 conductibilité 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 l'épaisseur calculée précédemment. On peut donc simplifier le gradient de température (dT/dz) par la différence entre la température d'interface T^* et la température à la position L_c (dans chaque matériau) divisée par L_c .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 de l'acier et de l'eau. Même calcul pour l'acier et l'huile. Quel refroidissement est donc le plus efficace ?
- Question facultative pour les curieux : Pourquoi sur la photo donnée aperçoit-on un dessin un peu sinusoïdal à la surface du katana (ou sabre samourai) ?

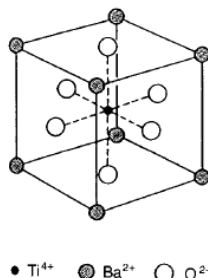
5. Bobine d'induction

Une bobine constituée de 500 spires de fil de cuivre de diamètre d ($\rho_e = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$, $d = 1 \text{ mm}$) bobinées sur 50 cm, avec un diamètre D de la bobine qui vaut 2 cm est mise sous tension de 100 V.

- Quel est le courant dans le fil de cuivre ?
- Quel est le champ magnétique dans la bobine ?
- Et l'induction magnétique ?
- On place maintenant un noyau de fer doux ($\chi_M = 10\,000$) dans la bobine. Quelle est son aimantation ? A-t-on atteint la saturation ? Pour vous aider, utilisez les cartes d'Ashby données dans le cours pour estimer l'aimantation à saturation du fer.
- Calculez le voltage qui serait suffisant pour atteindre la saturation du fer doux.

6. Titanate de baryum

Le titanate de baryum (BaTiO_3) est une céramique ferro-électrique dont la maille élémentaire est donnée ci-dessous dans sa forme non-polarisée (stable à haute température). A température ambiante, le cation Ti^{4+} quitte le centre de la maille et se déplace de 0.25 \AA en direction de l'un des six atomes d'oxygène. Cette rupture de symétrie dans la répartition des charges crée un dipôle électrique dans chacune des mailles élémentaires du cristal. La structure devient alors tétra-gonale avec des paramètres de maille $a = 3.904 \text{ \AA}$ et $c = 4.150 \text{ \AA}$ (on supposera pour les calculs que $a = c = 4 \text{ \AA}$).



- a. Calculer le dipôle électrique associé à une maille.
- b. Quelle est la polarisation à saturation de ce matériau ?
- c. Quelle est la constante diélectrique (permittivité relative) du matériau si lors de la première polarisation on mesure une polarisation $P = 0.1 \text{ As/m}^2$ pour un champ $E = 0.7 \text{ MV/m}$.

7. Répondez aux questions suivantes, exercice bonus pour réviser le cours propriétés fonctionnelles

- a. Quel type d'aimant faut-il choisir pour un transformateur ? Pour quelle raison ? Pour cela, estimez la dissipation énergétique (par unité de volume) lors de l'aimantation sous champ magnétique alternatif, qui est donnée par : $e \approx \mu_0 \int M dH$.
- b. Essayer de proposer pourquoi la conductivité électrique d'un métal diminue avec la présence d'éléments d'alliage en solution solide ?
- c. Et pourquoi augmente-t-elle pour ce même alliage lorsque l'on fait un traitement de précipitation ?
- d. Quelle épaisseur minimale de téflon devez-vous utiliser pour isoler électriquement un fil conducteur à 100 kV de la terre ?



Bonnes fêtes et bon courage pour les examens !