TD de physique n°5 : Conduction thermique

Extraits du Bulletin Officiel

Notions et contenus	Capacités exigibles
Loi phénoménologique de Fourier donnant le flux thermique en fonction de la dérivée de la température par rapport à une seule coordonnée spatiale, à travers une surface plane, cylindrique ou sphérique, adaptée à la géométrie considérée. Conductivité thermique	Discuter des dépendances du flux thermique à travers une paroi en fonction de ses paramètres géométriques (épaisseur et surface de la paroi) et physiques (conductivité thermique du milieu). Citer l'ordre de grandeur de la conductivité thermique de l'air, de l'eau et d'un métal, à température et pression ambiantes.
Coefficient de diffusivité thermique. Loi d'échelle liant les échelles caractéristiques spatiales et temporelles et le coefficient de diffusivité thermique.	Exploiter la relation fournie exprimant le coefficient de diffusivité thermique en fonction de la conductivité thermique, de la masse volumique et de la capacité thermique massique. Exploiter la loi d'échelle liant les échelles caractéristiques spatiales et temporelles et le coefficient de diffusivité thermique.
Bilan d'énergie en régime stationnaire ou quasi stationnaire.	Établir un bilan d'énergie, éventuellement en présence de sources internes. Exploiter la conservation du flux thermique en régime stationnaire et en l'absence de sources internes.

Exercices d'application directe du cours

Exercice n°1 : Étude de la sensation de chaud : température de surface.

On étudie un modèle destiné à interpréter l'observation suivante : « un observateur posant sa main sur une table en bois et une table en acier à température ambiante a l'impression que le bois est plus chaud que l'acier ».

Deux cylindres de même section S, de même axe Ox, de conductivités λ_1 et λ_2, de longueurs L_1 et L_2 sont mis bout à bout, le contact s'établissant en x = 0. On maintient les extrémités $x = -L_1$ et $x = +L_2$ des deux cylindres aux températures respectives T_1 et T_2. On étudie un régime stationnaire pour lequel T(x,t) est indépendant de t.

1. Faire un schéma.
2. En utilisant une propriété du régime stationnaire établir l'expression de T(x) dans chaque cylindre en fonction de T_1, T_2, x, L_1, L_2 et de la température T_0 en x = 0.
3. En déduire que la température T_0 à l'interface est une combinaison linéaire de T_1 et T_2 et donner son expression.
4. On prend T_1 = 37°C (doigt de la main) et T_2= 20°C (acier ou bois), et on suppose $L_1=L_2$.
   On donne les conductivités thermiques de la main λ_1=10 $W.m^{-1}.K^{-1}$, du bois λ_2=1 $W.m^{-1}.K^{-1}$ et de l'acier λ_2=100 $W.m^{-1}.K^{-1}$.
   Calculer T_0 pour un contact main-bois puis pour un contact main-acier. Commenter.
5. A l'aide du même modèle montrer que l'on peut interpréter l'observation suivante : « un observateur posant sa main sur un morceau de bois à 100 °C ressent une sensation de chaleur supportable alors qu'il se brûle en touchant un morceau d'acier porté à 100 °C. »

Exercice n°2 : Résistances thermiques. Simple et double vitrage.

1. Une vitre de largeur L = 1,3 m, de hauteur H = 1,5 m et d'épaisseur e = 5 mm, isole une pièce maintenue à la température T_i = 20°C de l'extérieur à la température T_e = 5 °C. Calculer la puissance thermique à fournir par le dispositif de chauffage de la pièce pour maintenir la température T_i en régime stationnaire.

2. On remplace la vitre précédente par un double vitrage formé de deux vitres identiques à la précédente, séparées par une couche d'air d'épaisseur d = 7 mm. Calculer la puissance thermique à fournir pour maintenir la pièce à T_i. Calculer les températures T_1 et T_2 au niveau de chaque interface verre-air dans le double vitrage.

Données : conductivités thermiques λ en $W.m^{-1}.K^{-1}$: verre : 1,2 air : 24.10^{-3}

Exercice n°3 : Survie dans un igloo.

1. Déterminer l'expression de la résistance thermique R_{th} d'un igloo, considéré comme une demi-sphère de rayon extérieur R_e = 1 m et et d'épaisseur e, situé sur un glacier par T_e = -15 °C à l'extérieur.
2. Que devient l'expression de la résistance thermique lorsque l'épaisseur de la couche de glace est très faible devant la taille de l'igloo ? Commenter.
3. Quelle doit être l'épaisseur de la paroi pour que la température intérieure T_i puisse atteindre la température de survie de 10°C ?

Données : Puissance thermique délivrée par un être humain : P=80 W en régime stationnaire.
Conductivité thermique de la glace : $\lambda_{glace} = 5.10^{-2}$ $W.K^{-1}.m^{-1}$.

Exercice n°4 : Chauffage d'une baguette de pain au micro-ondes

Une baguette de pain (conductivité thermique λ = 0,5 $W.K^{-1}.m^{-1}$), considérée comme un cylindre de longueur *l* = 20 cm, de rayon *R* = 5 cm est placée dans un four à micro-ondes. On se place en régime stationnaire. Le four a une puissance *P* = 800 W et la température extérieure, supposée constante, est T_e = 300 K. A cause des réflexions multiples des ondes sur les parois internes du four on admet que seulement 60% de la puissance du four est transmise dans le volume de la baguette de manière homogène avec une puissance volumique p constante.

1. Calculer la puissance volumique p reçue en un point de la baguette en fonction de P et R.
2. A partir d'un bilan thermique dans un volume élémentaire de baguette bien choisi, établir l'équation différentielle vérifiée par la température T(r) à l'intérieur de la baguette.
3. Intégrer cette équation différentielle en ne conservant que les solutions physiquement acceptables sachant que la température dans la baguette a une valeur finie. En déduire l'expression de la température T(r) à l'intérieur de la baguette en fonction de r, T_e, λ, p et R.
4. Estimer la température au centre de la baguette.

Exercice n°5 : Interprétation de la diffusivité.

Données :
Diffusivité thermique du fer : $D_{th} = 4.10^{-6}\ m^2.s^{-1}$. Diffusivité thermique du sol : $D_{th} = 2{,}8.10^{-7}\ m^2.s^{-1}$.

1) On chauffe le milieu d'une baguette en fer de longueur 10 cm en la tenant à ses extrémités. Estimer la durée nécessaire pour ressentir la chaleur.

2) A l'aide de la notion de diffusivité donner une réponse aux questions suivantes argumentée par une application numérique :

- Pourquoi enterre-t-on les canalisations d'eau à une profondeur d'environ 25 cm ?
- Pourquoi conserve-t-on les vins dans des caves enterrées

Exercices d'approfondissement

Exercice n°6 : plongée en eau froide

Un plongeur portant une combinaison de plongée d'épaisseur e réalise une plongée dans la Manche. C'est l'été, la mer est à 17 °C. Sa combinaison est suffisamment épaisse pour qu'il n'ait pas froid. Pour simplifier, on supposera que les échanges thermiques entre le plongeur et l'eau se font le long d'une surface plane de section S = 2,0 m^2.

1. Exprimer la résistance thermique de la combinaison.
2. Déterminer l'épaisseur de la combinaison.
3. On considère qu'il y a hypothermie si la température corporelle atteint 35°C. Estimer au bout combien de temps le plongeur serait en hypothermie en l'absence de combinaison.

Données :

- Résistance thermique de la peau : $R_{peau} = 3{,}0.10^{-2}\ K\cdot W^{-1}$
- Conductivité thermique du néoprène : $\lambda_{néo} = 0{,}20\ W\ m^{-1}\cdot K^{-1}$
- Puissance produite par le métabolisme : $\phi_{mét} = 100\ W$
- Coefficient de transfert convectif : $h = 10\ W\ m^{-2}\cdot K^{-1}$
- Capacité thermique du plongeur : $C = 280\ kJ\cdot K^{-1}$

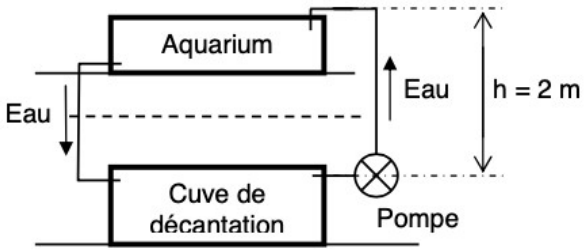
Exercice n°7 : Aquarium (adapté de l'oral)

Question ouverte

On considère un aquarium de L 100 cm x l 35 cm x H 40 cm recouvert d'un avec un couvercle en polystyrène, maintenu à 26°C dans une pièce à 21 °C par une résistance de puissance 200 W, éclairé 12 h par jour avec une LED de 20 W, filtré à l'aide d'une pompe de 40 W qui remonte une fois le volume d'eau par heure afin qu'elle traverse un filtre situé à la surface de l'eau (voir document 1). L'aquarium contient environ 100 L d'eau.
Déterminer le coût de l'aquarium en un an.

Document :

Afin d'en réaliser son épuration, l'eau de l'aquarium circule en passant par une cuve de décantation située dans le sous-sol de la pièce. Cette eau revient ensuite dans l'aquarium à l'aide d'une pompe dite « de remontée ». L'eau de l'aquarium est intégralement transférée dans la cuve de décantation puis remontée dans l'aquarium une fois par heure. La pompe a un débit de 2000 $L \cdot h^{-1}$.



Données :

- Résistance thermique du verre : $\lambda = 1 \ \ W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
- Résistance thermique du polystyrène : $\lambda_P = 4 \times 10^{-3} \ \ W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
- Épaisseur des parois de verre : $e = 0{,}3 \ \ cm$
- Épaisseur des parois de la plaque de polystyrène : $e_P = 1 \ \ cm$
- Capacité thermique massique de l'eau : $C_p = 4{,}18 \ \ kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
- Coût du kW·h : 0,2228€

Aide

1. Déterminer le coût annuel de la lampe LED.
2. Déterminer le coût annuel de la pompe.
3. Établir T(t) lorsque l'eau de l'aquarium est chauffée par la résistance thermique. En déduire le temps nécessaire pour augmenter la température de l'eau de l'aquarium d'un degré.
4. Déterminer la valeur numérique de la résistance thermique des parois de l'aquarium.
5. Établir T(t) lorsque l'eau de l'aquarium est n'est plus chauffé par la résistance thermique. En déduire le temps nécessaire pour que la température de l'eau de l'aquarium baisse d'un degré.
6. En déduire le coût annuel de la résistance thermique puis le coût annuel de l'aquarium.