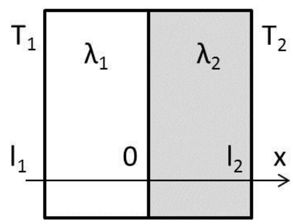
6 Questions de cours

1) Décrire les trois modes de transfert thermique.
2) Définir les notions de flux thermique, vecteur densité de flux thermique.
3) Donner la loi de Fourier (en 3D) et sa simplification pour une propagation unidimensionnelle. Définir les termes rentrant dans son expression.
4) Démontrer l'équation de la chaleur en faisant un bilan enthalpique sur une épaisseur dx de matériau de conductivité λ .
5) Comment appelle-t-on le coefficient entrant en compte dans l'équation de la chaleur ? Donner son expression. Quelle est sa signification physique ?
6) Résoudre l'équation de la chaleur dans le cas du régime stationnaire.
On prendra le cas d'une tige pour rester avec un problème unidimensionnel. On suppose donc de plus qu'il n'y a aucun échange thermique entre la tige et le milieu extérieur par la surface latérale du cylindre (isolation thermique). Cette tige est cylindrique de section S, de longueur L et ses extrémités sont aux températures T_1 *et* T_2 $(T_1 > T_2)$. Donner l'expression de la température, densité de flux thermique et flux thermique. Commenter.
6) Définir la notion de résistance thermique. Donner l'analogie avec l'électricité.

7 Exercices

7.1 Contacts thermiques



Lorsqu'on touche deux objets à la même température, l'un en bois et l'autre en métal, celui en métal semble plus froid que celui en bois, malgré leurs températures identiques. L'objet de ce problème est d'étudier ce phénomène.
On étudie la conduction thermique suivant $\overrightarrow{u_x}$ entre deux solides 1 et 2, de même section S, portés aux températures extrémales T_1 et T_2 :
1) Etablir le champ de température $T(x), x \in [l_1, l_2]$.
2) Etablir la valeur de la température T_0 de la jonction en fonction de T_1 et T_2.
3) Calculer numériquement T_0 pour un contact 1/2 métal/peau puis bois/peau (on prendra $l_1 = l_2$) où T_1 = 20°C, T_2 = 37°C et

	métal	corps humain	bois
$\lambda\left(W.m^{-1}.K^{-1}\right)$	350	$6{,}0.10^{-1}$	$7{,}5.10^{-1}$

Conclure quant à la sensation de froid.

7.2 Contacts thermiques (suite)

On reprend l'exercice précédent. On pose R_{th1} et R_{th2} les résistances thermiques relatives aux solides 1 et 2.
1) Comment exprimer ces résistances en fonction de l_1, l_2, λ_1, λ_2 et S, la surface en contact des deux solides ?
2) Etablir la valeur de la température T_0 de la jonction en fonction de T_1, T_2, R_{th1} et R_{th2}.
3) Envisager et commenter les cas $R_{th1} >> R_{th2}$ et $R_{th1} = R_{th2}$.
4) Comparer avec les résultats de l'exercice précédent.

7.3 Bilan entropique macroscopique

Les extrémités d'un cylindre C de section S, de longueur l, de conductivité thermique λ, sont portées aux températures T_1 et T_2. Les parois du cylindre sont parfaitement calorifugées.
L'étude a lieu en régime permanent indépendant du temps. Toutes les réponses sont attendues en fonction de T_1, T_2, λ, S et l.

1) $\overrightarrow{j_{th}} = j_{th}\overrightarrow{u_x} \quad avec \quad j_{th} > 0$: quelle est l'inégalité entre T_1 et T_2 ?

2) Quel est le flux thermique φ traversant une section droite de C ?

3) Quelle est la variation d'entropie dS de C pendant la durée dt ?

4) Quelle est l'entropie δS_{ech} échangée par C avec les sources extérieures à T_1 et T_2 pendant dt ?

5) Quelle est l'entropie $\delta S_{créé}$ dans C pendant dt ? Conclure.

7.4 Diffusion thermique dans le domaine de l'habitat

Une paroi d'épaisseur e et de surface S sépare l'intérieur d'un local, à température T_I de l'extérieur à T_e.

1) <u>Résistance thermique</u>

a) Rappeler la définition de la résistance thermique en régime stationnaire.

b) Est-il préférable d'augmenter ou de diminuer la résistance thermique des murs d'une habitation située dans une région froide ?

c) Doit-on inverser le critère dans une région chaude ?

2) <u>Propriété des matériaux</u>

Une notice relative à des blocs de béton, assemblables pour réaliser un mur, précise :

Epaisseur	Caractéristique thermique	Unité
5 cm	0,05	$m^2.k.W^{-1}$
10 cm	0,1	$m^2.k.W^{-1}$
20 cm	0,2	$m^2.k.W^{-1}$

a) Commenter l'unité : quelle est cette propriété caractéristique thermique ?

b) Peut-on en déduire une constante caractéristique du matériau ?

c) Une norme de bâtiment à basse consommation impose un coefficient dit « de résistance thermique » supérieur à 5 $m^2.k.W^{-1}$. Peut-on l'atteindre avec un assemblage de blocs tels que présentés ci-dessus ?

d) Comment procède-t-on en pratique ?

7.5 Simple et double vitrage

On considère une pièce à la température T_i = 20°C. La température extérieure est T_e = 5°C. On étudie les transferts thermiques avec l'extérieur à travers une vitre en verre de conductivité thermique $\lambda = 1{,}15 W.m^{-1}.K^{-1}$, de largeur 60 cm, de hauteur 60 cm et d'épaisseur 3mm. On suppose qu'il n'y a pas de flux sortant à travers les autres parois de la pièce. On se place en régime stationnaire.

1) Définir et calculer la résistance thermique de la vitre. En déduire le flux thermique sortant à travers le simple vitrage.

2) On remplace le simple vitrage par un double vitrage constitué d'une vitre de 3 mm d'épaisseur, d'une couche d'air de conductivité thermique $\lambda_{air} = 0{,}025 W.m^{-1}.K^{-1}$, d'épaisseur 10 mm et d'une autre vitre identique à la première. Donner le schéma thermique équivalent. Calculer le flux thermique sortant à travers le double vitrage et les différentes températures dans le double vitrage. Interpréter.

7.6 Chauffage d'une pièce

On souhaite maintenir constante la température d'une pièce à T_i = 20°C. La résistance thermique des 4 murs et du sol est R_{th1} = 10,0.10^{-3}K.W^{-1}. La résistance thermique du plafond et des tuiles est R_{th2} = 2,0.10^{-3}K.W^{-1}. La température de l'extérieur est T_e = 10 °C. On se place en régime stationnaire.

1) Calculer la puissance thermique P à apporter à la pièce pour maintenant constante la température.

2) On améliore l'isolation thermique en rajoutant une plaque de matériau isolant entre le plafond et les tuiles. Calculer la résistance thermique de ce matériau afin de réaliser une économie de 50% sur la puissance thermique P.

7.7 Isolant

Une couche d'isolant d'épaisseur d = 10 cm et de conductivité thermique : $\lambda = 0{,}04 W.m^{-1}.K^{-1}$ a une face maintenue à la température T_1 = 100°C. L'autre face est refroidie par convection par un courant d'air à T_0 = 25°C qui doit maintenant sa température à la valeur de T_2 = 30°C (en régime permanent). Calculer quelle doit être la valeur du coefficient h défini dans la loi de Newton : $j_{th} = h\left(T_2 - T_0\right)$. Quel paramètre peut-on adapter simplement pour obtenir cette valeur ?

Continuité du flux thermique au niveau de la surface :

7.8 Modèle utilisant une résistance thermique

1) On raisonne sur une portion de paroi d'aire S. Définir la résistance thermique entre la paroi et le fluide.

2) Deux parois se font face, elles sont séparées par un fluide dans lequel la température est supposée uniforme (brassage par convection). Pour une portion d'aire S, que peut-on dire des résistances thermiques parois et fluide ?

3) Définir un coefficient de transfert entre les parois (on note h et h' les coefficients de transfert entre parois et fluide).

7.9 Ailette de refroidissement

On considère une barre de cuivre cylindrique de rayon a = 5 mm, de longueur L. En x = 0, la barre de cuivre est en contact avec un milieu à la température T_0 = 330 K. Tout le reste de la tige est en contact avec l'air ambiant de température uniforme T_e = 300 K. On appelle $\lambda = 400 W.m^{-1}.K^{-1}$ la conductivité thermique du cuivre et h = 12 W.m^{-2}.K^{-1} le coefficient de transfert conducto-convectif entre la barre de cuivre et l'air. On se place en régime stationnaire. On pose $\delta = \sqrt{\dfrac{\lambda a}{2h}}$.

1) On considère que la longueur de la tige est quasi-infinie. Déterminer numériquement le profil de température T(x) en tout point de la barre de cuivre.

2) On remplace la tige précédente par une tige de longueur L = 20 cm. Déterminer numériquement T(x). Calculer T(L).