TD 3.2. Transferts thermiques

Le long jeune hivernal

Le manchot empereur mesure environ un mètre de haut. Dans cet exercice, on pourra le modéliser par un cylindre. Sous la peau tout son corps est recouvert d'une couche de graisse dont on considérera l'épaisseur comme faible par rapport aux autres dimensions de l'animal. La peau est recouverte de plumes. Bien que ces plumes jouent un rôle important, nous ne les considérerons pas dans l'exercice. Enfin, on négligera tout le temps les échanges de chaleur par rayonnement.

Pendant l'hiver, le mâle, couve l'unique oeuf. Il reste plusieurs mois sans manger, par une température de $-30°$C, sa température interne restant toujours à $+38°$C.

La graisse qui entoure tout le corps du manchot a deux fonctions : servir d'isolation thermique et procurer au manchot, quand il la consomme une énergie de $h = 38$ MJ.kg^{-1}. La masse volumique de cette graisse est la même que celle de l'animal pour l'estimer vous considérerez que c'est la même que pour vous. La conductivité thermique de la graisse est $\lambda = 0,17$ W.m^{-1}.K^{-1}.

Pour simplifier la résolution de l'exercice, on considère dans un premier temps que pour calculer l'isolation procurée par la graisse son épaisseur est toujours égale à l'épaisseur initiale.

1. Quelle épaisseur de graisse permet au manchot de tenir pendant 2 mois sans manger ?

Pour aller plus loin on peut modéliser que l'épaisseur de graisse diminue au fur et à mesure qu'il l'a consomme.

2. Dans cette nouvelle modélisation, qu'elle épaisseur de graisse faut-il au manchot ?

Fusible

Un fusible est constitué par un fil conducteur cylindrique homogène, de section droite d'aire S, de longueur utile L, de conductivité électrique γ et de conductivité thermique λ. Il est traversé par un courant électrique continu d'intensité I et il est enfermé dans une capsule remplie d'une substance assurant une isolation thermique et électrique parfaite. Les températures aux extrémités du fil, $x = 0$ et $x = L$, sont imposées et égales à la température T_0 du milieu ambiant. On se place en régime stationnaire.

1. Faire un schéma
2. Ecrire l'équation différentielle vérifiée par la température $T(x)$ dans le fil. La résoudre et représenter graphiquement la fonction de $T(x)$.
3. Le matériau constituant le fil fond à T_F. On veut fabriquer un fusible qui admet une intensité maximale I_{max}. Préciser l'endroit de la rupture en cas de dépassement de I_{max}. Déterminer l'expression littérale de l'aire S à prévoir. Faire l'application numérique avec : $\lambda = 65$ W.m^{-1}.K^{-1} ; $\gamma = 1,2.10^6$ SI ; $T_0 = 290$ K ; $L = 2,5$ cm ; $T_F = 390$ K ; $I_{max} = 16$ A.

Le paradoxe de l'isolant

Un tuyau d'eau chaude est entouré par une gaine isolante de conductivité thermique λ, de rayon intérieur r_1 (égal au rayon estérieur du tuyau) et de rayon extérieur r_2. La gaine est en contact avec l'air ambiant avec lequel elle a un échange thermique suivant la loi de Newton, avec un coefficient d'échange h.

1. Pour une longueur l de tuyau exprimer les résistances thermiques et de la gaine isolante et de l'interface gaine isolante/air.
2. Étudier les variations de la résistance thermique équivalente avec r_2. Quel résultat paradoxal trouve-t-on ?

Simple et double vitrage

On considère une pièce à la température $T_i = 20$ °C. La température extérieure est $T_e = 5,0$ °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 3,0 mm. 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. Faire un schéma
2. Définir et calculer la résistance thermique de la vitre. En déduire le flux thermique sortant à travers le simple vitrage.
3. On remplace le simple vitrage par un double vitrage constitué d'une vitre de 3,0 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.

Cuisson d'un œuf

La cuisson d'un œuf (de poule) à la coque dure 3 minutes. Un œuf moyen a une masse comprise entre 53 et 63 g.

1. Faire un schéma
2. Quelle serait la durée pour faire cuire à la coque un œuf d'autruche, sachant que la masse de celui-ci est comprise entre 1,2 et 1,8 kg ?

indice : Le blanc d'œuf coagule à 69° et le jaune d'œuf coagule à 62°.

Fonte d'un glaçon

Un glaçon cubique mets 5 min à fondre dans un verre d'eau

1. Faire un schéma
2. Quelle est la durée pour faire fondre un glaçon deux fois plus gros ?

Ailette de refroidissement

On considère une tige de cuivre cylindrique de rayon $a = 5$ mm, de longueur L. En $x = 0$, la tige 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 tige de cuivre et l'air. On se place en régime stationnaire. On pose $\delta = \sqrt{\frac{\lambda a}{2h}}$

On rappelle la loi de Newton : $\delta Q = h(T_s - T_f)dSdt$ à l'interface solide/fluide avec T_s la température du solide et T_f la température du fluide.

1. Faire un schéma
2. On considère que la longueur de la tige est quasi infinie. Déterminer le profil de température $T(x)$ en tout point de la tige de cuivre.
3. On remplace la tige précédente par une tige de longueur $L = 20$ cm. Déterminer $T(x)$. Calculer $T(L)$.
4. Quel est l'intérêt du dispositif ? Quelle valeur de L faut-il choisir pour optimiser les performances du dispositifs ? Citer une application.

Effet de cave

L'atmosphère occupe le demi-espace $x < 0$ et le sol le demi-espace $x > 0$. La température au niveau du sol est : $T(0) = T_0 + a\cos(\omega t)$. On utilisera la notation complexe : $\underline{T}(0) = T_0 + a\exp(j\omega t)$. Pour le sol, on note $\mu = 3,0 \times 10^3$ kg.m^{-3} la masse volumique, $c = 515$ J.kg^{-1}.K^{-1} la capacité thermique massique et $\lambda = 1,2$ W.m^{-1}.K^{-1} la conductivité thermique. On pose $\delta = \sqrt{\frac{2\lambda}{\mu c\omega}}$

1. Faire un schéma
2. On cherche une solution de la forme : $\underline{T}(x,t) = T_0 + \underline{f}(x)\exp(j\omega t)$. Déterminer $\underline{f}(x)$. En déduire $T(x,t)$.
3. Calculer les variations de température à une profondeur de 50 cm pour une amplitude de variation journalière de la température $T(0)$ de 15°C autour d'une température moyenne de 3° en hiver.