# Colle n° 11 : Thermo 3 - Optique 1

**Exercice 1 - Comportement social thermorégulateur des manchots :** Un manchot se modélise par un parallélépipède rectangle de section carrée de côté $a = 10$ cm et de hauteur $\ell = 50$ cm. La manchot maintient sa température interne $T_i = 37\,°\mathrm{C}$ au moyen d'un apport métabolique $P_1 = 50$ W qui compense les pertes par conduction thermique au travers de son revêtement de plumes d'épaisseur $e = 1,0$ cm et de conductivité thermique $\lambda$.

1. Déterminer la valeur de la conductivité thermique $\lambda$ du revêtement de plume sachant que la température extérieurs (y compris au niveau du sol) est $T_e = -20\,°\mathrm{C}$.
2. Pour faire face à des températures extrêmes, neuf manchots se serrent les uns contre les autres formant un carré de 3×3 manchots. Le pavage est parfait, seules les faces supérieures inférieures et latérales périphériques sont sujettes aux pertes thermiques. De combien le métabolisme nécessaire au maintien de la température interne, rapporté à un manchot, est-il réduit lorsque les neuf manchots se serrent les uns contre les autres ?

**Exercice 2 - Pas de petits mammifères marins ? :** Tentons d'expliquer pourquoi il n'existe pas de tout petits mammifères marins ; en effet le plus petit d'entre eux est la marsouin du Pacifique, fortement menacé d'extinction, qui mesure environ 1.50 m à l'âge adulte. Modélisons un mammifère très schématiquement par une boule de muscles de centre $O$ et de rayon $R$, dont le métabolisme dégage une puissance thermique uniforme $\mathcal{P}$ par unité de volume. L'animal est plongé dans un milieu (air ou eau) de conductivité thermique $\kappa$, dont la température loin du mammifère est $T_\infty = 20\,°\mathrm{C}$. On s'intéresse à la température du milieu ambiant ($r > R$) en régime stationnaire, sans considérer de convection dans un premier temps.

1. *Sans procéder à un bilan mésoscopique*, établir l'équation différentielle vérifiée par la température $T(r)$ dans le fluide en régime stationnaire.
2. Un mammifère, marin ou terrestre, est notamment caractérisé par le fait qu'il ait le sang chaud. Par conséquent, il doit maintenir sa température cutanée $T_c = T(r = R)$ au-dessus d'une valeur critique de survie $T_s$. Établir l'expression du profil thermique $T(r)$ dans le milieu extérieur, en fonction de $r$, $R$, $T_\infty$, et $\mathcal{P}$. Discuter les rôles respectifs de la taille de l'animal et de la nature de l'environnement sur la température cutanée du mammifère.
3. Considérons un dauphin adulte de 300 kg pour 3 m de long. En supposant ce dauphin cylindrique, estimer la valeur $R$ du rayon de notre modèle sphérique qui présenterait le même rapport surface/volume que le dauphin.
4. Quelle puissance volumique $\mathcal{P}$ le métabolisme du mammifère doit-il développer pour maintenir sa peau à $T_c = 30\,°\mathrm{C}$, dans l'air, puis dans l'eau ? On utilisera les conductivités thermiques effectives $\kappa_{\mathrm{air}} = 50\,\mathrm{W/(m\cdot K)}$ et $\kappa_{\mathrm{eau}} = 250\,\mathrm{W/(m\cdot K)}$ pour rendre compte de l'efficacité de la convection dans le fluide. Commenter.

En réalité, les conductivités thermiques de l'air et de l'eau sont égales à $\lambda_{\mathrm{air}} = 0.026\,\mathrm{W/(m\cdot K)}$ et $\lambda_{\mathrm{eau}} = 0.6\,\mathrm{W/(m\cdot K)}$.

5. Proposer une méthode pour estimer les valeurs effectives qui rendent compte de la convection dans le fluide.

**Exercice 3 - Étude d'un four industriel cylindrique :** On étudie le fonctionnement en régime stationnaire d'un four cylindrique industriel dans une usine métallurgique. La paroi du four, de conductivité thermique $\lambda_p = 0.50\,\mathrm{W/(m\cdot K)}$, est délimitée par deux cylindres coaxiaux d'axe (Oz) et de rayons $R_1 = 30\,\mathrm{cm}$ et $R_2 = 50\,\mathrm{cm}$. On admettra que la longueur $L = 10\,\mathrm{m}$ du four est suffisante pour supposer que $R_1, R_2 \ll L$. La température de la paroi intérieure est $T_1 = T(r = R_1) = 900\,\mathrm{K}$, celle de la paroi extérieure $T_2 = T(r = R_2) = 300\,\mathrm{K}$. Ce four est alimenté par du charbon dont la combustion permet de récupérer 13 MJ/kg.

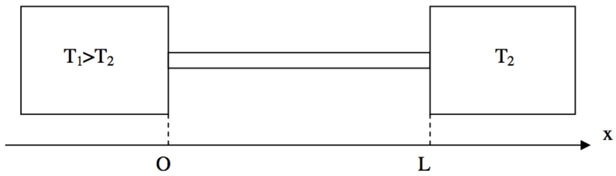
1. Déterminer la température $T(r)$ de la paroi du four pour $R_1 \leqslant r \leqslant R_2$.
2. Calculer la masse $m$ de charbon à brûler quotidiennement dans le four pour permettre à celui-ci de fonctionner en régime stationnaire.
3. Les échanges thermiques entre la paroi extérieure du four et l'atmosphère sont modélisés par la loi empirique de Newton. Déterminer la valeur du coefficient de conducto-convection $h$ en sachant que la température extérieure est $T_0 = 290\,\mathrm{K}$. Pourquoi peut-on considérer qu'il n'y a pas de conducto-convection à l'intérieur du four ?
4. L'usure thermique a endommagé une partie du four. La paroi a donc été remplacée sur une longueur $L/3$, avec un matériau de conductivité $\lambda_m = 0.20\,\mathrm{W/(m\cdot K)}$. Quelle est la nouvelle résistance thermique de l'installation, en tenant compte de la conducto-convection ?

**Exercice 4 - Ailette de refroidissement :** On considère l'atelier d'un souffleur de verre, disposant d'un four à la température $T_f$, dans lequel il introduit l'extrémité d'une perche en fonte, considérée pleine, de rayon $a = 1.0\,\mathrm{cm}$ et de longueur $L = 2.0\,\mathrm{m}$. Le reste de la perche baigne dans une atmosphère à la température $T_a$.

1. Établir l'équation différentielle qui modélise le transfert de chaleur dans la perche en régime stationnaire au contact de l'atmosphère.

2. Estimer à quelle distance on peut empoigner la perche sans risquer de se brûler. On considérera un four qui fonctionne à 1150 °C en régime établi, une perche de conductivité thermique $\lambda_{\text{fonte}} = 55\,\mathrm{W/(m\cdot K)}$, et une atmosphère à 30 °C qui présente au contact de la perche un coefficient de Newton $h = 10\,\mathrm{W/(m^2\cdot K)}$.

**Exercice 5 - Conductivité variable :** Deux corps de capacité thermique infinie de températures $T_1$ et $T_2$ sont reliés par une barre de conductivité thermique dépendant de la température : $\lambda(T) = A/T$ avec $A$ une constante.




Déterminer la température $T(x)$ dans la barre.

**Exercice 6 - Équilibre thermique de la Terre :** On s'intéresse ici à un modèle simplifié d'équilibre thermique du système Terre. On considère que le Soleil apporte une puissance thermique surfacique moyenne $\mathcal{P}_S = 240\,\mathrm{W\cdot m^{-2}}$ ; la Terre, à la température $T$, émet son propre transfert thermique de puissance surfacique $\mathcal{P}_T = \sigma T^4$ avec $\sigma = 5.7\times 10^{-8}\,\mathrm{W\cdot m^{-2}\cdot K^{-4}}$. Par ailleurs, une partie de cette puissance est captée par les gaz à effet de serre et renvoyée vers la Terre : avant l'ère industrielle, on estime la puissance correspondante à $\mathcal{P}_{\text{serre}} = 155\,\mathrm{W\cdot m^{-2}}$.

1.(a) Calculer la température d'équilibre de la Terre en l'absence d'effet de serre. Commenter.
(b) Calculer la température d'équilibre de la Terre en tenant compte de l'effet de serre ; on la notera $T_0$.
(c) Si on suppose que plus aucun gaz à effet de serre n'est émis après 2020, l'augmentation de la concentration en gaz à effet de serre due à l'activité humaine a pour effet équivalent d'augmenter $\mathcal{P}_{\text{serre}}$ d'environ $3\,\mathrm{W\cdot m^{-2}\cdot K^{-4}}$ ; en déduire la nouvelle température d'équilibre $T_0'$.

2.(a) Relier la variation $T_0' - T_0$ à la capacité thermique $C$ de la Terre, sa surface $S$ et à la durée $\Delta t$ de la transformation. On considérera pour simplifier que la Terre est à la température constante $T_0$ pendant toute la transformation.
(b) Pour estimer $C$, on donne des estimations des masses de l'atmosphère $m_{\text{air}} = 5.1\times 10^{18}\,\mathrm{kg}$ et des océans $m_{\text{oc}} = 1.4\times 10^{21}\,\mathrm{kg}$ de capacité calorifique massique $c_{\text{v}} = 4180\,\mathrm{J/K/kg}$. Calculer $C$ à l'aide de ces deux contributions ; on commentera leur importance relative. On rappelle $M(\mathrm{O}) = 16\,\mathrm{g/mol}$ et $M(\mathrm{N}) = 14\,\mathrm{g/mol}$.
(c) En déduire numériquement la rapidité du réchauffement (en degrés par siècle).

3. Sachant que la sortie de la dernière ère glaciaire a consisté en un réchauffement de 4 °C sur une durée de 10 000 ans (accompagnée par une augmentation du niveau marin de 130 m), commenter les valeurs obtenues.

**Exercice 7 - Lampe à incandescence :** On considère une lampe à incandescence constituée d'une ampoule sphérique de faible épaisseur de rayon $R = 2.5\,\mathrm{cm}$ et d'un filament en tungstène de surface $S_f = 2\times 10^{-5}\,\mathrm{m^2}$. En dehors du filament, l'ampoule est vide. On note $P$ la puissance rayonnée par le filament.

1. On fait l'hypothèse que le rayonnement du filament est celui d'un corps noir de température $T$. Calculer $T$ pour une puissance rayonnée $P = 60\,\mathrm{W}$. Quelle est la valeur de la longueur d'onde correspondant à l'émission maximale ? Expliquer pourquoi le verre de l'ampoule absorbe une partie de ce rayonnement ?
2. Le milieu ambiant est supposé en équilibre radiatif et thermique à la température $T_a$, il émet donc un rayonnement de corps noir. Le verre de l'ampoule absorbe une partie du rayonnement émis par le filament soit la puissance $\alpha P$. D'autre part, le verre de l'ampoule se comporte comme un corps noir par le rayonnement ambiant et pour le rayonnement qu'il émet lui même. On suppose un échange conducto-convectif de coefficient $h = 5\,\mathrm{W\cdot m^{-2}\cdot K^{-1}}$ avec le milieu extérieur. Écrire l'équation traduisant l'équilibre thermique de la lampe de température stationnaire $T_v$.
3. Calculer numériquement cette température en prenant $T_a = 293\,\mathrm{K}$ et $\alpha = 0.05$.

**Exercice 8 - Cube dans un four :** On place à l'intérieur d'un four un cube de côté $a$, de capacité thermique massique $c$ et de masse $m$. Le four est maintenu à la température $T_1$. Le solide est initialement à la température $T_0$. Le four et le solide sont assimilés à des corps noirs. On suppose que la température est uniforme à l'intérieur du parallélépipède et que $T_0 - T_1 \ll T_1$.

1. Quelle est la condition sur les températures pour ne tenir compte que des transferts thermiques radiatifs ?
2. Déterminer l'évolution temporelle de la température $T$ du parallélépipède.