

Rayonnement thermique

1. Échauffement radiatif d'une sphère

Une boule de rayon r , de capacité calorifique C , est placée dans une enceinte chauffée à l'intérieur de laquelle est établi un rayonnement thermique température T_R . La sphère capte donc un flux surfacique de la forme σT_R^4 . Sa température initiale est T_0 peu éloignée de T_R . Déterminer l'évolution au cours du temps de sa température. Comment le résultat est-il modifié si la sphère est plongée dans une fluide de température T_R avec lequel elle échange de la chaleur avec un coefficient conducto-convectif h (loi de Newton)? On traitera la sphère comme un corps noir et on la supposera infiniment conductrice de la chaleur.

2. Température au soleil ou à l'ombre

On assimile une sonde thermométrique à un corps noir sphérique de température T . Elle est plongée dans l'air et soumise au rayonnement thermique ambiant de même température $T_0 = 293\text{ K}$. Les échanges thermiques avec l'air sont caractérisés par le coefficient de Newton $h = 20\text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$. Comparer la température indiquée en régime stationnaire par le thermomètre selon que la sonde est placée à l'ombre ou bien au soleil. Le flux solaire surfacique est $\varphi_{\odot} = 1\text{ kW.m}^{-2}$.

3. Thermographie d'un mur

Les caméras thermiques exploitent le rayonnement infrarouge émis par des objets pour en mesurer la température et se montrent particulièrement utiles pour le diagnostic thermique des bâtiments. Pour illustrer cette idée, on considère le mur d'une habitation dont la face interne est à la température T_{int} et la face externe à la température T_{ext} . L'air extérieur situé au voisinage du mur se trouve à la température $T_{\text{air}} < T_{\text{ext}}$. À la discontinuité de température $T_{\text{ext}} - T_{\text{air}}$ correspond un échange par conducto-convection allant de la surface du mur à l'air extérieur. Pour une aire S , ce flux est donné par la loi de Newton $\Phi_{\text{cc}} = hS(T_{\text{ext}} - T_{\text{air}})$ où $h = 10\text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$. Entre l'air extérieur et le mur ont aussi lieu, dans les deux sens, des échanges par rayonnement régis par la loi de Stefan. À l'intérieur du mur, entre sa face interne et sa face externe, les échanges se font par conduction et il est d'usage, dans le secteur du bâtiment, de les caractériser par le coefficient U de transmission thermique : il s'agit de la conductance thermique par unité de surface.

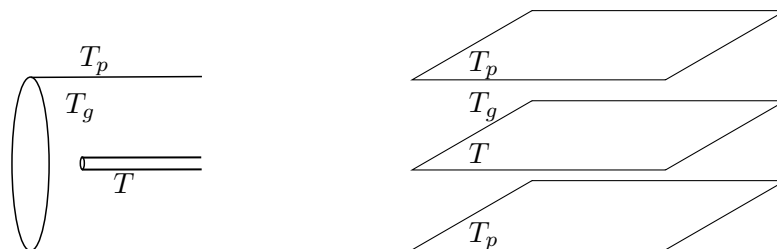
1. Les températures T_{ext} et T_{air} sont assez proches. Montrer que les échanges par rayonnement peuvent être caractérisés par une conductance thermique G_{ray} et en donner une expression.
2. Donner un schéma électrique équivalent au mur et à son interface en faisant apparaître les températures T_{int} , T_{ext} et T_{air} .
3. Montrer que la mesure des 3 températures permet d'accéder à U .
4. En réalisant des expériences avec une maquette aux murs de liège d'épaisseur $e = 0,5\text{ cm}$, un élève¹ a relevé les valeurs suivantes : $T_{\text{int}} = 320,6\text{ K}$, $T_{\text{ext}} = 301,3\text{ K}$, $T_{\text{air}} = 295\text{ K}$. On donne $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}\text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-4}$. Évaluer le coefficient U du mur et la conductivité du liège.

4. Température d'un thermocouple

Un gaz transparent de température $T_g = 600^\circ\text{C}$ s'écoule dans un tuyau dont les parois sont à la température $T_p = 200^\circ\text{C}$. Pour mesurer sa température, on y introduit un thermocouple opaque dont la température prend la valeur T . Le tuyau se comporte comme un corps noir et le thermocouple comme un corps gris d'émissivité $\epsilon = 0,8$, ce qui signifie que les flux qu'il échange par rayonnement sont multipliés par ϵ par rapport à ceux qu'échangerait un corps noir de même température. Les transferts thermiques par contact entre le gaz et thermocouple sont décrits par la loi de Newton avec un coefficient $h = 100\text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$. Le problème est tridimensionnel mais on pourra, pour faciliter le raisonnement, supposer qu'il est invariant par translation et que toutes les surfaces sont planes².

1. Merci à Tom Thouvenin, auteur de ce travail

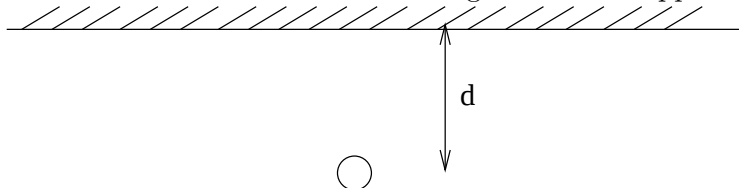
2. On montre en effet, par des raisonnements dépassant le cadre du programme, que la géométrie des objets n'intervient pas, pourvu que le thermocouple soit convexe



Calculer numériquement T .

5. Sphère chauffante près d'un plan

Une sphère chauffante de rayon R , maintenue à la température T_S , est placée dans le vide. À la distance d de son centre se trouve un plan non conducteur de la chaleur et calorifugé sur la face opposée.



Déterminer en régime stationnaire la température des points du plan. On suppose $d \gg R$ de sorte que la sphère vue depuis le plan paraît quasiment ponctuelle.

6. Température d'écrans parallèles

Une plaque centrale est maintenue à une température T_0 constante par un dispositif interne de chauffage. De part et d'autre on place deux plaques parallèles opaques qui font office d'écran. Toutes les surfaces sont assimilés à des corps noirs et on néglige les effets de bord.

- Quelle est la température des plaques extérieures ?
- Combien de plaques écran faut-il placer de part et d'autre de la plaque centrale pour que la température des plaques extérieures soit $T_0/2$?

7. Température d'un plan protégé par deux écrans

Un plan métallique chauffé par un dispositif interne et protégé par deux plaques opaques placées très près, se trouve dans une chambre à vide dont la paroi est à la température T_2 (figure 1) et qui fait régner en son sein un rayonnement thermique de même température T_2 . Les plaques protectrices ont pour épaisseur a et pour conductivité thermique λ . On mesure la température T_1 de leur face externe. En assimilant toutes les surfaces à des corps noirs, exprimer la température T du plan métallique. Quelle puissance par unité de surface est dégagée par le dispositif interne de chauffage du plan métallique ?

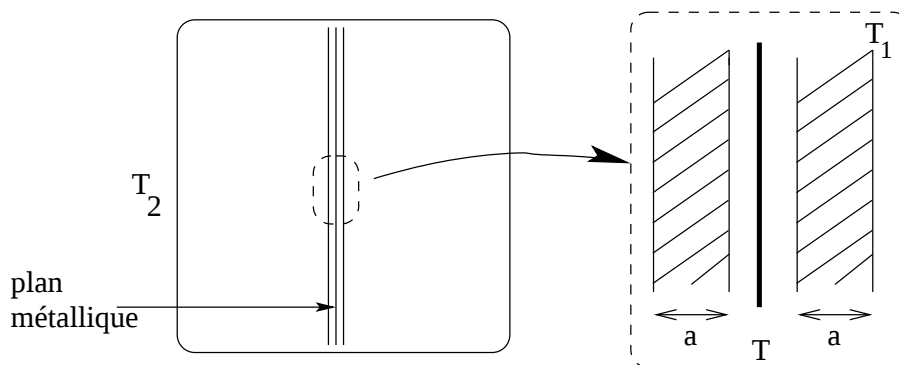


FIGURE 1 – Plan chauffé dans une ampoule vidée. La zone délimitée par les pointillés est représentée agrandie sur la partie droite.