EXERCICE 1

Filament alimenté en régime sinusoïdal

On étudie le comportement d'un filament de lampe à incandescence alimenté par une tension sinusoïdale . Le filament est cylindrique de rayon a et de longueur L. Sa température est supposée uniforme et dépend alors du temps : $T(t) = T_0 + \theta(t)$ avec $\theta(t) \ll T_0$. On note c_p sa capacité thermique massique, ρ sa masse volumique.

On considère que le filament absorbe l'énergie électrique et rayonne comme un corps noir. On néglige tout autre transfert thermique avec l'extérieur.

On recherche $\theta(t)$ sous la forme : $\theta(t) = \theta_m \cos(\Omega t + \phi)$.

1. Quels sont les transferts thermiques négligés ?
2. Justifier qu'en régime établi, $\Omega = \omega$.
3. En prenant la composante sinusoïdale de la puissance électrique fournie $P_e(t)$ comme grandeur d'entrée et $\theta(t)$ comme grandeur de sortie, montrer que le filament constitue un filtre passe-bas dont on précisera :
   - La fréquence de coupure.
   - La grandeur de sortie aux très basses fréquences.
4. A.N : $c_p = 130\,\mathrm{J{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}}$; $\rho = 19 \times 10^3\,\mathrm{kg{\cdot}m^{-3}}$; $T_0 = 2500\,\mathrm{K}$; $a = 0.03\,\mathrm{mm}$; $L = 4\,\mathrm{cm}$. Calculer les deux grandeurs demandées en 3. Dans quel domaine de fréquences a-t-on : $\theta_m < \dfrac{T_0}{40}$?

EXERCICE 2

Grenier chauffé par le soleil

Une habitation, représentée figure 1 est recouverte d'un toit de tuiles formant un dièdre d'angle au sommet $\theta = 60\,°$. Ce grenier est thermiquement isolé des autres pièces de la maison par un matériau parfaitement isolant. Le rayonnement solaire tombe verticalement sur le toit (soleil au zénith).

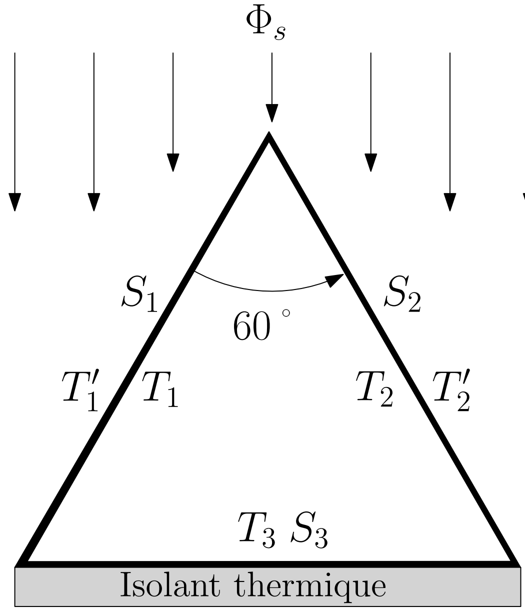

FIGURE 1

On adopte pour cela les hypothèses suivantes :

- L'éclairement solaire sur une surface perpendiculaire à ses rayons est : $\Phi_S = 1.0\,\mathrm{kW{\cdot}m^{-2}}$.
- Toutes les surfaces sont noires.

- Les échanges à l'intérieur du toit sont purement radiatifs.
- Les échanges par convection et rayonnement avec l'air extérieur sont décrits à l'aide du seul coefficient $h = 20\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$.
- La température extérieure est fixée à $T_a = 300\,\mathrm{K}$. La conductivité thermique des tuiles d'épaisseur $e = 20\,\mathrm{mm}$ est $\lambda = 1.0\,\mathrm{W{\cdot}m^{-1}{\cdot}K^{-1}}$.

Déterminer et calculer les 5 températures T_1, T_1', T_2, T_2' et T_3.
Indications :

- Formuler des arguments pour diminuer le nombre d'inconnues.
- Déterminer la fraction du rayonnement émis par la surface intérieure 1 qui est reçue par la surface intérieure 2.

EXERCICE 3

Échauffement d'une flaque d'eau

Une flaque d'eau de dimensions transversales très supérieures à sa profondeur l, initialement à la température T_i, est soumise à $t = 0$ au rayonnement solaire et au rayonnement ambiant (les notations et données sont rassemblées en fin d'énoncé).

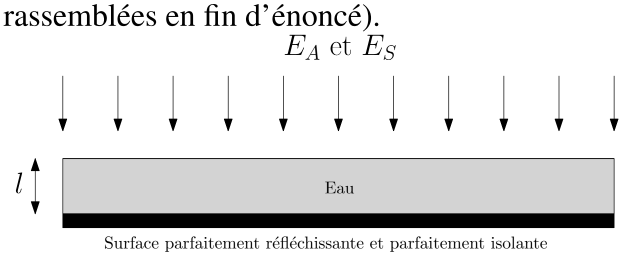

Figure 2

- L'eau se comporte comme un corps noir dans le domaine spectral où elle rayonne et son évaporation est négligée.
- Une épaisseur l d'eau absorbe une fraction α_s du rayonnement solaire incident et la totalité du rayonnement ambiant.
- Le fond de la nappe est supposé parfaitement réfléchissant et parfaitement isolant.
- Les échanges conducto-convectifs entre l'eau et l'air ambiant de température $T_A = 17\,^\circ\mathrm{C}$ s'effectuent selon un coefficient h supposé uniforme et constant.

1. En calculant la « vitesse de réchauffement » de l'eau $V_R(t) = \dfrac{dT}{dt}$ pour $h = 10\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$ à $t = 0$ où $T(0) = T_i = 17\,^\circ\mathrm{C}$ puis à t_1 où $T(t_1) = T_F = 25\,^\circ\mathrm{C}$, proposer un ordre de grandeur de la durée t_1 .
2. En linéarisant l'équation obtenue à la question 1, déterminer l'instant t_1 dans les deux cas suivants :
   (a) Faible convection $\left(h = 10\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}\right)$.
   (b) Forte convection $\left(h = 20\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}\right)$.

Notations et données :

- Puissances surfaciques solaire et ambiante : $E_S = 1.00 \times 10^3\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}}$; $E_A = 2.50 \times 10^2\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}}$
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1.00 \times 10^3\,\mathrm{kg{\cdot}m^{-3}}$.
- Capacité thermique massique de l'eau : $c = 4.18\,\mathrm{kJ{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}}$.
- Pour $l = 10\,\mathrm{cm}$: $\alpha_s(10) = 0.42$ et pour $l = 20\,\mathrm{cm}$: $\alpha_s(20) = 0.48$

EXERCICE 4

Mesurer la température du Soleil

Une plaque en acier d'épaisseur e et d'aire S est posée horizontalement sur un isolant thermique et placée à l'extérieur par jour de beau temps. Elle est maintenue à l'ombre et à midi GMT, on l'expose au Soleil pendant 30 minutes puis on la place à nouveau à l'ombre. La plaque est peinte en noir et on mesure sa température $T(t)$ de 11 h 30 à 15 h (mesures effectuées fin juin à une latitude de 48° nord).

1. Montrer que pendant la durée d'exposition au Soleil, $\theta(t) = T(t) - T_a$ vérifie
$$\tau\frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_l$$
où T_a est la température de l'air ambiant et τ et θ_l deux constantes à exprimer.
2. Comment évolue $\theta(t)$ à partir de 12 h 30 ?
3. Exploiter la figure 3 pour estimer la température de surface du Soleil.
4. Si on effectue l'expérience fin décembre (par beau temps également), les mesures sont-elles modifiées ?

Données

- $(1 + x)^4 \approx 1 + 4x$ pour $x \ll 1$
- Épaisseur de la plaque d'acier : $e = 5,0$ mm
- Masse volumique de l'acier : $\mu = 8,0 \times 10^3$ kg $\cdot$ m⁻3
- Capacité thermique massique de l'acier : $c = 4,7 \times 10^2$ J $\cdot$ kg^{-1} $\cdot$ K^{-1}
- Constante de Stefan : $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ W $\cdot$ m^{-2} $\cdot$ K^{-4}
- Rayon du Soleil : $R_S = 7,0 \times 10^5$ km
- Rayon de la Terre : $R_T = 6,4 \times 10^3$ km
- Distance Terre-Soleil : $d_{TS} = 1,5 \times 10^8$ km
- Inclinaison de l'écliptique sur le plan équatorial : 23°.

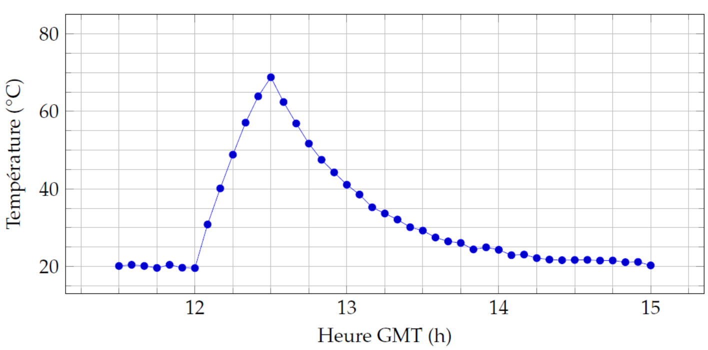

FIGURE 3

EXERCICE 5

Effet de serre

On étudie l'effet de serre produit par l'interposition d'une ou plusieurs vitres placées parallèlement au-dessus d'une plaque qui reçoit le rayonnement solaire. La plaque est noircie et est assimilée à un corps noir. Les vitres sont supposées totalement transparentes au rayonnement solaire, mais par contre, totalement absorbantes pour le rayonnement infra-rouge émis par les autres vitres ou la plaque. On note ϕ_s le flux solaire surfacique supposé en incidence normale sur les vitres et la plaque. Le système est considéré comme unidimensionnel et en équilibre radiatif thermique.

1. Calculer la température de la plaque dans le cas où il n'y a pas de vitre.
2. Dans le cas d'une vitre calculer la température de la vitre et de la plaque. Commenter le rôle de la vitre par rapport à celui de la plaque.
3. Calculer la température de la plaque dans le cas de n vitres. Commenter.

Données numériques :

σ (constante de Stefan)	$= 5,67.10^{-8}$ W.m^{-2}.K^{-4}
ϕ_s (flux solaire surfacique)	$= 0,6$ kW.m^{-2}

EXERCICE 6

Plaque chauffée par rayonnement

On considère un fil résistif cylindrique de rayon 1 mm, parcouru par un courant d'intensité efficace notée I. Le fil est parallèle à une mince plaque d'épaisseur e conductrice de la chaleur. L'ensemble est dans le vide. La conductivité de l'alliage fer-chrome-aluminium du fil résistif est $\gamma = 0.69 \times 10^6$ S·m^{-1}.

1. Calculer I pour que la température du fil soit celle de la température de fusion du plomb : $327,5$ °C (négliger l'influence de la plaque).
2. On considère que la température de la plaque est uniforme sur son épaisseur. Établir l'équation différentielle vérifiée par le champ de température $T(z)$ en régime stationnaire (préciser ce qu'est z). Déterminer la température dans le cas où la conductivité est nulle.
3. Représenter le graphe de la fonction précédente et ce que l'on obtiendrait dans le cas où la conductivité n'est plus nulle.

EXERCICE 7

Exercice ouvert : Fahrenheit 451

On forme l'image du Soleil sur une feuille de papier à l'aide d'une loupe : lentille convergente parfaitement transparente de distance focale $f' = 10$ cm et de rayon $r = 2.0$ cm . Le papier va-t-il s'enflammer ?

Indications :

- ✘ Seule une fraction $\tau = 0.60$ du rayonnement solaire parvenant en haut de l'atmosphère arrive au niveau du sol.
- ✘ Le papier absorbe une fraction $\alpha = 0.20$ du rayonnement solaire et émet une fraction $\varepsilon = 0.60$ du flux émis par un corps noir.
- ✘ La température d'ignition du papier est $T_i = 500$ K .

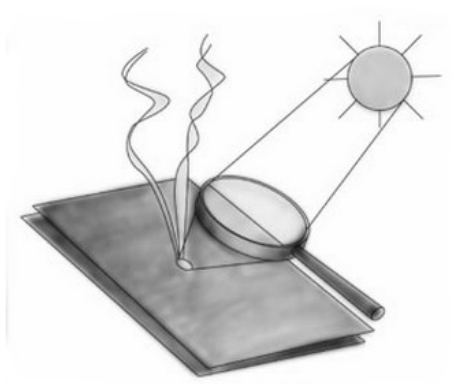

FIGURE 4