Institut Préparatoire aux Etudes de l'Ingénieur de SFAX
Devoir de Contrôle de PHYSIQUE 2
PT 2

Date : 22-02-2023 **Durée : 2 H**

La première partie de ce problème rappelle certaines notions de la théorie des transferts thermiques par conduction, convection et rayonnement. Dans la deuxième partie, on se propose d'étudier les capteurs solaires. Enfin, on abordera le principe de fonctionnement simplifié d'un chauffe-eau solaire ainsi que son rendement.

Donnée : La constante de Stefan $\sigma = 5,67\,10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$

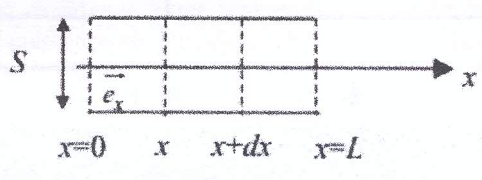
I- Généralités

Transfert par conduction

On considère un corps homogène de section droite S, de longueur L, de masse volumique ρ, de conductivité thermique κ, de capacité thermique massique c, toutes constantes. La température du matériau ne dépend que de x et de t et sera notée $T(x,t)$. Les parois parallèles à l'axe x sont isolées thermiquement et on note $\vec{J}(x,t)$ le vecteur densité de courant thermique.

1- Énoncer la loi de Fourier en précisant les unités des différents termes ainsi que le sens du signe '−'.

2- Effectuer un bilan énergétique pour un volume élémentaire de matériau compris entre les abscisses x et $x+dx$ entre les instants t et $t+dt$ en supposant qui'il n'existe pas d'apport énergétique autre que par conduction et qui'il n'y a pas production d'énergie interne. Donner alors l'équation aux dérivées partielles vérifiée par $T(x,t)$.



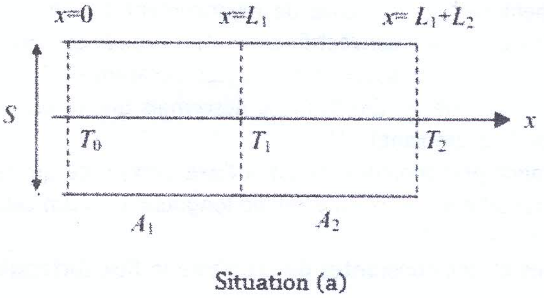
On se place désormais (pour la suite des questions) en régime stationnaire.

3- On suppose que les extrémités du matériau sont maintenues à températures $T_0 = T(0)$ et $T_L = T(L)$. Déterminer $T(x)$ et $J(x)$. Commenter.

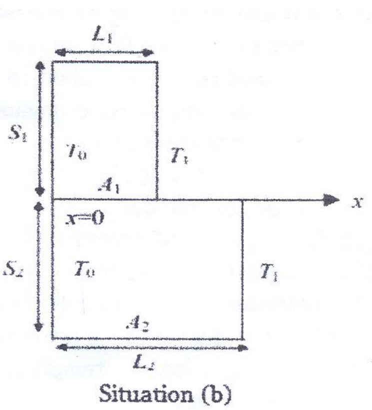
4- Soit P_{th} le flux thermique à travers la section droite S du matériau. Calculer P_{th} pour $L = 3mm$, $S = 2m^2$, $T_0 = 25°C$, $T_L = 10°C$ et $\kappa_{verre} = 1,1SI$.

5- En faisant l'analogie avec l'électrocinétique, définir puis calculer la résistance thermique R_{th} du matériau.

6- On associe deux corps A_1 et A_2 (figure 2) de résistances thermiques R_{th1} et R_{th2} l'un de conductivité thermique κ_1 et le second de conductivité thermique κ_2. Déterminer pour les deux situations suivantes la résistance totale de l'association des deux corps.



Situation (a)



Situation (b)

Transfert par convection.

On considère une surface S à la température T_s, en contact avec l'air à la température T_∞ et échangeant par convection avec celui-ci une puissance thermique P_c (sortant algébriquement de la surface S) . On note h_c le coefficient de convection.

7- Exprimer P_c en fonction de h_c, S , T_∞ et T_s.

8- Déterminer l'expression de la résistance thermique de convection R_{cv}.

Transfert par rayonnement

On considère une surface S délimitant un corps à la température T en contact avec un environnement à la température $T_e = 7°C$. Le corps et l'environnement se comportent comme des corps noirs. Soit P_r la puissance échangée par rayonnement à travers $S = 2m^2$ entre le corps et l'environnement (sortant algébriquement du corps vers l'environnement).

9- Définir un corps noir. Rappeler la loi de Stefan.

10- Donner une estimation de la longueur d'onde λ_m du maximum d'émission thermique du corps noir à la température ambiante. A quel domaine du spectre électromagnétique, cette longueur d'onde appartient-elle ?

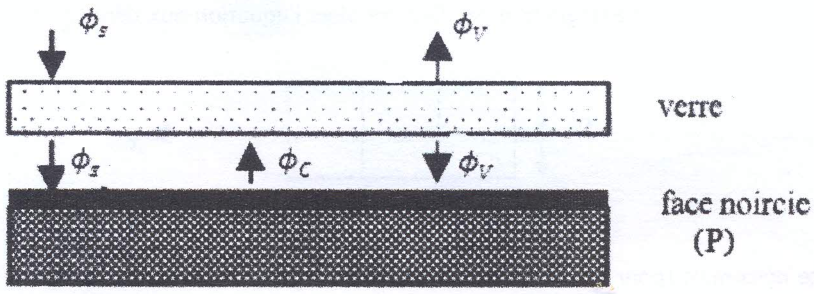
11- On suppose que $T = T_e + \Delta T$ avec $\Delta T \ll T_e$. Montrer que P_r peut se mettre sous la forme approchée : $P_r = G(T - T_e)$, on exprimera G en fonction de T_e , σ et S.

12- Exprimer puis calculer la résistance thermique de rayonnement R_r correspondante.

II- Capteur solaire

Un capteur solaire est constitué d'une plaque (P), dont la surface S orientée vers le soleil est noircie et considérée comme un corps noir, de température T_c , émettant un flux surfacique ϕ_C. L'autre face est brillante et n'échange pas de rayonnement avec le milieu extérieur. On admettra que le verre est totalement transparent au rayonnement solaire mais qu'il peut être assimilé à un corps noir dans le domaine spectral I-R (autour de 10 μm). Il émet de part et d'autre un flux surfacique ϕ_V et absorbe la totalité du flux rayonné par (P).

On désigne par ϕ_s la puissance solaire reçue par unité de surface avec $\phi_s = 600\,Wm^{-2}$. Les rayons solaires arrivent sous incidence normale.



13- Montrer, à l'aide d'un bilan thermique traduisant l'équilibre radiatif, que $\phi_C = 2\phi_s$.

14- En déduire T_c. Comparer cette température à celle qu'on obtiendrait en absence du verre.

15- Quelle sera la valeur de T_c si on dispose de deux vitres identiques ?

III- Chauffe-eau solaire

On considère le dispositif de la figure ci-dessous. L'eau, de capacité thermique massique $c_{eau} = 4,18\,kJK^{-1}kg^{-1}$, circule avec un débit massique $D = 9kg\,heure^{-1}$ entre l'absorbeur dont la face noircie absorbe l'énergie solaire et une autre plaque constituée d'un isolant thermique supposé parfait.

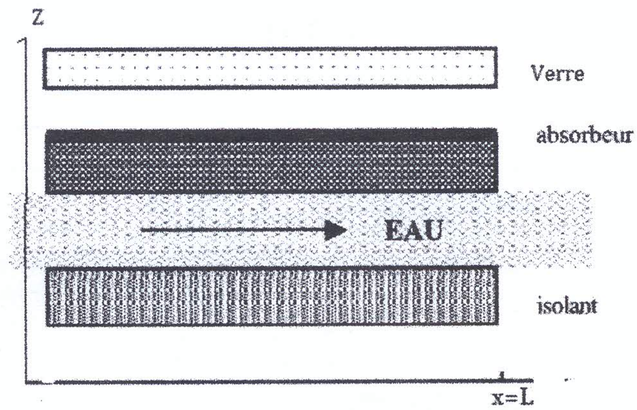
Pour simplifier, on tient compte uniquement des phénomènes de rayonnement (soleil, verre, face noircie de l'absorbeur) déjà décrits précédemment et des échanges convectifs entre l'absorbeur et l'eau caractérisés par le coefficient de transfert $h = 760\,WK^{-1}m^{-2}$. De plus, on suppose que la température du l'absorbeur $T'(x)$, celle de l'eau $T(x)$ ne dépendent que de la variable spatiale x. On suppose désormais que la plaque de verre est à la température $T_V = T_a = 280K$ (température de l'air ambiant).

Les échanges thermiques se font uniquement perpendiculairement à l'axe $(x'x)$, ce qui revient à négliger la conductivité thermique de l'eau et celle de l'absorbeur. La plaque est de longueur $L = 2m$ selon (x'x), de largeur $\ell = 1m$ selon $(y'y)$ et d'épaisseur e selon $(z'z)$.

16- Exprimer en fonction des températures et des constantes du problème le flux surfacique convectif $\phi_{cv}(x)$ de l'absorbeur vers eau en x.

17- On désigne par $\phi_{rad}(x)$ le flux radiatif surfacique en x, de l'absorbeur vers le verre. Mettre $\phi_{rad}(x)$ sous la forme linéarisée $\phi_{rad}(x) = h_r(x)(T'(x) - T_V)$. Le coefficient h_r sera pris constant par la suite. On donne $h_r = 6,67\,WK^{-1}m^{-2}$.

18- En déduire une relation entre ϕ_s, $\phi_{rad}(x)$ et $\phi_{cv}(x)$.



19- A l'aide d'un bilan énergétique pour la tranche élémentaire dx d'eau de masse dm, exprimer $\frac{dT}{dx}$ en fonction de D, c_{eau}, ϕ_{cv} et ℓ.

20- En déduire l'équation différentielle vérifiée par $\theta(x) = T(x) - T_V$:

$$\frac{d\theta}{dx} + \frac{1}{d_c}\theta = \frac{\phi_s}{d_c h_r}$$

On exprimera d_c en fonction de D, c_{eau}, h_r, h et ℓ.

21- Résoudre cette équation. On donne $T(x=0) = T_a$.

22- Déterminer la valeur de la température de l'eau en sortie.

23- Définir puis calculer le rendement de ce chauffe-eau solaire.

24- En réalité, l'isolant thermique n'est pas parfait ($\kappa_i = 0,03SI$) et il est traversé par une puissance P_p. Pour simplifier, on supposera l'eau est maintenue à une température moyenne de $51°C$. Calculer l'épaisseur minimale e_m de cet isolant afin que cette puissance ne dépasse pas $5°/_o$ du flux solaire incident.

25- Quelles seront les conséquences d'utiliser deux vitres au lieu d'une seule ? Justifier.

26- *Pour un rendement optimal, l'orientation, l'inclinaison et la surface des capteurs solaires sur votre toiture sont d'importance capitale. Des facteurs externes comme l'ombre des bâtiments voisins (futurs), des arbres (en croissance) et des cheminées réduisent le rendement.* Expliquer.

************** Fin de l'épreuve **************