Session 1999

Durée : 4 H
Coefficient : 4

EPREUVE DE SCIENCES PHYSIQUES

THERMODYNAMIQUE
durée conseillée : 1h 30min

Les parties I II et III du problème sont totalement indépendantes.

On veut maintenir constante la température d'une pièce d'habitation, en hiver.

Dans ce problème on étudiera successivement les pertes de chaleur à travers le mur extérieur et les différents moyens de chauffage. Les échanges thermiques avec les autres pièces de l'habitation seront supposés nuls.

On rappelle les lois de transfert de la chaleur, utiles dans la première partie du problème :

***Conduction** :* loi de Fourier : $\Phi = -\lambda\ S\ \dfrac{d\theta}{dx}$, où Φ est le flux de chaleur (ou puissance thermique) à travers une surface S , et λ la conductivité thermique du matériau traversé.

Convection : loi de Newton $\Phi = h\ S\ \Delta\theta$, où $\Delta\theta$ est l'écart de température entre la paroi et le fluide , et h le coefficient d'échange par convection entre le fluide et la paroi.

Les échanges de chaleur dans un solide se font par conduction et ceux entre un solide et un fluide se font par convection.

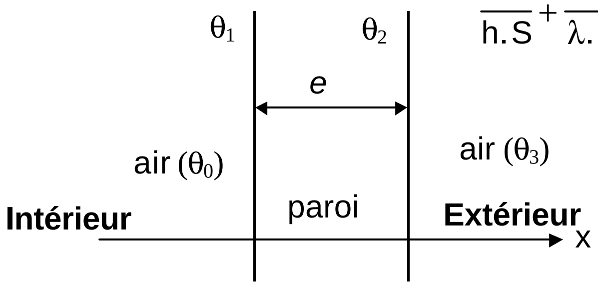
I - Evaluation des pertes de chaleur

I-1.Pour un mur d'épaisseur e, limitée par deux plans parallèles de surface *S* maintenus à des températures θ_1 et θ_2 constantes, justifier que le flux de chaleur ϕ à travers chaque section du mur est constant.

I-2. En intégrant la loi de Fourier, établir l'expression du flux de chaleur en fonction de $(\theta_1-\theta_2)$. Le matériau constituant le mur est supposé homogène et on notera λ sa conductivité thermique.

I-3..Exprimer les flux de chaleur échangés par convection au niveau des surfaces intérieures et extérieures du mur. On notera h le coefficient d'échange air-solide par convection.

Justifier l'égalité de ces trois flux. En déduire que $\phi = \dfrac{\theta_0 - \theta_3}{\dfrac{2}{h.S} + \dfrac{e}{\lambda.S}}$.



I-4. Le mur extérieur d'une pièce d'habitation a 2,70 m de hauteur, 4,10 m de longueur et 25 cm d'épaisseur. Il est constitué de briques de conductivité $\lambda = 0{,}665\ W.m^{-1}.K^{-1}$.

Au centre du mur est située une fenêtre de dimensions 1,50 m x 1,60 m. Les vitres ont une épaisseur de 5 mm et une conductivité $\lambda' = 0{,}778\ W.m^{-1}.K^{-1}$.

On admet que le coefficient d'échange air-solide est le même à l'intérieur et à l'extérieur, on prendra h = $11{,}4\ W.m^{-2}.K^{-1}$.

Sachant que la température extérieure est de 0°C et la température intérieure de 19°C, calculer le flux de chaleur :

- à travers les briques
- à travers les vitres.

En déduire le flux total Φ à travers le mur.

Dans les parties II et III du problème on prendra F = 550 W

II - Pompe à chaleur

Pour compenser ces pertes de chaleur, on envisage d'utiliser une pompe à chaleur fonctionnant entre deux sources de chaleur : l'extérieur (à 0°C) et l'intérieur de l'habitation (à 19°C).

II-1. Calculer l'efficacité maximale d'une pompe à chaleur ditherme fonctionnant entre deux sources de chaleur aux températures T_f et $T_c > T_f$. On fera la démonstration en précisant dans quelles conditions le calcul est valable. Donner la valeur numérique de l'efficacité.

II-2. L'efficacité de la pompe réelle est de 40% de la pompe idéale. Calculer la puissance que consommerait la pompe réelle pour compenser les pertes thermiques supposées égales à 550 W.

III - Etude du radiateur

Une deuxième solution pour compenser les pertes de chaleur consiste à placer un radiateur dans la pièce. L'eau chaude provenant de la chaudière pénètre dans le radiateur à la température de 65°C avec un débit en volume Dv = 5,5 litre/minute.

On donne : masse volumique de l'eau : $\rho = 1000\ kg.m^{-3}$

capacité thermique massique de l'eau liquide : $c = 4{,}180\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$.

Viscosité dynamique de l'eau: $\eta = 1{,}0.10^{-3}$ Pa.s

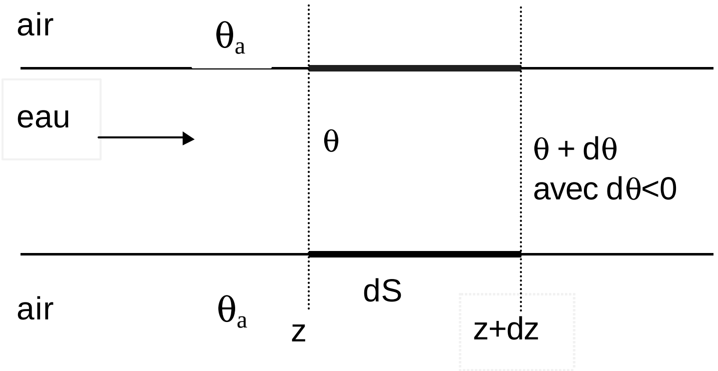
Le radiateur est constitué par un tube de diamètre 34 mm disposé en serpentin (voir schéma) mais équivalent à un tube droit de même longueur dans lequel l'eau circule horizontalement.

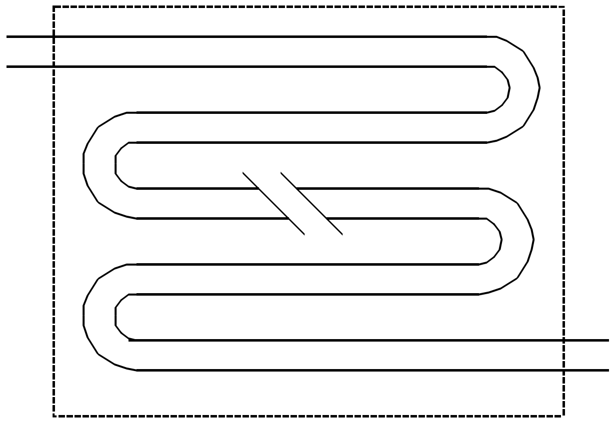
N.B. : Si dans la résolution d'une question des hypothèses supplémentaires apparaissent nécessaires, il convient de les énoncer clairement.

III-1. Montrer que le régime d'écoulement est turbulent. En conséquence on considèrera que la température de l'eau est homogène dans une section droite du tuyau.

III-2. Calculer la température de l'eau à la sortie du radiateur sachant que le flux cédé par le radiateur est de 550 W.

III-3. On admet un coefficient global d'échange K constant le long du tube. On veut calculer la surface d'échange S entre l'eau chaude et l'air ambiant.





Entre les plans d'abscisses z et z+dz, le fluide chaud *cède* à travers la surface d'échange dS, pendant la durée dt, la quantité de chaleur $K\,dS\,(\theta_a - \theta)\,dt$, où θ_a est la température de l'air ambiant, constante ($\theta_a = 19°C$).

III-3.1. Exprimer pendant cet intervalle de temps dt la masse dm d'eau chaude qui traverse une section du tube.

III-3.2. Exprimer la quantité de chaleur cédée par cette masse de fluide quand elle passe de la température θ à la température θ+dθ pendant dt en considérant :

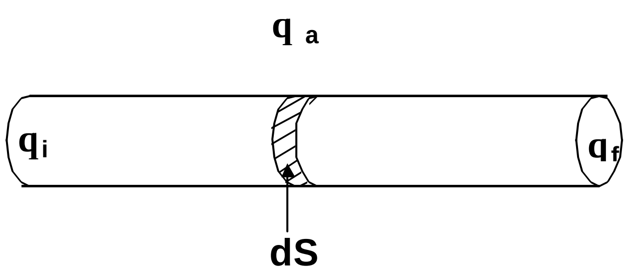
-d'une part l'échange avec l'air extérieur

-d'autre part l'abaissement de la température de l'eau.

En déduire l'équation différentielle reliant θ, dθ et dS. (On négligera la diffusion thermique dans l'eau).

Intégrer cette équation différentielle entre l'entrée et la sortie du tube.

Montrer que : $\mathrm{Ln}\dfrac{(\theta_f - \theta_a)}{(\theta_i - \theta_a)} = -\dfrac{K}{\rho.D_v.c}S$, où θ_i et θ_f sont les températures d'entrée et de sortie de l'eau dans le radiateur. (voir schéma ci-dessous).



III-3.3 Application numérique : K = 5,73 $W.m^{-2}.K^{-1}$. Calculer la surface totale d’échange S.