

Durée de l'épreuve : 2h en tout / le barème est donné à titre INDICATIF**Exercice 1 Chaudière située loin d'un bâtiment à chauffer (sur 42 pts)**

On souhaite chauffer un bâtiment avec des radiateurs à circulation d'eau chaude. La chaudière se trouve dans un bâtiment extérieur au bâtiment à chauffer (à environ 80m de celui-ci). On se pose la question d'estimer les déperditions dues au transfert de l'eau chaude de l'endroit où celle-ci est chauffée vers les radiateurs. Le chauffage de l'eau s'effectue dans une chaudière, à l'aide d'un serpentin cylindrique de 10 m de long et 1 cm de diamètre intérieur. La température de la paroi extérieure est maintenue constante et égale à 100 °C. Le débit massique de l'eau qui entre à la température $T_E = 6^\circ\text{C}$, noté \dot{m} , est égal à 0,8 kg/min.

À la sortie du serpentin, l'eau entre à la température $T_E' = T_S$ dans un circuit qui amène l'eau dans un circuit de chauffage par l'intermédiaire d'un tube cylindrique de 2 cm de diamètre, recouvert par un manchon cylindrique d'isolant de 2cm d'épaisseur et de conductivité thermique $\lambda = 0,07 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Données : la température du milieu extérieur est constante et égale à $T_{ext} = 0^\circ\text{C}$ et le coefficient de transfert convectif de chaleur avec le milieu extérieur, supposé constant, est égal à $h = 12 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Données complémentaires : les propriétés physico-chimiques de l'eau seront supposées indépendantes de la température $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$

1.1 Faire un dessin du dispositif, en faisant figurer les températures, et propriétés utiles (dimensions incluses). On donnera une distance symbolique pour matérialiser l'éloignement entre chaudière et radiateurs. **[2pts]**

1.2 Exprimer V' en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, et calculer u , vitesse moyenne de l'eau dans le serpentin. **[2pts]**

1.3 Faire un bilan des données connues ($\rho, D, \mu, \lambda, V'$, etc). **[2pts]**

1.4 Calculer les nombres de Reynolds (noté Re) et de Prandtl (noté Pr). En déduire le régime d'écoulement de l'eau dans le serpentin. **[2pts]**

1.5 Déterminer le nombre de Nusselt en utilisant les résultats du cours. Donner sa valeur, et en déduire la valeur de h_c facteur local de convection. Cette valeur vous semble-t-elle optimale ? (il faut justifier la réponse) **[3pts]**

1.6 Faire un bilan du flux de puissance échangé en utilisant une "tranche de fluide" d'épaisseur dx , circulant dans le tube. On demande un dessin clair, et des explications précises (avec des phrases) **[3pts]**

1.7 En intégrant cette relation, en déduire une expression donnant la température en un point d'abscisse x dans le tube (avec x compris entre 0 et L_S). **[4pts]**

Indication : on pourra essayer de mettre l'équation différentielle précédente sous la forme $\frac{d(T-T_p)}{dx} = -\frac{(T-T_p)}{\tau}$,

puis $\frac{d(T-T_p)}{dx} + \frac{(T-T_p)}{\tau} = 0$ avec $\tau = \frac{h_c \pi D}{\rho V' c_p}$ en remarquant que $-dT = -d(T-T_p)$.

1.8 En supposant que le coefficient de transfert global entre la paroi extérieure du serpentin cylindrique et le fluide intérieur est constant tout au long de ce tuyau, quelle est l'expression de la température de l'eau à la sortie du serpentin. **[2pts]**

Pour la suite, on admettra que T en un point d'abscisse x est donnée par : $T(x) = T_p - (T_p - T_E) \exp^{-\frac{h_c \pi D x}{\rho V' c_p}}$

1.9 Application numérique : calculer T_S , l'exprimer en °C et en K. En déduire Φ la puissance échangée dans le serpentin entre la paroi et l'eau. **[2pts]**

1.10 Faire un bilan des différents paramètres : D_i (diamètre intérieur du tuyau), D_e (extérieur), h_e , λ_p , Re_{tuyau}

[2pts]

1.11 Quel est la nature de l'écoulement dans le circuit intermédiaire ? [1pt]

Dans cette partie, on souhaite calculer la température de l'eau chaude à l'extrémité de $L_T=80\text{ m}$ de conduite thermiquement isolée. On notera T'_S cette valeur.

1.12 Faire un bilan thermique dans une volume de contrôle de longueur dx du tuyau intermédiaire. [2pts]

1.13 Faire un dessin faisant apparaître les différentes résistances thermiques rencontrées dans cette partie. [2pts]

1.14 En considérant que le flux thermique échangé est constant à chaque interface, écrire les relations de conservation pour chaque température. On notera T la température du fluide, en un point d'abscisse x donné, T_{pi} la température de la paroi intérieure, T_{pe} la température de la paroi extérieure de l'isolant, et T_{ex} la température extérieure. [3pts]

1.15 En déduire le facteur d'échange thermique global noté U. [2pts]

1.16 On admet que $U=4,82\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ et on donne $T'_S=T_{ext}+(T'_E-T_{ext})\exp\left(-\frac{\pi 4,82 D_i L_T}{\dot{m} c_p}\right)$ Calculer T'_S . [2pts]

1.17 Exprimer (sans la calculer) l'énergie $\Delta\phi_0$ échangée par seconde (donc en W) dans la partie isolée du tuyau [2pts]

1.18 Exprimer (sans la calculer) l'énergie hpi_0 reçue par seconde (en W) dans le serpentin [2pts]

1.19 Quel est le pourcentage d'énergie perdue au cours du transport par rapport au débit de chaleur fourni dans le serpentin ? Commenter le résultat. [2pts]

Exercice 2 rafraîchissements convectifs (sur 13pts)

En été, on a souvent l'occasion de se rafraîchir en profitant d'un filet d'eau froide ou d'une vitre ouverte dans une voiture. Dans le premier cas, il se dit que pour se rafraîchir en été, on peut le faire en se passant "le coude" sous l'eau froide. On supposera de plus que l'eau ($\rho=1000\text{ kg/m}^3$) qui sort du robinet, après avoir coulé quelques secondes est à 18°C, et le débit de l'eau est de 0,2 kg/s.

2.2 Calculer la vitesse de l'eau, sachant que le diamètre du robinet est de 2 cm. [2pts]

2.3 Si on suppose que le coefficient de transfert convectif est $h_c=900\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, calculer le flux thermique échangé par unité de surface en passant le coude (ou la main) sous l'eau. La température du corps est de $\sim 38^\circ\text{C}$ [2pts]

Une voiture roule à 80 km/h, et la vitre arrière est entre-ouverte. Le passager arrière passe la main dehors pour essayer de se rafraîchir. On supposera que la température de sa main est de 38°C, et on donne, pour l'air, dans ces conditions : $h_c=50\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

2.5 Donner l'expression de ϕ_{air} (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), flux thermique échangé par unité de surface, lorsque ce passager passe la main dehors, pour une température extérieure donnée, et lorsque la voiture roule à une vitesse donnée. [2pts]

2.6 Calculer, dans les différents cas suivants, le flux thermique échangé lorsqu'on passe la main dehors.

Température air	Température main	ϕ_{air} en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
35°C	38°C	
25°C	38°C	
10°C	38°C	

[3pts]

2.7 Comparer les résultats obtenus et conclure. [2pts]

2.8 Pourquoi conseille-t-on de faire couler de l'eau à température proche de la température du corps sur une brûlure (au 1er degré seulement) ? [2pts]