

**Partie COURS** (sur ~15 points)  
(durée : 30 min, aucun document autorisé, pas de calculatrice).

N.B. : cette partie est à rendre au bout de 30 min

- C1. citer les différents types de transferts thermiques possibles. On précisera dans chaque cas comment l'énergie est transportée. **[3pts]**
- C2. Donner la loi de Newton pour les fluides, en précisant chaque terme de l'équation, ainsi que son unité. **[2pts]**
- C3. Quels sont, lorsqu'il n'y a pas de changement d'état, les types de convection possibles ? (il faut justifier) **[2pts]**
- C4. Quand peut-on considérer qu'un fluide s'écoule de façon laminaire ? **[1pt]**
- C5. Quelle est la signification physique du nombre de Prandtl ? Dans quels cas l'utilise-t-on ? **[1pt]**
- C6. À quoi sert le nombre de Rayleigh ? (il faut justifier la réponse) **[1pt]**
- C7. On utilise la formule  $\varphi = h S_2 \Delta T_m$ . Que signifie  $\Delta T_m$  ? **[2pts]**
- C8. Définir la notion de coefficient global de transfert thermique **[2pts]**
- C9. Définir l'efficacité d'un échangeur thermique. **[1pt]**

**FIN DE LA PARTIE COURS**

**Partie EXERCICES** (durée 1h30, le barème est donné à titre indicatif)**Exercice 1 étude d'un échangeur tubulaire (sur ~ 19 points)**

On considère l'échangeur tubulaire de type 1-2, cf figure ci-dessous, supposé parfaitement isolé.

La coque et le tube sont en acier

( $\lambda_{acier} = 13,4 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ).

La longueur du tube est de 10m.

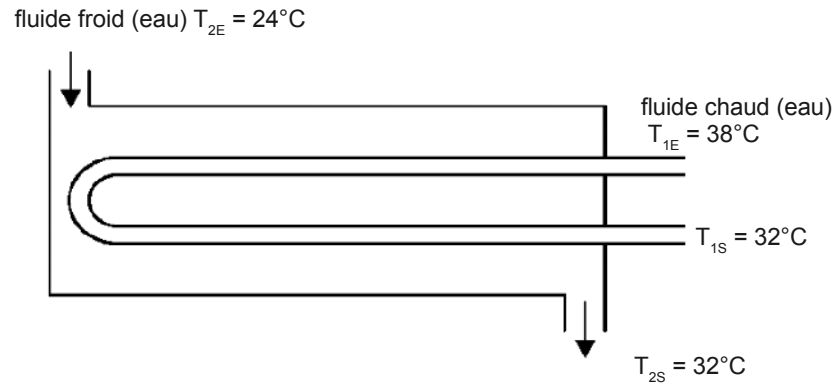
Le diamètre externe du tube est  $D_{ext} = 2,5 \text{ cm}$ , et le diamètre interne  $D_i = 2 \text{ cm}$ .

Pour le fluide chaud :

$$\dot{m}_1 = 0,33 \text{ kg.s}^{-1}$$

$$T_{1E} = 38^\circ \text{C} ; T_{1S} = 32^\circ \text{C}$$

$$\text{Pour le fluide froid : } T_{2E} = 24^\circ \text{C} \quad T_{2S} = 32^\circ \text{C}$$



1.1 Rappeler, en vous servant des annexes du cours, les propriétés de l'eau. En particulier, on donnera les valeurs numériques de  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $C_p$  et  $\lambda$  pour l'eau au voisinage de  $40^\circ \text{C}$ .

N.B. : on prendra  $C_p = 4180 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  pour les calculs.

[2pts]

1.2 Donner l'expression des flux thermiques pour le fluide chaud et le fluide froid (que l'on notera respectivement  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$ ). Quelle relation les lie ?

[2pts]

1.3 Donner l'expression de  $\dot{m}_2$ , débit massique du fluide froid, en fonction des grandeurs connues et calculer sa valeur en kg/s.

[2pts]

1.4 Calculer  $q_{cmin}$  et  $q_{cmax}$ . Quel fluide commande le transfert thermique ici ?

[1+1pts]

**On suppose que le  $NUT_{max}$  de cet échangeur vaut 1,4**

1.5 Dédire des résultats de la question précédente la valeur  $z$  de cet échangeur

[1pt]

1.6 Dédire de ce qui précède la valeur de h, coefficient d'échange convectif global de cet échangeur.

[2pts]

Indication : ce coefficient est souvent noté  $U$ , et schématise un échange convectif intérieur au tube + une conduction thermique entre diamètre intérieur et diamètre extérieur + un échange convectif sur la paroi externe du tube entre le fluide froid et la paroi.

1.7 Calculer le coefficient d'échange convectif intérieur  $h_i$ , entre l'eau (fluide chaud et la paroi intérieure du tube) **[4pts]**

Indication : on pourra utiliser  $R_e$ ,  $Pr$  et  $Nu$  et une méthode comme celle de Dittus-Bolter (par exemple), pour faire ce calcul.

1.8 Déduire de tout ce qui précède le coefficient d'échange convectif extérieur au tube, noté  $h_{ext}$  entre la paroi extérieure et le fluide froid. **[4pts]**

N.B. : pour cette question, le barème tient compte tenu des erreurs d'arrondis, susceptibles de causer une grande variation dans les applications numériques.

## Exercice 2 Calculs autour de l'efficacité d'un échangeur (sur ~ 11 pts)

2.1 Proposer une démarche permettant de calculer la surface d'échange nécessaire pour refroidir en continu 50 tonnes par heure d'une solution de 66°C à 39°C en utilisant  $75\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  d'eau de refroidissement à 10°C dans le cas d'un échangeur à co-courant simple. La solution circule dans l'espace enveloppe de l'échangeur, qui est supposé parfaitement isolé (adiabatique). Le coefficient global d'échange par convection est donné et vaut  $h = 1950\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ . **[6pts]**

Données : on donne  $cp_{eau} = 4180\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  ;  $cp_{solution} = 3280\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

2.2 Application numérique : calcul de la surface d'échange totale de l'échangeur **[1 pt]**

2.3 Pour  $T_{2s} = 24,12^\circ\text{C}$ , calculer la surface d'échange nécessaire dans le cas d'un échangeur à contre-courant. **[3pts]**

2.4 Calculer les températures de sortie des 2 fluides pour un échangeur à co-courant, et de longueur infinie. **[1 pt]**

**FIN DE L'ÉNONCÉ**