

Exercice 1 : Pour refroidir une huile de graissage, on compare différents types d'échangeurs. Calculer la surface d'échange nécessaire correspondant aux échangeurs suivants :

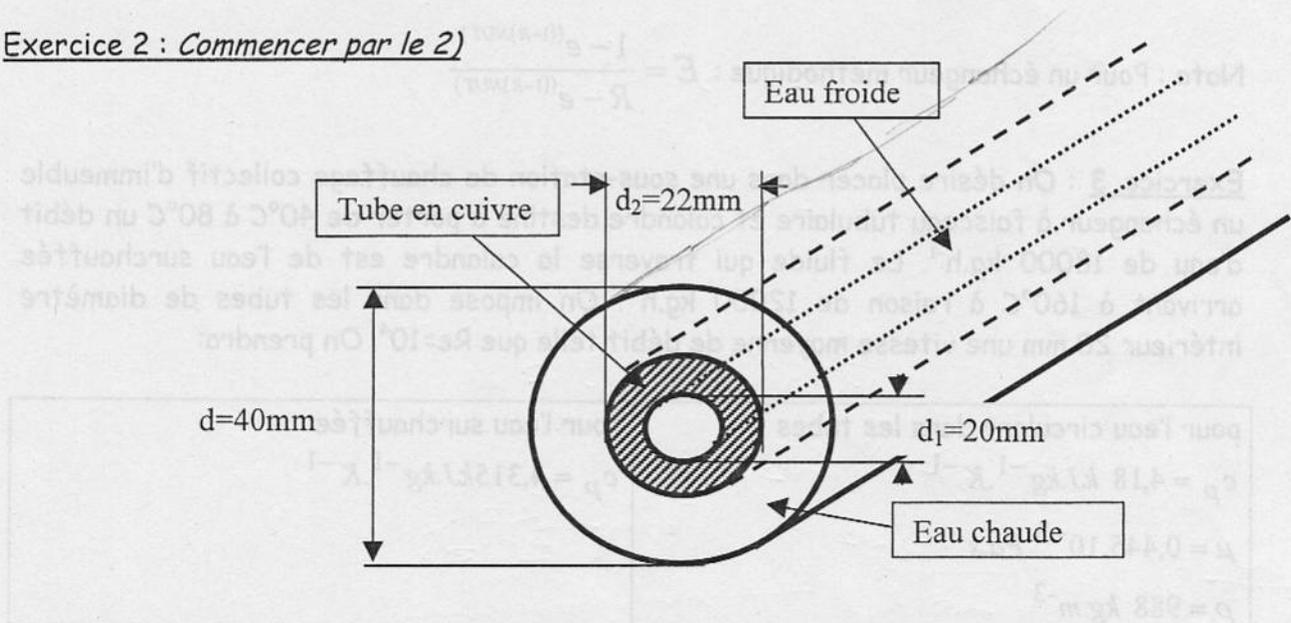
1. Echangeur antiméthodique
2. Echangeur méthodique
3. Echangeur 1-2 (l'huile passe dans les tubes)
4. Echangeur à courants croisés (aucun fluide brassé)

On donne

Pour l'huile	Pour l'eau de refroidissement
$q_{mc} = 3000 \text{ kg.h}^{-1}$	$q_{mf} = 1500 \text{ kg.h}^{-1}$
$c_{pc} = 0,5 \text{ kcal.kg}^{-1} . \text{K}^{-1}$	$c_{pf} = 1 \text{ kcal.kg}^{-1} . \text{K}^{-1}$
$T_{1c} = 100^\circ\text{C}$	$T_{1f} = 15^\circ\text{C}$
$T_{2c} = 50^\circ\text{C}$	

Le coefficient global d'échange vaut  $k = 300 \text{ W.m}^{-2} . \text{K}^{-1}$ .

Exercice 2 : Commencer par le 2)



Un échangeur coaxial est constitué d'un tube « calandre » de diamètre intérieur  $d$  de 40 mm, parfaitement calorifugé par rapport à l'extérieur et d'un tube « intérieur » en cuivre ( $d_1=20 \text{ mm}$ ,  $d_2=22 \text{ mm}$ ,  $\lambda_{cu}=70 \text{ W/mK}$ ).

Dans le tube intérieur circule de l'eau froide :  $q_{m1} = 1500 \text{ kg/h}$ ,  $\rho_1=1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $C_{p1}=4,18 \text{ kJ/kgK}$ ,  $\mu_1=1,005 \cdot 10^{-3} \text{ kg/ms}$ ,  $\lambda_1=0,6 \text{ W/mK}$ .

Dans l'espace annulaire (entre les deux tubes) circule de l'eau chaude :  $\dot{m}_2 = 2500 \text{ kg/h}$ ,  $\rho_2 = 970 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_{p2} = 4,20 \text{ kJ/kgK}$ ,  $\mu_2 = 0,36 \cdot 10^{-3} \text{ kg/ms}$ ,  $\lambda_2 = 0,67 \text{ W/mK}$ .

- 1) Calculer le coefficient global d'échange  $k_2$  (ramené à la surface extérieure du tube de 20/22) pour la paroi séparant les deux fluides. On calculera au préalable les coefficients d'échange surfacique  $h_1$  et  $h_2$  en admettant que l'on a une convection forcée des deux côtés.

Les coefficients de convection et l'expression du  $k_2$  ont été donnés dans le TD sur la conduction (TD3).

TD. conduction

Nota : Après avoir vérifié que l'écoulement est turbulent on utilisera la formule de MAC ADAMS  $Nu = 0,023 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$ .

- 2) On raccorde les deux flux d'eau sur cet échangeur de manière à ce qu'il soit METHODIQUE (= à contre courant) et on veut que l'eau froide y passe de 10 à 20°C alors que l'eau chaude y entre à 60°C. Quelle longueur devra avoir alors l'échangeur ?
- 3) Au bout d'un certain temps de fonctionnement, le coefficient  $k_2$  devient, à cause de l'encrassement, égal à 500 W/m<sup>2</sup>K. Sans changer les débits ni les températures d'entrée, que deviennent le flux de chaleur échangé et les températures de sortie de l'eau froide et de l'eau chaude ?

Nota : Pour un échangeur méthodique :  $E = \frac{1 - e^{-(1-R)NUT}}{R - e^{-(1-R)NUT}}$

**Exercice 3 :** On désire placer dans une sous-station de chauffage collectif d'immeuble un échangeur à faisceau tubulaire et calandre destiné à porter de 40°C à 80°C un débit d'eau de 18000 kg.h<sup>-1</sup>. Le fluide qui traverse la calandre est de l'eau surchauffée arrivant à 160°C à raison de 12000 kg.h<sup>-1</sup>. On impose dans les tubes de diamètre intérieur 20 mm une vitesse moyenne de débit telle que  $Re = 10^4$ . On prendra:

pour l'eau circulant dans les tubes $c_p = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $\mu = 0,445 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$ $\rho = 988 \text{ kg.m}^{-3}$	pour l'eau surchauffée $c_p = 4,315 \text{ kJ.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
--	--

Calculer :

- la puissance échangée et  $T_{2ch}$
- pour un échangeur à contre courant avec  $k = 450 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ 
  - ✓ la surface d'échange nécessaire (surface intérieure des tubes)
  - ✓ la vitesse moyenne dans les tubes
  - ✓ le nombre de tubes nécessaires
  - ✓ la longueur des tubes

exo:

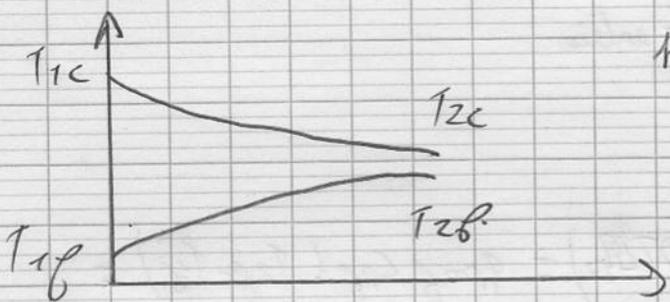
huile

$q_{mc} = 1200 \text{ kg/h}$   
 $c_{pc} = 2,1 \text{ kJ/kgK}$   
 $T_{1c} = 100^\circ\text{C}$   
 $T_{2c} = 50^\circ\text{C}$

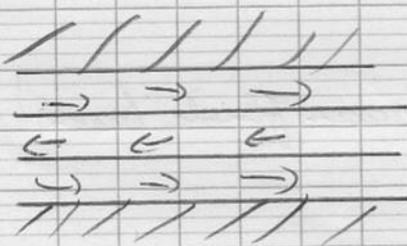
eau

$q_{mf} = 1000 \text{ kg/h}$   
 $c_{pf} = 4,2 \text{ kJ/kgK}$   
 $T_{1f} = 10^\circ\text{C}$   
 $T_{2f} = 40,14^\circ\text{C}$

$h_c = 300 \text{ W/m}^2\text{K}$



$\phi = q_{mc} c_{pc} (T_{1c} - T_{2c})$   
 $= q_{mf} c_{pf} (T_{2f} - T_{1f})$   
 $= k \cdot S \cdot \text{DTLM}$



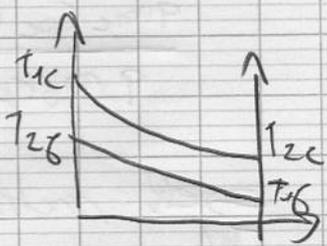
$\text{DTLM} = \frac{\Delta T_{\text{max}} - \Delta T_{\text{min}}}{\ln \frac{\Delta T_{\text{max}}}{\Delta T_{\text{min}}}}$

$\Delta T_{\text{max}} = T_{1c} - T_{1f} = 100 - 10 = 90$   
 $\Delta T_{\text{min}} = T_{2c} - T_{2f} = 50 - 40,14$

$\text{DTLM} = 36,24^\circ\text{C}$

$S = \frac{q_{mc} c_{pc} (T_{1c} - T_{2c})}{k \cdot \text{DTLM}}$

$\Delta T_{\text{max}} = T_{1c} - T_{2f} = 100 - 40,14$   
 $\Delta T_{\text{min}} = T_{2c} - T_{1f} = 50 - 10$   
 $\Delta T_{\text{max}} = 59,86^\circ\text{C}$   
 $\Delta T_{\text{min}} = 40^\circ\text{C}$



$\text{DTLM} = 49,26^\circ\text{C}$   
 $S = 2,37 \text{ m}^2$

Rech 1-2: huile passe dans tube

$$T_{c \text{ entrée}} = 10^\circ\text{C} \quad T_{c \text{ sortie}} = 40,14$$

$$T_{f \text{ entrée}} = 100^\circ\text{C}$$

$$T_{f \text{ sortie}} = 50^\circ\text{C}$$

$$P = \frac{T_{f \text{ sortie}} - T_{f \text{ entrée}}}{T_{c \text{ sortie}} - T_{c \text{ entrée}}} = 10,555$$

$$Z = \frac{T_{c \text{ entrée}} - T_{c \text{ sortie}}}{T_{f \text{ entrée}} - T_{f \text{ sortie}}} = 0,603$$

$$F = 0,88$$

$$\phi = k S F (\Delta T)_{\text{lm}} = q_{\text{mf}} C_{pf} (T_{2f} - T_{1f}) =$$

Recherche constant vitesse (avec fluide brasse).

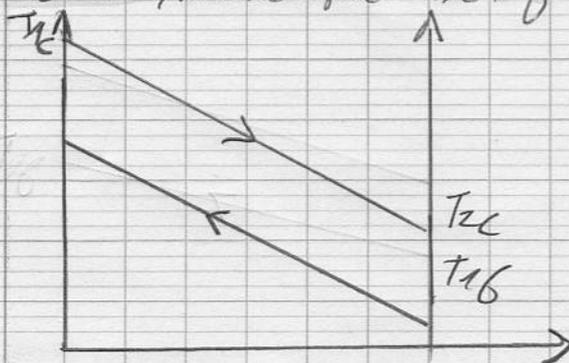
$$P, Z \text{ id} \rightarrow F = 0,93, \\ S = 2,55 \text{ m}^2$$

exercice 1:

$$\phi = q_{\text{mc}} C_{pc} (T_{1c} - T_{2c}) = q_{\text{mf}} C_{pf} (T_{2f} - T_{1f})$$

$$\frac{q_{\text{mc}} C_{pc} (T_{1c} - T_{2c})}{q_{\text{mf}} C_{pf}} + T_{1f} = T_{2f} = 65^\circ\text{C}$$

→ voir méthodique car  $T_{2f} > T_{2c}$



$$\Delta T_{\text{lm}} = \frac{\Delta T_{\text{max}} - \Delta T_{\text{min}}}{\ln \frac{\Delta T_{\text{max}}}{\Delta T_{\text{min}}}}$$

$$\text{Où } \Delta T_{\text{max}} = \Delta T_{\text{min}}$$

$$\Phi \dot{m}_c c_{pc} = \dot{m}_f c_{pf}$$

$$\Delta T_{LD} = 35^\circ\text{C}$$

$$S = \frac{\dot{m}_c c_{pc} (T_{1c} - T_{2c})}{k \Delta T_{LD}} = 8,29 \text{ m}^2$$

utilité:  $\Delta T_{LD}$  calc. on connaît 3 temp min 4, on connaît  $k$ ,  
 $\dot{m}_c c_{pc}$ ,  $\dot{m}_f c_{pf}$

cro 2: méthode des NVT (car on ne connaît pas  $T_{2c}$   $T_{2f}$ )

On connaît  $T_{1c}$ ,  $T_{1f}$   
 $S$

$\dot{m}_c c_{pc}$ ,  $\dot{m}_f c_{pf}$  }  $\rightarrow \phi \rightarrow T_{2f}$ ,  $T_{2c}$   
 $h$  } NVT

$$\phi_{\text{max}} = C_{\text{min}} (T_{1c} - T_{1f})$$

$$C_{\text{min}} = \min(\dot{m}_c c_{pc}, \dot{m}_f c_{pf})$$

$$\phi = \epsilon \cdot \phi_{\text{max}} = \epsilon C_{\text{min}} (T_{1c} - T_{1f})$$

$$\epsilon = \epsilon(R, \text{NVT}) \quad R = \frac{C_{\text{min}}}{C_{\text{max}}} \quad \text{NVT} = \frac{h S}{C_{\text{min}}}$$

exemple utilisation oblique:

échangeurs 1-2:  $R = 0,557$   
 $\text{NVT} = 1,05$

$\epsilon = 0,545$

1) On veut calculer  $h_2$ .

calcul de  $h_1 = \text{itération}$ :  $Re_1 = \frac{v_1 D_{h1}}{\mu} \times Pr_1 = 26394 > 10000$

$$Re_1 = \frac{v_1 D_{R1}}{\mu_1} \cdot \rho_1 = 26394 > 10000 \Rightarrow \text{turbulent}$$

$$v_1 = \frac{q_{m1}}{\rho_1 S_1}$$

$$Pr_1 = \frac{\mu_1 C_{p1}}{\lambda_1} = 7$$

$$h_1 = \frac{Nu_1 \lambda_1}{D_{R1}} = 5177, \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$D_{R1} = D_1$$

Calcul de  $h_2$  (espace annulaire)

$$D_{R2} = \frac{4 S_2}{P_{R2}} \quad \& \quad S_2 = \pi \left( \frac{D_2^2 - D_1^2}{4} \right)$$

$$D_{R2} = 1,864 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$D_{m2} = \pi (d_1 + d_2)$$

$$Re_2 = 39624$$

$$Pr_2 = 2,256$$

$$h_2 = 5838,7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$k_2 = 2500 \text{ W/m}^2\text{K}$$

2) échangeur à contre courant (méthodique)

$$DTLN: 3T \rightarrow 4 \text{ ème}$$

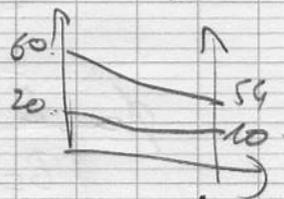
$$\phi = q_{m2} C_{p2} (T_{1c} - T_{2c}) = q_{m1} C_{p1} (T_{2f} - T_{1f})$$

$$T_{1f} = 10^\circ\text{C}$$

$$T_{1c} = 60^\circ\text{C}$$

$$T_{2f} = 20^\circ\text{C}$$

$$T_{2c} = 54^\circ\text{C}$$



$$T_{2c} = \frac{q_{m1} C_{p1} (T_{2f} - T_{1f})}{q_{m2} C_{p2}} + T_{1c}$$

$$= 54,03^\circ\text{C}$$

$$S = \frac{q_{m1} C_{p1} (T_{2f} - T_{1f})}{k DTLN}$$

$$DTLN = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}}$$

$$\Delta T_{max} = 49^\circ$$

$$\Delta T_{min} = 4^\circ$$

$$DTLN = 4,97^\circ\text{C}$$

energético  
laco

(13)

$$S_e = \frac{q_{m,c} C_{p,c} (T_{1c} - T_2)}{h \text{ DTLN}} = 0,166 \text{ m}^2$$

$$S = \pi d_p \frac{R_s}{R_{0,022}} = 2,4 \text{ mm}$$

3)  $C_{p,c} = 2,916 \text{ W/K}$   
 $C_{p,f} = 1,741 \text{ W/K}$

$$\frac{h_f}{s} \times \frac{h_c}{s} = \frac{h_c}{s}$$

$$\delta / R_s = \text{W/K}$$

$$C_p = q_{m,c} \times C_p$$

$$N = \frac{0,166}{0,022} = 0,597$$

$$NUT = \frac{h S}{C_{min}} = 0,047$$

$$E = 0,0453$$

$$\frac{\phi}{\text{W}} = E C_{min} (T_{1c} - T_{1f}) = 3943 \text{ W}$$

$$\frac{\phi}{\text{W}} = C_{p,c} q_{m,c} (T_{1c} - T_{2c}) = C_{p,f} q_{m,f} (T_{2f} - T_{1f})$$

$$T_{2c} = - \frac{\phi}{q_{m,c} C_{p,c}} + T_{1c} = 58,65^\circ \text{C}$$

$$T_{2f} = + \frac{\phi}{q_{m,f} C_{p,f}} + T_{1f} = 12,26^\circ \text{C}$$

Sicas condensation:  $\phi = -h_c q_{m,c} \pi d_p B C_{p,f} (T_{2f} - T_{1f})$

