

### Calcul d'un échangeur de chaleur tubulaire

On veut refroidir par de l'eau du réseau (Température 15°C) un mélange homogène eau-composé organique d'une température de 70°C à 30°C. Le débit du mélange eau/composé organique est de 2 000 kg h<sup>-1</sup>.

Si on met en œuvre des tubes concentriques de dimensions respectives 25/33 et 50/60, Calculer la longueur de l'échangeur.

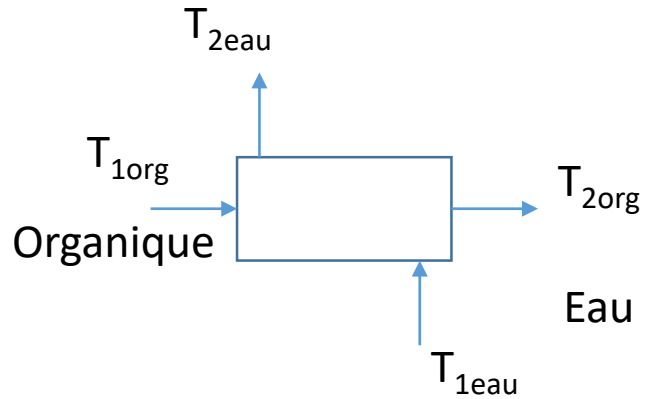
On pourra utiliser la procédure suivante :

1. Calcul du débit d'eau nécessaire.
2. Choix de l'échangeur.
3. Calcul du  $\Delta T$  moyen.
4. Calcul des coefficients de convection.
5. Calcul du coefficient global d'échange externe.
6. Calcul de la surface d'échange.
7. Calcul de la longueur de l'échangeur.

Mélange eau/composé organique	
Masse volumique (kg m <sup>-3</sup> )	900
Viscosité (Pa s)	0,5 10 <sup>-3</sup>
Capacité calorifique (kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	1,20
Conductivité thermique (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0,120
Eau de refroidissement	
Température de sortie de l'eau (°C)	25
Masse volumique (kg m <sup>-3</sup> )	1 000
Viscosité (Pa s)	0,8 10 <sup>-3</sup>
Capacité calorifique (kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	4,18
Conductivité thermique (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0,630
Tubes concentriques	
Diamètres du tube intérieur	25/33
Diamètres du tube extérieur	50/60
Conductivité thermique (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	46,44

## Calcul de la longueur de l'échangeur

$$A_{\text{ext}} ? \quad L ?$$

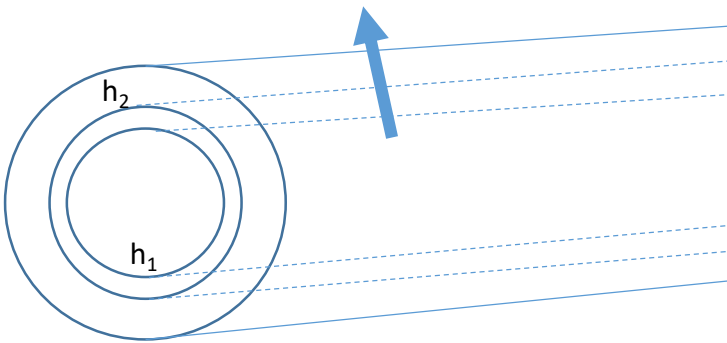


$$\Phi = U_{\text{ext}} A_{\text{ext}} \overline{\Delta T}$$

$$\Phi = ?$$

$$\overline{\Delta T} = ?$$

$$U_{\text{ext}} = ?$$



$$\frac{1}{U_{\text{ext}}} = \frac{D_2}{h_1 D_1} + \frac{D_2 \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}{2K_m} + \frac{1}{h_2}$$

$$h_1 = ?$$

$$h_2 = ?$$

**1. Calcul du débit d'eau nécessaire.**

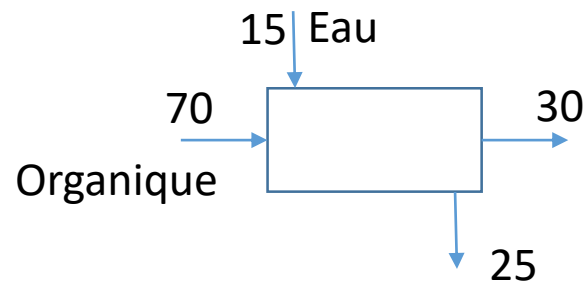
Bilan thermique sur l'échangeur

$$\Phi = Q_{meau} C_{peau} \Delta T_{eau} = Q_{morga} C_{porga} \Delta T_{orga}$$

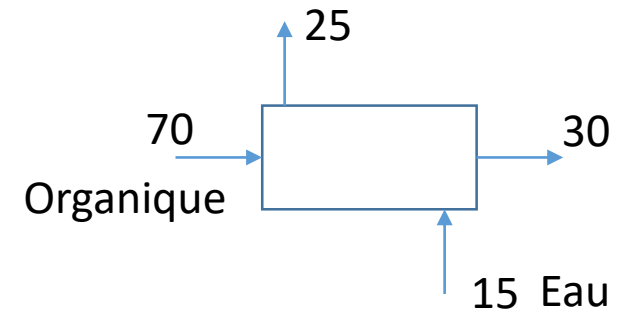
$$Q_{meau} = 2\,297 \text{ kg/h}$$

**2. Choix d'un échangeur concentrique contre-courant ou co-courant.**

**Co-Courant**

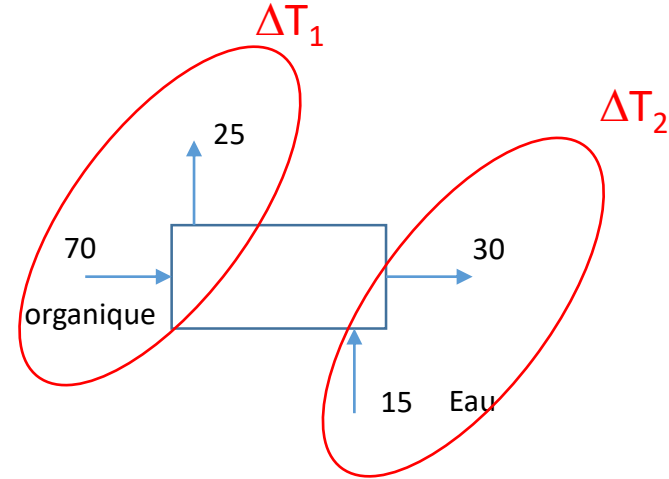


**Contre-Courant**



### 3. Calcul du $\Delta T$ moyen.

**Contre-Courant**



$$\overline{\Delta T} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$\overline{\Delta T} = 27,31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4. Calcul des coefficients de convection (1)

##### Calcul de $h_1$

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3}$$

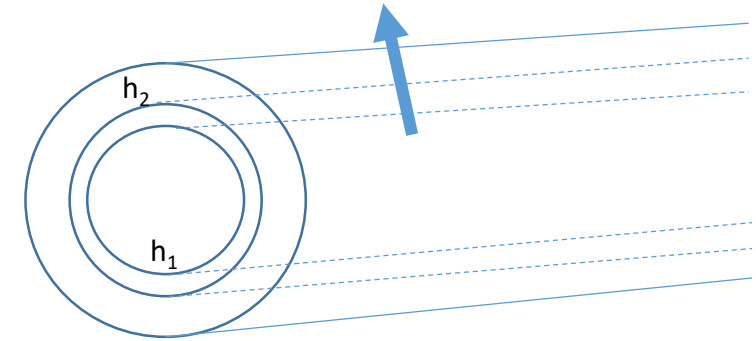
$$Re = \frac{DU\rho}{\mu} \quad Q_v = SU \quad U = \frac{Q_v}{S} = \frac{Q_v}{\pi \frac{D^2}{4}} = \frac{2000}{900 \cdot 3600 \cdot \frac{\pi(0,025)^2}{4}} = 1,26 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot 1,26 \cdot 900}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 56700 \quad \text{Régime turbulent}$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{K} \quad Pr = \frac{1200 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{0,120} = 5$$

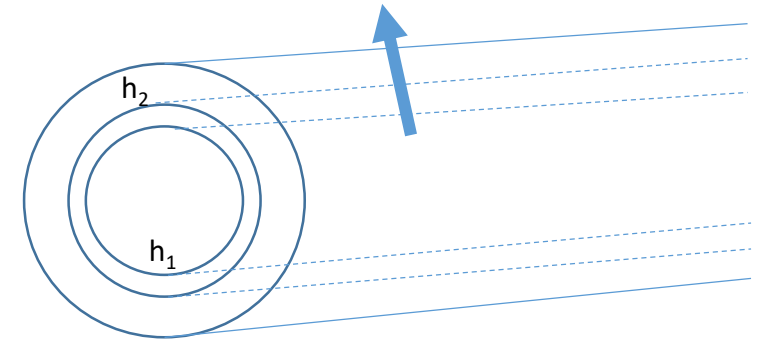
$$Nu = 0,023 \cdot 56700^{0,8} \cdot 5^{0,3} = 236,73 = h_1 D / K$$

$$h_1 = 1136 \text{ W/m}^2\text{K}$$



#### 4. Calcul des coefficients de convection (2)

##### Calcul de $h_2$



$$Re = \frac{D_e U \rho}{\mu} \quad Q_v = S U \quad U = \frac{Q_v}{S} \quad S = S_{\text{exterieur}} - S_{\text{interieur}} \quad U = \frac{2297}{1000 \cdot 3600 \cdot \frac{\pi}{4} [(50 \cdot 10^{-3})^2 - (33 \cdot 10^{-2})^2]} \quad U = 0,567 \text{ m/s}$$

$$D_e = \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_1} \quad D_e = 4,275 \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad Re = 30299 \quad \text{Régime turbulent}$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{K} \quad Pr = 5,30 \quad Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$$

$$Nu = 172,4 = h_2 D / K$$

$$h_2 = 2\,172 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5. Calcul du coefficient global d'échange externe.

$$\frac{1}{U_{\text{ext}}} = \frac{D_2}{h_1 D_1} + \frac{D_2 \text{Ln}\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}{2K_m} + \frac{1}{h_2}$$

$$U_{\text{ext}} = 581 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

## 6. Calcul de la surface d'échange.

$$\Phi = U_{ext} A_{ext} \overline{\Delta T}$$

$$\Phi = 26\,666 \text{ kW}$$

$$\overline{\Delta T} = 27,31 \text{ °C}$$

$$U_{ext} = 581 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\mathbf{A_{ext} = 1,68 \text{ m}^2}$$



7. Calcul de la longueur de l'échangeur.

$A_{ext} = 1,68 \text{ m}^2$

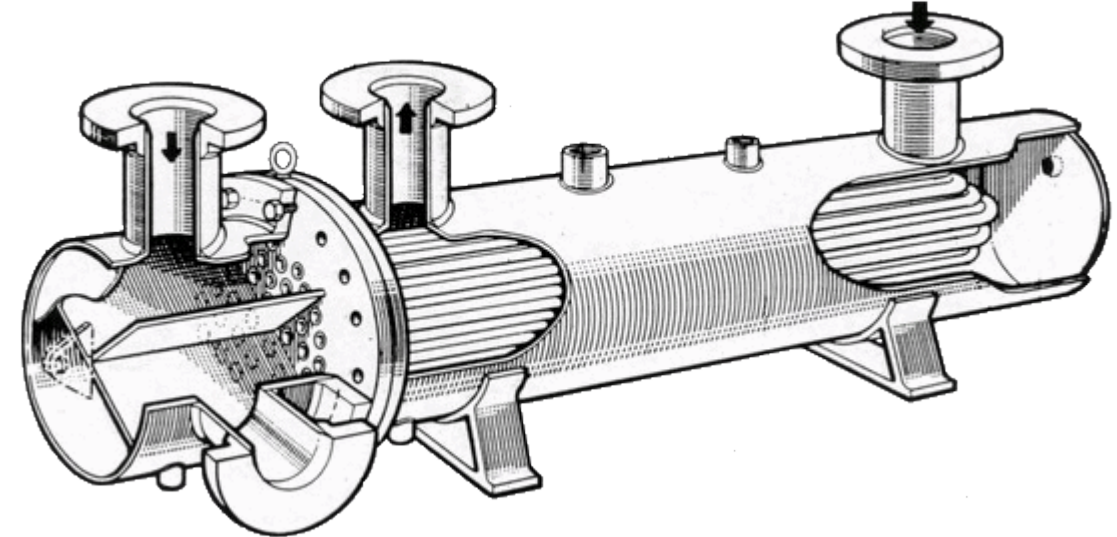
$A_{ext} = \pi D L = 3,14 \cdot 33 \cdot 10^{-3} L$

$L = 16,2 \text{ m}$

$L = n l$

$l = 2,235 \text{ m}$

$n = 7,24 = 8 \text{ tubes}$



Diamètre extérieur du tube (mm)	Longueur maximale non supportée (m)
15,9	1,231
19,0	1,524
25,4	1,880
31,7	2,235
38,1	2,540
50,8	3,175