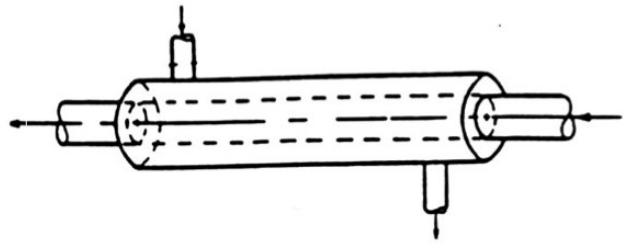


**Exercice 1 : refroidissement du lait dans une centrale laitière (sur 20 points)**

Dans une ferme équipée d'une salle de traite, on peut traiter environ  $0,3 m^3$  de lait à l'heure. Le lait devant être conservé dans de bonnes conditions, celui-ci est acheminé depuis la salle de traite vers la cuve de stockage (le "tank") où il sera conservé pendant 48h maximum, à la température de  $4^\circ C$ .

On supposera que le refroidissement est effectué en 2 étapes : la première pour passer de la température moyenne du lait (voir données plus bas) à la température de  $14^\circ C$ . Et la seconde pour atteindre la température de  $4^\circ C$ , après avoir traversé un circuit réfrigérant. Seul le premier circuit de refroidissement du lait sera étudié dans cet exercice (refroidissement de  $37,9^\circ C$  à  $14^\circ C$ ).

Le lait circule dans le tuyau central. On supposera l'échangeur adiabatique, et de type bi-tube fonctionnant à contre-courant (cf figure ci-contre).



Données : la température corporelle d'une vache est variable, et comprise entre  $37^\circ C$  et  $38,6^\circ C$ . On prendra la valeur moyenne, soit  $37,9^\circ C$  pour les calculs.

Pour le fluide de refroidissement, on utilisera de l'eau du robinet, qui arrive à la température de  $10^\circ C$ . Le débit de l'eau est tel qu'on peut remplir une gamelle de 5 litres en environ 25 secondes (robinet ouvert à plein).

Le coefficient d'échange total, noté  $h_{total}$  vaut  $1000 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  pour le dispositif, et le diamètre intérieur du tuyau central (permettant de calculer la surface d'échange par convection) est de 48 mm.

Pour le lait:  $c_{p\text{lait}} = 2,84(\theta - 273,15) + 3824 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$  (avec  $\theta$  exprimé en K) ;  $\rho_{\text{lait}} = 1030 kg/m^3$   
Pour l'eau :  $c_{p\text{eau}} = 4180 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$  ;  $\rho_{\text{eau}} = 1000 kg/m^3$

1.1. Faire un schéma de l'ensemble, en précisant le fluide chaud et le fluide froid.

[1 pt]

1.2. Faire un inventaire de ce qui est connu de ce qui est à calculer (en donnant la formule utile), parmi les grandeurs suivantes :  $T_{1E}$ ,  $T_{1S}$ ,  $T_{2E}$  et  $T_{2S}$ ,  $c_{p1}$ ,  $c_{p2}$ ,  $\dot{m}_1$ ,  $\dot{m}_2$ ,  $q_{c1}$ ,  $q_{c2}$ , la surface d'échange  $S$ , le flux thermique échangé  $\phi$ , la moyenne logarithmique des températures (aka MLDT), le nombre d'unité de transfert (aka NUT).

[4pts]

1.3. Calculer la valeur moyenne de  $c_p$  pour le lait. On prendra cette valeur par la suite.

[1 pt]

1.4. Calculer le débit volumique de l'eau (exprimé en  $m^3/s$ ), et du lait dans l'échangeur.

[0,5 + 0,5 pt]

1.5. Calculer le flux thermique échangé (note  $\phi$ ) dans le refroidissement du lait de  $37,9^\circ C$  à  $14^\circ C$ .

On pourra admettre que  $c_{pl}=3898 J.kg^{-1}.K^{-1}$ .

[1 + 1 + 1 + 1 pts]

1.6. En déduire la température de l'eau à la sortie de l'échangeur.

[1 pt]

1.7. Calculer  $q_{cmin}$  et  $q_{cmax}$ ,  $z=q_{CR}$ . Est-ce le fluide chaud qui commande le transfert, ou le fluide froid ? En déduire  $\varphi_{max}$ ,  $\eta_r$  (efficacité de refroidissement), et  $\Delta T_m = \frac{\Delta T_s - \Delta T_e}{\ln\left(\frac{\Delta T_s}{\Delta T_e}\right)}$

[0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 1 + 1 pts]

1.8 Calculer la longueur de tuyau, ainsi que la surface d'échange nécessaires au refroidissement.

[1 + 0,5 + 0,5 pts]

1.9 Est-ce que l'on aurait pu utiliser cet échangeur à co-courant ? Expliquer rapidement pourquoi.

[2pts]

### Exercice 2 Utilisation de la méthode NUT (sur 14 points)

Un échangeur à contre-courant fonctionne avec les températures suivantes :

$$T_{1E}=340^{\circ}C ; T_{1S}=190^{\circ}C ; T_{2E}=125^{\circ}C ; T_{2S}=285^{\circ}C ; \varphi=415 kW$$

2.1 Faire un dessin sur lequel figureront toutes les températures, ainsi que les valeurs de  $\Delta T_E$  et  $\Delta T_S$ .

[1 pt]

2.2 Redonner les expressions de  $\Delta T_E$  et  $\Delta T_S$ .

[0,5 + 0,5 pt]

On donne  $q_{cmin}=q_{c2}$ .

2.3 Que peut-on dire de  $q_{cmax}$  ? Peut-on parler d'efficacité de chauffage ou de refroidissement ? (quel fluide commande l'échangeur ?)

[2pts]

2.4 Calculer  $z$  et  $\eta$

[0,5 + 0,5 + 1 + 1 pts]

2.5 En utilisant le cours, retrouver l'expression du  $NUT_{max}$  de cet échangeur, et calculer sa valeur.

[1 + 1 pts]

**Dans ce qui suit, on impose d'utiliser la méthode NUT.**

2.6 Quelle est la puissance échangée, si on fait travailler cet échangeur en mode co-courant, avec les mêmes températures d'entrée et les mêmes débits ?

[2 + 1 pts]

2.7 Quelles sont alors les nouvelles températures d'entrée et de sortie ?

[1 + 1 pts]