



DÉPARTEMENT EEEA INTRODUCTION À LA THERMIQUE ET LA MÉCANIQUE DES FLUIDES
2^{ème} année
INP Toulouse – ENSEEIHT

R. Bazile, O. Liot
31 mai 2022

Introduction à la Thermique et à la Mécanique des Fluides

Bureau d'Études

L'étude que nous proposons dans le cadre de ce BE concerne le refroidissement d'un composant de puissance fixé sur une plaque elle-même refroidie par la circulation d'un fluide. Ce BE a pour but le dimensionnement :

- du socle du composant de puissance ;
- de la partie échangeur ;
- du circuit de pompe associé nécessaire à la circulation du fluide de refroidissement.

Le circuit est représenté sur la figure 1.

Les éléments chauffants sont répartis sur deux supports plans en vis-à-vis distants de 1 cm, entre lesquels circule de l'eau de refroidissement. Les dimensions des supports (en cuivre) sont les suivantes :

- longueur : 10 cm ;
- largeur : 5 cm ;
- épaisseur : 5 mm.

On traitera la situation simplifiée du refroidissement de deux supports chauffés par effet Joule de façon **uniforme**. La température maximale à ne pas dépasser pour le support est fixée par des contraintes de bon fonctionnement de l'élément chauffant : $T_s = 100^\circ\text{C}$. La température moyenne de l'eau, T_m , vaut 50°C . L'objectif est de déterminer les flux thermiques, Φ , qui peuvent être évacués en fonction des débits d'eau, \dot{m}_h .

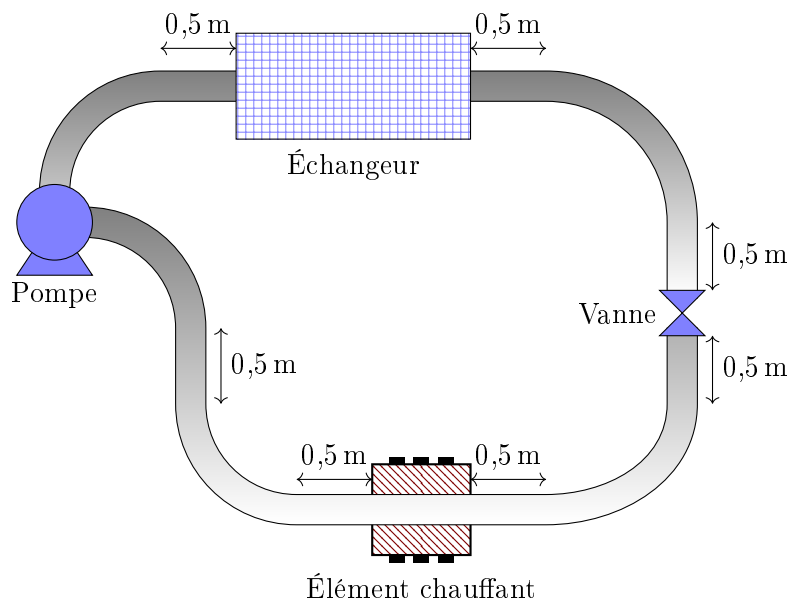


FIGURE 1 – Schéma du circuit. Les longueurs des tubes sont données à titre indicatif.

1 Dimensionnement en débit du circuit de refroidissement des supports chauffants

1. Faire une représentation schématique des transferts thermiques dans le support et le fluide (nature des transferts, localisation des températures de référence).
2. Exprimer le flux évacué en fonction de T_s , T_m et des résistances thermiques.
3. Chercher les propriétés physiques des matériaux et fluides à la température de référence.
4. On se fixe un débit d'eau de 1 kg/s. Calculer le coefficient de convection h à partir des corrélations adéquates (disponibles sur Moodle). Pour un flux à évacuer de 500 W, quelle température T_s atteint-on ?
5. Pour $T_s = 100^\circ\text{C}$ (valeur maximale tolérée), tracer la courbe donnant le flux évacué en fonction du débit d'eau (limité à 1 kg/s).

2 Dimensionnement de l'échangeur thermique, étude de performances

1 Dimensionnement

On s'intéresse ici au dimensionnement de l'échangeur de chaleur chargé d'évacuer une puissance thermique de 4 kW vers un circuit extérieur. On va étudier deux types d'échangeurs de chaleur. Le premier est constitué d'un circuit de circulation coaxiale à contre-courant des fluides qui échangent la chaleur. Le second est un échangeur dans lequel l'eau à refroidir circule à travers un faisceau de tubes eux-mêmes parcourus par le fluide de refroidissement qui sera de l'eau. Il s'agira de comparer les deux technologies. Dans chacune de ces géométries on notera T_{he} et T_{hs} les températures du fluide à refroidir (hot) en entrée et en sortie de l'échangeur, et T_{ce} et T_{cs} les températures du fluide de refroidissement (cold) en entrée et en sortie de l'échangeur. Le

débit total d'eau à refroidir \dot{m}_h a été fixé dans la première partie égal à 1 kg/s. Le circuit de refroidissement est caractérisé par la température de l'eau disponible $T_{ce} = 15^\circ\text{C}$ et par le débit disponible $\dot{m}_c = 0,3 \text{ kg/s}$.

1.1 Calcul analytique en géométrie coaxiale

L'échangeur est un tube coaxial dans lequel les fluides circulent à contre-courant. Le liquide à refroidir circule dans le cylindre intérieur de diamètre $d_i = 2 \text{ cm}$. Le liquide de refroidissement circule dans l'espace annulaire compris entre le cylindre intérieur et un cylindre extérieur de diamètre $d_o = 2,5 \text{ cm}$. La paroi entre les deux fluides est mince et bonne conductrice du point de vue thermique.

Calcul du coefficient d'échange global :

1. Calculer le nombre de Reynolds dans chacun des circuits. Quelle est la nature de ces écoulements ?
2. Quelle corrélation utiliser pour calculer le coefficient d'échange convectif à la surface du tube central côté fluide chaud h_i ? Donner la valeur numérique de h_i .
3. Quelle corrélation utiliser pour calculer le coefficient d'échange convectif à la surface du tube central côté fluide froid h_o ? Calculer h_o et vérifier qu'il est de l'ordre de $10000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.
4. En déduire le coefficient d'échange global U .

Calcul de la surface d'échange :

On cherche maintenant à calculer la valeur de la surface d'échange A nécessaire à l'échange de toute la puissance thermique à évacuer.

5. Que vaut le flux de chaleur échangé entre les deux fluides (noté q) ? Que valent les températures T_{he} , T_{hs} , T_{cs} ?
6. Calculer la valeur de la surface d'échange A par la méthode LMTD.
7. En déduire la longueur nécessaire des tubes coaxiaux notée L .

1.2 Réseau de tube : exploitation des tables

L'échangeur est constitué par un écoulement de l'eau à refroidir au travers d'un faisceau de $N = 20$ tubes de diamètre $d = 3,5 \text{ mm}$ disposés suivant un alignement régulier perpendiculairement au courant d'eau à refroidir (voir figure 2). A l'intérieur de ces N tubes circule l'eau de refroidissement. La paroi des tubes est mince et bonne conductrice thermique. Les tubes sont disposés dans une boîte compacte de section $3,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ perpendiculaire à l'écoulement à refroidir. Les axes des tubes sont espacés de $\ell = 5,3 \text{ mm}$.

Calcul du coefficient d'échange global :

1. Quelle corrélation utiliser pour calculer le coefficient d'échange convectif à la surface externe d'un tube h_o ? Donner la valeur numérique de h_o .
2. Quelle corrélation utiliser pour calculer le coefficient d'échange convectif à la surface interne d'un tube h_i ? Donner la valeur numérique de h_i .
3. En déduire le coefficient d'échange global U .

Calcul de la surface d'échange

On cherche maintenant à calculer la valeur de la surface d'échange A nécessaire à l'échange de toute la puissance thermique à évacuer.

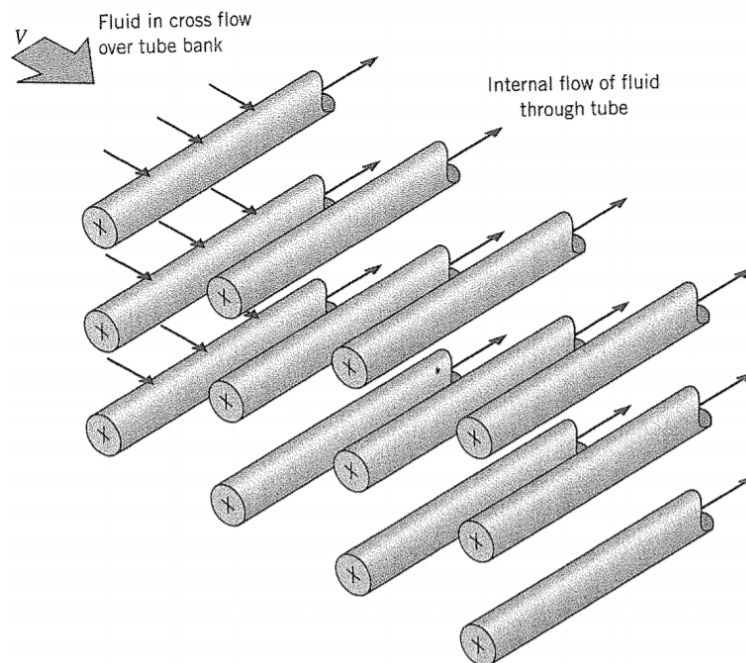


FIGURE 2 – Schéma de la disposition des tubes de l'échangeur.

4. Calculer la valeur de la surface d'échange A par la méthode LMTD.
5. En déduire la longueur nécessaire des tubes notée L .
6. Comparer en terme d'encombrement les deux géométries d'échangeurs thermiques étudiées.

2 Étude des performances

Pour l'échangeur constitué d'un réseau de tubes on va évaluer comment les performances de l'échangeur sont affectées lorsque l'état de surface des tubes évolue en raison d'un encrassement, ou lorsqu'une des conditions d'entrée est changée.

1. Après un temps d'utilisation important, des dépôts se forment sur les parois externes et internes des tubes d'échange. Ils introduisent un facteur de résistance aux transferts thermiques $R_w = 3 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Estimer la puissance thermique que l'on peut alors échanger si l'on conserve les débits inchangés.
2. En prenant toujours en compte cet effet des dépôts, déterminer le débit d'eau de refroidissement nécessaire pour évacuer le flux thermique nominal.
3. Si l'on augmente le débit de refroidissement de 10% que vaut la température de sortie de l'eau de refroidissement ?
4. Si l'on prend maintenant 90% du débit de refroidissement comment va évoluer la température de l'eau du circuit principal à refroidir ?

3 Puissance de la pompe

1. Faire un schéma du circuit hydraulique et localiser les pertes de charges singulières.

2. Calculer la perte de charge totale.
3. Calculer la puissance nécessaire de la pompe à partir de la prise en compte des différentes pertes de charge, linéiques et singulières, qu'on retrouve dans chacun des éléments du circuit de refroidissement.