

ECHANGEUR THERMIQUE

Dans ce problème, on se propose de dimensionner l'échangeur thermique {eau de mer/eau douce} prévu pour le refroidissement d'un moteur de bateau. Le bloc moteur cède de la chaleur à l'eau douce. Le refroidissement de l'eau douce (fluide chaud) est alors assuré par un faisceau de tubes en cupro-nickel parcourus par de l'eau de mer (fluide froid). Deux pompes assurent une circulation des fluides à contre-courant.

Principe de fonctionnement

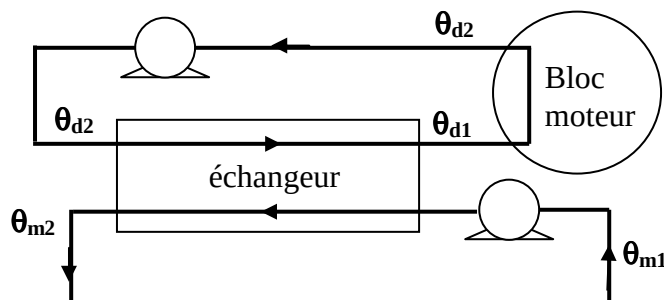
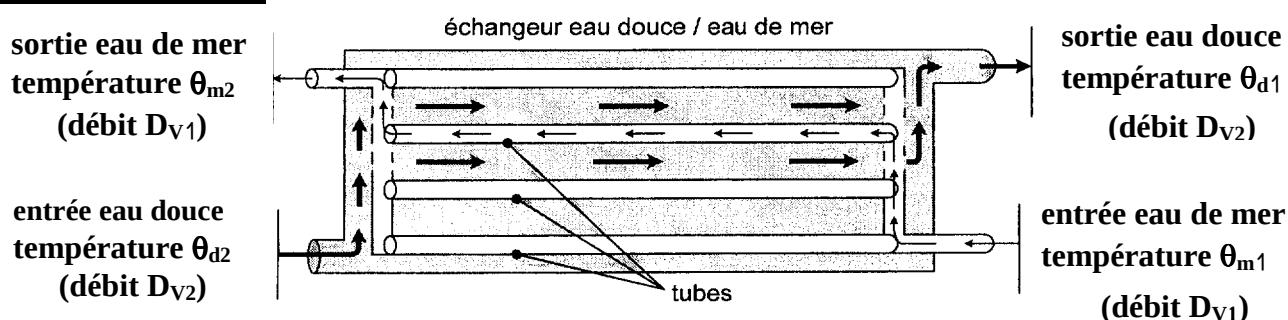


Schéma de l'échangeur



Le constructeur du moteur recommande des températures d'eau douce de $\theta_{d1} = 65^\circ\text{C}$ à l'entrée du moteur et $\theta_{d2} = 80^\circ\text{C}$ à la sortie.

La température prévue d'eau de mer à l'entrée de l'échangeur est de $\theta_{m1} = 30^\circ\text{C}$. On note θ_{m2} la température de l'eau de mer à la sortie de l'échangeur. Les débits D_{V1} et D_{V2} sont des débits volumiques.

Compte tenu des faibles écarts de températures mis en jeu dans ce problème, les capacités thermiques massiques et les masses volumiques des fluides seront considérées comme constantes.

On donne :

- $C_p = 4\,180\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, la capacité thermique massique à pression constante de l'eau douce et de l'eau de mer
- $\rho = 1\,000\text{ kg.m}^{-3}$, la masse volumique de l'eau douce et de l'eau de mer.

L'échangeur est supposé parfaitement calorifugé et on néglige toutes les pertes thermiques.

BILAN THERMIQUE

1.1 Le débit volumique de l'eau douce prévu est $D_{V2} = 2,6\text{ m}^3/\text{h}$. En déduire la puissance thermique P de l'échangeur (P est la puissance thermique cédée par l'eau douce).

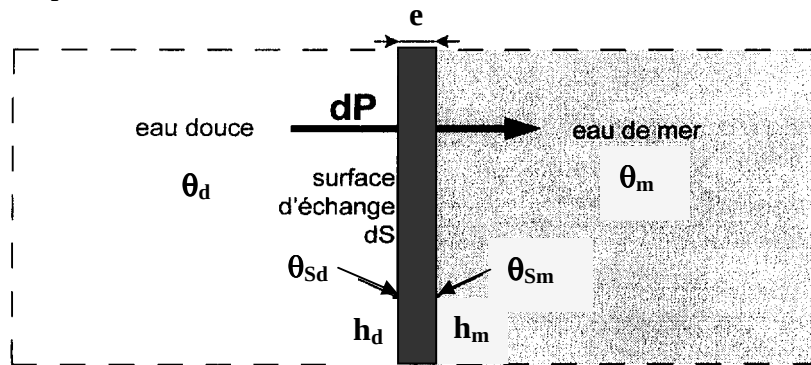
1.2. L'eau de mer à la sortie de l'échangeur ne doit pas dépasser $\theta_{m2} = 40^\circ\text{C}$ pour limiter l'entartrage des tubes. En déduire le débit volumique minimum D_{V1} de l'eau de mer. L'exprimer en unités SI puis en $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$.

Compte tenu de l'encrassement, on surdimensionne l'échangeur de façon à ce que $P = 50\text{ kW}$ (valeur que l'on conservera dans la suite du problème).

Les tubes en cupro-nickel sont tous identiques et on désigne par :

- e : l'épaisseur du métal ;
- dS : un élément de la surface d'échange d'un tube calculée sur son rayon moyen ;
- λ : la conductivité thermique du métal ;
- h_d : le coefficient de convection thermique entre l'eau douce et le métal ;
- h_m : le coefficient de convection thermique entre l'eau de mer et le métal ;
- θ_d : la température de l'eau douce.
- θ_{sd} : la température de la surface d'échange métal/eau douce ;
- θ_m : la température de l'eau de mer ;
- θ_{sm} : la température de la surface d'échange métal/eau de mer ;

Le rayonnement mutuel est négligé au vu des faibles écarts de température. On assimilera la surface d'échange dS à une paroi équivalente plane :



1.3. En régime permanent, exprimer de 3 manières la puissance thermique dP transmise à travers la surface d'échange dS.

1.4. On définit le coefficient global d'échange k entre l'eau de mer et l'eau douce par la relation :

$$dP = k dS (\theta_d - \theta_m)$$

où : dP est la puissance thermique à travers dS.

θ_d la température de l'eau douce

θ_m la température de l'eau de mer

Montrer que le coefficient global d'échange peut s'exprimer sous la forme :

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{h_d} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_m}$$

On considèrera par la suite le coefficient global d'échange k constant le long des tubes de l'échangeur

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'ÉCHANGEUR

En tenant compte de la géométrie cylindrique des tuyaux de l'échangeur la puissance thermique P de l'échangeur est donnée par la relation :

$$P = k S \Delta\theta_{m\ell}$$

avec S la surface totale d'échange de l'échangeur et $\Delta\theta_{m\ell} = \frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\ln \frac{\Delta\theta_2}{\Delta\theta_1}}$

$\Delta\theta_{m\ell}$ est la moyenne logarithmique des écarts de température des deux fluides aux extrémités du tube.

On donne :

$$P = 50 \text{ kW} ; \theta_{d1} = 65^\circ \text{C} ; \theta_{m1} = 30^\circ \text{C} ; \theta_{d2} = 80^\circ \text{C} ; \theta_{m2} = 40^\circ \text{C} ;$$

$$\lambda = 300 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} ; h_d = h_m = 5000 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1} ; e = 2 \text{ mm}.$$

1.5. Calculer $\Delta\theta_{m\ell}$, la valeur du coefficient k puis celle de la surface totale d'échange S nécessaire à l'échangeur.

1.6. La longueur et le rayon moyen d'un tube sont respectivement L = 400 mm et R = 6 mm. Estimer le nombre de tube nécessaire à l'échangeur.

1.7. Calculer l'efficacité thermique E de cet échangeur définie par le rapport : $E = \frac{P}{P_{\max}}$ où $P_{\max}$ représente le flux thermique maximum (correspondant à l'écart de température le plus grand possible $\Delta T_{\max}$).