

ET3

Maîtrise de Mécanique. Travaux pratiques de Transferts thermiques. Manipulation "BANC D'ECHANGEURS"

Un brin de théorie sur les échangeurs

Rien n'est plus simple qu'un échangeur : deux fluides 1 et 2 circulent dans l'appareil, dans des circuits séparés par des plaques, au travers desquelles ils échangent de la chaleur, essentiellement par convection dans les fluides. On distingue les échangeurs à **co-courant** (les deux fluides circulent parallèlement et dans le même sens dans l'appareil) et les échangeurs à **contre-courant** (les deux fluides circulent en sens contraire).

Un débit massique m (kg s^{-1}) transporte avec lui une quantité de chaleur mCT (W), C ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) étant la chaleur massique. En régime stationnaire, et en faisant abstraction de tout échange avec l'ambiance et de la dissipation d'énergie hydraulique dans l'appareil, la puissance échangée Q (W) s'écrit donc :

$$Q = \eta m_1 C_1 (T_1^E - T_1^S) = m_2 C_2 (T_2^S - T_2^E) \quad (1)$$

où les indices E et S indiquent l'entrée et la sortie du fluide. (η rendement échangeur)

Dans le cas qui nous intéresse, les deux fluides sont de l'eau ($C_1=C_2$), l'indice 1 est réservé au circuit d'eau "chaude" l'indice 2 au circuit d'eau "froide". Pourquoi les guillemets ? Parce que si vous avez de la chance, vous obtiendrez parfois de l'eau chaude plus froide que la froide.

On montre que le flux maximum qui peut être échangé est contrôlé par celui des deux écoulements qui a le plus faible débit calorifique $m_m C_m$ (indice $m = 1$ ou 2 selon le cas):

$$Q_{\max} = m_m C_m (T_1^E - T_2^E) \quad (2)$$

L'efficacité d'un échangeur réel est donc mesurée par rapport à cette référence:

$$E = Q / Q_{\max} < 1 \quad (3)$$

L'efficacité dépend de la surface d'échange qui sépare les deux écoulements, S , et de la qualité du transfert convectif au sein des écoulements. Celle-ci dépend de divers facteurs géométriques, thermiques et hydrauliques. Elle est caractérisée par un coefficient d'échange global H ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$). L'efficacité se calcule alors de la façon suivante. On définit le rapport des débits calorifiques, r , et le **nombre d'unités de transfert** (Nut , adimensionnel):

$$r = (m_2 C_2) / (m_1 C_1) \text{ ou } r = (m_1 C_1) / (m_2 C_2) \text{ selon le cas, } r \text{ étant inférieur à 1.}$$

$$Nut = HS / m_m C_m \quad (4)$$

L'efficacité est alors:

$$\text{co-courant : } E = \frac{1 - \exp[-(1+r) Nut]}{1+r} \quad \text{contre-courant : } E = \frac{1 - \exp[-(1-r) Nut]}{1 - r \exp[-(1-r) Nut]} \quad (5)$$

Notez que l'efficacité d'un appareil contre-courant peut atteindre 1 si Nut est infini, tandis que c'est exclu pour un échangeur co-courant.

Le dispositif expérimental et l'acquisition des données

Le circuit (fig.1) comporte deux échangeurs, à gauche un appareil de marque *Alfa-Laval*, à droite un appareil de marque *Vicarb*. L'eau **chaude (circuit orange)** circule dans un circuit fermé muni d'une capacité et de résistances. L'eau **froide (circuit bleu)** vient du robinet et va à l'égout.

Le chauffage de l'eau chaude est assuré par une résistance commandée par un thermostat et deux résistances complémentaires commandées manuellement par deux interrupteurs au tableau de bord. Les résistances complémentaires, l'une ou les deux, sont nécessaires pour obtenir une température d'entrée de l'eau chaude suffisante, quand la puissance consommée dans les échangeurs est grande. Dans le cas contraire, leur mise en fonction entraîne une surchauffe qui fait disjoncter l'installation. Incident sans gravité, mais qui fait perdre du temps. Surveillez donc à l'écran la température d'eau chaude (thermocouple 3) et *coupez l'une des résistances complémentaires, ou les deux si elles ne sont pas nécessaires.*

Trois vannes quatre voies (4,5,6) contrôlent la circulation dans le circuit froid et permettent de réaliser les **8 configurations** de la figure 2. Remarquez que le circuit d'eau chaude est invariable, *la vanne 12 n'a donc pas à être manoeuvrée.* Les vannes 3 et 11 permettent de régler le débit des deux circuits, m_1 (chaud) et m_2 (froid). Ces débits sont mesurés par deux **rotamètres**.

Huit températures, T_1, T_2, \dots, T_8 sont mesurées par des thermocouples aux points numérotés sur la fig. 2. Elles jouent, selon les configurations, le rôle de T_1^E, T_2^E, \dots pour chacun des échangeurs. Ne vous mélangez pas les pinces au dépouillement !

Le signal délivré par ces thermocouples est traité par un ampli et un micro-ordinateur "Texas" (la boîte bleue) puis transmis au micro-ordinateur M24 qui pilote l'acquisition et à partir duquel vous transmettez vos desiderata grâce au programme ACQECH.

Ce programme comporte au menu les fonctions suivantes:

- (A) **Accès** au "Texas" et remise à zéro. Obéissez aux ordres qui s'affichent.
- (C) **Chargement** du programme d'acquisition.

En général, ces deux opérations indispensables pour travailler on déjà été faites quand vous arrivez en salle de TP. Vous n'aurez donc à les refaire que si, au cours de la manipulation, le programme se plante.

(R) **Réception** des signaux et visualisation graphique en temps réel. Le M24 vous demandera la période d'acquisition (choisir 1 s) et les paramètres du graphique. Vous pouvez modifier à tout moment ces paramètres en retournant au menu.

(I) **Initialisation.** Le M24 lit les signaux des différents thermocouples et les enregistre en tant que référence. A partir de là, toutes les températures affichées sur l'écran seront définies par rapport à la référence. Pour procéder à l'initialisation, *débrancher au préalable du tableau de commande la fiche mâle qui amène le signal des thermocouples et les mettre en court-circuit au moyen de la fiche femelle accrochée à proximité.*

Les autres fonctions du programme ne sont pas utilisées.

Essais et interprétation

1) Efficacité des deux échangeurs

Le but est d'étudier l'efficacité de chacun des deux échangeurs en fonction du rapport r des débits calorifiques (en l'occurrence, il s'agit du rapport des débits volumiques). On conservera le débit d'eau chaude m_1 constant et on fera varier le débit d'eau froide m_2 . On conseille la valeur de 300 l/h pour l'eau chaude, afin d'obtenir un temps de réponse assez court.

Placez-vous en configuration I (fig.2) pour étudier le fonctionnement à co-courant pour les deux échangeurs. Pour 4 ou 5 valeurs de m_2 , réajuster au besoin la valeur de m_1 , attendre le fonctionnement stationnaire de l'installation (toutes températures constantes à l'écran) et relever alors les 8 températures.

Placez-vous en configuration VIII, et faites de même pour le fonctionnement à contre-courant des deux échangeurs.

Exploitation des résultats

a) Bilan et efficacité.

Vérifiez-vous l'égalité des deux valeurs de Q données par la formule (1)? Sinon, prenez la moyenne. Calculer l'efficacité au moyen des formules (2) et (3). Présenter les résultats, pour chaque échangeur fonctionnant à co-courant et à contre courant, sous la forme d'un graphique $E = f(r)$ à m_1 constant.

b) Estimation du coefficient d'échange global

Calculer le Nut à partir de l'efficacité qui vient d'être calculée, au moyen de l'une des formules (5). En déduire le coefficient d'échange expérimental H . Les surfaces d'échange S sont respectivement : Alfa-Laval: $5 \times 0,05 \text{ m}^2$ Vicarb: $5 \times 0,043 \text{ m}^2$

Une formule empirique de convection que vous apprendrez bien assez tôt permet d'estimer par ailleurs le coefficient d'échange en fonction, notamment du nombre de Reynolds des deux écoulements. H résulte des transferts convectifs en série dans les deux écoulements:

$$\frac{1}{H} = \frac{A_1}{m_1^{0,8}} + \frac{A_2}{m_2^{0,8}}$$

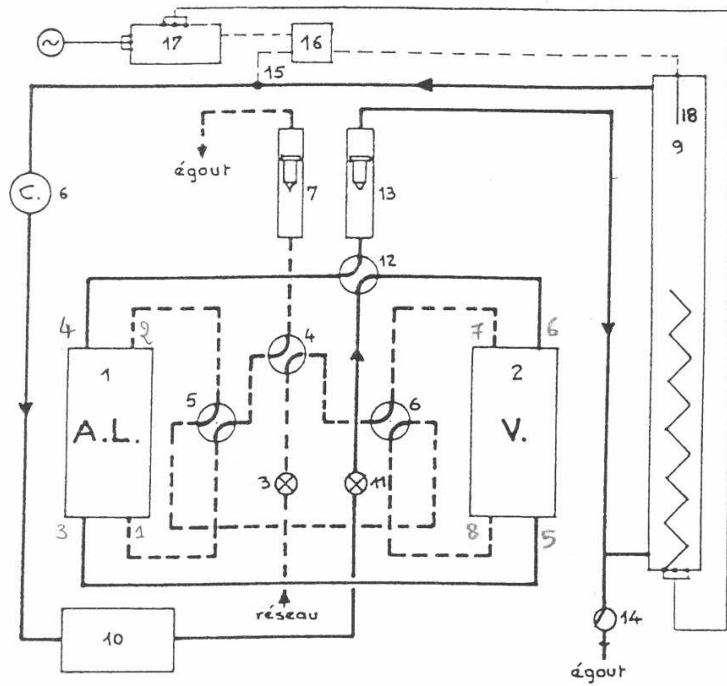
Dans le cas présent les constantes A_1 et A_2 sont égales. Au moyen d'un graphique approprié, testez la validité de cette loi.

2) Associations d'échangeurs

Pour des débits m_1 et m_2 fixés (à réajuster éventuellement à chaque manœuvre), essayez toutes les configurations de la figure 2.

Calculer dans chaque cas, au moyen de la formule (1), la puissance échangée dans chacun des appareils et la puissance totale échangée. Classez les différentes configurations dans l'ordre de mérite du point de vue de la puissance totale. Ce classement est-il à votre avis généralisable à tous les débits? Montrez en particulier que lorsque les deux fluides entrent par le même appareil, l'échangeur aval est dans certains cas inutile, voire nuisible: avez-vous rencontré le gag signalé plus haut de l'eau froide qui réchauffe l'eau chaude?

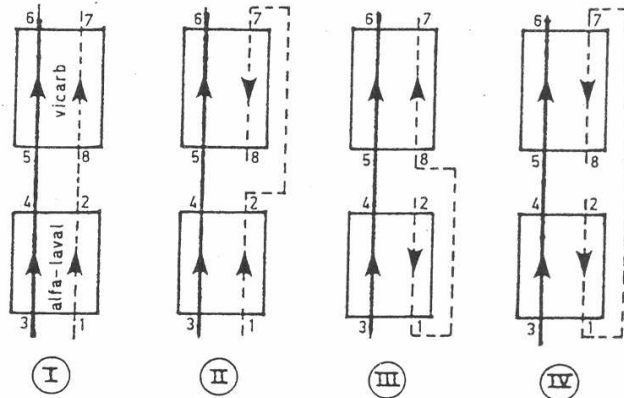
VIII



- 4, 5, 6 : Vannes quatre voies
- 3, 11 : Vannes de contrôle des débits
- eau chaude
- - - eau froide

Figure 1

Les deux fluides entrent par le même échangeur:



les deux fluides entrent par des échangeurs différents:

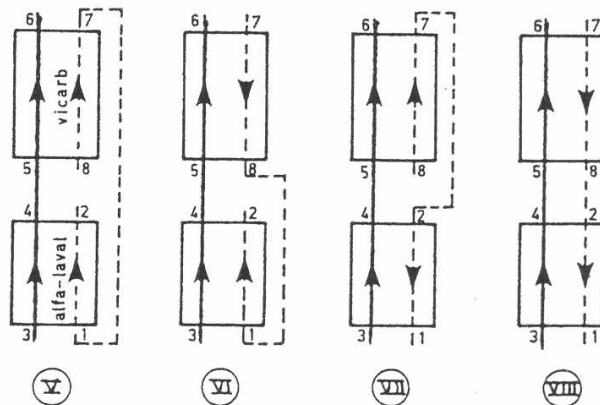


Figure 2

circuit CHAUD —————>

circuit FROID - - - - ->