



Fiche de synthèse n°4

Transferts thermiques et échangeurs

1. Les transferts thermiques

1.1. Les transferts d'énergie :

L'énergie peut être transférée d'un système à un autre. Il existe deux modes de transfert de l'énergie.

Le premier mode de transfert est le **travail d'une force** (collection PCM 1ère). C'est un mode de transfert d'énergie entre deux systèmes qui interagissent **mécaniquement**, c'est-à-dire qu'ils exercent une force l'un sur l'autre. Le travail s'exprime en Joule (J).

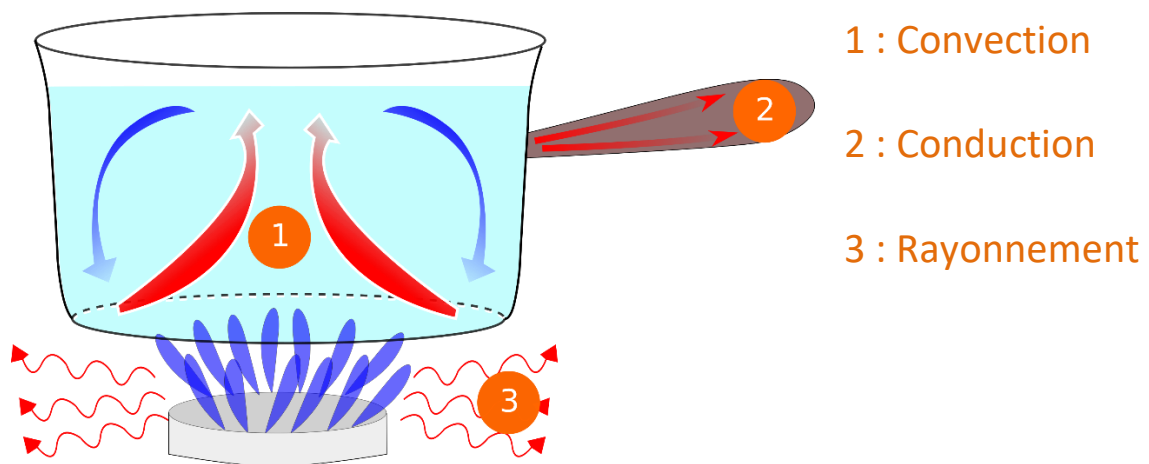
Un transfert d'énergie qui ne résulte pas d'un travail de force est un transfert thermique.

Tout transfert d'énergie, qui n'est pas un travail de force, s'appelle un **transfert thermique**. Le transfert thermique s'exprime aussi en Joule (J).

1.2. Les 3 modes de transfert thermique

Il existe 3 modes de transferts thermiques :

- Convection
- Conduction
- Rayonnement



Les 3 modes de transfert thermique

Le transfert thermique par **conduction** se fait de proche en proche sans déplacement de matière. C'est le seul mode permis dans les solides.



C'est le cas par exemple dans le manche de la casserole. Le transfert thermique se fait de proche en proche de la casserole vers l'extrémité du manche.

Le transfert thermique par **convection** se fait par un déplacement de matière au sein d'un fluide (liquide ou gaz).

Le fluide froid descend car il est moins dense que le fluide chaud qui lui monte. C'est le cas dans l'eau contenue dans la casserole chauffée.

Le transfert thermique par **rayonnement** est réalisé par n'importe quel corps porté à une température donnée.

Les flammes bleues de la gazinière rayonnent. Mais tout corps à une température donnée rayonne.

2. Le cas particulier de la conduction

2.1. Puissance thermique

L'efficacité du transfert thermique dans un solide dépend, entre autres, de sa nature. Certains matériaux sont plus efficaces que d'autres pour transférer rapidement l'énergie. La puissance thermique renseigne sur la rapidité du transfert, elle correspond à la quantité d'énergie transférée en une seconde.

La **puissance thermique** P à travers un matériau est égale au rapport du transfert thermique Q et de la durée correspondante Δt . La puissance thermique s'exprime en Watt (W).

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

2.2. Conductivité thermique d'un matériau

La conductivité thermique d'un matériau caractérise l'efficacité du transfert thermique. Plus la conductivité thermique d'un matériau est importante, plus la puissance thermique transférée à travers ce matériau est grande.

La puissance thermique à travers un matériau est d'autant plus élevée que sa **conductivité thermique** est grande. La conductivité thermique d'un solide est notée λ , son unité est le $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

2.3. Résistance thermique et pouvoir isolant d'un matériau

La **résistance thermique** caractérise l'efficacité du **pouvoir isolant** d'un matériau. Autrement dit, plus la résistance thermique est grande, plus la puissance thermique transférée à travers un matériau est faible. La **résistance thermique** est inversement proportionnelle à la conductivité thermique.

La résistance thermique d'une paroi d'épaisseur e et de surface S est reliée à la conductivité thermique λ par l'équation suivante :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$$



e : épaisseur du matériau (m)

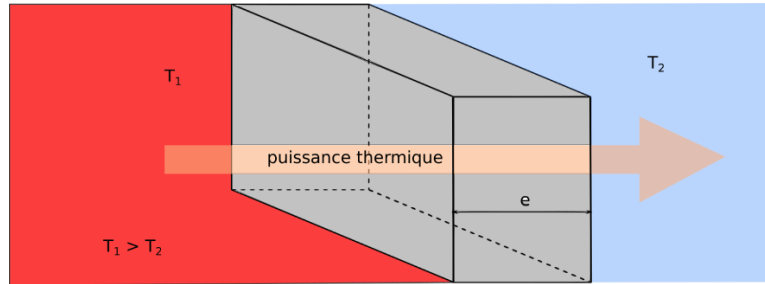
λ : conductivité thermique du matériau ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)

R_{th} : résistance thermique du matériau ($K \cdot W^{-1}$)

S : Surface de la paroi (m^2)

2.4. Puissance thermique échangée à travers une paroi

La puissance thermique transférée à travers une paroi dépend de la résistance thermique de la paroi mais aussi des températures de part et d'autre de la paroi. Le sens du transfert thermique se fait du milieu dont la température est la plus élevée vers le milieu où la température est la plus faible.



Puissance thermique transférée à travers une paroi d'épaisseur e .

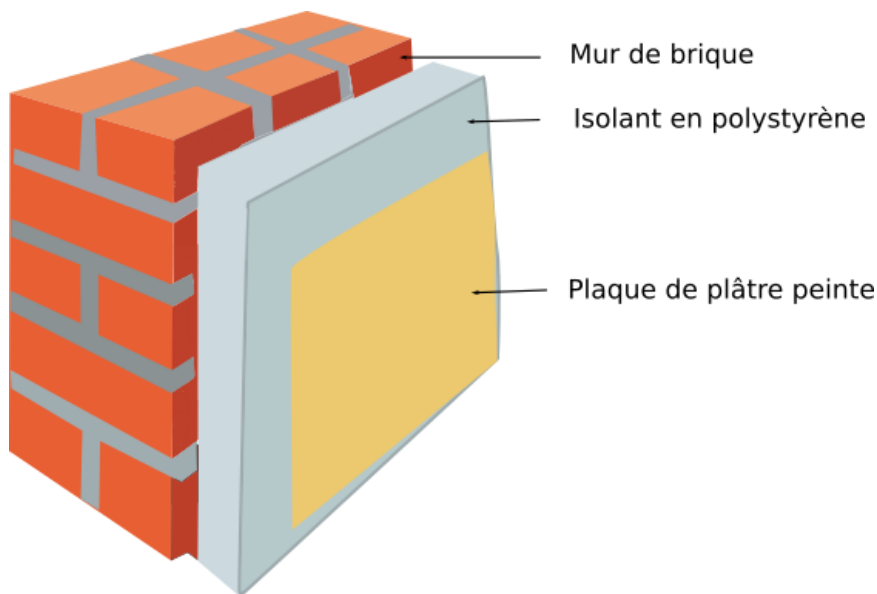
La puissance échangée P à travers une paroi d'aire S est donnée par la relation :

$$P = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{th}}$$

2.5. Résistance thermique d'une paroi constituée de plusieurs matériaux

Pour augmenter le pouvoir isolant d'une paroi, on augmente la résistance thermique en superposant des matériaux de résistance thermique élevée.

La résistance thermique globale d'une paroi plane constituée de la superposition de plusieurs matériaux plans de résistances thermiques différentes est égale à la somme de ces résistances thermiques.



Isolation d'un mur

Dans le cas de l'isolation d'un mur on superpose aux éléments de maçonnerie (parpaing, briques...) un isolant, et une plaque de plâtre peinte pour la finition.

Chaque élément a une résistance thermique :

- R_m pour la paroi maçonnée
- R_i pour la paroi isolante
- R_f pour la paroi de finition

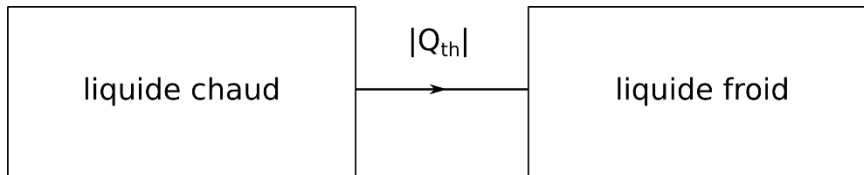
Dans ce cas, la résistance globale de la paroi constituée des 3 matériaux est :

$$R_{th,global} = R_{th,m} + R_{th,i} + R_{th,f}$$

3. Les échangeurs thermiques

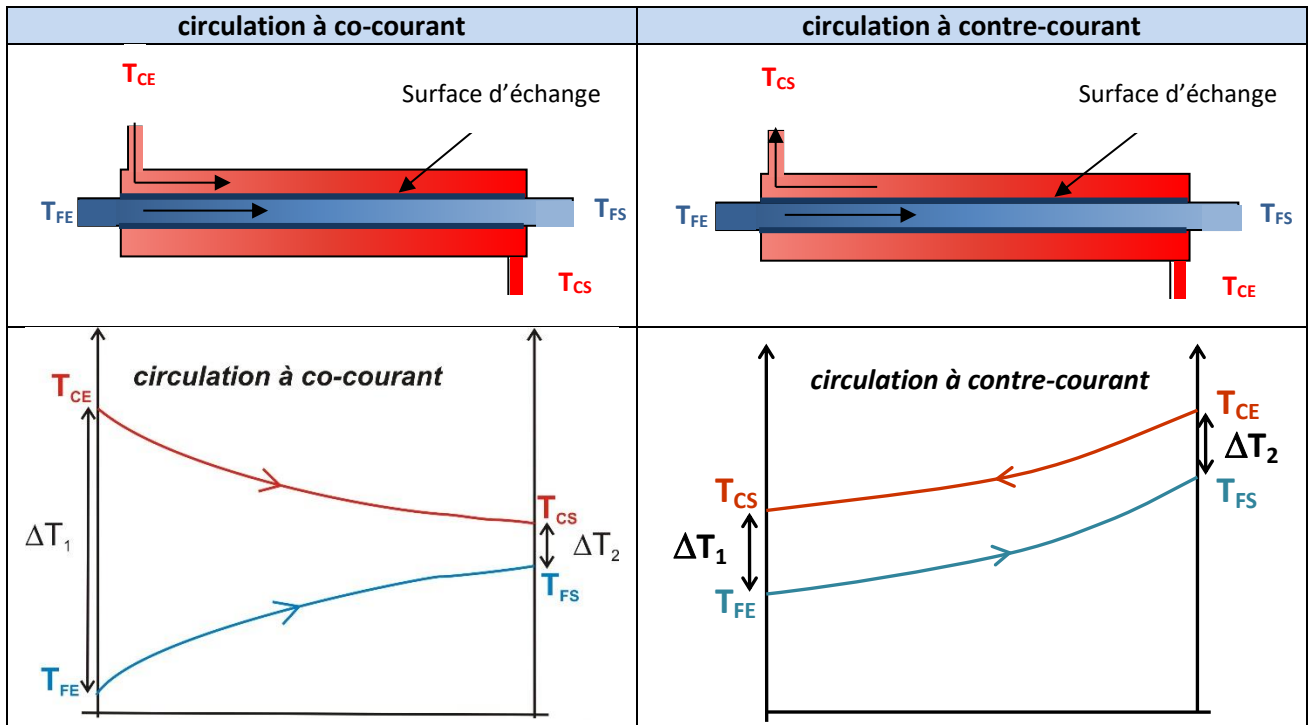
3.1. Fonction

Un échangeur thermique est un appareil permettant de transférer thermique d'un liquide « chaud » à un liquide « froid » à travers une paroi sans contact direct entre les deux liquides.



3.2. Description

L'échange thermique a lieu par l'intermédiaire d'une paroi séparant les deux liquides. L'échangeur thermique le plus simple est constitué par deux tubes cylindriques concentriques dans lesquels le liquide chaud et le liquide froid circulent. La circulation s'effectue selon deux possibilités : circulation à co-courant ou circulation à contre-courant.



Echangeurs à co-courant et contre-courant



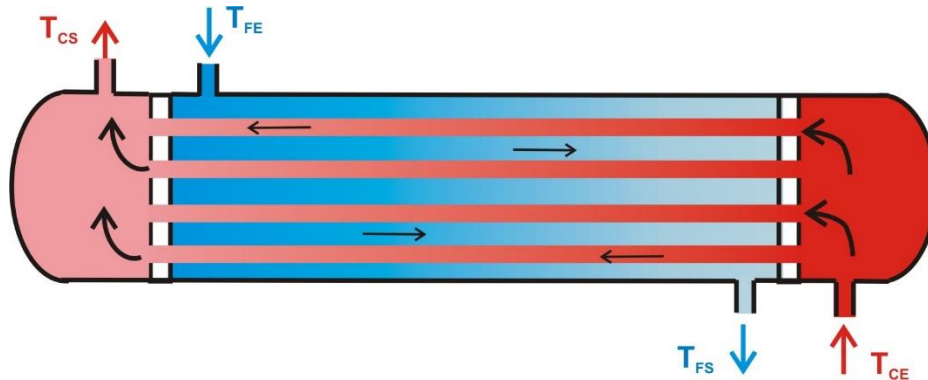
Tout au long de l'échangeur, l'échange thermique a lieu entre les deux liquides dont les températures varient selon la position considérée le long de l'échangeur.

Les températures d'entrée et de sortie de l'échangeur pour le liquide froid sont T_{FE} et T_{FS} .

Les températures d'entrée et de sortie de l'échangeur pour le liquide chaud sont T_{CE} et T_{CS} .

Comme la différence de températures entre les liquides n'est pas constante, on définit l'écart de température moyen ΔT_m entre les deux liquides.

Un échangeur tubulaire industriel comporte un faisceau de tubes dans lesquels circule un des deux liquides. Autour des tubes, l'autre liquide circule dans la calandre. Il peut être représenté à l'aide du schéma suivant.



Outil de calcul de l'écart de température moyen ΔT_m entre les deux liquides

Ce calcul intervient dans la détermination des surfaces d'échange nécessaires pour les échangeurs. Cet écart se calcule selon deux expressions possibles où interviennent les différences de températures aux deux extrémités de l'échangeur ΔT_1 et ΔT_2 .

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

3.3. Puissance thermique transférée dans un échangeur

Dans un échangeur, la puissance thermique transférée P_{trans} (également nommée le flux thermique) entre les deux liquides est la quantité d'énergie échangée par transfert thermique par unité de temps. Elle s'exprime par la relation suivante :

$$P_{trans} = U \cdot S \cdot \Delta T_m$$

P_{trans} s'exprime en watts.

U est le coefficient global d'échange. Il peut s'exprimer en $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$ et dépend essentiellement du matériau et de la géométrie de l'échangeur, de la nature et du débit massique des liquides circulant.

ΔT_m s'exprime en $^\circ C$.

S est la surface d'échange entre les deux liquides, exprimée en m^2 : il s'agit de la surface totale des tubes intérieurs pour l'échangeur du schéma précédent.



4. Bilan thermique dans un échangeur

4.1. Puissance thermique échangée par un liquide

La puissance thermique du liquide chaud P_C est la quantité d'énergie cédée par ce liquide en une unité de temps.

La puissance thermique du liquide froid P_F est la quantité d'énergie reçue par ce liquide en une unité de temps.

La puissance thermique cédée P_C et la puissance thermique reçue P_F s'expriment ainsi :

$$P_C = Q_{mC} \cdot C_C \cdot (T_{CS} - T_{CE})$$

$$P_F = Q_{mF} \cdot C_F \cdot (T_{FS} - T_{FE})$$

Q_{mC} et Q_{mF} sont les débits massiques du liquide chaud et du liquide froid exprimés en $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

C_C et C_F sont les capacités thermiques massiques du liquide chaud et du liquide froid exprimées en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$.

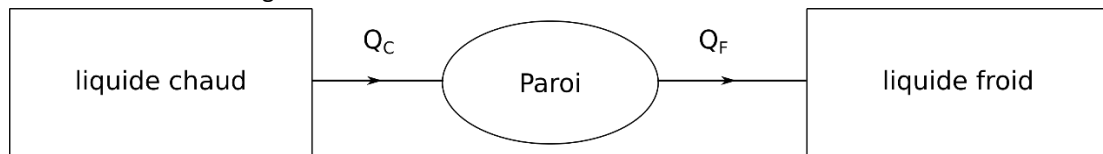
$$T_{CS} < T_{CE} \text{ donc } P_C < 0$$

$$T_{FS} > T_{FE} \text{ donc } P_F > 0$$

4.2. Cas d'un échangeur fonctionnant avec des pertes thermiques négligeables

La puissance thermique du liquide chaud P_C est transmise au liquide froid qui reçoit donc la puissance thermique P_F .

Si les pertes thermiques de l'échangeur avec l'extérieur peuvent être considérées comme négligeables, alors on peut représenter les transferts d'énergie de la manière suivante :



Transferts thermiques à travers la paroi d'un échangeur

On peut donc écrire la relation :

$$|Q_C| = Q_F$$

Il vient donc :

$$|P_C| = P_F$$

Dans ce cas, cette relation peut également s'écrire sous la forme du bilan thermique suivant : $P_C + P_F = 0$

La puissance thermique reçue par le liquide froid P_F est également celle transférée dans l'échangeur :

$$P_{trans} = P_F$$

On en déduit alors :

$$P_{trans} = |P_C| = P_F$$