

Échange et Transfert Thermique

Il faut se rappeler que la chaleur, spontanément, se propage d'un milieu chaud vers un milieu relativement plus froid jusqu'à ce que l'équilibre thermique mutuel entre les deux milieux soit obtenu ; c'est le **principe zéro** de la thermodynamique sur lequel le mode opératoire des échangeurs thermiques est principalement basé (réalisation de l'équilibre thermique).

Un échangeur thermique est un appareil conçu pour transférer de la chaleur entre deux fluides matériellement séparés.

A l'intérieur du système fluide A/C circule, ou évolue de manière cyclique, un seul fluide frigorigène, le R134a.

Extérieurement au circuit de fluide frigorigène, deux flux d'air sont aussi impliqués à l'apport et à l'évacuation de chaleur à l'échangeur.

Un flux d'air à refroidir qui est véhiculé par le pulseur transfère de la chaleur au frigorigène de l'évaporation. Le GMV véhicule un autre flux d'air de refroidissement du frigorigène au condenseur.

Par la nature d'échange thermique, le flux d'air sortant de l'évaporateur devient froid, tandis que le flux d'air sortant du condenseur devient chaud.

A l'amont de l'échangeur thermique, la charge thermique d'air est en général caractérisée par

- le débit massique ou volumique exprimé en kg/h ou en m³/h,
- l'humidité relative exprimée en %
- et la température sèche en °C.

La quantité de frigorigène et d'huile contenue dans le circuit constituent la charge en frigorigène et en huile (en g ou en kg) du système.

1.1.1.1.Échangeurs thermiques et machines frigorifiques

Au sens thermodynamique, une source de chaleur (thermostat) est un système idéal capable d'absorber ou de céder de la chaleur en quantité aussi grande qu'on le désire, sans que sa température varie.

Dans un système thermique, une source de chaleur peut être considérée comme une source chaude ou froide selon le niveau de température et le sens d'écoulement de la chaleur.

Une source chaude est caractérisée par le niveau de température le plus élevé ; tandis, qu'une source froide est caractérisée par le niveau de température le plus bas. De ce fait, une source chaude est capable de fournir de la chaleur; au contraire, une source froide en absorbe.

La convention habituelle utilisée pour dénommer une machine frigorifique ou thermique est la suivante :

- on cite, en premier, la source froide ou l'échangeur, évaporateur, qui absorbe de la chaleur au milieu extérieur
- et on cite, en second, la source chaude ou l'échangeur, le condenseur, qui cède de la chaleur au milieu extérieur.

En résumé, les machines frigorifiques ou thermiques sont dénommées par les termes :

- source froide (évaporateur)
- et source chaude (condenseur).

Par exemple, une Pompe À Chaleur (PAC) eau / air absorbe de la chaleur à l'eau et cède de la chaleur à l'air ; autrement dit, l'évaporateur est de type à eau et le condenseur est de type à air. D'autres exemples sont possibles :

POMPE À CHALEUR TYPE	SOURCE FROIDE ÉVAPORATEUR	SOURCE CHAUDE CONDENSEUR
air / air	air	air
air / eau	air	eau
eau / air	eau	air
eau / eau	eau	eau
sol / air	sol	air
sol / eau	sol	eau

Dans le domaine automobile, les machines sont, en général, de type air / air.

1.1.1.2. Classifications des échangeurs de chaleur

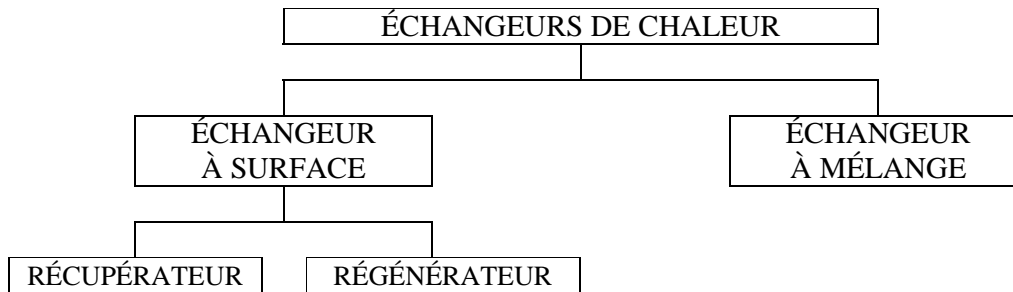
Un échangeur de chaleur (échangeur thermique) est un appareil conçu pour transférer de la chaleur entre deux milieux / fluides matériellement séparés.

Selon le principe de fonctionnement, les échangeurs sont classés en deux familles, c'est-à-dire :

- les appareils à surface d'échange
- et les appareils à mélange de fluides

Les appareils à surface d'échange sont destinés à transmettre la chaleur résiduelle et accumulée dans la paroi séparatrice (ou matériau) entre le fluide chauffé et le fluide chauffant. Par définition, un mélange est l'association de plusieurs substances dont les propriétés physiques sont une juxtaposition des propriétés des différents constituants (par opposition à la combinaison chimique). Les appareils à mélange ne font pas intervenir des matériaux ou surfaces d'échange de chaleur car cet échange entre le fluide chauffé et le fluide chauffant se réalise simultanément en direct. Le principe de fonctionnement de ces échangeurs est basé sur l'échange de chaleur par brassage direct des fluides (caloporteur – frigoporteur) : la chaleur est alors transmise simultanément avec l'échange de masse entre les fluides. On peut citer les échangeurs à mélange suivants :

- condenseurs,
- épurateurs de gaz,
- boîtier de mixage d'un ACV/AFV (mélange d'air neuf et d'air recirculé)



* Dans les récupérateurs, la chaleur est transmise par la paroi qui sépare les fluides chauffé et chauffant se déplaçant simultanément.

Ils présentent de nombreux avantages grâce à leur herméticité et à leur possibilité de fonctionner sous des hauts écarts de pression, introduits par la paroi séparatrice, entre les fluides chauffé et chauffant.

Ex : condenseur à surface

évaporateur

chaudière à vapeur

échangeur liquide - vapeur

* Dans les régénérateurs, le transport thermique peut se faire par accumulation de chaleur dans un matériau adéquat au travers duquel passent alternativement un fluide chaud et un fluide à réchauffer ; ainsi, à tour de rôle, la même surface d'échange est baignée par le fluide

chauffant et le fluide chauffé. La chaleur fournie par le fluide chauffant lors de son déplacement et accumulée dans la surface d'échange est restituée au fluide chauffé lors de son écoulement ultérieur.

Ex : échangeurs d'air spéciaux

échangeurs d'air des hauts fourneaux

Dans la technique de conditionnement d'air automobile, les deux familles, à surface de récupération et à mélange, sont couramment utilisées ; on trouve principalement les échangeurs suivants :

- le condenseur,
- l'évaporateur,
- le radiateur de refroidissement moteur thermique auquel est associé
- le radiateur de chauffage.

1.1.1.3. Modes de transfert thermique

Un corps peut paraître plus ou moins chaud suivant la sensation tactile. Les sensations et les constatations tactiles seules ne peuvent, évidemment, conduire à des résultats satisfaisants n'étant pas reproductibles et étant ambigus.

La température caractérise le niveau auquel se situe l'intensité de l'agitation moléculaire (chaleur) ou l'état thermique du corps.

PRINCIPE ZÉRO DE LA THERMODYNAMIQUE

Lorsque l'on met en contact une première barre de fer, désignée comme le corps froid, avec une autre barre désignée comme étant le corps chaud, on constate au bout d'un certain temps les phénomènes suivants :

- le corps froid se dilate en s'échauffant,
- le corps chaud se contracte en se refroidissant
- l'échange de chaleur entre les deux corps ne s'arrête que lorsque les deux corps atteignent l'équilibre thermique, c'est-à-dire à, température de corps identique

Nota : le transfert spontané de chaleur d'un corps froid vers un corps chaud n'est de façon naturelle pas possible.

Le principe zéro de la thermodynamique dit que :

- "Deux corps mis en contact prolongé se mettent en équilibre thermique.
- Deux corps en équilibre thermique avec un même troisième corps sont aussi en équilibre thermique entre eux"

L'énergie est une capacité, le pouvoir d'un système, à produire des effets physiques. Il existe deux catégories d'énergie :

- sous forme d'énergie stockée
 - énergie potentielle
 - énergie cinétique
 - énergie interne
 - énergie chimique
 - énergie nucléaire
- sous forme d'énergie en transit
 - l'échange d'énergie entre un système et son milieu, c'est-à-dire l'énergie de transit au travers une enceinte peut se produire sous deux formes :
chaleur et/ou travail

La chaleur est une forme d'énergie qui est échangée entre un système et son environnement ou entre deux parties d'un système lorsqu'il existe un gradient de température entre eux.

L'ensemble des molécules d'un corps ou milieu se comporte comme le support par lequel la chaleur peut se manifester.

Le travail : il y a travail lorsqu'une force agissant sur un système se déplace sur une certaine distance.

Il y a trois moyens ou modes de transfert de chaleur d'un corps à l'autre ; ces trois mécanismes fondamentaux sont :

- la conduction,
- la convection
- et le rayonnement.

LA CONDUCTION

La conduction est un mode de transfert de chaleur au sein d'un corps suite au contact physique ou mécanique des particules de ce corps entre elles, sans déplacement apparent de matière.

Dans les corps solides, on peut observer la propagation de la chaleur par conduction thermique, des régions les plus chaudes vers les régions les plus froides, de proche en proche.

Les caractéristiques physiques d'un corps (isolant, semi-conducteur, conducteur) détermineraient l'importance du transfert de chaleur de conduction que le corps peut engendrer.

Les liquides et les gaz, dans une moindre mesure, sont également le siège de phénomène de conduction ; il est beaucoup plus délicat d'observer le phénomène de conduction à l'état pur dans les liquides et les gaz par suite de la convection.

La transmission de chaleur par conduction dans un conducteur isotrope est régie par la loi de Fourier qui énonce que "le flux thermique unitaire, ϕ , transmis en un point donné, est proportionnel au gradient de température existant en ce point". L'application de la loi de Fourier à une paroi homogène peut être exprimée comme :

$$\begin{aligned}\phi &= -\lambda \text{ grad } \theta \\ \phi &= -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} \quad \text{en W/m}^2\end{aligned}$$

où ϕ est le flux thermique unitaire transmis

λ est le coefficient de conductivité thermique qui caractérise l'aptitude du corps à conduire la chaleur et qui est exprimé en $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

$\text{grad } \theta = \frac{\partial \theta}{\partial n}$ est le gradient de température

Le signe "-" signifie que la chaleur se propage dans le sens décroissant de température.

LA CONVECTION

La transmission de chaleur par convection intervient essentiellement entre une paroi solide et un liquide ou un gaz qui se déplace à son contact.

Les phénomènes de convection mettent en jeu des déplacements en masse du liquide ou du gaz.

La convection est régie par la loi de Newton qui stipule que :

le flux de chaleur unitaire, ϕ , transmis est proportionnel à l'écart entre la température de la paroi, θ_p , et la température du liquide ou du gaz, θ_g .

Le coefficient de proportionnalité de la loi de Newton est appelé coefficient de convection thermique, h_c .

$$\varphi = h_c (\theta_p - \theta_{lg}) * S \quad \text{en W}$$

où φ est le flux de chaleur transmis de la paroi vers le liquide ou le gaz si $\theta_p > \theta_{lg}$ ou inversement si $\theta_{lg} > \theta_p$.

Si les mouvements de masse du fluide sont provoqués par des pompes, compresseurs, ventilateurs, ... etc, la convection est alors dite forcée.

Les mouvements de masse du fluide peuvent être dus aux différences de masse volumique du fluide ayant pour cause un gradient de température : dans ce cas, la convection est dite naturelle.

Le coefficient h_c dépend de nombreux paramètres tels que :

- ❖ les caractéristiques physiques du fluide
 - la conductivité thermique λ ,
 - la viscosité,
 - la masse volumique ρ ,
 - la chaleur spécifique c
- ❖ les caractéristiques de la paroi avec laquelle le fluide est en contact
 - l'état de surface (rugosité),
 - la forme (sphérique, cylindrique, ... etc)
 - la dimension caractéristique de la paroi (longueur, diamètre, ... etc)
- ❖ la nature de l'écoulement fluide par rapport à la paroi
 - la forme de la vitesse du fluide, v
 - l'orientation de la vitesse par rapport à la paroi

Pour une paroi ayant une forme donnée et d'état de surface déterminé, le coefficient de convection est fonction d'au moins six variables :

$$h_c = f(v, l, \lambda, \rho, \mu, c)$$

Dans le cas où plusieurs paramètres ou grandeurs physiques interviennent dans le phénomène de convection, il est habituel de faire usage de nombre adimensionnel, ce qui permettra de rendre l'expression du coefficient de convection plus aisée. Les nombres sans dimension classiques sont les nombres de:

- Nusselt,
- Prandtl
- Reynolds.
- ...etc.

LE RAYONNEMENT

La chaleur peut être transmise d'un corps ou milieu à un autre grâce au rayonnement qui ne nécessite aucun support matériel entre le corps émetteur et le corps récepteur. Le rayonnement est de nature électromagnétique, comparable aux ondes hertziennes ou à, celles de la lumière. L'énergie, sous forme de chaleur transportée peut se propager, à la vitesse de la lumière $c = 3.10^8$ m/s, même dans le vide absolu.

Un corps porté à une température T quelconque émet un rayonnement. Suivant la loi de Stefan-Boltzmann, la puissance calorifique, Q , ainsi émise par unité de surface, ou excitation énergétique, est proportionnelle à la puissance quatrième de la température absolue du corps, c'est-à-dire :

$$Q = \sigma \cdot \xi \cdot T^4$$

où $\sigma = 5,675 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}^{-4}$ est la constante de Stefan-Boltzmann
 ξ est le facteur d'émission avec $\xi \leq 1$ et $\xi=1$ pour un corps noir ou $\xi < 1$ pour un corps gris

Un corps ou milieu recevant des radiations électromagnétiques par rayonnement peut en absorber une fraction plus ou moins importante transformable en énergie calorifique.

L'énergie calorifique transmise par rayonnement, par exemple la lumière, est la somme des énergies de chacune des radiations chromatiques qui la composent.

Le transfert thermique par rayonnement peut être attribué essentiellement aux radiations ayant les longueurs d'onde qui se situent approximativement dans le domaine des rayons ultraviolets, infrarouges et du visible, c'est-à-dire entre 10^{-1} à $10^3 \mu\text{m}$.