

CH III. ÉCHANGEUR DE CHALEUR

1/ Définition :

Un **échangeur de chaleur** est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger.

Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides¹.

On utilise les échangeurs pour refroidir ou réchauffer un liquide ou un gaz qu'il est impossible ou difficile de refroidir ou chauffer directement, par exemple l'eau d'un circuit primaire de refroidissement de centrale nucléaire.

2/ Domaine d'Applications

Les échangeurs de chaleur sont utilisés dans de nombreux domaines industriels :

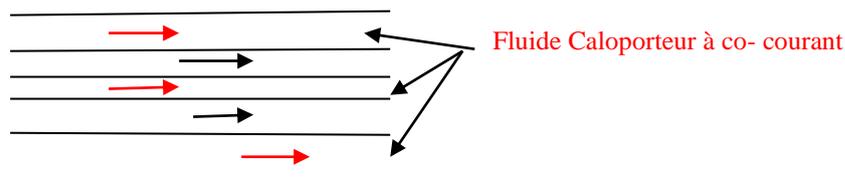
- dans l'industrie lourde, où des fluides à haute températures sont utilisés
- dans l'automobile, les radiateurs permettent l'évacuation de la chaleur du moteur tandis que les systèmes de climatisation embarquée pompent celle de l'habitacle
- dans le secteur du bâtiment, par exemple dans les maisons à basse consommation énergétique ou à énergie positive, où un système de ventilation mécanique contrôlée à double flux peut intégrer un échangeur de chaleur (appelé également récupérateur sur air vicié) réchauffant l'air entrant avec l'énergie prélevée dans l'air sortant

3/ Transfert de chaleur

3.1- Modes de transfert

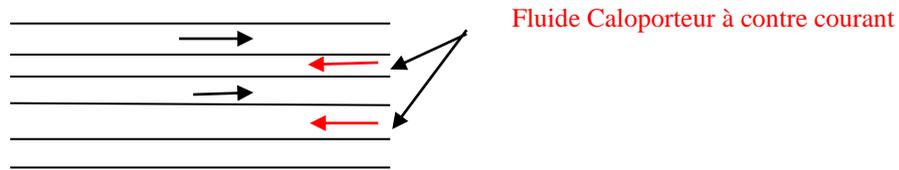
Il existe plusieurs types d'échangeurs de chaleur :

- À **co-courant** (ou échangeur anti-méthodique) : les deux fluides sont disposés parallèlement et vont dans le même sens. Dans un échangeur anti-méthodique la température de sortie du fluide froid est nécessairement moins élevée que la température de sortie du fluide chaud.



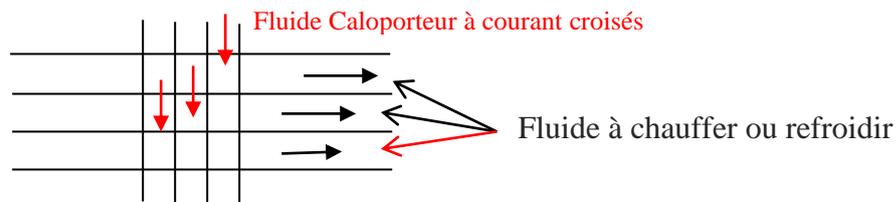
Fluides à co- courant

- À **contre-courant** (on dit aussi : échangeur méthodique) : *idem*, mais les courants vont dans des sens opposés. Dans un échangeur méthodique, le coefficient d'échange est sensiblement supérieur à celui d'un échangeur anti-méthodique et la température de sortie du fluide froid peut être plus élevée que la température de sortie du fluide chaud.



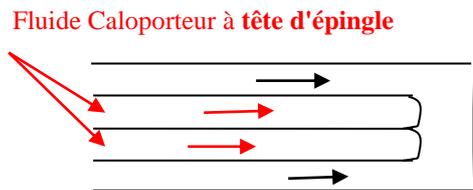
Fluides à contre- courant

- À **courants croisés** : les deux fluides sont positionnés perpendiculairement.



Fluides à courants croisés

- À **tête d'épingle** : un des deux fluides fait un demi-tour dans un conduit plus large, que le deuxième fluide traverse. Cette configuration est comparable à un échangeur à courant parallèle sur la moitié de la longueur, et pour l'autre moitié à un échangeur à contre-courant.



Fluides à tête d'épingle

- **À contact direct ou à mélange** : les deux fluides peuvent être mis en contact comme c'est le cas dans les tours de refroidissement, des buses projetant de l'eau chaude sont disposées sur les parois intérieures de la tour, l'air extérieur admis par le bas s'échauffe et du fait de son changement de densité monte de bas en haut, permettant ainsi de refroidir l'eau.

Exemples :

- Échangeur thermique par surface.
- Échangeur thermique avec des fluides en contact direct.

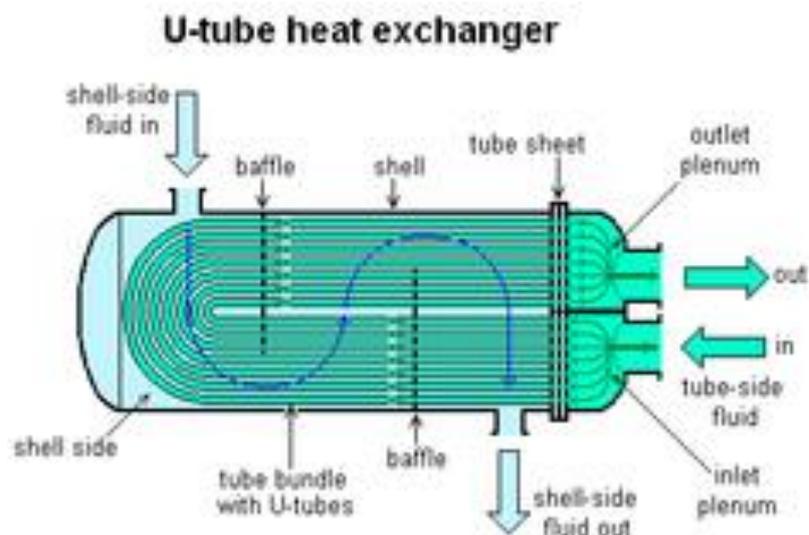
3.2-TYPES D'ÉCHANGEURS

Il existe différents types d'échangeurs selon les objectifs recherchés.

A / Échangeur à tubes en U

C'est l'échangeur le plus commun.

Avantages	Inconvénients	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> • Résiste aux fortes pressions • Libre dilatation des tubes et du corps <ul style="list-style-type: none"> • Toutes puissances 	<ul style="list-style-type: none"> • Encombrement • Prix de revient élevé • Débouchage difficile 	<ul style="list-style-type: none"> • vapeur/eau <ul style="list-style-type: none"> • Eau surchauffée/eau • Huile/eau • Process



Échangeur à tubes en U

B/ Échangeur à faisceau tubulaire horizontal

- Echangeur à faisceau tubulaire vertical

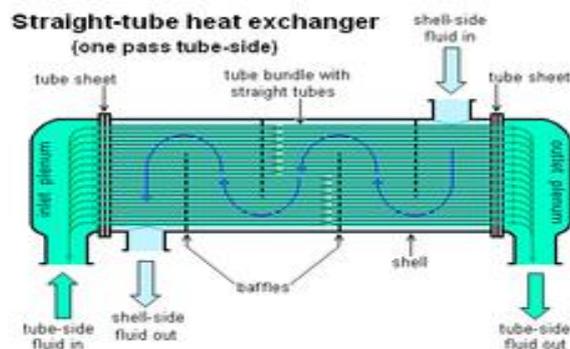
L'appareil est constitué d'un faisceau de tubes, disposés à l'intérieur d'une enveloppe dénommée calandre. L'un des fluides circule à l'intérieur des tubes et l'autre à l'intérieur de la calandre, autour des tubes. On ajoute en général des chicanes dans la calandre, qui jouent le rôle de promoteurs de turbulence et améliorent le transfert à l'extérieur des tubes.

La calandre est elle aussi munie de tubulures d'entrée et de sortie pour le second fluide (qui circule à l'extérieur des tubes) suivant le chemin imposé par les chicanes

Avantages	Inconvénients	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> • Résiste aux fortes pressions • Pour toutes les puissances • Economique • Accepte des grands écarts de température 	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes sur les tubes • Difficulté de nettoyage (multitubes) • Sensible aux vibrations 	<ul style="list-style-type: none"> • Eau/eau • Vapeur/eau • Huile/eau • Eau surchauffée/eau

- Echangeur à faisceau tubulaire vertical

Avantages	Inconvénients	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> • Faible encombrement • L'échangeur peut être plein de condensat • Parfaitement adapté à l'échange vapeur haute pression/eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Formation de poche d'air 	<ul style="list-style-type: none"> • Vapeur HP/eau • Eau surchauffée/eau • Fluide thermique/eau • Fumées/eau • Process



C/ Echangeur à spirales

Un échangeur à spirales consiste en 2 plaques de métal enroulées de manière hélicoïdale pour former une paire de canaux en spirale. Le diamètre de l'échangeur est relativement grand, avec une surface d'échange maximale d'environ 450 m² pour un diamètre de 3 m².

Il est utilisable pour les liquides visqueux ou pour les mélanges liquide-solide et possède une capacité auto-nettoyante garantissant un encrassement réduit par rapport à l'échangeur à faisceau tubulaire. Il ne peut travailler qu'avec des différences de températures et de pression limitées.

Avantages	Inconvénients	Utilisation
<ul style="list-style-type: none">• Grande surface de contact• Large passage• Encombrement réduit• Excellent condenseur• Autonettoyant	<ul style="list-style-type: none">• Non démontable• Ecarts de T limités	<ul style="list-style-type: none">• Eau/eau• Vapeur/eau• Eau surchauffée/eau



Echangeur à spirales

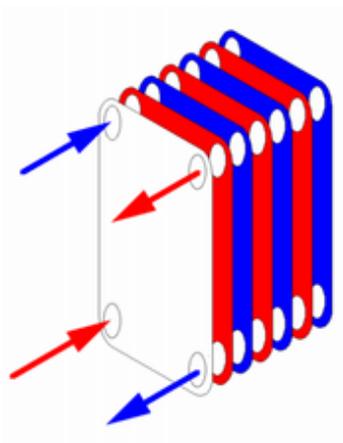
D/ Echangeur à plaques

L'échangeur à plaques est un type d'échangeur de chaleur composé d'un grand nombre de plaques disposées en forme de millefeuilles et séparées les unes des autres d'un petit espace (quelques millimètres) où circulent les fluides. Le périmètre des plaques est bordé d'un joint qui permet par compression de la structure d'éviter les fuites.

Les plaques ne sont pas plates, mais possèdent une surface ondulée selon un schéma bien précis afin de créer un flux turbulent synonyme d'un meilleur transfert de chaleur,

L'avantage de ce type d'échangeur est sa simplicité qui en fait un échangeur peu coûteux et facilement adaptable par ajout/retrait de plaques afin d'augmenter/réduire la surface d'échange en fonction des besoins.

Avantages	Inconvénients	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> • Compact • Très bons coefficients de transfert • Prix compétitifs • Peu de pertes thermiques • Modulaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible écart de T possible • Régulation • Perte de charge importante • Pression de travail limitée 	<ul style="list-style-type: none"> • Vapeur BP/eau • Eau/eau • Huile/eau • Eau surchauffée/eau



Echangeur à plaques

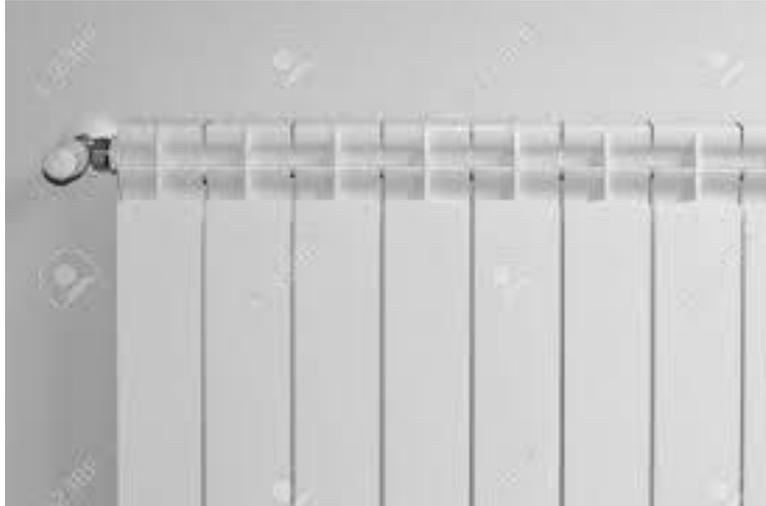
E/ Échangeur à ailettes

Un échangeur à ailettes est un échangeur relativement simple : il consiste en un conduit cylindrique ou rectangulaire sur lequel sont fixées des lames métalliques de différentes formes. Le fluide de refroidissement est en général l'air ambiant. La chaleur est transférée du fluide chaud circulant dans le conduit principal aux lames métalliques par conduction thermique ; ces lames se refroidissent au contact de l'air.

Ce type d'échangeur est utilisé pour le chauffage dans les bâtiments : de l'eau est chauffée dans l'installation de chauffage et circule dans des radiateurs qui sont des échangeurs à ailettes. On utilise également ce type d'installation pour refroidir les moteurs de voiture ou encore les moteurs en tout genre. Dans ce dernier cas, la chaleur due aux frottements et à l'induction magnétique (cas d'un moteur électrique) est directement transférée à la protection extérieure du moteur qui possède des ailettes fixées à sa surface.

Le transfert thermique est limité notamment du côté du fluide de refroidissement par manque d'un système de circulation : l'air circule principalement

par convection naturelle autour de l'échangeur. Cette limitation peut toutefois être supprimée par ajout d'un système de ventilation.



Échangeur à ailettes pour maison



Échangeur à ailettes automobile

Avantages	Inconvénients	Utilisation
<ul style="list-style-type: none">• Bon rendement• Peut prendre des formes précises	<ul style="list-style-type: none">• Craint les chocs	<ul style="list-style-type: none">• eau/air• huile/air solide/air