

Connaissances de base

Échangeurs de chaleur

Les échangeurs de chaleur sont utilisés pour chauffer, refroidir, évaporer ou condenser des fluides qui sont à différentes températures. Leur fonction principale consiste à transférer l'énergie thermique d'un fluide ayant un niveau de température plus élevé vers un fluide ayant un niveau de température plus bas.

Conformément au deuxième principe de la thermodynamique, le transport de chaleur s'effectue toujours du fluide ayant la température la plus élevée vers le fluide ayant la température la plus basse.

Les échangeurs de chaleur sont utilisés en génie énergétique, dans l'industrie chimique et l'industrie alimentaire, mais ils sont également très importants dans les secteurs de l'informatique et de l'automobile. Le transfert de chaleur peut aussi bien constituer le processus principal que le processus auxiliaire. On fait la distinction entre échangeurs de chaleur directs et indirects, selon que les fluides concernés entrent en contact direct ou non.

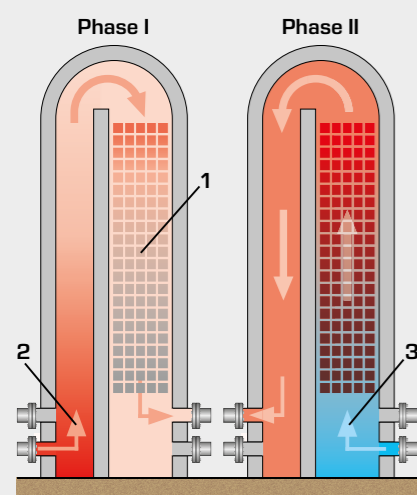
Classification des échangeurs de chaleur selon leur principe de fonctionnement

Échangeurs de chaleur indirects

Régénérateurs

- cowpers des hauts fourneaux
- échangeurs thermiques rotatifs

Dans les **régénérateurs**, du fluide chaud et du fluide froid circulent **alternativement** dans les réservoirs thermiques. Le transfert de chaleur se fait de manière indirecte, étant donné que le flux thermique est d'abord transféré à un fluide de stockage puis transmis avec un décalage dans le temps au fluide cible.



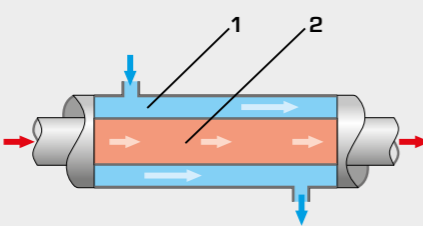
Cowpers en fonctionnement discontinu

Phase I : la masse de stockage 1 est chauffée par le gaz de fumée 2,
Phase II : l'air froid 3 est acheminé auprès de la masse de stockage chauffée au préalable et se chauffe à son contact

Récupérateurs

- échangeurs de chaleur coaxial
- échangeurs de chaleur à faisceau tubulaire
- échangeurs de chaleur à plaques

Les **récupérateurs** sont traversés **simultanément** de manière stationnaire par deux fluides. Les flux de fluide peuvent être acheminés à courant parallèle, à contre-courant et à courants croisés. Une paroi sépare les flux de fluide: elle sert de surface de transfert. La chaleur est transférée indirectement du fluide chaud à la paroi de séparation, et de la paroi de séparation au fluide froid, sans délai.



Échangeur de chaleur coaxial en fonctionnement à courant parallèle

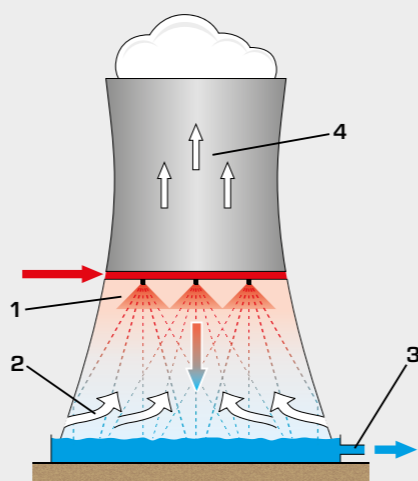
- 1 tube externe,
- 2 tube interne;
- fluide chaud,
- fluide froid

Échangeurs de chaleur directs

Échangeurs de chaleur par contact direct

- tour de refroidissement par voie humide
- refroidissement intermédiaire dans les laminoirs

Les **échangeurs de chaleur par contact direct** mettent en contact deux fluides de températures différentes, et les mélangent. Le transfert de chaleur et de masse a lieu directement.



Tour de refroidissement par voie humide

- 1 brouillard d'eau chaude,
- 2 entrée d'air,
- 3 eau refroidie,
- 4 air humide

En général, on utilise comme **fluides de travail** des liquides ou des gaz mais aussi, dans des cas particuliers, des liquides en évaporation ou des vapeurs de condensation.

Construction des échangeurs de chaleur

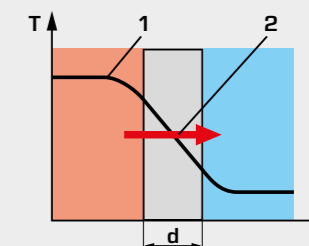
En raison de la grande diversité des applications, différentes constructions de récupérateurs ont été mises au point, qui fonctionnent sur des principes qui peuvent fortement diverger de l'un à l'autre.

Construction	Application / fluides	Avantages et inconvénients
<p>Échangeur de chaleur coaxial</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ utilisation à faible puissance de refroidissement / puissance de chauffe ■ transfert entre deux liquides ■ adaptation aux fluides de viscosité élevée 	<p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ construction simple ■ transfert possible des pressions élevées ■ entretien facile <p>Inconvénients</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ construction de grande taille, coûts élevés par surface de transfert de chaleur
<p>Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ utilisation sur une très large plage de température et de pression ■ transfert entre liquides et gaz, entre deux liquides ou entre deux gaz 	<p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ montage facile ■ idéal pour le transfert de chaleur de la vapeur vers l'eau <p>Inconvénients</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ construction volumineuse
<p>Échangeur de chaleur à plaques</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ utilisation également avec des différentiels de température minimes ■ transfert entre liquides et gaz, entre deux liquides ou entre deux gaz ■ avec ou sans changement de phase 	<p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ vaste surface de transfert grâce à l'embossage de la surface de la plaque ■ construction compacte, faible quantité de remplissage ■ bon transfert de chaleur convectif par écoulement turbulent <p>Inconvénients</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ perte de charge élevée ■ nécessite beaucoup d'entretien

Transfert de chaleur

Le flux thermique total transféré dépend directement de la surface de transfert. C'est pourquoi on utilise différentes géométries de parois (rainures p.ex.) visant à augmenter la surface de transfert. Le transfert de chaleur se fait en trois étapes: le transfert de chaleur convectif du fluide chaud en direction de la paroi, la conduction thermique à travers la paroi, et le transfert de chaleur convectif de la paroi vers le fluide froid.

Le transfert de chaleur convectif du fluide vers la paroi et de la paroi vers le fluide dépend entre autres du type de matière, de la vitesse d'écoulement et des états physiques des fluides. La conduction thermique dans la paroi dépend de son épaisseur et du matériau qui la constitue. La conduction thermique est décrite par le coefficient global de transfert de chaleur k ou le coefficient global de transfert de chaleur en fonction de la longueur k^* .



1 courbe de température, 2 flux thermique résultant;
■ fluide chaud, ■ fluide froid,
T température, L parcours, d épaisseur de la paroi

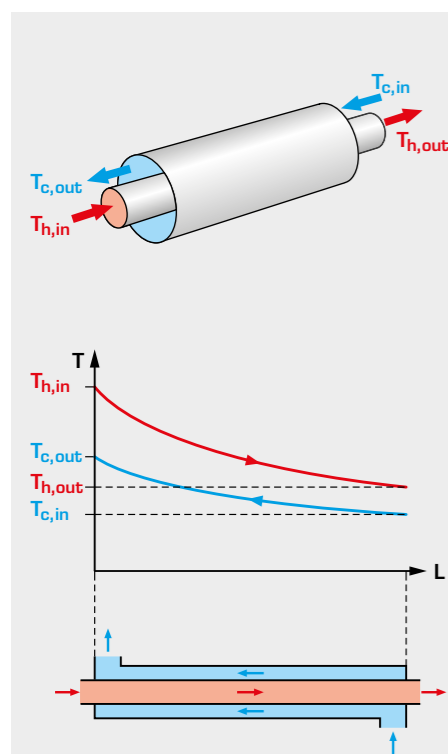
Connaissances de base

Échangeurs de chaleur

Géométries d'écoulement dans l'échangeur de chaleur

La géométrie d'écoulement à l'intérieur de l'appareil peut diverger en fonction de la construction de l'échangeur de chaleur. Cependant, les deux flux de fluide ne sont jamais mélangés, seul un transfert de chaleur a lieu entre les deux.

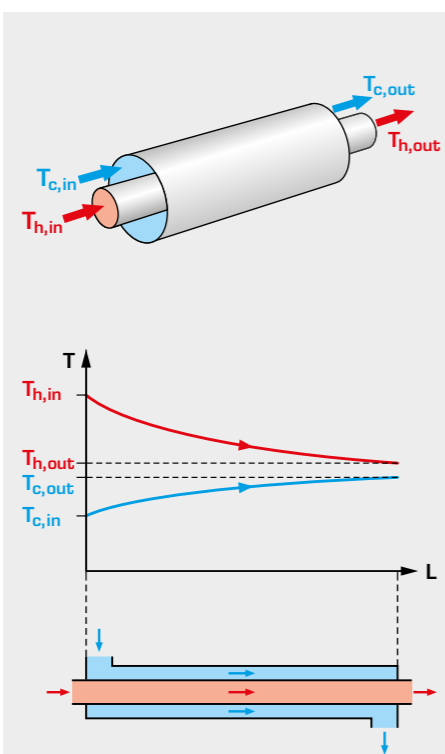
Les géométries d'écoulement possibles sont les suivantes: écoulements à contre-courant, à courant parallèle, croisés ou association des écoulements mentionnés.



Profils de température en **fonctionnement à contre-courant** d'un échangeur de chaleur coaxial

En **fonctionnement à contre-courant**, deux fluides s'écoulent dans des directions opposées sans se toucher. Le lieu d'entrée du premier fluide correspond au lieu de sortie du second fluide.

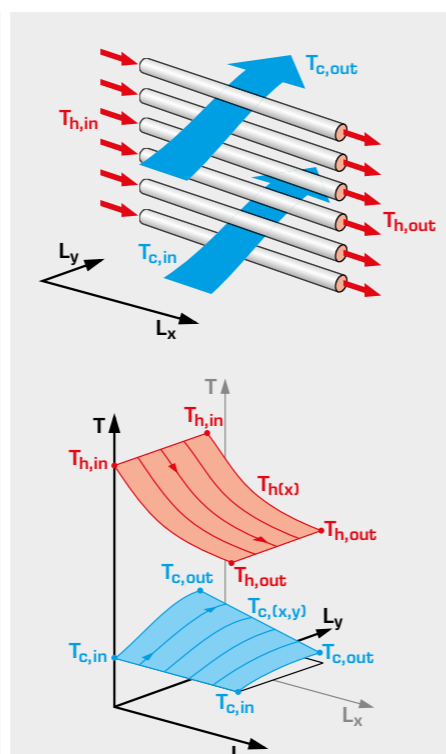
Lorsque l'échangeur de chaleur est très bien conçu, il est possible que la température de sortie soit plus élevée du côté froid que la température de sortie du côté chaud.



Profils de température en **fonctionnement à courant parallèle** d'un échangeur de chaleur coaxial

Lorsque l'échangeur de chaleur fonctionne à **courant parallèle**, les deux fluides s'écoulent dans la même direction et entrent dans l'échangeur de chaleur au même endroit.

La température de sortie du côté froid peut atteindre au maximum la température de sortie du côté chaud.



Profil de température pour une seule rangée de tubes avec **courants croisés** mélangés d'un côté

En **fonctionnement à courants croisés**, les directions des fluides se croisent.

Le fonctionnement à courants croisés est surtout utilisé pour assurer la thermostatisation exacte de produits sensibles à la température.

Afin de profiter au mieux des avantages présentés par les différentes géométries d'écoulement, on les utilise souvent en association. Ainsi, pour la thermostatisation rapide et fiable de grandes quantités de produits chimiques agressifs, on utilise

p.ex. un échangeur de chaleur à faisceaux tubulaires en mode à contre-courant croisé. Les échangeurs de chaleur à plaques fonctionnant à contre-courant sont souvent utilisés lorsque l'on a besoin d'une forme de construction compacte.

Dans la pratique, les échangeurs de chaleur sont **dimensionnés**, **recalculés** ou **évalués**.

Le **dimensionnement** consiste à calculer la capacité de transfert avec des flux de matière et des températures connus, ce qui permet de déterminer la géométrie d'un échangeur de chaleur optimal.

Dans le cas du **recalcul**, les températures de sortie des fluides et le flux thermique transféré sont déterminés. Cela permet de contrôler dans quelles mesures les températures de sortie de l'échangeur de chaleur sélectionné divergent des températures de sortie requises ou limitatives. Le recalcul d'échangeurs de chaleur existants est également fréquent pour réaliser une comparaison avec les données de mesure réelles.

L'**évaluation** permet de se renseigner sur le surdimensionnement ou le sous-dimensionnement de l'échangeur de chaleur choisi en cas d'intégration dans le procédé. Lors de l'évaluation d'un échangeur de chaleur, on observe ses données géométriques ainsi que toutes les données de procédé.

Le chapitre "Échangeurs de chaleur" traite en premier lieu du transfert de chaleur convectif entre la surface d'un corps et un fluide. Il présente ensuite des échangeurs de chaleur indirects, des récupérateurs, et leurs différentes constructions, ainsi qu'une tour de refroidissement par voie humide en tant qu'exemple d'échangeur de chaleur direct. On notera la particularité du transfert de chaleur au moyen de la technique des solides fluidisés, qui est étudiée ici en prenant comme exemple le réacteur à lit fluidisé.

Thématiques	Produits GUNT
Transfert de chaleur	
Convection forcée	WL 314
Écoulement parallèle	WL 314.01
Écoulement mixte	WL 314.02
Profils d'écoulement	WL 314.03
Transfert de chaleur indirect – récupérateurs	
Échangeur de chaleur tubulaire	WL 312.01
Échangeur de chaleur coaxial	WL 302, WL 308, WL 110.01, WL 315C
Échangeur de chaleur à plaques	WL 110.02, WL 315C
Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire	WL 110.03, WL 315C
Réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentín	WL 110.04, WL 315C
Échangeur de chaleur à ailettes	ET 300, WL 312.02, WL 312.03, WL 315C
Transfert de chaleur direct	
Tour de refroidissement par voie humide	WL 320
Transfert de chaleur dans un lit fluidisé	
Transfert de chaleur dans un lit fluidisé	WL 225