

 **Principe de fonctionnement d'une PAC**  $W_{E \leftrightarrow F} = -W_{F \leftrightarrow E} = EnR$  \*

Une pompe à chaleur (PAC) est une machine thermodynamique destinée à assurer le chauffage d'un bâtiment à partir d'une source de chaleur externe dont la température est inférieure à celle du bâtiment à chauffer. C'est donc un système de chauffage qui transfère de l'énergie thermique d'un milieu à bas niveau de température pour les restituer à un autre milieu à une température plus élevée. L'écoulement naturel de la chaleur s'effectuant habituellement d'un corps chaud vers un corps froid, on pourrait définir la pompe à chaleur comme un matériel permettant de réaliser l'écoulement de chaleur dans le sens inverse du sens naturel, c'est-à-dire d'un milieu froid vers un milieu chaud. Pour comprendre comment se réalise ce transfert thermique inverse du sens physique habituel qui paraît contraire à la logique physique et qui pourtant ne l'est pas quelques explications complémentaires sont nécessaires. En pratique, pour prendre des calories à un milieu froid, il suffit de le refroidir d'avantage alors que pour restituer ces calories à un milieu chaud, il convient de le réchauffer. Dans une pompe à chaleur, cette opération se fait grâce à un fluide dit « caloporteur » qui présente la particularité de changer d'état (liquide ou gazeux) quand on modifie sa pression ce qui permet de bénéficier de la chaleur latente de transformation ou **enthalpie** du fluide caloporteur. Il n'y donc rien de miraculeux dans le fonctionnement d'une pompe à chaleur et son principe n'est en aucun cas en contradiction avec la deuxième loi de la thermodynamique qui stipule que l'énergie va toujours du chaud au froid, du désordonné à l'ordonné (Voir les chaînes énergétiques et la formule de Boltzmann page 163)

1. Le fluide caloporteur à l'état liquide tend à s'évaporer en sortie de détendeur quand sa pression baisse. Cette évaporation produit un froid intense. On dit que la réaction d'évaporation est *endothermique*.
2. Inversement, le fluide caloporteur à l'état gazeux à tendance à se condenser en se liquéfiant quand on augmente sa pression. Cette condensation s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur. On dit que la réaction de condensation est *exothermique*.

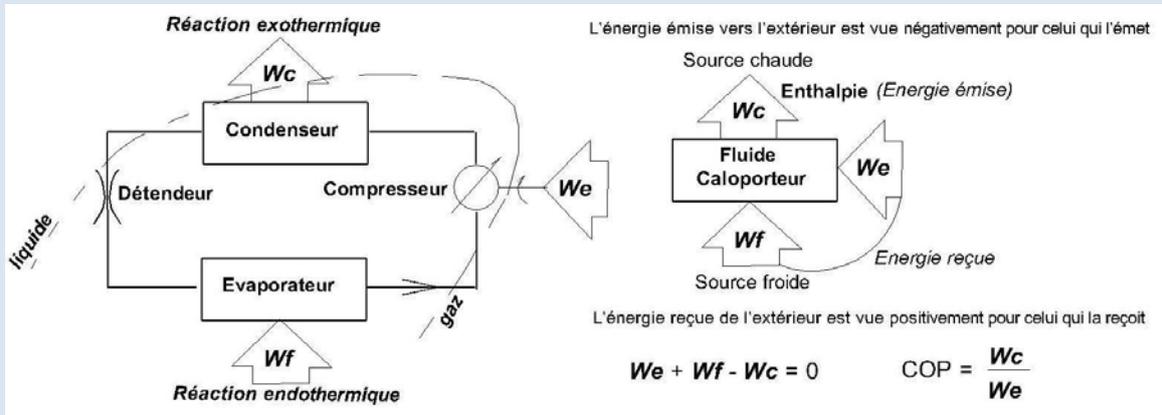
L'énergie dépensée pour assurer ces deux réactions dans un cycle répétitif est limitée à l'énergie électrique **We** assurant l'entraînement d'un compresseur qui effectue l'augmentation de la pression du fluide caloporteur à l'état gazeux et assure sa circulation en circuit fermé. Une faible quantité d'énergie fournie au compresseur permet de transférer une grande quantité de chaleur **Wf** de la « source froide » vers la « source chaude ». L'utilisateur ne paie donc que l'énergie électrique **We** nécessaire au fonctionnement du compresseur. Qui plus est, cette énergie payante est récupérée intégralement et additionnée à celle prélevée gratuitement à la « source froide ». Cette dernière pouvant être *l'air, l'eau ou la terre* voire deux de ces sources simultanément selon le type de pompe à chaleur. Le coefficient de performance appelé « COP » est le rapport de l'énergie thermique totale obtenue sous forme de chaleur **Wc** sur l'énergie dépensée **We**. Les performances d'une pompe à chaleur sont associées au **COP** qui varie notablement en fonction de l'écart de température entre la source froide et la source chaude. Un grand écart de température dégrade la performance (COP = 2 par exemple), inversement, un faible écart permet une excellente performance (COP = 6 par exemple). Remarquons qu'un chauffage électrique par effet joule a un COP de 1.

*\*Cette formule vient compléter avec force le raisonnement basé sur l'isolation du fluide caloporteur F associé au principe de la conservation de l'énergie décrit à la page qui suit. Le lecteur aura compris que l'énergie transmise de l'eau vers le fluide caloporteur de la PAC (E vers F) n'est autre que l'énergie renouvelable positive EnR prélevée dans l'environnement égale et opposée en signe à l'énergie endothermique transmise du fluide caloporteur vers l'environnement (WF↔E)*

*Ce qui peut aussi aider le lecteur à comprendre est le fait que E c'est à la fois l'Eau et l'Environnement et que W c'est autant l'énergie transmise et le travail lui-même (Work) que le vecteur qui transmet cette énergie à savoir l'eau (W comme Water pour les anglo-saxons ou Wasser pour nos amis allemands)*

CQFD

Figure explicative du chauffage thermodynamique



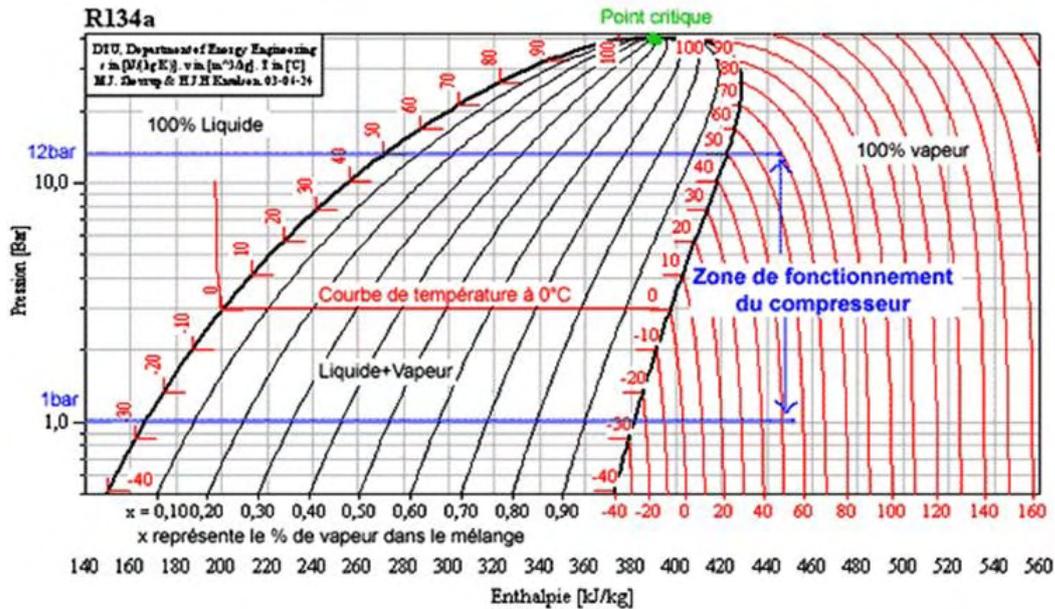
Les deux figures ci-dessus permettent de comprendre comment se font les transferts thermiques du milieu froid vers le milieu chaud. Lorsqu'un corps se refroidit en transmettant de la chaleur à un autre corps qui se réchauffe, il y a transfert d'énergie thermique. On peut dire au titre de la 1<sup>ère</sup> loi de conservation de l'énergie que la quantité de chaleur émise par le corps qui se refroidit est égale au signe près à la quantité de chaleur reçue par le corps qui se réchauffe. Lorsque le fluide caloporteur porté à très basse température en sortie du détendeur du fait de son évaporation se réchauffe au contact d'un environnement à une température supérieure à la sienne, l'énergie qu'il reçoit est comptée positivement. La figure de gauche représente le cycle de fonctionnement d'une pompe à chaleur. Le principe de conservation de l'énergie\* permet de dire en isolant le fluide caloporteur et en considérant un cycle complet que l'énergie reçue de l'extérieur par ce fluide pendant ce cycle est égale à l'énergie qu'il émet (Voir figure de droite). L'intérêt de la pompe à chaleur réside dans le fait que la dépense d'énergie électrique payante permettant d'obtenir un transfert d'énergie thermique renouvelable important du premier milieu appelé « source froide » vers le deuxième milieu appelé « source chaude » est faible en valeur relative par rapport à ce dernier transfert et qu'elle est récupérée en chaleur. Les deux diagrammes de Mollier de la dernière figure de ce chapitre permettent de comprendre que la dépense en énergie électrique-mécanique payante est d'autant plus faible que la température de la source froide est proche de celle de la source chaude.

\* L'énergie est toujours conservée lorsqu'elle change de forme. Ce principe est tellement fort en physique qu'à chaque fois qu'il a paru ne pas être vérifié, cela a conduit à des découvertes importantes telles que la radioactivité ou le mouvement des planètes associées au système solaire. Si l'on isole le fluide caloporteur d'une pompe à chaleur, il forme un système fermé qui n'échange pas de matière avec le milieu extérieur. **Il reçoit** par contre du milieu extérieur deux apports énergétiques:

- l'apport provenant de l'énergie électrique fournie au moteur entraînant le compresseur de la pompe à chaleur, énergie transformée en énergie mécanique, puis thermique lors de sa compression de ce fluide caloporteur à l'état gazeux.
- l'apport thermique provenant de la source froide lorsqu'étant lui-même à l'état gazeux et à très basse température du fait de sa détente, il se réchauffe en refroidissant le milieu extérieur

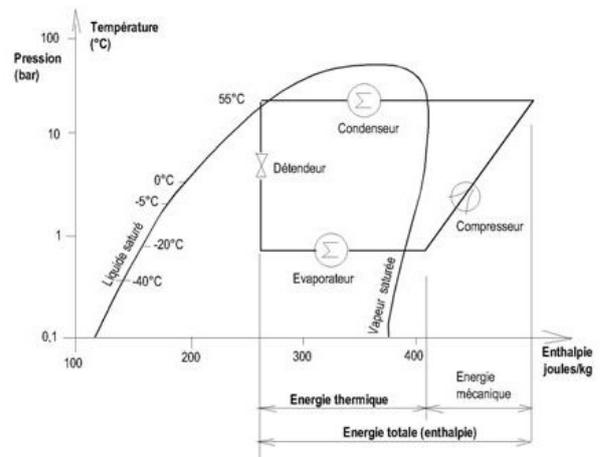
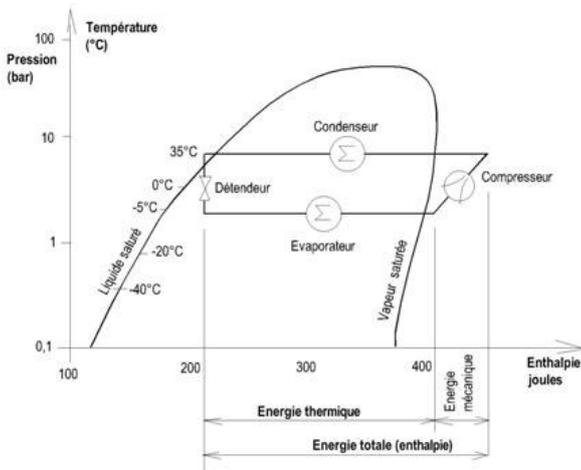
**Il émet** enfin vers le milieu extérieur l'énergie thermique importante provenant de sa chaleur latente ou enthalpie lors de son changement d'état dans le condenseur lorsqu'encore à l'état gazeux il se condense en se transformant en liquide. Lorsqu'il se retrouve après un cycle complet de compression-détente dans son état initial, le fluide caloporteur, a, du fait de la loi de conservation de l'énergie, reçu de l'extérieur la même quantité d'énergie que celle qu'il a émis vers l'extérieur.

## La rivière source d'énergie



### Diagramme thermodynamique de Mollier du R134a

Il est possible avec ce fluide caloporteur d'augmenter la pression en sortie de compresseur jusqu'à environ 20 bar permettant de disposer de 60°C à la source chaude. Le cycle s'effectue en tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre



Lorsque la température de la source chaude (condenseur) est proche de la température de la source froide (évaporateur), l'énergie mécanique consommée par le compresseur est plus faible et le COP (énergie totale / énergie mécanique) est plus élevé. En raison du principe de la conservation de l'énergie, l'énergie totale (enthalpie) est égale à la somme des énergies thermique (frigorigène) et mécanique.

On remarque que lorsque la différence entre la température de la source chaude (condenseur) et celle de la source froide (évaporateur) augmente, l'énergie mécanique consommée par le compresseur et délivrée le plus souvent par un moteur électrique augmente également alors que le COP (énergie totale / énergie mécanique) diminue.

Le principe de fonctionnement décrit dans ce chapitre est général. L'énergie fournie à la pompe à chaleur est assimilée dans les deux figures ci-dessus à l'énergie mécanique délivrée par le moteur électrique entraînant le compresseur. Cette énergie, convertie ensuite en énergie thermique lors de la compression du fluide caloporteur avec les PAC à compresseur peut être délivrée directement sous sa forme thermique avec les chaufferies hybrides à absorption moins performantes dites « gaz-gaz »