

Bruno Béranger

# Les pompes à chaleur

3<sup>e</sup> ÉDITION



**EYROLLES**

Environnement

# Sommaire

Remerciements .....	1
Avant-propos .....	3
Un peu d'histoire.....	5
Vers une phase de maturité.....	8
Quelles sont les nouveautés? .....	10
Quel avenir pour le marché des pompes à chaleur?.....	13
 Partie 1 – Comment fonctionne une pompe à chaleur ?	
Chapitre 1 – Principales composantes d'une pompe à chaleur.....	16
Les quatre principaux éléments du circuit.....	18
Parcours du fluide frigorigène en partant du compresseur .....	20
Les éléments annexes d'une pompe à chaleur .....	26
Quel fluide frigorigène pour quelle application? .....	28
Chapitre 2 – Où puiser des calories ?.....	32
Puisage des calories dans l'air (aérothermie).....	32
Avantages.....	34
Inconvénients.....	34

<b>Puisage des calories dans l'eau</b> .....	36
Avantages.....	38
Inconvénients.....	38
<b>Puisage des calories dans la terre (géosolaire)</b> .....	39
Pourquoi la source froide «terre» est-elle très efficace?.....	41
Dimensionnement des capteurs plans géosolaires.....	43
Le capteur à eau glycolée.....	44
Avantages.....	44
Inconvénients.....	45
Le capteur plan à fluide frigorigène.....	47
Avantages.....	48
Inconvénients.....	48
Le capteur vertical de type forage profond.....	53
Avantages.....	54
Inconvénients.....	54
Le capteur de type corbeille géothermique.....	55
Avantages.....	55
Inconvénients.....	56
<b>Puisage des calories dans un lit de galets ou dans des masses bétonnées</b> .....	56
<b>Conclusion</b> .....	58
Comment réduire la surface d'un capteur plan?.....	58
<b>Chapitre 3 – Comment restituer les calories ?</b> .....	62
<b>Restitution des calories dans l'air</b> .....	62
Avantages.....	62
Inconvénients.....	63
<b>Restitution des calories dans l'eau</b> .....	64
Avantages.....	65
Inconvénients.....	65
Dimensionnement des radiateurs à eau.....	65

Raccordement hydraulique de la pompe à chaleur sur le circuit radiateurs .....	66
Dimensionnement du plancher chauffant.....	68
Comment calculer la température du sol? .....	70
Raccordement hydraulique de la pompe à chaleur sur le circuit plancher chauffant.....	71
Calcul de l'inertie du plancher chauffant vu par la pompe à chaleur pour 1kW de puissance.....	71
Raccordement hydraulique sur le circuit plancher chauffant et radiateurs.....	72
Quel revêtement de sol est-il possible de poser sur un plancher chauffant? .....	73
<b>Restitution des calories par Échange fluide/béton.....</b>	<b>74</b>
Avantages.....	75
Inconvénients.....	75
Dimensionnement du condenseur de plancher chauffant.....	76
Chapitre 4 – La protection des pompes à chaleur .....	78
<b>Partie 2 – Les différents types de pompes à chaleur</b>	
Chapitre 5 – Les différentes combinaisons .....	84
<b>Pompe à chaleur air/air.....</b>	<b>84</b>
<b>Pompe à chaleur air/eau.....</b>	<b>85</b>
<b>Pompe à chaleur eau/eau.....</b>	<b>88</b>
<b>Pompe à chaleur eau glycolée/eau.....</b>	<b>90</b>
<b>Pompe à chaleur sol/eau.....</b>	<b>92</b>
<b>Pompe à chaleur sol/sol.....</b>	<b>96</b>
<b>Les pompes à chaleur à puissance variable.....</b>	<b>98</b>
La variation de vitesse des compresseurs.....	98
Avantages.....	99

## LES POMPES À CHALEUR

Inconvénients.....	99
Les compresseurs montés en tandem.....	100
Variation de puissance des compresseurs par le système Digital Scroll.....	100
Avantages.....	100
Inconvénients.....	101
<b>La régulation du chauffage par pompe à chaleur.....</b>	<b>101</b>
Choix de la régulation de chauffage.....	101
Le thermostat et la temporisation réglable.....	102
Le régulateur loi d'eau.....	103
<b>Chapitre 6 – Comment bien choisir sa pompe à chaleur..</b>	<b>108</b>
<b>COP réels des installations.....</b>	<b>109</b>
<b>Adaptation de la pompe à chaleur à l’habitation.....</b>	<b>110</b>
<b>Le dimensionnement de la pompe à chaleur.....</b>	<b>113</b>
<b>La qualité de la pompe à chaleur.....</b>	<b>114</b>
Comment vérifier la pompe à chaleur?.....	114
Entretien de votre pompe à chaleur.....	120
Exemples d’installations fiables et performantes.....	121
Comment vérifier la puissance délivrée par la pompe à chaleur et son COP.....	122
<b>Quelle économie vous apportera votre chauffage par pompe à chaleur?.....</b>	<b>125</b>
Consommation des éléments auxiliaires.....	125
Coût de consommation.....	126
Aérothermie ou géosolaire? Les performances en fonction du climat.....	129
<b>Une pompe à chaleur dans une maison individuelle, pas à pas.....</b>	<b>134</b>
Caractéristiques de l’habitation.....	135
Situation de l’habitation étudiée.....	136

Calcul des déperditions de l'habitation.....	136
<b>Caractéristiques de la pompe à chaleur.....</b>	<b>139</b>
Le captage des calories.....	139
Le dimensionnement du capteur.....	140
La restitution des calories.....	141
<b>Caractéristiques et fonctionnement de la pompe à chaleur .....</b>	<b>144</b>
Performances en puissance et COP .....	147
Bilan de consommation .....	150
<b>Conclusion .....</b>	<b>152</b>

### Partie 3 – Chauffage et eau chaude sanitaire

<b>L'eau chaude sanitaire (ECS) par pompe à chaleur.....</b>	<b>156</b>
Production d'ECS indépendante du chauffage.....	156
Avantages.....	158
Inconvénient.....	158
Production d'ECS intégrée au chauffage par pompe à chaleur.....	161
En hiver uniquement.....	161
Tout au long de l'année.....	162
<b>L'impact du chauffage par pompe à chaleur sur le contrat d'abonnement électrique.....</b>	<b>164</b>
Installations de petite et moyenne puissance.....	165
Installations de grosse puissance.....	165

### Partie 4 – Annexes

Liste des DJU des stations d'observation par département.....	170
<b>Carte des températures de base par département et en zones côtières.....</b>	<b>184</b>
Foire aux questions.....	185
Les marques certifiées NF PAC .....	193

## LES POMPES À CHALEUR

Pompes à chaleur pour le chauffage ET plus éventuellement POUR l'eau chaude sanitaire.....	193
Glossaire.....	196
Bibliographie.....	205
Livres et publications.....	205
Quelques sites Internet.....	206

# 1

## Principales composantes d'une pompe à chaleur

Le principe est bien décrit dans son appellation : elle pompe de la chaleur !

Une pompe à chaleur est capable d'extraire des calories (donc de l'énergie) à un milieu « froid » pour les restituer à un autre milieu à une température plus élevée. Ces milieux sont appelés respectivement « source froide » et « source chaude ». Pour prendre des calories à un milieu froid, il suffit de le refroidir d'avantage. Pour restituer ces calories à un milieu chaud, il convient de le réchauffer. Cette opération se fait grâce à un fluide qui présente la particularité de changer d'état (liquide ou gazeux) quand on modifie sa pression. Le liquide tend à bouillir quand sa pression baisse et le gaz tend à se condenser quand on augmente sa pression. Paradoxalement, le liquide bout à des températures négatives tout en produisant un froid intense. La condensation du gaz s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur. L'énergie à dépenser est celle nécessaire à un compresseur qui effectue l'augmentation de pression du gaz. L'intérêt du principe est séduisant, car une faible quantité d'énergie fournie au compresseur permet de transférer une grande quantité de chaleur de la source froide à destination de la source chaude. L'utilisateur paie donc l'énergie nécessaire au fonctionnement du compresseur et la récupère intégralement, additionnée de celle prélevée gratuitement à la source froide (air, eau, terre, etc.). Nous appelons « coefficient de performance (COP) » le rapport de l'énergie

totale obtenue sur l'énergie dépensée. Les performances des pompes à chaleur varient considérablement 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 = 5 par exemple. Remarquons qu'un chauffage électrique a un COP de 1.

### FORMULE THÉORIQUE

Les lois de la thermodynamique donnent un rendement de Carnot ou coefficient de performance théorique maximal pour une pompe à chaleur idéale, tel que défini ci-dessous :

$$\text{COP}_{\text{Carnot}} = \frac{T_{\text{source chaude}}}{(T_{\text{source chaude}} - T_{\text{source froide}})}$$

Où  $T_{\text{source chaude}}$  et  $T_{\text{source froide}}$  sont des températures absolues exprimées en kelvins.

Exemple :  $T_{\text{source chaude}} = 313 \text{ K}$  ;  $T_{\text{source froide}} = 263 \text{ K}$

$$\text{COP}_{\text{Carnot}} = 313 / (313 - 263) = 6,26.$$

### TERMINOLOGIE

$P_{\text{mécanique}}$  : puissance mécanique fournie par le compresseur

$P_{\text{électrique}}$  : puissance électrique consommée

$P_{\text{frigorigique}}$  : puissance frigorigique extraite

$P_{\text{thermique}}$  : puissance thermique restituée

**COP** : coefficient de performance (dans cet ouvrage traitant du chauffage, nous ne parlerons que du

**COP** « côté chaud » contrairement aux frigoristes qui évoquent habituellement le COP « frigo », appelé EER).

$$P_{\text{thermique}} = P_{\text{frigorigique}} + P_{\text{électrique}}$$

$$\text{COP} = \frac{P_{\text{thermique}}}{P_{\text{électrique}}}$$

Pour « pomper de la chaleur » à la source froide et lui faire monter l'échelle des températures, il convient de faire circuler un fluide (appelé fluide frigorigène ou réfrigérant) dans un circuit fermé. Ce circuit (appelé circuit frigorifique) parcourt la source froide où règne une basse pression et la source chaude sous haute pression où le fluide cède de la chaleur à haute température.

Les caractéristiques de changement d'état (liquide/gaz) du fluide frigorigène sont choisies suivant les températures et les pressions de fonctionnement de la pompe à chaleur. Par exemple, à la pression atmosphérique, le réfrigérant bout (s'évapore) à  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En dessous de cette température, il reste liquide. Confiné dans sa bouteille à  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ce même fluide frigorigène sera liquide, avec un ciel de gaz sous une pression d'environ 6 bars (pression qui dépend du type de fluide). Comme nous le verrons ci-dessous, les changements de pression du réfrigérant, qui constituent le principe même de la pompe à chaleur, vont entraîner des changements de phase (d'état), de température, et donc des échanges de calories.

## LES QUATRE PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DU CIRCUIT

Le compresseur comprime le fluide frigorigène (dans sa phase gazeuse), ce qui a pour effet de l'échauffer. Les principales technologies sont les compresseurs à pistons, les compresseurs rotatifs, et les compresseurs Scroll. Ces derniers, composés de deux spirales animées par un excentrique, envahissent littéralement le marché. Pour les pompes à chaleur de petites ou moyennes puissances qui nous intéressent dans cet ouvrage, tous les compresseurs sont dits hermétiques. Le fluide est confiné dans une enceinte qui comprend le compresseur lui-même, le moteur et l'huile nécessaire à la lubrification. Seuls les conducteurs électriques sortent vers l'extérieur par un bornier étanche. Une expérience très simple permet de bien comprendre le rôle du compresseur : gonflez un pneu de vélo et vous constaterez que l'air comprimé chauffe le corps de la pompe.

Le condenseur met en contact thermique le fluide frigorigène avec la source chaude capable de récupérer les calories à haute température. Pendant cette opération, le fluide se condense.

L'organe de détente (détendeur thermostatique ou capillaire) abaisse la pression du fluide liquide. Cette phase provoque une chute de température du fluide et un début de vaporisation. Le détendeur thermostatique est composé d'un orifice dont le diamètre est ajusté par un asservissement. Grâce à un bulbe qui mesure par contact la température du gaz aspiré par le compresseur, l'asservissement règle l'orifice du détendeur, afin d'injecter le bon débit de fluide frigorigène dans l'évaporateur. Dans le cas d'une détente par capillaire, la quantité de fluide injectée reste non réglable. Il en résulte une plage de température de fonctionnement de la pompe à chaleur restreinte. C'est le cas de la production de froid dans l'électroménager. Une expérience facile à faire permet de reproduire la détente d'un fluide : constatez le refroidissement de la cartouche d'un aérosol lorsque vous pulvériser pendant un long moment. Cela est dû à la chute de pression dans le récipient. De plus, la buse par où s'échappe l'aérosol devient réellement glacée : elle joue le rôle du détendeur.

L'évaporateur met en contact thermique le fluide frigorigène avec la source froide capable de céder les calories à basse température. Pendant cette opération, le fluide bout et s'évapore.

Le condenseur et l'évaporateur sont des échangeurs thermiques. Ils peuvent échanger des calories entre le fluide frigorigène et de l'eau. Les échangeurs peuvent être coaxiaux : l'eau circule dans un tube de cuivre de grand diamètre et le fluide circule à contre-courant dans plusieurs petits tubes noyés dans le gros tube. Il existe aussi des échangeurs à plaques. L'eau et le fluide frigorigène circulent à contre-courant de chaque côté de nombreuses plaques en Inox (un peu comme un mille-feuille !). Cette technologie récente permet un échange excellent avec une différence de température très faible entre les deux fluides. Les échangeurs pour piscines sont en titane afin de résister à l'agression de l'eau chlorée.

Les condenseurs et les évaporateurs peuvent aussi échanger les calories avec l'air. Un tube dans lequel circule le fluide frigori-

## LES POMPES À CHALEUR

gène traverse de nombreuses ailettes, généralement en aluminium. Ces échangeurs existent soit ventilés (les ailettes sont très rapprochées), soit en convection naturelle (les ailettes sont espacées).

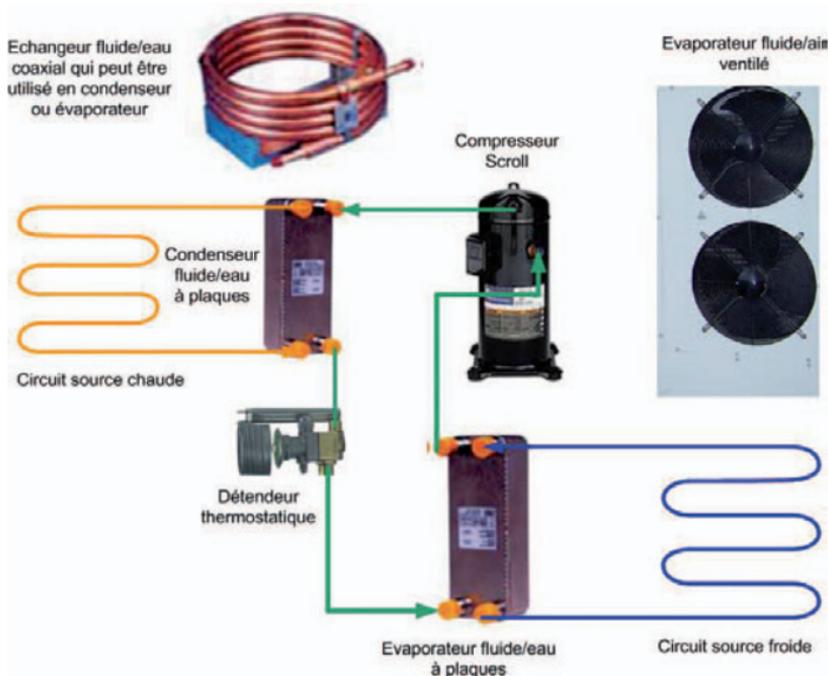


Fig. 1.1 – Schéma de principe avec les 4 éléments

## PARCOURS DU FLUIDE FRIGORIGÈNE EN PARTANT DU COMPRESSEUR

Le gaz est comprimé et de ce fait s'échauffe (valeur à titre d'exemple sur le schéma : 90 °C mais qui dépend du type de fluide frigorigène).

Sorti du compresseur, le gaz arrive dans le condenseur. Là, il rencontre à travers cet échangeur la source chaude, plus froide que lui, ce qui provoque tout d'abord sa désurchauffe (de 90 °C vers 45 °C par exemple), puis sa liquéfaction. La désurchauffe du gaz restitue entre 10 et 15 % de l'énergie totale échangée dans le condenseur. Au cours du changement d'état, le fluide frigorigène va céder des calories à température constante (45 °C dans l'exemple). Une fois entièrement liquide, le fluide peut être encore légèrement sous-refroidi (de 45 °C à 40 °C par exemple). Dans le cas où l'échangeur avec la source chaude est largement dimensionné, le média qui le traverse sortira à une température très proche de celle de la condensation du fluide frigorigène (43 °C par exemple). Le fluide sous-refroidi peut sortir plus froid que le média car la circulation se fait toujours à contre-courant. Toute cette partie du circuit frigorifique est réalisée en tube de cuivre de diamètre relativement petit (par exemple 1/2 pouce soit 12,7 mm).

Le fluide frigorigène liquide passe par un « étranglement » qui se présente soit sous la forme d'un simple capillaire (tube de très petit diamètre calibré en longueur), soit sous la forme plus sophistiquée d'un détendeur thermostatique. En amont de cet organe de retenue, le fluide frigorigène se trouve à haute pression (12 bars par exemple), en aval à basse pression (2 bars par exemple). Cette chute de pression provoque une baisse de température brutale du fluide frigorigène et une vaporisation partielle.

La sortie du détendeur débouche, soit directement sur un évaporateur simple, soit sur un distributeur de liquide qui répartit le fluide équitablement dans plusieurs tubes d'un évaporateur conséquent.

À ce stade, le fluide frigorigène est composé d'une sorte de brouillard riche en gouttelettes. Le rôle de l'évaporateur consiste à obtenir exclusivement du gaz en faisant bouillir le fluide au contact de la source froide. En s'évaporant, le fluide frigorigène capte des calories à travers l'évaporateur. Ici aussi, la source froide peut être un média tel que l'eau ou l'air. La fin du parcours dans l'évaporateur doit servir à surchauffer le gaz de manière

à être certain que tout le fluide est évaporé. Par exemple, si la température d'évaporation est de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , les gaz doivent être surchauffés jusqu'à  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Le fluide frigorigène et le média circulent à contre-courant comme dans le condenseur.

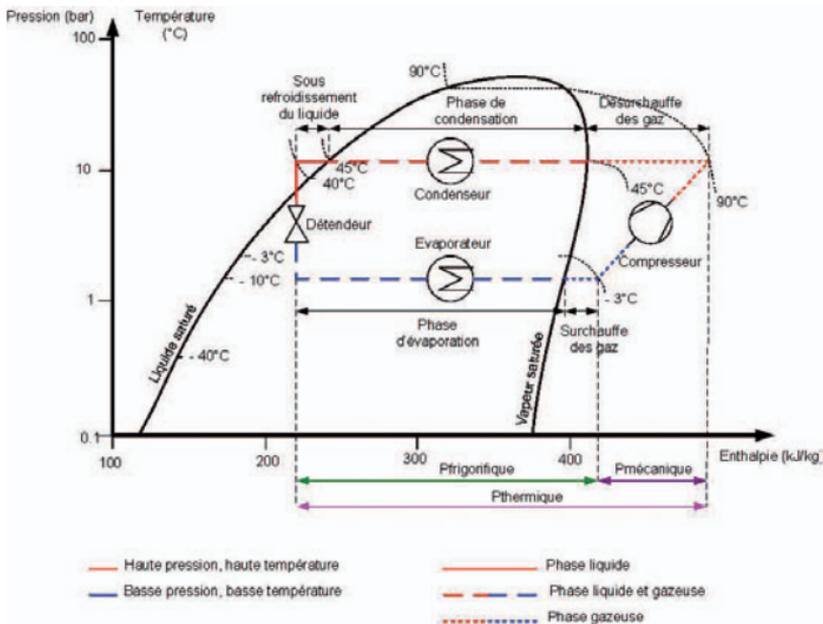


Fig. 1.2 – Dessin du cycle thermodynamique idéal sur le diagramme de Mollier

En sortie de l'évaporateur, le gaz est aspiré par le compresseur et le cycle se poursuit... La surchauffe à l'évaporation assure le compresseur de ne pas aspirer de liquide, ce qui risquerait de l'endommager gravement. La partie aspiration du compresseur est réalisée avec du tube de cuivre de diamètre relativement important pour limiter les pertes de charge (par exemple 3/4 de pouce soit 19 mm).

La figure 1.3 (p. 24) représente une pompe à chaleur fonctionnant vers  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  de température d'évaporation et  $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$  de température de condensation (cas, par exemple, d'une installation air/eau sur radiateurs par température extérieure extrême). Ce point de fonctionnement conduit à un  $\text{COP}_{\text{théorique}}$  très mauvais, infé-

## LE CYCLE THERMODYNAMIQUE IDÉAL

Le diagramme de Mollier, qui permet de suivre le cycle thermodynamique d'une machine frigorifique, est établi en enthalpies (une variation d'enthalpie fournit une énergie) en abscisses, et en pressions en ordonnées. Une courbe en cloche définit l'état du fluide frigorigène : complètement liquide à gauche de la ligne de liquide saturé, complètement gazeux à droite de la ligne de vapeurs saturées. Entre les deux, liquide et vapeurs coexistent et les isothermes sont horizontales (pour les fluides dits « azéotropiques » se comportant comme des corps purs). Les échanges de chaleur se font donc à température constante à l'intérieur de la courbe en cloche. Les températures et les pressions sont alors rigoureusement proportionnelles. À gauche de la ligne de liquide saturé, les isothermes montent brusquement, tandis qu'à droite de la ligne de vapeurs saturées elles descendent rapidement. Ces courbes correspondent à des changements de températures sans changement d'état. Le coefficient de performance théorique s'évalue sur ce diagramme :

$$\text{COP}_{\text{théorique}} = P_{\text{thermique}} / P_{\text{mécanique}}$$

Attention, il s'agit d'un  $\text{COP}_{\text{théorique}}$  qui ne tient pas compte des nombreuses pertes, telles celles liées aux rendements du moteur, du compresseur et les pertes de charges dans les éléments du circuit frigorifique. Le rapport entre le  $\text{COP}_{\text{théorique}}$  et le  $\text{COP}_{\text{réel}}$  est voisin de 0,75. Cette valeur correspond approximativement au rendement du moteur et du compresseur, les autres pertes étant minoritaires. Avec des moteurs à hauts rendements il est possible de s'approcher sensiblement du  $\text{COP}_{\text{théorique}}$ . Le gain est surtout significatif pour les compresseurs de petites puissances alimentés en monophasé (puissance électrique < 1 000 W). Grâce au diagramme de Mollier, nous comprenons que, plus l'écart entre pression de condensation et pression d'évaporation est grand, moins bon est le COP.

## LES POMPES À CHALEUR

rieur à 2, et donc à un  $COP_{réel}$  à peine supérieur à 1 ! (Autant utiliser une résistance électrique...)

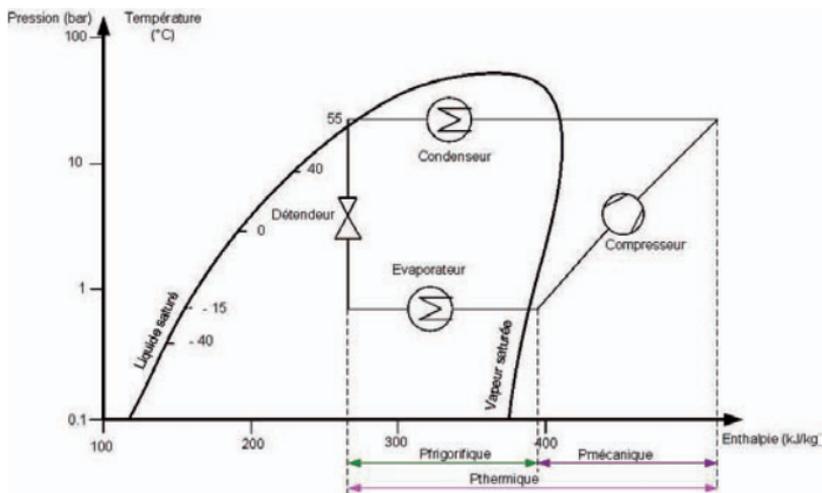


Fig. 1.3 – Dessin simplifié du diagramme de Mollier pour une pompe à chaleur fonctionnant de -15 à +55 °C

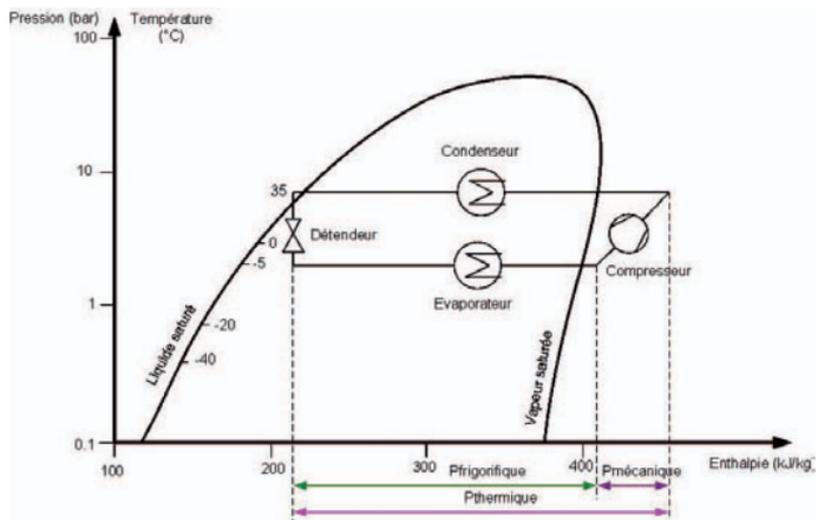


Fig. 1.4 – Dessin simplifié du diagramme de Mollier pour une pompe à chaleur fonctionnant de -5 à +35 °C

Au contraire, la figure 1.4 correspond au fonctionnement d'une pompe à chaleur vers  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour la température d'évaporation et  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour la condensation (cas, par exemple, d'une installation eau glycolée/eau), qui conduit à un  $\text{COP}_{\text{théorique}}$  d'environ 5 et donc à un  $\text{COP}_{\text{réel}}$  voisin de 3,8.

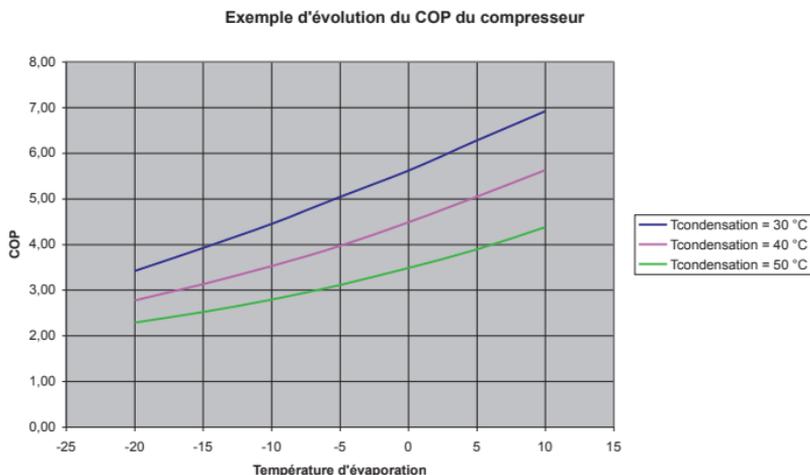


Fig. 1.5 – Exemple d'évolution du COP

La température maximum de fonctionnement des compresseurs est limitée par la tenue thermique des différentes pièces en contact avec les gaz comprimés ainsi que par l'huile de lubrification :  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$  à  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$  généralement selon les constructeurs. Or, ces valeurs sont atteintes pour une température de condensation bien inférieure ( $55$  à  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  selon les fluides et selon la pression d'évaporation). La température des gaz refoulés par le compresseur dépend aussi de la température des gaz aspirés : une aspiration à température élevée (par exemple  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) conduit à un refoulement à température élevée. Une innovation récente sur les compresseurs Scroll permet de travailler à plus haute pression de condensation : le principe consiste à prélever une petite partie du réfrigérant liquide (en sortie du condenseur), à le détendre et à l'injecter au milieu des spirales du compresseur Scroll. Ce brouillard vient refroidir efficacement les gaz surchauffés en sortie du compresseur sans abaisser pour autant



contrôler visuellement la charge correcte en fluide frigorigène et son état d'hygrométrie. Pour bien visualiser le passage du réfrigérant et les éventuelles bulles, il se monte idéalement sur une conduite verticale. Le filtre déshydrateur maintient le fluide propre et sec. Le témoin d'hygrométrie du voyant doit impérativement indiquer « sec » sur une installation prête à fonctionner ou déjà en service. Dans le cas contraire, le filtre déshydrateur doit être changé.

Une réserve de liquide peut venir faire un volume tampon en sortie de condenseur. Elle est utile surtout quand le condenseur contient un petit volume de fluide par rapport au volume total de l'installation. Une partie du fluide frigorigène se stocke au fond de cette réserve et permet d'alimenter régulièrement et exclusivement le détendeur en liquide (pas de risques de flashes gaz).

La bouteille anti-coups de liquide prend place à l'aspiration du compresseur. Elle protège ce dernier en évitant l'aspiration d'éventuelles gouttes de fluide non évaporé. Ce cas de figure existe dans les installations où l'évaporateur est de grande taille, avec une surchauffe difficilement maîtrisable, et aussi lorsque la détente est confiée à un capillaire.

La lubrification des compresseurs hermétiques se fait par bain d'huile au fond de la cuve. Une partie de l'huile part dans le circuit avec le fluide frigorigène. La bouteille anti-coups de liquide est conçue pour permettre le retour de l'huile au compresseur.

Selon le circuit frigorifique (faible charge de fluide, détente thermostatique, échangeur supplémentaire surchauffeur), il est possible de ne pas mettre de bouteille anti-coups de liquide. Les compresseurs Scroll tolèrent les coups de liquide tandis que les modèles à piston ou rotatifs y sont très sensibles (important risque de casse). Pendant les arrêts d'une pompe à chaleur et en fonction des températures et des hauteurs des différents éléments, le réfrigérant peut migrer et venir se condenser vers l'aspiration du compresseur. Sans précaution, au redémarrage, c'est le coup de liquide assuré pour le compresseur. Pour éviter cela, une électrovanne prend place sur la ligne liquide, c'est-à-dire juste avant l'organe de détente. Cette électrovanne est commandée en même temps que le compresseur.

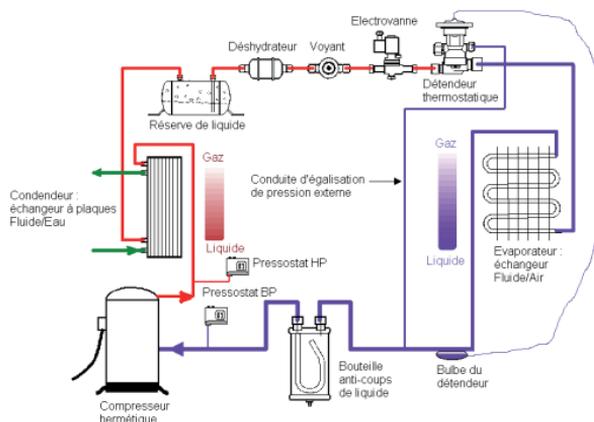


Fig. 1.7 – Exemple de schéma synoptique d'une pompe à chaleur air/eau

Le pressostat haute pression (HP) déclenche l'arrêt du compresseur en cas de pression anormale en sortie. C'est le cas, par exemple, si le détendeur thermostatique est bouché accidentellement. La sécurité basse pression (BP) intervient, entre autres, s'il y a une perte importante de fluide frigorigène : le compresseur a tendance à tirer au vide l'évaporateur. Il faut donc arrêter son fonctionnement.

## QUEL FLUIDE FRIGORIGÈNE POUR QUELLE APPLICATION ?

Le R134a est un HFC (hydrofluorocarbure) qui remplace le R12 (CFC : chlorofluorocarbure) à présent interdit car très destructeur de la couche d'ozone. Le R134a est utilisé en quantité pour les climatisations automobiles. Dans l'habitat, il présente l'intérêt de faire fonctionner les pompes à chaleur à haute température (généralement jusqu'à 65 °C). C'est l'application idéale pour une production d'eau chaude pour radiateurs en remplacement d'une ancienne chaudière. Ce réfrigérant fonctionne à pression relativement basse.

Le R407C (HFC) remplace le R22 (HCFC : hydrochlorofluorocarbure) qui était encore récemment massivement utilisé dans la climatisation et les pompes à chaleur (température d'utilisation courante : jusqu'à 55 °C). Le R22, à présent plus fabriqué, présente l'inconvénient d'appauvrir la couche d'ozone (environ 25 fois moins que le R12 qui est choisi comme référence car très destructeur). La plupart des pompes à chaleur actuelles fonctionnent au R407C avec les mêmes compresseurs que ceux qui utilisaient le R22. Seule l'huile change.

Le R407C présente des particularités et des inconvénients propres aux mélanges de gaz :

- Lors des changements de phases, la température « glisse » de 5 K environ ce qui rend les réglages plus difficiles et impose des échangeurs à contre-courant pour tirer le meilleur parti de ce fluide (C'est un mélange non azéotropique). Les réserves de liquides sont à proscrire car elles nuisent à l'homogénéité du fluide à l'état liquide avec l'huile de lubrification.
- Ce réfrigérant étant un mélange de gaz, en cas de micro-fuite, le composé ayant les molécules les plus volatiles s'échappe préférentiellement. Il en résulte un fluide frigorigène déséquilibré avec la nécessité de vider complètement l'installation avant de la recharger. Le reliquat de gaz retiré doit être récupéré pour recyclage.

Le R410A (HFC) est lui aussi un mélange mais il change d'état à température quasi constante. Il est de plus en plus utilisé dans les climatisations air/air. C'est un fluide qui travaille à haute pression, ce qui limite son usage aux températures de condensation moyennes (jusqu'à 45 °C environ). Ses qualités de transfert thermique permettent de diminuer l'encombrement des échangeurs et donc d'avoir des pompes à chaleur très compactes avec un COP intéressant.

Le R404A (HFC) présente des caractéristiques communes avec le R410A hormis sa pression de fonctionnement plus basse (proche du R22). Ce réfrigérant comporte en outre la particularité de peu s'échauffer pendant la phase de compression. La température des vapeurs surchauffées en sortie de compresseur reste donc modérée, ce qui convient parfaitement à l'appli-

cation des pompes à chaleur sol/sol.

Le R417A (HFC) est encore peu utilisé, pourtant il présente l'avantage par rapport aux autres HFC de pouvoir fonctionner avec une huile classique (minérale). Hélas, comme le R407C, il est non azéotropique avec un glissement en température important. Dans certaines applications, il peut remplacer le R22 sans modification.

Le R422D (mélange non azéotropique de la famille des HCH également) est apparu récemment pour remplacer directement le R22 dans l'entretien des pompes à chaleur existantes et pour lesquelles des modifications du circuit frigorifique ne sont pas envisageables. Il semblerait que le changement d'huile ne soit pas indispensable. Ce point reste à valider par le retour d'expérience. Les réserves de liquides sont également à proscrire car elles nuisent à l'homogénéité du fluide à l'état liquide avec l'huile de lubrification.

Le R290 (HC : hydrocarbure) est tout simplement du gaz propane. Ses caractéristiques en font un fluide frigorigène intéressant et très proche du R22. Hélas, ses propriétés d'inflammabilité le cantonnent actuellement à l'extérieur des habitations et en faible quantité. Il est compatible avec tous types d'huiles.

### ATTENTION À L'HUILE SYNTHÉTIQUE !

L'inconvénient commun à tous les HFC est lié à l'huile synthétique (polyolester) qu'ils exigent (hormis le R417A). Ce type d'huile est extrêmement sensible à l'humidité qu'elle absorbe en un temps record ! Une fois saturée en eau, l'huile n'assure plus correctement sa fonction lubrifiante, de plus il y a, par réaction chimique, formation d'acides susceptibles de corroder tout le circuit frigorifique. Les contraintes que représente l'usage des HFC impliquent un soin encore accru de la part des fabricants et des installateurs, lors de la réalisation des circuits frigorifiques.

## Impact des fluides frigorigènes sur l'environnement

La nuisance atmosphérique des réfrigérants est de 2 types :

- destruction de la couche d'ozone ;
- contribution à l'effet de serre.

Dans le tableau suivant nous noterons par des moins (-) l'intensité des nuisances et par (0) l'innocuité (ou quasi-innocuité) vis-à-vis de l'atmosphère.

Fluide	R12	R22	R134a	R407C	R410A	R404A	R417A	R422D	R290
Ozone	---	-	0	0	0	0	0	0	0
Effet de serre	--	--	-	--	---	---	---	---	0

Pour donner un ordre de grandeur, 1 kg de R410A lâché dans l'atmosphère produit autant d'effet de serre que le CO<sub>2</sub> (gaz carbonique) rejeté par une voiture moyenne qui parcourt 10 000 km. Gardons à l'esprit qu'une pompe à chaleur en bon état ne « consomme » pas de fluide frigorigène. Les fuites sont accidentelles.