

Les fluides caloporteurs

Les fluides caloporteurs, qu'il s'agisse du fluide caloporteur de la pompe à chaleur ou plus simplement de l'eau chaude circulant dans les tuyauteries d'un réseau de chauffage ont des caractéristiques extraordinaires en tant que véhicule énergétique. Pour que ces caractéristiques soient maintenues sur le long terme, il est nécessaire pour ne pas dire indispensable que les contrats d'entretien comprennent une vérification de l'état de ces fluides et leur maintien dans de bonnes conditions. Ce n'est qu'à cette condition que le chauffage sera pérennisé sur le long terme. La chaufferie hybride décrite dans ce livre utilise deux fluides hydrauliques pour transmettre les flux thermiques. D'une part le fluide caloporteur utilisé dans la pompe à chaleur fonctionnant en circuit fermé et ayant la particularité de changer d'état en revenant à son état d'origine (vapeur > liquide > vapeur > liquide, etc.) et d'autre part l'eau chaude des circuits chauffage et sanitaire restant, on peut l'espérer, à l'état liquide ! Le premier de ces deux derniers circuits hydrauliques fonctionnant lui aussi en circuit fermé, alors que le deuxième concernant l'eau chaude sanitaire est un circuit ouvert avec écoulement vers le réseau d'eau usée après utilisation de l'eau chaude.

1. L'eau des circuits chauffage et sanitaire

On a vu page 88 que l'eau, utilisée pour le chauffage, est un formidable véhicule énergétique. Il est toutefois important de connaître ses caractéristiques pour s'assurer qu'elle peut remplir cette fonction. La composition chimique de l'eau chaude ou froide qui circule dans les tuyauteries, à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment, doit respecter un certain nombre de caractéristiques. Ceci pour protéger les canalisations métalliques qui sont encore régulièrement mises en œuvre dans les installations sanitaires. Il n'est pas rare que les canalisations soient le siège d'une corrosion interne à la suite de décisions erronées en matière de conception, de choix des matériaux d'utilisation ou d'entretien de l'installation. La présence d'oxygène dans l'eau est un facteur de corrosion interne pour les tuyauteries en acier.

1.1. L'entretien de l'eau des circuits chauffage et sanitaire

Deux paramètres mesurables ont un impact sur la santé et la corrosion dans les installations sanitaires en acier :

Le potentiel d'hydrogène pH

La mesure du potentiel d'hydrogène de l'eau (**pH**) permet de mesurer l'activité de l'ion hydrogène dans celle-ci. Le pH mètre mesure la valeur du pH. La neutralité correspond à un pH de 7.

La mesure du pH de l'eau peut être utile, par exemple, pour contrôler l'acidité de l'eau récupérée par condensation dans les gaz brûlés de la combustion. Cette mesure est en effet un indicateur de l'acidité (pH inférieur à 7) ou de l'alcalinité (pH supérieur à 7) de l'eau. Il est en général conseillé d'augmenter le pH pour réduire la corrosion. Le type de corrosion pouvant être provoqué par un pH trop faible est appelé corrosion anaérobie. Un pH moins élevé que celui de la neutralité (par exemple 5) indique une augmentation de l'acidité (eau douce), et un pH plus élevé (par exemple 9) indique une augmentation de l'alcalinité, c'est-à-dire de la basicité. L'échelle de pH dans l'eau va de 0 à 14. Une eau dure à pH élevé corrode moins la tuyauterie mais peut être entartrant.



Kit de mesure du **pH**
(pH mètre)

Le degré français¹ ou tH

Le **tH** est un indicateur de la minéralisation de l'eau qui va de 0 à + de 42. L'eau est dite douce ou dure selon cette minéralisation ou dureté de l'eau.

Très douce	Douce	Moyennement douce	Dure	Très dur
0 à 7	7 à 15	15 à 25	25 à 42	+ de 42

La minéralisation concerne principalement la présence de calcium et de magnésium dissous. Une eau trop douce peut avoir un comportement agressif vis-à-vis de l'acier. D'autres sels minéraux, tels que le chlorure ou les sulfates, vont augmenter la conductivité électrique et donc la corrosivité alors que le calcium et le magnésium vont influencer la dureté et risquent de provoquer des phénomènes d'entartrage et d'embouage². Pour la santé, si on la boit, une eau doit être moyennement douce **tH** environ 20 +/- 5. La mesure de la dureté s'effectue avec un kit de mesure de la dureté de l'eau.



*Kit de mesure du tH
(tH mètre)*

Filtration du circuit chauffage

Une filtration du circuit de chauffage est nécessaire pour assurer le bon fonctionnement de la régulation en température. Cette filtration a pour objectif d'obtenir à partir d'une eau comportant une suspension de solide :

- de l'eau claire clarifiée comportant un nombre minimum de particules supérieures à 100, 10 ou 1 micron (1 micron ou mesch = 0,001 mm) par unité de volume ;
- des déchets solides plus ou moins secs retenus par le filtre.

La cartouche filtrante peut être constituée de matériaux divers tels que de la toile de verre fritté, du sable, un treillis inox ayant une finesse de filtration plus ou moins élevée. Lors de la filtration, la différence de pression ou perte de charge dans la cartouche filtrante augmente selon la porosité de la cartouche filtrante et sa finesse de filtration. La surface du média filtrant, sa résistance à la différence de pression tolérée aux bornes de la cartouche filtrante, conditionnent en partie le dimensionnement du filtre et le débit d'eau qui peut le traverser. Au cours de la filtration, l'accumulation des particules solides en amont du filtre augmente la perte de charge pour un débit donné, ou peut réduire le débit de filtration pour une différence de pression donnée. Cette réduction conduit à effectuer des cycles de filtration, avec remplacement périodique de la cartouche. Selon le besoin, deux finesses de filtration sont envisageables. Les particules métalliques, souvent assez fines, peuvent être éliminées par des barreaux magnétiques.

¹ L'auteur propose d'abandonner la nomination °F pour satisfaire nos amis anglais et ne confondre avec les degrés Fahrenheit.

² L'embouage est une accumulation de dépôts peu adhérents sur des surfaces. Les conséquences de l'embouage sont la diminution du débit, l'augmentation de l'hystérésis des valves trois voies assurant la régulation en température du circuit de chauffage affectant le bon fonctionnement de la régulation, voire au pire le blocage du tiroir de ces valves entraînant une augmentation de la consommation d'énergie et l'inconfort des occupants. Le circuit de filtration ou circuit de désembouage est préférentiellement implanté en dérivation sur le circuit de retour vers les chaudières ou le condenseur de la PAC afin de ne pas majorer les pertes de charges sur le circuit principal. Une pompe additionnelle assure le débit dans le filtre. Deux valves d'isolation ¼ de tour à commande manuelle permettent de changer l'élément filtrant.

Filtration grossière (particules supérieures à 100 microns)

Cette filtration grossière est parfois nécessaire pour protéger du fait de l'encrassement certains organes hydrauliques. Cela est par exemple le cas des crépines implantées à l'aspiration des pompes immergées de l'exhaure d'une PAC aquathermique *eau eau* afin de protéger ces dernières. Cela peut être aussi le cas du filtre monté entre ces pompes immergées et l'échangeur à plaques constituant l'évaporateur afin d'éviter son encrassement grâce à un cycle automatique de contre-lavage (*voir page Error! Bookmark not defined.*).

Filtration fine³ (particules inférieures à 5 microns)

Même à basse pression, le bon fonctionnement des différentes valves constituant les circuits chauffage et ECS sont sensibles au degré de pollution. Un trop grand nombre de particules métalliques dans l'eau chaude, la présence de boues dans le circuit hydraulique fermé du chauffage, peut affecter leur fonctionnement et ceci particulièrement lorsqu'elles ont une fonction de régulation de la température comme cela est le cas des soupapes thermostatiques montées sur les radiateurs pour la partie du circuit en zone privative ou des valves 3 voies assurant la régulation de température sur le circuit de chauffage collectif. Ces particules augmentent les frottements métalliques des pièces mécaniques internes de ces valves, ce qui affecte l'hystérésis de ces valves et la qualité de la régulation. Ce type de filtration est aussi souhaitable sur le circuit hydraulique interne de la PAC et ceci particulièrement avec les PAC à compresseur de forte puissance à pistons.



Le sous-ensemble de désembouage⁴ assure la filtration en continue du circuit chauffage.

1.2. L'air de combustion

L'air de combustion est en quelque sorte un fluide caloporteur puisque l'oxygène qu'il contient rentre dans le processus même de formation de l'énergie thermique dans le corps de chauffe des chaudières. À ce titre, sa filtration préalable améliore la régulation en température assurée par les brûleurs modulant leur puissance en fonction du besoin.



2. Le fluide caloporteur de la pompe à chaleur

Il joue un rôle très important dans la mesure où tous les flux thermiques circulant dans le condenseur et dans l'évaporateur d'une pompe à chaleur transitent par celui-ci : le flux thermique à la source chaude envoyé par le condenseur de la pompe à chaleur sur les réseaux ECS et chauffage, le flux thermique généré par sa compression alors qu'il est à l'état gazeux avant qu'il ne rentre dans le condenseur et enfin, le flux thermique qu'il reçoit de la source froide lorsqu'il traverse l'évaporateur ce dernier flux correspondant à l'énergie renouvelable prélevée dans l'environnement. La puissance thermique transmise par ces flux peut être très importante et aller jusqu'à 4000 kW pour les pompes à chaleur de forte puissance.

³ Même les compresseurs à spirale Copeland, moins sensibles à la pollution du fait de l'absence de mouvement relatif entre les pièces mécaniques, pourraient de l'avis de l'auteur bénéficier de ce type de filtration et augmenter encore la durée de vie de ce type de compresseur.

⁴ Un circuit de chauffage se polluant progressivement dans le temps, le sous-ensemble de désembouage reste à demeure et fonctionne en permanence en filtrant en continu et en dérivation le circuit de chauffage de telle sorte que le niveau de contamination reste à un niveau raisonnable afin d'assurer la fiabilité du système de contrôle.

2.1. Leurs évolutions

La recherche d'un fluide caloporteur « idéal » est au cœur de la recherche et conditionne en bonne partie l'évolution du chauffage thermodynamique. Les critères de choix du fluide caloporteur relèvent du constructeur de la pompe à chaleur. Il peut être différent d'une pompe à l'autre, selon la température maximum souhaitée au condenseur, température souvent liée à la pression régnant dans cet organe. **Les fluides frigorigènes** ont pour rôle d'assurer les transferts thermiques dans l'évaporateur et le condenseur d'une pompe à chaleur lors des réactions endothermiques et exothermiques à l'intérieur de ces deux composants. Pour cela, ils doivent répondre à un certain nombre de critères :

- *thermodynamiques* (obtention du rendement optimal, bon positionnement des températures d'évaporation et de condensation) ;
- *de sécurité* (toxicité, inflammabilité, absence de fuite) ;
- *techniques* (leur compatibilité avec les matériaux constitutifs de la machine et les huiles de graissage, leur non-nocivité) ;
- *économiques* (prix au kg) ;
- et *écologiques* (influence sur l'ozone et l'effet de serre).

	R22	R134a	R290 propane	R407C	R717 ammoniac
Utilisation	Installation nouvelle interdit depuis 01.01.2002	Pas de restriction	Selon norme SN253130	Pas de restriction	Installation de grande taille
Inflammabilité / toxicité	Non / non	Non / non	Oui / non	Non / non	Oui / oui
Limite d'utilisation	+55°C	+ 65°C	+65°C	+55°C	+55°C

Quelques fluides caloporteurs courants selon Monsieur Abdoulaye Ndiaye (professeur de physique appliquée au lycée Paul Langevin).

D'une manière générale, les fluides frigorigènes utilisés dans une pompe à chaleur doivent présenter les propriétés physico-chimiques suivantes :

- Une température de vaporisation basse afin de soutirer la chaleur dans l'environnement avec une pression supérieure à la pression atmosphérique afin d'éviter toute entrée d'air au niveau de l'évaporateur.
- Une caractéristique favorable des courbes de saturation, afin d'obtenir des rapports de compression modérés.
- Des pressions de condensation raisonnables dans le but de réduire le travail mécanique de compression, de limiter les risques de fuite du fluide caloporteur vers le milieu extérieur et de simplifier la construction du condenseur et du compresseur.
- Une chaleur latente élevée (propriété enthalpique) dans le domaine des températures de fonctionnement. Ceci afin d'obtenir des coefficients de transfert thermiques élevés en limitant le débit de ce fluide et le volume de fluide caloporteur dans le circuit fermé.
- Une viscosité du liquide raisonnable (pas trop élevée).
- Une stabilité chimique sur tout le domaine des températures de fonctionnement et une compatibilité avec les huiles de graissage et les matériaux constructifs de l'installation.

- Une solubilité totale par rapport à l'eau, afin d'éviter la formation de morceaux (bouchons) de glace mais attention : l'eau doit de toute façon être *totale*ment exclue du circuit caloporteur, particulièrement lorsque le fluide de graissage est une huile synthétique.
- Être non inflammable, non toxique et non explosif.
- Une rigidité diélectrique élevée, surtout dans le cas des installations sertissées où l'agent thermodynamique entre en contact direct avec les éléments du circuit électrique.
- Être non polluant en cas de fuite vers le milieu extérieur.
- Avoir un coût acceptable, surtout pour les installations de grande puissance.

Comme on le voit, beaucoup de qualités sont requises. Le dioxyde de carbone, en pratique du gaz carbonique (CO₂), le fluide estimé être une des causes du réchauffement climatique, rentre curieusement en liste. Il fonctionne cette fois-ci en circuit fermé au lieu d'être dissipé par la combustion dans l'atmosphère au détriment du climat. Aussi dénommé par les frigoristes, le **R744**, le gaz carbonique a une chaleur latente de vaporisation au point d'ébullition importante (570 kJ/kg). Il commence à être utilisé comme fluide caloporteur pour les PAC de forte puissance (jusqu'à 4 000 kW) et haute température (jusqu'à 90 °C), solutionnant du même coût le problème du chauffage des bâtiments existants mal isolés et trop souvent équipés de radiateur haute température. Revers de la médaille : les pressions requises pour obtenir ces températures dans le condenseur sont plus élevées. Autre alternative plus répandue, le **R134a** un HFC (hydrofluorocarbure) ayant une quasi-innocuité pour la couche d'ozone et qui remplace maintenant le **R12** (CFC : chlorofluorocarbure) qui est lui très destructeur de cette couche. Il est utilisé en quantité pour la climatisation automobile. Dans l'habitat, il présente l'intérêt de pouvoir faire fonctionner les pompes à chaleur à plus haute température (généralement jusqu'à environ 65 °C). C'est le fluide idéal pour fournir l'eau chaude sanitaire à 55 °C à partir d'une eau froide ayant une température comprise entre 10 et 12 °C. Ce fluide présente d'autre part l'avantage de fonctionner à pression relativement basse. Il peut aussi, avec un COP qui reste raisonnable, alimenter à 65 °C les radiateurs moyenne température lors du remplacement d'une ancienne chaufferie fioul ou gaz par une chaufferie hybride GAZ-EnR.

2.2. Les conséquences et les causes de fuites éventuelles

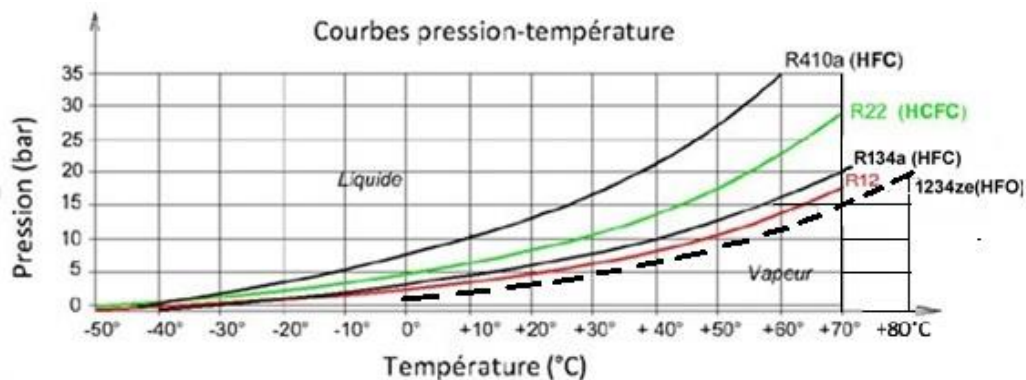
Une communication entre le milieu extérieur et le circuit fermé dans lequel circule le fluide caloporteur d'une pompe à chaleur engendre une fuite qui a des conséquences sur les performances du système. La fuite circule obligatoirement du milieu haute pression vers le milieu basse pression. Le fluide caloporteur étant successivement à l'état gazeux, puis à l'état liquide dans le cycle de la PAC, il peut s'agir d'une fuite gazeuse ou liquide. Une fuite de liquide vers l'extérieur dans le circuit à pression plus élevée du condenseur diminue la masse de fluide caloporteur en circulation et réduit le temps de cycle en affectant les performances de la pompe à chaleur. Le circuit fermé du fluide caloporteur d'une pompe à chaleur est, ou du moins doit être, rigoureusement étanche, toute fuite du fluide caloporteur vers l'extérieur devant être détectée et traitée. L'idée selon laquelle ces fuites peuvent contribuer à avoir une incidence grave sur l'effet de serre est assurément exagérée, ne serait-ce que pour des raisons quantitatives. Selon le CETIM (voir « Guide des bonnes pratiques pour la détection des fuites de fluides frigorigènes »), ces fuites sont évaluées par les frigoristes en g/an, ce qui sous-entend que si elles existent sur les circuits de climatisation des voitures ou des réfrigérateurs, elles sont la plupart du temps très faibles. Les fluides caloporteurs actuels ne pourront probablement plus progresser significativement en ce qui concerne les émissions de GES (gaz à effet de serre). À défaut de préserver l'effet de serre, le fluide caloporteur **R134a** (HFC) utilisé dans l'industrie automobile bénéficie dès à présent d'une quasi-innocuité pour la couche d'ozone.

Le CETIM décrit ainsi les paramètres qui influent sur l'existence et l'importance d'une fuite :

- Défaut de fabrication ou de mise en œuvre du matériau assurant l'interface entre le fluide caloporteur et le milieu extérieur.

- Choix du produit assurant avec ou sans joint l'étanchéité (cuivre, graphite, PTFE, NBR, FKM, EPDM, etc.) et stockage de ces produits dans de bonnes conditions.
- Propreté et état des surfaces mécaniques en contact (surface non plane au niveau des brides, surface rayée, présence de particules entre les surfaces, joint détérioré...).
- Bon dimensionnement et respect des tolérances afin d'assurer un effort d'application des surfaces entre elles adapté au besoin avec une course en réserve en cas de dilatation thermique.
- Bonne compatibilité des matériaux entre eux, notamment entre le fluide caloporteur et le fluide de graissage utilisé et ceci compte tenu des températures de fonctionnement.
- Importance d'un bon montage. Un bon assemblage respectant le couple de serrage assurant un serrage optimal à la clé dynamométrique, en veillant au joint vrillé et mal positionné pouvant être source de problème.

La quantité de fluide caloporteur circulant en boucle dans le cœur d'une pompe à chaleur est fonction du temps du cycle détente-compression prévu par le constructeur de la PAC et de la chaleur latente de vaporisation du fluide caloporteur au point d'ébullition. Un chiffre optimum de 0,1 litre/kW à la source chaude est évoqué dans la littérature technique (voir exemple de calcul air-sol-eau page **Error! Bookmark not defined.**). Les contrôles d'étanchéité effectués à la mise en route de l'installation sont suivis d'un contrôle périodique par un personnel agréé pendant la durée de vie de la pompe à chaleur. La fréquence de ces contrôles est fonction de la masse de fluide caloporteur circulant dans le circuit fermé. Prévue une fois par an pour une masse de fluide comprise entre 2 et 30 kg, cette fréquence passe à deux contrôles annuels entre 30 et 300 kg. Un registre indiquant la recharge en fluide doit être tenu par l'exploitant, la détection des fuites éventuelles étant assurée par un détecteur manuel ayant une sensibilité permettant de détecter une fuite aussi faible que 5 grammes par an sur les points sensibles du circuit fermé.



Les courbes ci-dessus indiquent les courbes de vapeur saturée de deux anciens fluides caloporteurs (en couleur) et de deux fluides caloporteurs actuels (en noir). Les fluides caloporteurs passent de l'état liquide à l'état gazeux ou inversement, à une température fonction de la pression. Par exemple, lorsque le compresseur comprime le fluide caloporteur **R134a** à l'état de vapeur, celui-ci se condense et commence à passer en phase liquide lorsque la pression atteint 10 bar avec une température correspondante de 40 °C.

- Les fluides de la famille de CFC (carbone fluor chlore), comme le R12 indiqué en rouge sur la figure, nuisibles pour la couche d'ozone (ODP) et l'effet de serre (GWP) sont maintenant interdits à la vente et à l'utilisation).
- Les fluides de la famille de HCFC (hydrogène, fluor, carbone, chlore) sont aussi interdits à la vente et il devient difficile de trouver des produits de substitution pour la maintenance.
- Les deux fluides de la famille de HFC (hydrogène, fluor, carbone) sans chlore type **R410a** et **R134a** mentionnés pour exemple sont encore couramment utilisés actuellement. Ils n'ont pas d'effet sur la couche d'ozone mais leur impact sur l'effet de serre, quoi que plus faible que les CFC et les HCFC, n'est pas négligeable (GWP de 1430 pour le **R134a**). Cet impact reste toutefois suffisant

*pour que des produits de substitution ayant des molécules d'une complexité croissante soient envisagés pour être en accord avec le protocole de Kyoto, comme par exemple avec l'hydro-fluoro-oléfines **HFO1234ze** breveté par Honeywell, actuellement en test sur de nombreuses applications et ayant un GWP de 6 avec une courbe pression-température comparable au R12 mais allant jusqu'à environ 90 °C, voire au-delà. Ce fluide, encore peu utilisé, se satisfait de pressions plus basses diminuant les risques de fuite et les contraintes mécaniques dans les condenseurs. Il va permettre l'utilisation d'échangeurs à plaques de plus forte puissance, mieux adaptés au chauffage des immeubles voire de groupe d'immeubles.*

Les lutins thermiques, préoccupés par la préservation de nos écosystèmes, s'insurgent devant des titres accrocheurs comme celui de la Société française d'écologie (SFE) : « R22, la biodiversité face au réchauffement climatique. » Ils estiment que les conséquences sur l'effet de serre d'une fuite sur le *circuit fermé* d'une pompe à chaleur d'un particulier, même s'il s'agit du R22, fluide reconnu destructeur en raison du chlore contenu dans sa formule (HCFC), est négligeable comparativement aux conséquences résultant du rejet dans l'atmosphère du gaz carbonique et autres gaz nuisibles que ce même particulier aurait rejeté dans l'atmosphère s'il avait conservé le *circuit ouvert* de la combustion avec les gaz brûlés de sa vieille chaudière au fioul. À force d'interdire, on est presque en droit de se demander si ce n'est pas la combustion qu'il faudrait un jour ou l'autre interdire pour préserver le climat.

2.3. Les précautions indispensables

Afin d'éviter la formation d'acide préjudiciable à la tenue mécanique des compresseurs, la bonne compatibilité du fluide caloporteur avec les fluides de graissage synthétique contenant du fluor est conditionnée par l'absence de toute trace d'eau dans le circuit. Pour augmenter la tenue dans le temps des compresseurs de la pompe à chaleur, toute présence d'eau, même sous forme de trace, doit donc être éliminée du circuit interne de la PAC. Il est nécessaire, avant introduction du fluide frigorigène, de faire dans un premier temps le vide dans ce circuit avec une pompe à vide afin d'éliminer l'air atmosphérique chargé de l'humidité qu'il contient, puis d'introduire dans ce circuit de l'azote afin d'absorber l'humidité résiduelle et enfin de refaire à nouveau le vide avant d'introduire le fluide caloporteur⁵. Ces opérations doivent être réalisées soigneusement avec une pompe à vide en bon état par un prestataire ayant reçu une formation appropriée lui permettant de maîtriser cette pratique afin de minimiser le risque d'introduction de givre se formant sur l'évaporateur. Le circuit interne de la pompe à chaleur peut avantageusement être déshydraté par un générateur d'alumine. Ce « déshydrateur » est en pratique un filtre chimique qui génère de l'alumine moyennant un traitement approprié. Alumine qui a la particularité, sous sa forme dite « activée », d'augmenter les surfaces de rétention et de transformer le redoutable acide fluorhydrique en un inoffensif sel. Ce sel et l'eau générée par la transformation étant retenus à la sortie du filtre « déshydrateur », pour peu que celui-ci ait été monté dans le bon sens ! Moyennant le respect de ces précautions, les constructeurs de PAC sont à même de garantir les compresseurs spirales, il est vrai moins sensibles à l'usure du fait d'absence de mouvement relatif entre les pièces mécaniques pendant cinq ans de fonctionnement.

⁵ Il s'agit bien effectivement de trace mais cela suffit à créer problème si l'on ne prend pas ces précautions qui relèvent du savoir-faire du frigoriste. L'air ne peut en effet contenir qu'une quantité de vapeur d'eau limitée puisque l'hygrométrie nous apprend, au travers de l'humidité relative de l'air (HR), qu'un kg d'air ayant une humidité relative de 50 %, située à mi-chemin entre la saturation (100 % HR) et l'air sec (0 % HR), ne contient sensiblement que 10 grammes de vapeur d'eau par m³ ou sensiblement par kg d'air sec compte tenu de la densité de l'air sec proche de 1,25 kg/m³.

Complément

Le choix de l'Europe pourrait se porter à ce sujet vers le HFO, (HydroFluoro-Oléfines) 1234ze un fluide caloporteur de 4ème génération bien adapté aux échangeurs à plaques compte tenu de son fonctionnement à basse pression. L'Europe qui a choisi le gaz russe plutôt que le gaz de schiste américain pourrait équilibrer les relations internationales en approvisionnement le fluide caloporteur aux USA. Il ne s'agit pas de petite quantité. Le lecteur peut se reporter à page 154 chapitre 3) "rien est simple" qui tente de définir les quantités utiles de fluide caloporteur. Certes cela n'a rien à voir avec les besoins en combustible pour faire rouler une voiture mais à raison de 10 millions de parisiens et de 1 kg de HFO par parisien c'est tout de même un besoin ponctuel de 10 000 tonnes pour généraliser le chauffage thermodynamique échangeant sur l'eau dans une grande métropole comme Paris.

Le débit massique de fluide caloporteur à prévoir est fonction de la puissance requise et de l'enthalpie du fluide caloporteur de la pompe à chaleur . Le fichier sur la [génération hybride gaz électricité](#) de mon livre sur la SWE donne les bases du calcul (début de la page 8). Celui-ci devra être confirmé par le constructeur de la pompe à chaleur qui pourra utilement également confirmer la masse de fluide caloporteur contenue dans le circuit fermé de la pompe à chaleur