L'évolution des fluides : un avis d'expert

Historique fluides frigorigènes

Pompes à chaleur

Jacques Bernier, Ingénieur CNAM IFFI

L'AICVF a demandé à Jacques Bernier, récipiendaire de son Prix Spécial du Jury 2015, son avis d'expert sur les évolutions des fluides frigorigènes. Après un rappel historique, ce « serial inventeur » de pompes à chaleur et machines frigorifiques fait part à CVC des orientations qu'il perçoit dans le domaine et des difficultés qu'il reste à lever.

Le démarrage de la pompe à chaleur

La première proposition d'utilisation d'une machine thermodynamique pour le chauffage nous vient de William Thomson (Lord Kelvin) en 1852. L'utilisation des pompes à chaleur a timidement suivi, au tout début du 20ème siècle, celle de la production de froid artificiel.

Le CO_2 (R-744 ou dioxyde de carbone) a été l'un des premiers fluides frigorigènes utilisés dans l'histoire de la réfrigération. D'autres fluides frigorigènes seront utilisés tels le dioxyde de soufre (SO_2), le chlorure de méthyle (CH_3Cl), le chlorure d'éthyle (C_2H_5Cl), le propane (R-290), l'isobutane (R-600a) ou encore l'ammoniac (NH_3). Tous ces fluides avaient des propriétés thermodynamiques intéressantes mais présentaient tous un danger pour l'homme étant donné leur toxicité (SO_2, CH_3Cl, C_2H_5Cl, NH_3) ou du fait qu'ils étaient combustibles (CH_3Cl, C_2H_5Cl, R-290, R-600a, NH_3) ou demandaient des compresseurs à très haute pression (CO_2). Ils ont été abandonnés à partir de 1932 au profit des CFC qui commençaient à être produits de façon industrielle.

Des pompes à chaleur utilisant le R-12 et le R-11 ont alors fait leur apparition. Mais c'est avec l'arrivée des HCFC (principalement le R-22) qu'a réellement commencé la fabrication en série des pompes à chaleur. Les différentes crises de l'énergie vont asseoir le développement des pompes à chaleur avec un parc de plus de 130 millions de PAC répertoriées dans le monde en 2010. La pompe à chaleur air extérieur/eau devient en 2018 l'un des moyens de chauffage les plus utilisés en maison individuelle en France (› **figure 1**).

La protection de l'environnement et la réglementation sur les fluides

Le protocole de Montréal le 16/09/1987 a condamné les CFC et les HCFC en raison de leur action destructrice de la couche d'ozone. Ces fluides seront interdits par phases successives de 2004 à 2015. Le protocole de Kyoto le 11/12/1997 vise lui à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le règlement européen F-Gas voté le 12/03/2014 prévoit des quotas de fluides frigorigènes HFC de plus en plus contraignants et l'interdiction de certains fluides HFC à très fort effet de serre. La mise en place de ces accords internationaux va conduire à l'interdiction programmée de ces fluides frigorigènes, ce qui a un impact immédiat sur les choix techniques que doivent faire les constructeurs de PAC (› **figure 2**).

Le calcul de l'effet de serre global

L'effet de serre global d'une installation de pompe à chaleur est la somme des effets de serre directs et indirects :

1) L'effet de serre direct ESD correspondant aux pertes de fluide

- Masse perdue lors de la charge de l'installation ;
- Masse de fluide perdue pour les fuites annuelles ;
- Masse non récupérée en fin de vie de l'appareil ;
- Effet de serre direct : ESD = Masse totale x PRG ramené à une année.

2) L'effet de serre indirect dû à la consommation d'énergie du système frigorifique :

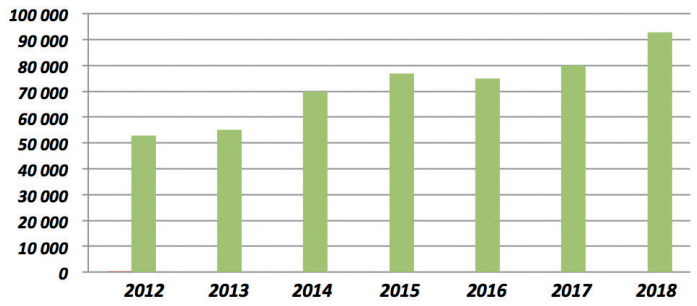
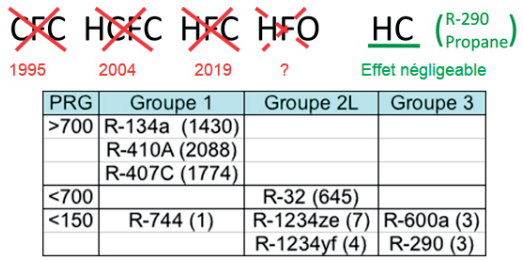


Figure 1 Marché de la PAC air/eau en France



PRG	Groupe 1	Groupe 2L	Groupe 3
>700	R-134a (1430)		
	R-410A (2088)		
	R-407C (1774)		
<700		R-32 (645)	
<150	R-744 (1)	R-1234ze (7)	R-600a (3)
		R-1234yf (4)	R-290 (3)

Figure 2 Interdictions successives des fluides frigorigènes

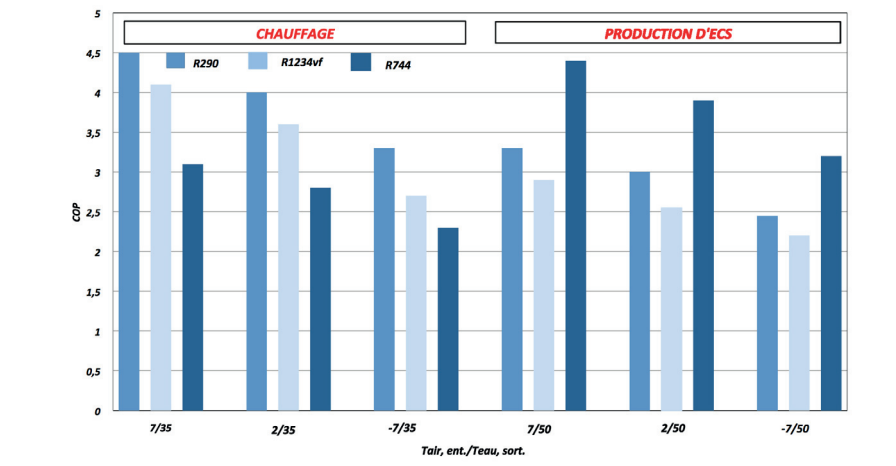


Figure 3 COP des petites PAC avec des fluides à faible PRG

Figure 4 PAC air extérieur/eau HR70 Auer

ESI = kWh consommés x taux CO_2/kWh
3) L'effet de serre global : ESG = ESD+ESI
A titre d'exemple, une pompe à chaleur avec 4 kg de R-410A aura instantanément, en perdant sa charge de gaz, un impact sur l'effet de serre équivalent à celui d'une automobile parcourant 64 000 km.
L'idéal est donc d'avoir un fluide très performant thermodynamiquement (bon COP) et possédant un PRG très faible. Le choix d'un fluide sera donc effectué en conséquence de la somme ESD+ESI (> **figure 3**).

Le R-32 : une solution provisoire

Les constructeurs asiatiques se sont lancés tête baissée sur l'utilisation du R-32, fluide légèrement inflammable et avec un GWP=675 kg CO_2/kg. L'évolution de la réglementation incendie CH35 dans les ERP devrait permettre pour quelques années l'utilisation de ce fluide.

Vers l'utilisation de fluides naturels

Plusieurs types d'hydrocarbures ont été utilisés comme fluides frigorigènes :
- le propane (R-290) et l'isobutane (R-600a) étaient parmi ceux utilisés avant 1930 ;
- l'isobutane (R-600a) est l'hydrocarbure le plus fréquemment utilisé dans les réfrigérateurs ;
- le propane (R-290) commence à être utilisé industriellement par des fabricants de pompes à chaleur (Auer, ETT, Bernier Energies, Alpha-innotec...) (> **figure 4**). Il est également employé dans les chauffe-eaux thermodynamiques.

Les HFO sont moins performants et ont aussi peu d'impact sur le réchauffement climatique mais sont plus chers car synthétisés par l'industrie chimique et présentent un risque potentiel d'acidification des cours d'eau.
Le CO_2 est très performant en production d'ECS mais peu performant en chauffage. Les hautes pressions de fonctionnement imposent l'utilisation de composants plus chers que pour les autres technologies.
Les performances de l'ammoniac NH3 en cycle frigorifique surpassent celles de tous les autres fluides frigorigènes disponibles actuellement. A cause de sa forte toxicité, il est utilisé principalement dans les installations industrielles.

Une révision de la norme EN378

Pour les fluides frigorigènes inflammables, quatre sujets importants ont besoin d'être réexaminés dans la norme EN378 :
- Masse de fluide autorisée exagérément limitée à 150 g dans la plupart des cas ;
- Réalisation pratique d'équipements frigorifiques et PAC avec des fluides du groupe 3 ;
- Qualité des brasures à employer et protection anti-corrosion des brasures ;
- Systèmes frigorifiques placés dans un caisson étanche relié de façon étanche à l'extérieur sans ventilateur.

Coûts d'installation et de maintenance des PAC

Contrairement à ce qu'affirme l'étude de Carbone 4 pour le compte de l'AFPAC, publiée en octobre 2018, le coût d'investissement des PAC et CET n'est pas supérieur de 1,2 à 8,4% à celui des PAC aux HFC, c'est même l'inverse. En effet, on trouve sur le marché des PAC air extérieur/eau au R-290 à la fois très performantes et dont le prix est inférieur à celui de la plupart des PAC aux HFC (exemple la PAC HRC70 de Auer).
De même, il existe sur le marché des chauffe-eaux thermodynamiques au R-290 dont le prix est inférieur à celui des CET au R-134a (CET Edel dont la charge est de 150g de R-290 étant donné la conception du condenseur) (> **figure 5**).
Le prix du fluide et les taxations prévues sur les HFC vont augmenter sérieusement les coûts de maintenance des installations. A titre indicatif, le prix facturé au client d'une recharge de R- 410a est aujourd'hui de 150 €/kg alors que celui d'une recharge de R-290 n'est que de 35 €/kg. Les fuites de gaz risquent, avec les HFC, de coûter plus cher que l'économie d'énergie générée par la PAC, compte-tenu notamment de la taxation des fluides. >>>

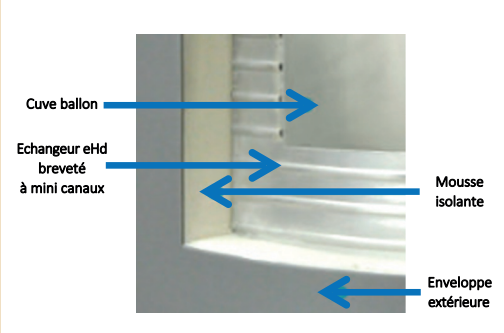


Figure 5 Condenseur du chauffe-eau thermodynamique Edel.