



Décryptage : Les fluides frigorigènes

Omniprésents dans les bâtiments, absents de la comptabilité carbone

OID – V1
22/03/2019

Ce qu'il faut retenir...

- Les fluides frigorigènes sont utilisés dans une grande majorité des systèmes de production de froid, dont **les installations fuient en continu** (de l'ordre de 10% en 1 an), les gaz émis lors de ces fuites s'évaporent dans l'atmosphère.
- Lors de leur évaporation, les fluides frigorigènes les plus répandus dégagent de puissants **gaz à effet de serre** et contribuent également à la **destruction de la couche d'ozone**. Ainsi, une fuite d'1 kg de réfrigérant de synthèse dans l'atmosphère produit un effet de serre équivalent à celui généré par l'émission de 1 500 à 3 000 kg de CO₂.
- Malgré les engagements pris après les protocoles de Montréal et Kyoto, **une augmentation de 60%** de l'utilisation de ces fluides a été observée depuis 1990, ils pourraient donc être responsables de 20% des émissions de GES en 2050.
- Les fluides frigorigènes sont peu comptabilisés dans les **Bilans Carbone®** car les données réelles sont difficiles à obtenir.

De quoi parle-t-on ?

Sur l'échelle de temps de la construction, l'utilisation des fluides frigorigènes pour la réfrigération ou le chauffage des bâtiments est assez récente.

Le **fluide frigorigène** est un fluide **liquide** ou **gazeux**. Pur ou mélangé à d'autres substances, il est utilisé pour ses propriétés uniques de **production de chaleur ou de froid**, en particulier dans les systèmes de Pompes à Chaleur (PAC), de climatisation (groupe froid), ou de réfrigération type chambre froide (Restauration Inter-Entreprise, cafétéria, etc.).

Dans une pompe à chaleur (PAC), l'air chaud provenant de l'extérieur va être transformé en air froid grâce au fluide frigorigène, en effectuant un **cycle thermodynamique** pendant lequel il va subir 4 transformations¹ : évaporation, compression, condensation, détente. Lors de ces transformations, une partie de ces fluides s'échappe du circuit, et provoque des fuites. Les Pompes A Chaleur (PAC) sont donc rechargées régulièrement en fluides frigorigènes.

¹ Source : <https://www.calculeo.fr>



Il existe différentes molécules de fluides frigorigènes :

- Les **CFC** (ChloroFluoroCarbones, encore appelés fréon), fortement halogénés, cela signifie qu'ils contiennent du chlore et du fluor.
- Les **HCFC** (HydroChloroFluoroCarbones), partiellement halogénés et contiennent moins de chlore et de fluor que les CFC.
- Les **HFC** (HydroFluoroCarbones) qui ne contiennent pas de chlore. Actuellement, ce sont les plus utilisés.
- Les **fluides réfrigérants naturels** comme l'ammoniac et le CO₂.

Dans le contexte du **réchauffement climatique**, les températures atmosphériques augmentant, les fluides frigorigènes sont sollicités de manière exponentielle pour réguler la température interne des bâtiments. Ceux-ci étant de plus en plus performants en termes d'économie d'énergie & d'isolation, il est davantage nécessaire aujourd'hui d'en assurer la climatisation que le chauffage en tant que tel. De fait, la quantité de fluides frigorigènes utilisés a **augmenté de 60%** depuis 1990² en France. Ils pourraient donc être responsables de 20% des émissions de GES en 2050³.

...La minute historique...

C'est en **1902** que Willis Carter met au point les premiers systèmes d'air climatisés avec l'utilisation des gaz (dioxyde de soufre, dioxyde de carbone, ammoniac, etc.). Malgré leurs propriétés thermodynamiques intéressantes, ils représentaient tous un danger pour l'homme à cause de leur **toxicité** (ammoniac, dioxyde de soufre), leur **inflammabilité** (ammoniac) ou leur utilisation à très **haute pression** (dioxyde de carbone).

En **1929**, Thomas Mígdeley met au point les premières molécules de fluides frigorigènes dérivés du pétrole, aux propriétés thermodynamiques satisfaisantes et inoffensifs pour l'homme, sous le nom de **fréon**.

Quel est leur impact carbone ?

Si les HFC ont une durée de vie relativement courte à l'état gazeux dans l'atmosphère, ils sont de loin les plus incidents sur le réchauffement climatique.

Pour rappel, la **couche d'ozone** nous protège des rayons UVB du soleil, néfastes pour la vie sur Terre (cancers de la peau, destruction du plancton marin, etc.)

En 1974, l'action du **chlore** sur la **couche d'ozone stratosphérique** est démontrée par les prix Nobel américains F.S Rowland et M.J Molina, et confirmé en 1985. En effet, il a été prouvé qu'à la libération des gaz présents dans les fluides frigorigènes, et notamment le chlore, une réaction chimique provoquait la destruction des molécules d'**ozone**, ils sont désormais considérés comme des **SAO** (Substance Appauvrissant la couche Ozone).

Pour la plupart, les SAO sont également responsables du réchauffement climatique. En effet, les CFC, HCFC et HFC sont de **puissants gaz à effet de serre** dont le Potentiel de

² Source : <https://conseils.xpair.com>

³ Source : <https://www.ecologique-solaire.gouv.fr>



Réchauffement Global (PRG) est jusqu'à 10 000 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone (CO₂)⁴.

A titre d'exemple, la fuite dans l'atmosphère d'1 kg de HFC-134 aura le même impact sur le climat que 1 300 kg de CO₂ ou encore qu'un parcours de 10 000 km en berline⁵.

Hormis dans les bâtiments les plus récents dont les installations sont plus performantes et les réseaux étanches :



Figure 1 : Fuites d'un réseau de froid.
Source : <http://www.frigoristes.fr>

→ tous les bâtiments dans lesquels ces machines sont présentes sont concernés, mais le taux de fuite sera bien plus alarmant pour les équipements en fin de vie⁶.

Secteur	Type	charge moyenne (kg de fluide)	taux de fuites annuel (%)	taux de fuites en fin de vie (%)
Tertiaire	"DRV"	9	10	85
Commerce	"rooftop"	26	5	26
Tertiaire	"armoires"	5	6	85
Tertiaire	Tout équipement confondu	9	9	36

Climatisations à air

Figure 2 : taux de fuite des équipements réfrigérants utilisant des fluides frigorigènes
Source : base de données de l'ADEME, <http://www.bilans-ges.ademe.fr>

- les fluides frigorigènes chargés dans ces machines font l'objet de **fuites permanentes**. Une étude en 1997 a montré que le taux de fuites annuelles pouvait atteindre **30 % de la quantité totale** en poids (ou en masse) de fluides frigorigènes présent dans les installations frigorifiques des grandes surfaces⁷.
- à partir de **2 kg de quantité de gaz frigorigène** dans le circuit d'une PAC, un **contrôle d'étanchéité annuel** devient obligatoire (décret n°98-560 du 30/06/98).

Ces gaz sont donc relâchés dans l'atmosphère ou à travers les systèmes de ventilation internes.

La réglementation sur les fluides frigorigènes

A la suite des découvertes concernant l'impact des fluides frigorigènes sur la couche d'ozone et le réchauffement climatique, la limitation de ces substances a fait l'objet d'un consensus international.

Différentes dates sont à retenir :

- Le **Protocole de Montréal en 1987** : interdiction des gaz CFC et HCFC en

⁴ Source : <https://www.ademe.fr>

⁵ Source : <https://www.ecologie-solaire.gouv.fr>

⁶ Source : <http://www.bilans-ges.ademe.fr>

⁷ Source : Zéro fuite – Limitation des émissions de fluides frigorigènes, D. Clodic, Pyc Editions, 1997



proposant comme substitut les gaz HFC, qui se sont révélés avoir eux aussi un important PRG, responsable du réchauffement climatique

- Le **Protocole de Kyoto en 1997**, que les pays de l'Union Européenne et en particulier la France, ont ratifiés.

Il entre en vigueur en 2005, et annonce l'**abandon des gaz HFC**. En effet, les HFC amplifient l'effet de serre ; gaz dont l'effet de serre est **14 000 fois plus puissant que le CO₂⁸**. Une réduction globale de 85% à 90% de leur consommation pourrait contribuer à une réduction équivalente à **100 milliards de tonnes de CO₂**.

- L'**Accord de Kigali** (ou Amendement de Kigali au protocole de Montréal), est un traité international signé en **octobre 2016** par les représentants de 197 États qui vise l'élimination des hydrofluorocarbures (HFC). Par cet accord, les pays industrialisés s'engagent à **réduire de 45 % l'usage des HFC d'ici 2024** et de **85 % d'ici 2036**, par rapport à la période 2011-2013.

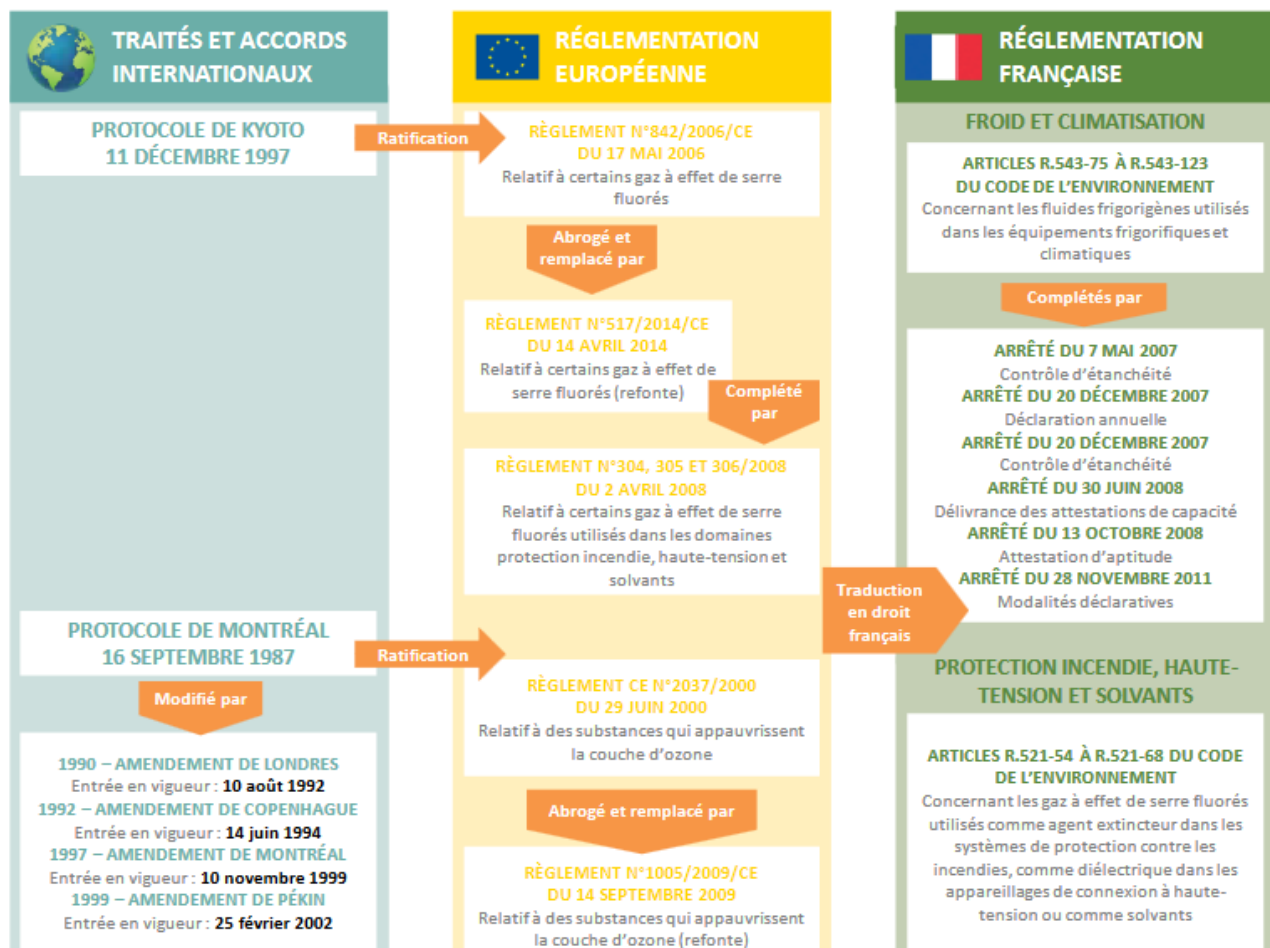


Figure 3 : Accords internationaux et réglementations en vigueur aux niveaux européen et français

Source : Données 2016 de l'Observatoire des gaz fluorés, ADEME, 2017, p.3

⁸ Source : <https://www.lemonde.fr>



Afin d'accompagner ce changement de pratique et atteindre les objectifs de Kyoto, l'Union européenne :

- Adopte en 2006 la réglementation **F-Gas I** (n°842/2006), relative aux Gaz à Effet de Serre (GES).
- Remplace intégralement la réglementation F-Gas I en 2014 par la **réglementation F-Gas II** (n°517/2014). Celle-ci **accélère l'interdiction progressive des HFC** à fort PRG avec un objectif de réduction de 79% de leur consommation entre 2015 et 2030.

Un système de **quotas dégressifs** va entraîner une augmentation du prix des fluides frigorigènes, donnant ainsi la possibilité aux entreprises de généraliser les fluides de substitution, comme les fluides fluorés non saturés, de type HFO. Ainsi, le plus répandu des fluides frigorigènes dans les PAC actuellement sur le marché, le R410A, sera interdit en 2025 au sein de l'Union européenne.

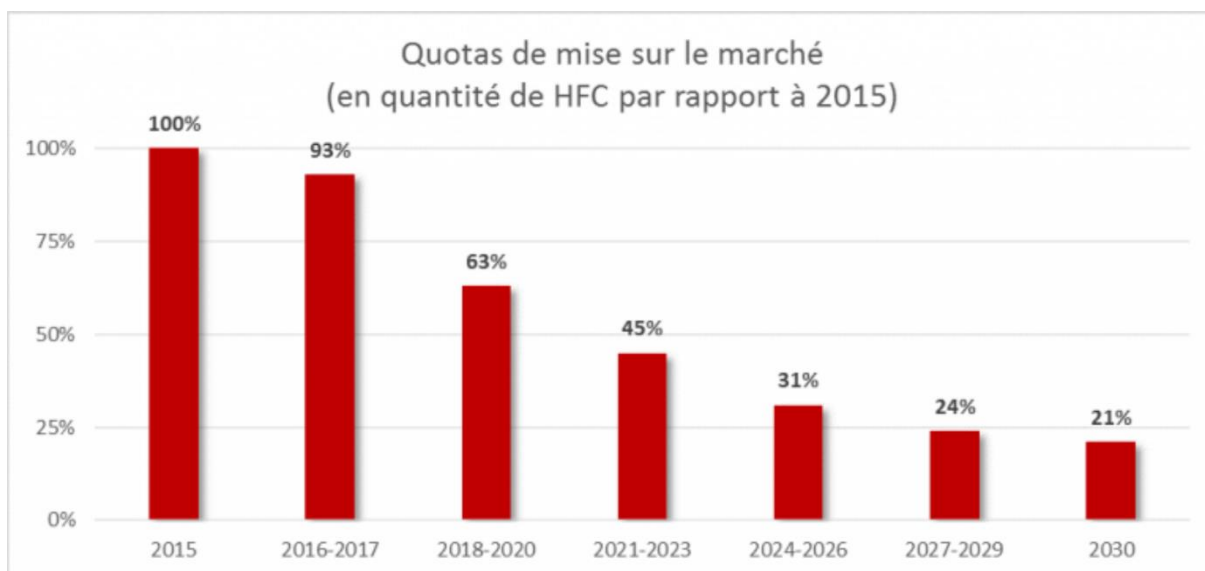


Figure 4 : Évolution de la quantité de HFC disponible sur le marché, en Teq CO₂ (par rapport à la quantité moyenne mise sur le marché entre 2009 et 2012)

Source : <https://www.cameo-energy.com>

En France,

- L'**Arrêté du 29 février 2016**, relatif à certains fluides frigorigènes et aux gaz à effet de serre fluorés, faisant suite à la réglementation européenne "F-Gas II" prévoit un contrôle approfondi des fluides frigorigènes, par des obligations concernant les détenteurs, les opérateurs et les distributeurs de ces substances, sur l'utilisation, le contrôle, le **confinement**, la **récupération**, et l'**élimination** des GES fluorés. Cette réglementation vise à raréfier petit à petit les gaz HFC et contrôler leur usage. Cet Arrêté met à jour les **seuils définissant la périodicité des contrôles d'étanchéité**, par rapport aux catégories de fluides frigorigènes (HFC ou HCFC), la période maximale étant portée à 2 ans.
- L'**Arrêté du 19 avril 2017** modifie l'arrêté du 29 février 2016 relatif aux fluides frigorigènes fluorés. Il limite à **4 jours** la durée pendant laquelle un équipement peut être utilisé, dès lors qu'une fuite de gaz à effet de serre fluoré a été détectée.



CATÉGORIE DE FLUIDE	CHARGE EN FLUIDE FRIGORIGÈNE DE L'ÉQUIPEMENT	PÉRIODE DES CONTRÔLES en l'absence de dispositif de détection de fuites (*)	PÉRIODE DES CONTRÔLES si un dispositif de détection de fuites (*) est installé
HCFC	2 kg ≤ charge < 30 kg	12 mois	
	30 kg ≤ charge < 300 kg	6 mois	
	300 kg ≤ charge	3 mois	
HFC, PFC	5 t.éq.CO2 ≤ charge < 50 t.éq.CO2	12 mois	24 mois
	50 t.éq.CO2 ≤ charge < 500 t.éq.CO2	6 mois	12 mois
	500 t.éq.CO2 ≤ charge	3 mois	6 mois

(*) Dispositif de détection de fuites respectant les prescriptions de l'article 3 du présent arrêté.

Figure 5 : Seuils de périodicité des contrôles d'étanchéité des fluides frigorigènes définis par l'Arrêté du 29 février 2016. Source : <http://www.cemafrroid.fr>

Quelle comptabilité carbone applicable aux fluides frigorigènes ?

La majorité des bâtiments dans l'immobilier tertiaire utilise une PAC qui fonctionne grâce aux fluides frigorigènes. Une machine correspond à un type de fluide, qui a son propre régime de condensation et de détente.

« La prise en compte des fluides frigorigènes dans la comptabilité des émissions de GES alourdit principalement le total du Scope 1. Sur la totalité des Scope 1, 2 et 3 cela ne sera pas si significatif pour les 'jeunes équipements'. En revanche, plus l'équipement vieillit, plus son taux de fuite est important et sera un facteur aggravant pour le Bilan Carbone®. »

Ces fluides fuient en permanence. La **comptabilité de ces fuites** se fait par des données réelles, lors du **contrôle d'étanchéité** de la machine, à la suite duquel une fiche d'intervention est remplie (Cerfa 15 497-02)¹⁰. En fonction de la **quantité** de fluide rechargée, selon la **composition** du fluide et la présence d'un **détecteur de fuite** sur le réseau, ce contrôle est obligatoire tous les 3, 6 mois ou 1 fois par an.

Lorsque les chiffres ne sont pas disponibles, la comptabilité se fait selon les statistiques et une estimation au m² en évaluant les émissions en fonction des consommations, on parle alors de **comptabilité théorique**. En réalité, c'est la plus répandue.

Pour chiffrer l'**équivalent CO₂** des émissions des fluides frigorigènes, le calcul se base sur la **charge initiale** des équipements frigorifiques du bâtiment, que l'on multiplie par la **Surface Utile** (climatisée). On obtient alors un **ratio de KgFF/m²**. L'ADEME estime le taux de fuite moyen par type d'équipement de **5 à 10%**¹¹.

Les émissions GES des fluides frigorigènes **alourdissent de 1% à 15% des émissions carbone d'un bâtiment en fonction du choix du fluide**¹². S'il n'est pas

⁹ Source : entretien effectué le 05/03/2019 auprès de Sinteo

¹⁰ Contenu du Cerfa 15497-02 : <https://www.c-fluide.fr>

¹¹ Source : <http://www.bilans-ges.ademe.fr>

¹² Source : entretien effectué le 26/02/2019 auprès de Greenaffair



comptabilisé systématiquement dans les Bilans Carbone, il représente un poste sur lequel il est indispensable de faire des optimisations.

"Sur des projets immobiliers classiques, les acteurs regardent peu l'impact des fluides frigorigènes. Cependant, la tendance est à leur meilleure prise en compte, même si environ 1/10è seulement des données utilisées sont des données réelles car il est très difficile d'avoir accès aux fiches d'intervention des techniciens." ¹³

Chaque machine est adaptée pour un type de fluide frigorigène (FF). Que ce soit en conception, en rénovation ou même en maintenance, **les fuites de fluides sont donc à éviter :**

- **phase conception :** prise en compte des fluides frigorigènes (FF) très en amont. Choisir une installation adaptée à un FF au faible PRG (cf. base ADEME ou base INIES) ;
- **phase chantier :** le technicien doit être formé pour installer la machine et diminuer ainsi les risques de fuites ;
- **phase exploitation :** il est très difficile de revenir sur une installation une fois qu'elle a été installée, il faut attendre la fin de vie de l'équipement et a minima poser un détecteur de fuites.

Les leviers d'action sont multiples pour limiter les émissions liées aux fluides frigorigènes.

Dans le cas d'un équipement déjà installé, le premier levier consiste à poser un **détecteur de fuites** matérialisé par un voyant lumineux ou un signal d'alarme, directement raccordé à la **Gestion Technique du Bâtiment** (automate intelligent qui pilote automatiquement les installations techniques d'un bâtiment, de type climatisation, chauffage, éclairage, systèmes d'alarme...). Mais pour que son efficacité soit complète, il faudrait qu'un détecteur soit placé **devant chaque source potentielle de fuite** (qui est souvent inaccessible : sous gaines techniques, faux plafonds, etc.), ce qui multiplie les contraintes techniques et de coût, l'installation d'un détecteur de fuite se chiffrant à quelques

centaines d'euros en moyenne (coût non représentatif du coût global de détection car cela dépend du type d'installation et de réseau).

Dans le cadre d'une construction neuve (ou rénovation lourde), les leviers d'action dépendent beaucoup de l'anticipation et de l'installation de l'équipement en tant que tel. Les **certifications** ont des exigences de plus en plus pointues sur les fluides frigorigènes. Selon le label visé, le choix se portera davantage sur une installation fonctionnant avec des fluides frigorigènes à faible impact : c'est le cas des labels BREEAM, BBKA et E+C- pour lesquels le taux de fuite maximum est comptabilisé dans le bâtiment, à hauteur de 70% sur 50 ans.

« Généralement, un équipement a une durée de vie de 30 ans. Une fois la machine obsolète, il faut changer l'équipement. C'est à ce moment-là qu'il est possible de choisir une machine qui utilisera des fluides frigorigènes moins émissifs. En revanche, il est difficile d'en mesurer un coût moyen car cela dépend de la taille du bâtiment, de la capacité et de la puissance de la machine¹⁴. »

¹³ Source : entretien effectué le 05/03/2019 auprès de Sinteo

¹⁴ Source : entretiens effectués le 26/02/2019 auprès de Greenaffair et le 05/03/2019 auprès de Sinteo.



Aujourd'hui, la majorité des installations neuves sont conçues avec des fluides frigorigènes à faible impact, et les installations étant de plus en plus performantes, le nombre de fuites diminue. Il est encore très coûteux de raccorder un bâtiment au réseau de froid de la ville, lorsque celui-ci existe. Néanmoins, la réglementation F-Gas II prévoyant de réduire petit à petit l'utilisation de la majorité des fluides les plus émissifs, il est indispensable de prendre en compte au plus tôt les innovations dans ce secteur.

Réseau Climespace

Le système CLIMESPACE utilise la fraîcheur naturelle de l'eau de la Seine pour refroidir les machines de production toute l'année. A Paris, le réseau de froid Climespace fournit 90% des bâtiments de bureau haussmanniens.

Source : entretien effectué le 05/03/2019 auprès de Sinteo.

Les prochains fluides exclus concernent tous les HFC :

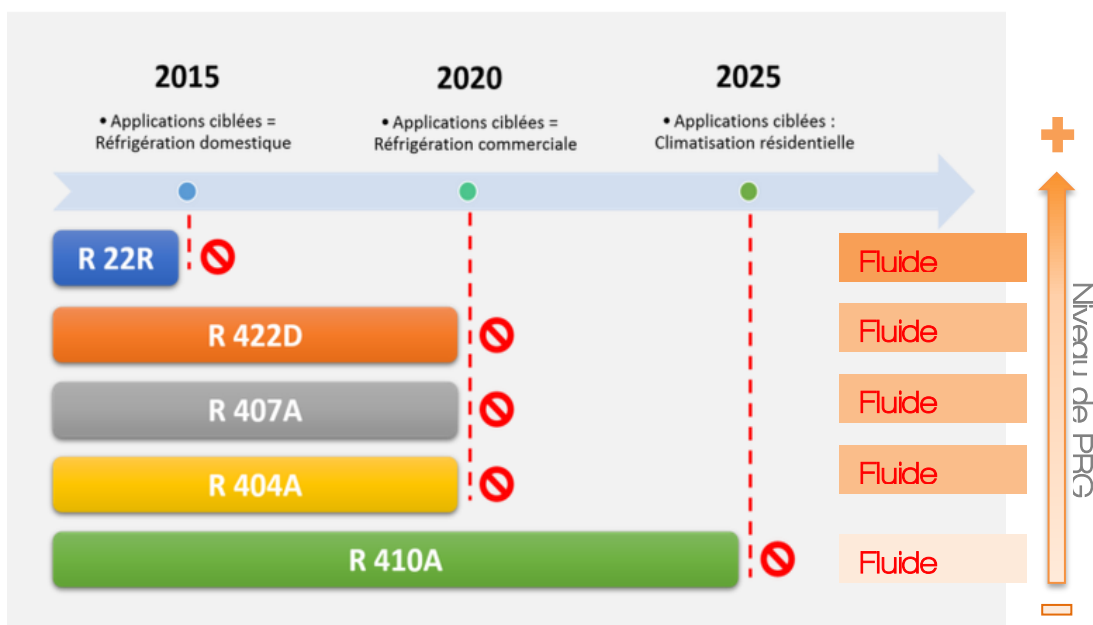


Figure 6 : Calendrier d'interdiction des fluides frigorigènes. Source : <https://www.energie3-prowatt.fr>

Faut-il revenir aux proto-fluides ?

- Les fluides frigorigènes préconisés pour remplacer petit à petit les HFC, outre les HFO, pourraient être :
- le **CO₂**, dont le PRG est égal à 1 quand celui des HFC se situe entre 1000 et 2000. Son usage implique néanmoins des pressions élevées ;
 - l'**ammoniac**, dont le PRG est très faible. Il possède également un bon coefficient de transfert de chaleur. C'est en revanche un gaz toxique et irritant, voire explosif si les locaux ne sont pas parfaitement ventilés ;
 - les **hydrocarbures** (butane, propane, etc.) ont de bonnes propriétés thermodynamiques mais sont très inflammables ;
 - l'**eau**, sans toxicité mais utilisation impossible à des températures inférieures à 0°C



CFC	HCFC		HFC / HC / NH ₃		HFO / Mélanges à base HFO	
R-12 Hors clim auto	R-401A / R-401B R-409A	AB** AB / MN**	R-134a R-600a ⊗ R-404A	POE MN / PAG POE	R-450A R-513A R-515B R-448A R-449A	POE POE POE POE POE
R-12 En clim auto			R-134a R-437A	POE AB / POE	R-1234yf	POE / PAG
<p>MN = huile minérale AB = huile alkylbenzène PAO = huile polyalphaoléfine PAG = huile polyalkylène glycol POE = huile polyolester PVE = huile polyvinylether</p> <p>* AB pour basses températures d'évaporation. ** ou une huile POE en accord avec le compressorista.</p> <p>⊗ Fluides GWP > 2500 interdits d'utilisation dans certaines applications en 2020 selon la F-Gas</p>	Climatisation R-22	MN / AB*	R-134a R-407C R-410A R-32 R-427A R-417A ⊗ R-422D R-438A	POE POE POE POE / PVE POE AB / POE AB / POE POE	R-1234yf R-1234ze R-450A R-513A R-452B R-454B	POE POE POE POE POE POE
			Réfrigération R-22	MN / AB*	R-134a ⊗ R-404A / R-507A R-410A R-427A R-417A NH ₃ R-407F R-290	POE POE POE POE AB / POE MN / PAO POE MN / PAG
R-11	R-123	MN	R-245fa	POE	R-1233zd / R-514A	POE
R-114	R-124	MN / AB*	⊗ R-227aa / ⊗ R-236fa / R-245fa	POE	R-1233zd	POE
R-502	R-408A R-402A / R-402B R-403B R-22	AB / MN** AB** AB / MN / POE AB / POE	⊗ R-404A / R-507A R-410A R-427A ⊗ R-422A R-407F NH ₃	POE POE POE AB / POE POE MN / PAO	R-448A R-449A R-452A R-455A R-454A R-454C	POE POE POE POE POE POE
	R-13B1		⊗ FX80 ⊗ ISCEON MO69 R-410A	POE AB / POE POE		
R-13 R-503			R-23 R-508B	POE POE		

Figure 7 : Tableau des solutions de remplacement des fluides frigorigènes de type CFC, HCFC, HFC et HFO, Climalife, 2018

Source : <https://admin.climalife.dehon.com>

Remerciements

Bertrand Absolut, Responsable Stratégies climat pour l'immobilier, Sinteo
Omar Zerouali, Chef de projet Energie-Carbone, Greenaffair



Ressources

Classification des fluides frigorigènes, émissions de CO₂ :

- Le Guide de l'installateur, dossier climatisation 2014, les Fluides frigorigènes, <http://www.leguideits.fr/guides-its/dossiers--fiches-techniques/dossiers--fiches-techniques-3/les-fluides-frigorigene.pdf>
- la Thermique du bâtiment, 2010,
- http://www.thermique-du-batiment.wikibis.com/fluide_frigorigene.php



- Energie +, Architecture et Climat, Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (LOC) – Université catholique de Louvain (Belgique),
<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11179>
- MTES 2017, Les substances à impact climatique, les fluides frigorigènes,
<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/substances-impact-climatique-fluides-frigorigenes>
- Pic Bleu 2018, Fluides frigorigènes, HCFC, HFC supergaz, effet de serre, environnement :
<https://www.picbleu.fr/page/fluides-frigorigenes-hcfc-hfc-supergaz-effet-de-serre-environnement>
- ADEME 2014, Guide sectoriel :
<https://presse.ademe.fr/2014/12/guider-le-secteur-bancaire-dans-la-transition-energetique.html>

Règlementations :

- AICVF 2017, Mallette de formation sur "l'expérimentation E+C- "
- EIA 2016, Manuel du Règlement UE relatif aux gaz à effet de serre fluorés (F-Gaz): Anticiper la réduction progressive des hydrofluorocarbones en Europe, <https://eia-international.org/>
- Règlementation F-Gas, ce qui change ! ABC Clim, 2014 :
<https://www.abcclim.net/reglementation-des-gaz.html>
- Retour sur la réglementation F-Gas II, sujet de préoccupation majeur des acteurs du froid, Cameo Energy, 2018 : <https://www.cameo-energy.com/blog/24/retour-sur-la-reglementation-f-gas-ii-sujet-de-preoccupation-majeur-des-acteurs-du-froid>
- Process alimentaire 2008, Réforme sur les fluides frigorigènes : la moitié des IAA sont concernées au 1^{er} janvier 2010, <http://www.processalimentaire.com/A-la-une/Reforme-sur-les-fluides-frigorifiques.-La-moitie-des-IAA-sont-concernees-au-1er-janvier-2010-7147>
- Climalife 2018, CFC, HCFC, HFC, HFO, toutes les solutions de remplacement !, https://admin.climalife.dehon.com/uploads/assets/France/TAB_Remplacement_FR_2018v2.pdf
- Cerfa 15 497 : <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/R43122>

Etat de l'art, actualités :

- Synthèse des données 2016, Observatoire des gaz fluorés, ADEME, 2017 :
<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/observatoire-gaz-fluores-donnees2016-201709-synthese.pdf>
- Fluides frigorigènes : Carrier passe directement aux HFO, Batirama, 2018 :
<https://www.batirama.com/article/12940-fluides-frigorigenes-carrier-passe-directement-aux-hfo.html>
- Fluides frigorigènes fluorés, ADEME, collection Repères, 2013 :
<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fluides-frigorigenes-fluores-2013-8230.pdf>