

LES FLUIDES REFRIGERANTS ET LEUR IMPACT SUR LE CLIMAT



Par Félix Dalang

Noé 21

Table des matières

TABLE DES MATIERES.....	2
1 LES FLUIDES REFRIGERANTS HALOGENES.....	3
1.1 De quoi s'agit-il ?.....	3
1.2 Protection du climat: le protocole de Kyoto.....	4
1.3 Protection de la couche d'ozone: les accords de Montréal.....	5
1.4 La nuisance environnementale.....	6
1.5 Quelle est la concentration dans l'atmosphère?.....	9
1.6 La production mondiale.....	9
1.7 Le stock des produits.....	11
1.8 Le remplacement des HFC	12
1.9 Technologies de substitution sans utilisation de fluides	15
1.10 Considérations techniques et économiques	16
2 DOCUMENTS DIVERS.....	16
2.1 Liste des ozone depletion potential (ODP) des CFC	16
2.2 Liste du GWP	18
2.3 Présentation du problème.....	16
2.4 Fonctionnement des PAC au CO2 et autres.....	18
2.5 HFO-1234yf.....	19
2.6 Des faux CDM lors de la production de HCFC22	19
2.7 Historique de la technologie du froid.....	17

1 Les fluides réfrigérants halogénés

1.1 De quoi s'agit-il ?

Ce sont des composés organiques simples qui contiennent 1 à environ 4 atomes de carbone, des atomes de halogène (chlore ou fluore) et souvent encore de l'hydrogène.

CFC est une abréviation de chloro-fluoro-carbone. On désigne ainsi les molécules composées uniquement de ces 3 éléments.

HCFC désigne Hydrogène-chloro-fluoro-carbone. Ces molécules contiennent en plus l'élément hydrogène.

HFC désigne hydrogène-fluoro-carbone. Ces molécules ne contiennent pas de chlore.

La nomenclature chimique est rarement utilisée. On utilise des codes selon standard 34 de l'ASHRAE. L'explication des codes se trouve ici: <http://www.epa.gov/ozone/geninfo/numbers.html>.

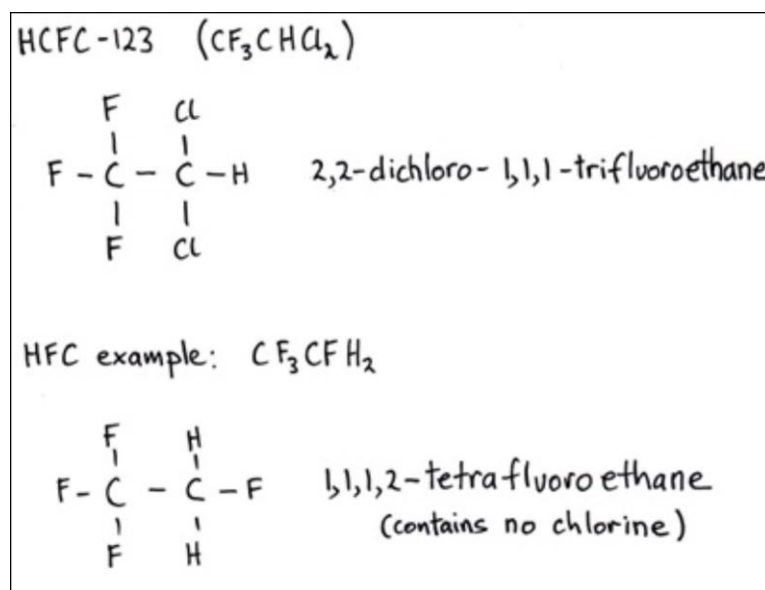


Fig.1: Exemples d'HCFC et HFC

Les CFC et HCFC et HFC ont des propriétés physiques similaires. Ce sont des gaz ou des solvants qui se prêtent bien comme liquide réfrigérant dans les machines à froid.

Ces substances sont abondamment utilisées dans l'industrie dans plusieurs domaines, notamment dans les pompes à chaleur, mais aussi comme solvant, dégraissant et matière intermédiaire pour la synthèse de polymères comme le téflon. En modifiant leur composition, on peut influencer notamment leur point d'ébullition, et l'on peut trouver ainsi pour chaque application le liquide le mieux adapté.

Les trois groupes de substances sont capables d'absorber le rayonnement infrarouge et ont alors un effet de serre puissant. Elles présentent par contre des différences de comportement chimique et physico-chimique:

1.1.1 Les CFC

Les CFC sont très stables. Dans la nature ils ne se décomposent quasiment pas et restent inchangés dans l'atmosphère pendant des nombreuses décennies. Cette même inertie est favorable dans les machines à froid. Les liquides restent sans dégradation pendant des décennies.

Les CFC sont des substances appauvrissant la couche d'ozone. Leur utilisation est interdite par le protocole de Montréal (voir ci-après). Actuellement la production des CFC a pratiquement cessée.

1.1.2 Les HCFC

Les HCFC sont moins stables. Dans l'atmosphère, ils se décomposent dans un laps d'environ 10 ans pour former des sous-produits apparemment non nuisibles dans l'atmosphère (voir cependant ch. 1.4). À cause de leur durée de vie limitée, les HCFC appauvrissent la couche d'ozone dans une moindre mesure et leur effet de serre est également amoindri.

Comme ils étaient réputés non nuisibles, on les a produits en masse. Ils sont touchés par le protocole de Montréal dans un deuxième temps. Actuellement la part des HCFC au gaz à effet de serre est considérable (10 à 25% ?). Leur production est en diminution à cause des accords de Montréal (voir ci-après). On remplace ces substances par des HFC.

1.1.3 Les HFC

Ils ne contiennent pas de chlore et sont inoffensifs pour l'ozone. On les utilise comme remplaçant des deux classes de produits ci-dessus. Ils se décomposent également dans l'atmosphère dans un délais variant entre de 3 à 50 ans.

La production mondiale de HFC, aujourd'hui encore relativement faible, risque de croître exponentiellement et menace de poser en peu d'années un problème extrêmement sérieux pour le climat. Il serait souhaitable de limiter également la production de HFC pour les remplacer par des gaz sans effet de serre et non nuisible pour l'environnement, ou par d'autres technologies ou méthodes.

1.2 Protection du climat: le protocole de Kyoto

Le protocole de Kyoto a pour objectif de réduire progressivement les gaz à effet de serre, afin d'éviter le réchauffement climatique qui menace l'équilibre climatique global, ce qui aurait comme conséquence des nuisances importantes, imprévisibles et irréversibles.

Le principal gaz à effet de serre est le CO₂, produit généré par tous les processus d'incinération ou oxydation de produits organiques fossiles. Comme la société moderne est basée pour une grande partie sur l'exploitation de produits fossiles, la réduction de l'incinération de ces derniers présente un énorme défi qui préoccupe depuis des années la société humaine.

Mis à part du CO₂ il existe un certain nombre d'autres gaz à effet de serre. Il s'agit du méthane, du protoxyde d'azote et les trois classes des composés organiques halogénés présentés ci-dessus, soit les

CFC, les HCFC et les HFC. Ces gaz ont un effet de serre infiniment plus important que celui du CO₂, mais ils sont présent dans l'atmosphère à des concentrations bien plus faibles. Leur genèse n'est pas liée à la combustion de produits pétroliers, mais à des processus industriels ou d'autres phénomènes industriels, voire naturels.

1.3 Protection de la couche d'ozone: les accords de Montréal

Version vulgarisée des accords:

http://www.undp.org/chemicals/documents/MontrealProtocol_FRE_WEB.pdf

Les CFC et HCFC sont des substances qui détruisent la couche d'ozone en stratosphère. Pour les CFC, cet effet est énorme, pour les HCFC moindre, également à cause de leur durée de vie limitée.

En 1987 étaient conclus les accords de Montréal. Leur objectif était de supprimer l'émission de gaz qui appauvrissent la couche d'ozone dans la stratosphère. Les substances appauvrissantes principales étaient pour l'essentiel les CFC. Plus tard on a inclus les HCFC. Ces substances sont bannies progressivement: les CFC peuvent être utilisés jusqu'à l'an 2010, et les HCFC jusqu'à 2020 voire 2030 dans les pays non industrialisés. Les HFC ne sont pas concernés par les accords parce qu'ils n'ont pas d'effet sur la couche d'ozone.

Pour dédommager l'industrie, les partenaires des accords ont créé un « multilateral fond » (MLF) destiné à porter les frais supplémentaires.

Les accords de Montréal étaient un succès: ils ont réglé de manière satisfaisante les émissions des CFC et l'on est en train de trouver une solution satisfaisante pour les HCFC.

L'industrie a trouvé des produits de remplacement pour les substances bannies: il s'agit malheureusement pour l'essentiel des HFC, gaz avec un grand potentiel de réchauffement global (GWP). Ces substances servent comme substances dans les machines à froid, mais aussi comme solvants industriels, pour des nettoyages chimiques, comme matériau d'isolation électrique etc.).

Les accords de Montréal ont alors eu comme conséquence la production en masse des HFC. C'est donc à cause des accords de Montréal que nous avons aujourd'hui une aggravation du problème du changement climatique. Il serait alors légitime de demander une modification des accords de Montréal qui vise à éviter ce dernier problème en limitant également la production des HFC. Pour cette raison, Greenpeace et l'EIA ont demandé (en vain) d'inclure les HFC dans les accords de Montréal, même si ces substances ne détruisent pas la couche d'ozone

(<http://www.greenpeace.org/raw/content/china/en/campaigns/stop-climate-change/climate-friendly-cooling/cool-technologies-part-1.pdf>).

Les HFC ressemblent aux gaz traités par les accords de Montréal, du point de vue de leur composition, de leur fabrication et de leur utilisation. L'enjeu économique de l'interdiction des HFC est infiniment plus petit que pour l'interdiction du CO₂. Ce n'est pas l'économie mondiale dans son ensemble qui en dépend.

1.4 La nuisance environnementale

1.4.1 La nuisance dans l'atmosphère

Les comportements dans l'atmosphère de ces 3 classes de substances sont bien distinctes et peuvent être résumés comme suit:

	Global warming potential (GWP)	Ozone depletion potential (ODP)	Remarques
CFC	élevé	élevé	Substances persistantes
HCFC	moyen	moyen	Durée de vie limitée (1 à 10 ans)
HFC	moyen	absent	Durée de vie limitée (1 à 10 ans)

Fig. 2: Les propriétés environnementales des 3 classes de substances

La figure 3 montre les mêmes propriétés de manière semi-quantitative pour divers produits individuels.

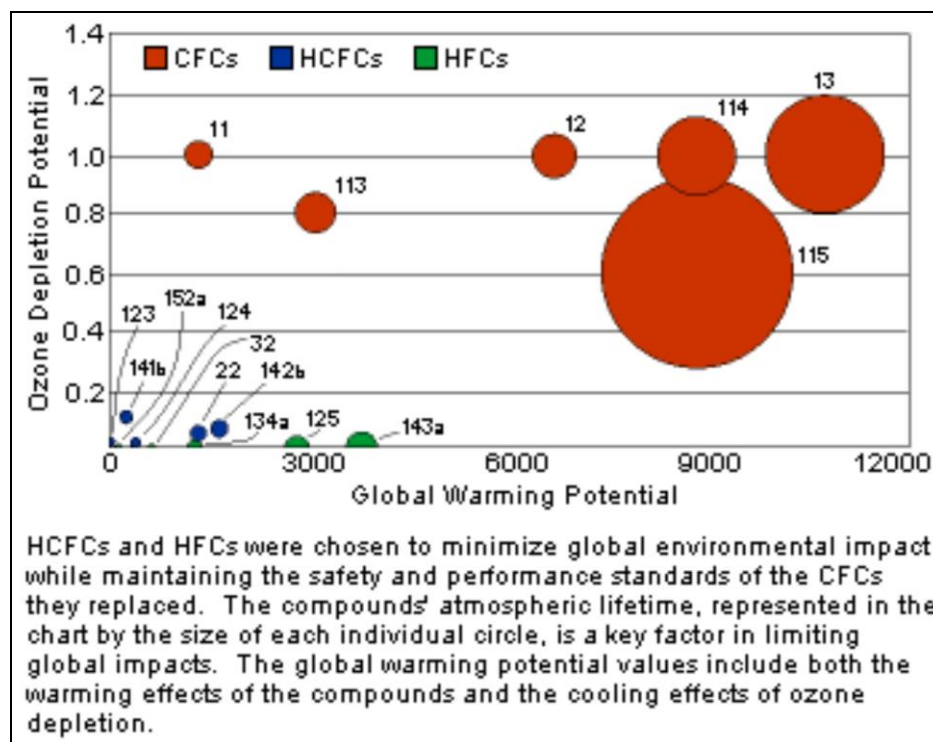


Fig. 3: Propriétés environnementales de quelques substances individuelles. En ordonnée le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (ODP = ozone depletion potential), et en abscisse le Potentiel de Réchauffement Global (GWP) des CFC. Les numéros des cercles correspondent à la référence du composé et le diamètre des cercles désigne leur durée de vie en atmosphère <http://www.arap.org/docs/hcfc-hfc.html>.

Ci-après figure encore une autre représentation synthétique qui implique encore d'autres gaz réfrigérants et qui mentionne encore d'autres propriétés des substances:

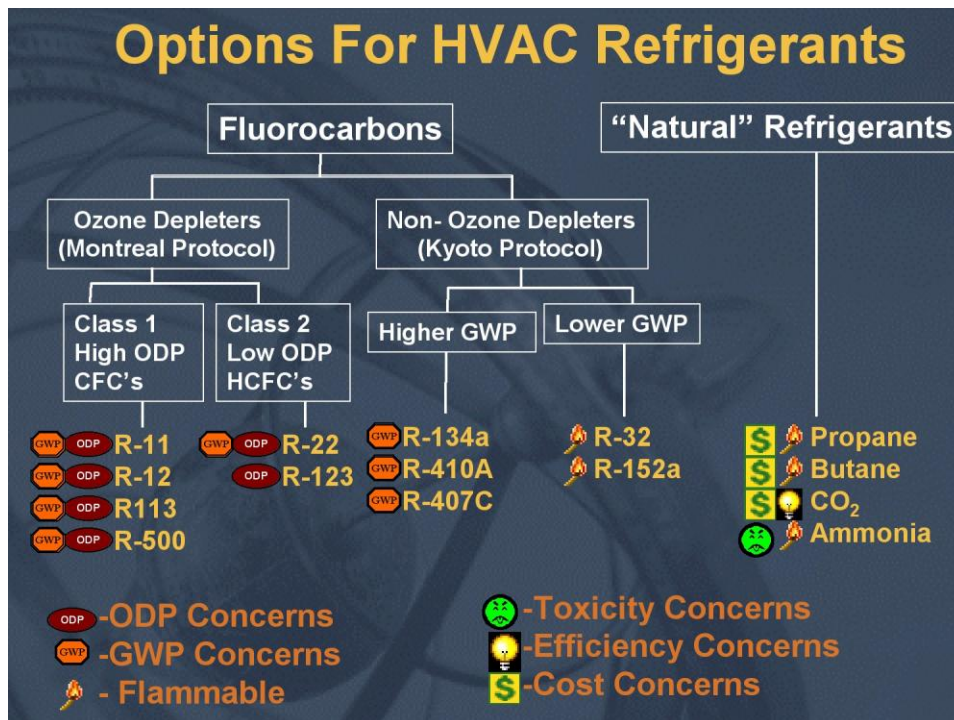


Fig. 4: les différentes classes de fluides pour réfrigérants, avec leurs propriétés
<http://www.ifmaindia.org/presentations/Trane%20effective%20&%20environmental%20responsibility%20at%20WE%20forum%20on%2004.04.08.ppt>

Les deux figures montrent que la nuisance environnementale diminue bien dans l'ordre CFC, HCFC, HFC, mais même ces derniers ont nuisibles si elles sont produites en trop grande quantité. La 2^{ème} figure montre en plus quelques substances alternatives.

L'industrie minimise l'impact des HFC pour pouvoir continuer à les produire (fig 5) tandis que les écologistes la maximalisent (fig.6) Notez bien que les deux figures sont compatibles entre eux.

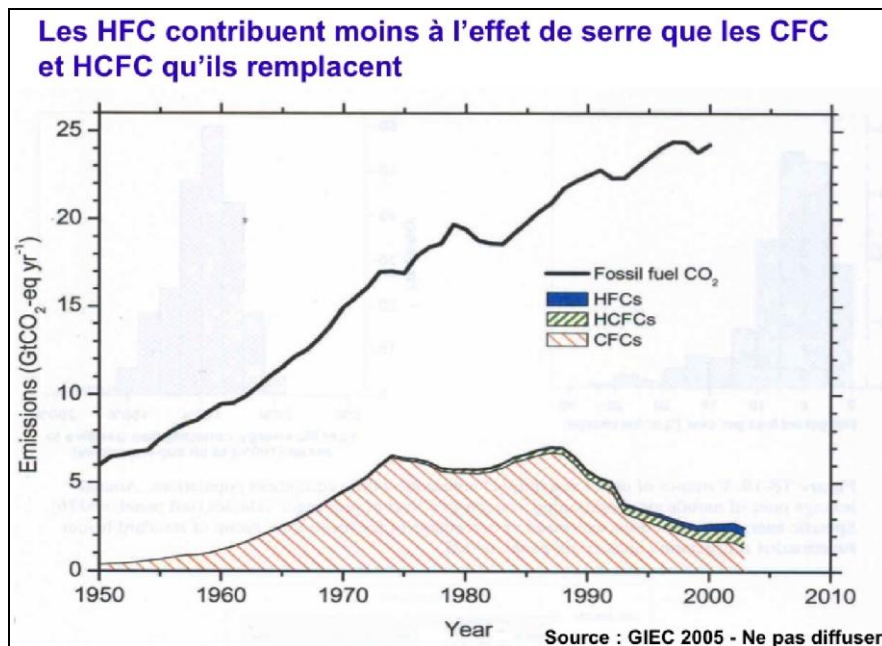


Fig. 5: Exemple de minimisation de l'impact des HFC. (European Fluorocarbons Technical Committee: les producteurs européens de fluorocarbone (www.fluorocarbons.org/documents/presentations/FSaurer_fluidesfrigo.pdf))

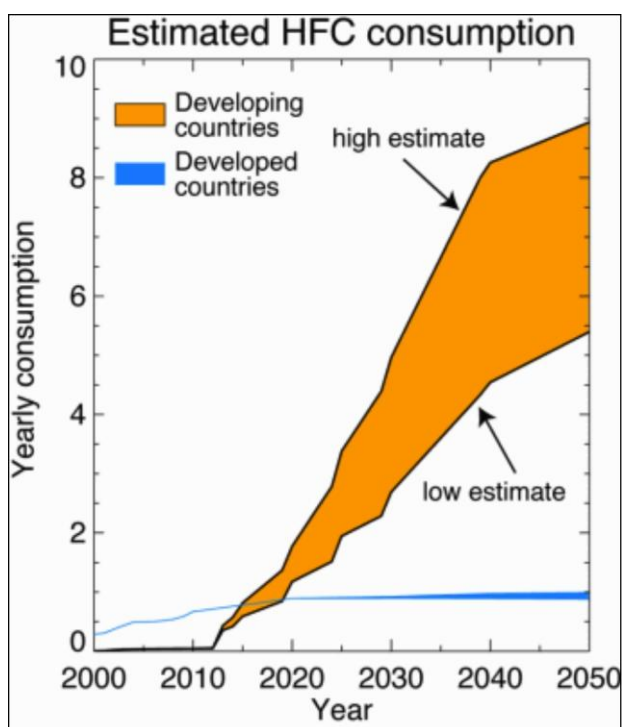


Fig. 6: Exemple de maximisation de l'impact des HFC. (http://www.noanews.noaa.gov/stories2009/20090622_hfc.html).

1.4.2 La nuisance dans l'eau

Tous ces produits fluorés se dégradent dans la nature pour fournir soit entièrement, soit partiellement de l'acide trifluoroacétique. (TFA). Ce produit est hautement persistant: aucun mécanisme de dégradation dans la nature est connu. Soluble dans l'eau, il s'accumule dans les eaux naturelles. Son comportement dans ce milieu est pour l'essentiel inconnu et présente à long terme un risque grave (voir à ce sujet l'article séparé concernant le HFO-1234yf).

1.5 Quelle est la concentration dans l'atmosphère?

Sur le site de l'EPA on trouve un résumé des concentrations des divers gaz dans l'atmosphère: (<http://www.epa.gov/highgwp/scientific.html>) Les HFC le plus concentrés sont dans l'ordre HFC-23 (CHF₃), HFC-134a (CF₃CH₂F), et HFC-152a (CH₃CHF₂).

La seule émission significative avant 1990 est le HFC-23, généré comme sous-produit lors de la production de HCFC-22. Entre 1978 et 1995 sa concentration augmentait de 3 à 10 ppt (part per trillion = mm³ par un cube de 10 m) et continue à augmenter. L'HFC-134a est apparu depuis 1990 pour atteindre 10 ppt. L'HFC-152a est à peu près stable à 1ppt, grâce à sa courte durée de vie de 1.4 ans. D'autres gaz sont également mentionnés sur le site de l'EPA.

1.6 La production mondiale

L'AFEAS (Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study) a documenté la production des 9 entreprises les plus importantes entre 1980 et 2007: <http://www.afeas.org/index.html> et <http://www.afeas.org/overview.php> Fig 7 et 8.

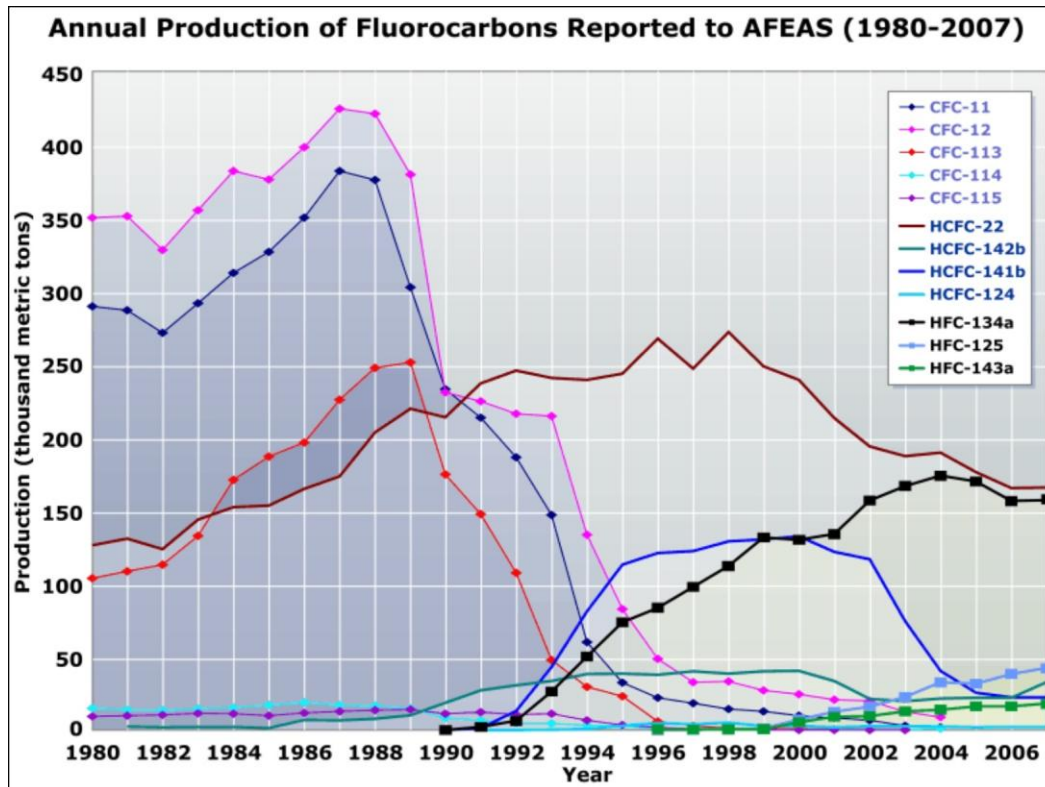


Fig.7: Production annuelle selon l'AFEAS. On voit la nette diminution des CFC, un pic des HCFC autour de l'an 2000 et la montée notamment de HFC134a à partir de 1992. La statistique termine en 2007, car, à partir de cette année, les entreprises membres de l'AFEAS couvrent moins que la moitié de la production mondiale. Ce sont notamment des entreprises indiennes et chinoises qui auraient pris la relève. Le site donne encore d'autres statistiques http://www.afeas.org/data.php?page=prod_chart

Production maximum des CFC : 1987 : 425'000 t CFC12, 380'000 t CFC11, 1989 255'000 t CFC113.
Total CFC environ : 1'060'000 t/an

En 2007 : 165'000 t HCFC22, 160'000 t HFC134a et 45'000 t HFC125. Production stagnante.

Il faut ajouter la production de l'Inde et de la Chine de HCFC et HFC, estimée en 2004 à 310'000 tonnes/an avec une croissance exponentielle de 15%/an.

Production totale HCFC et HFC en 2007 : 835'000 t/an.

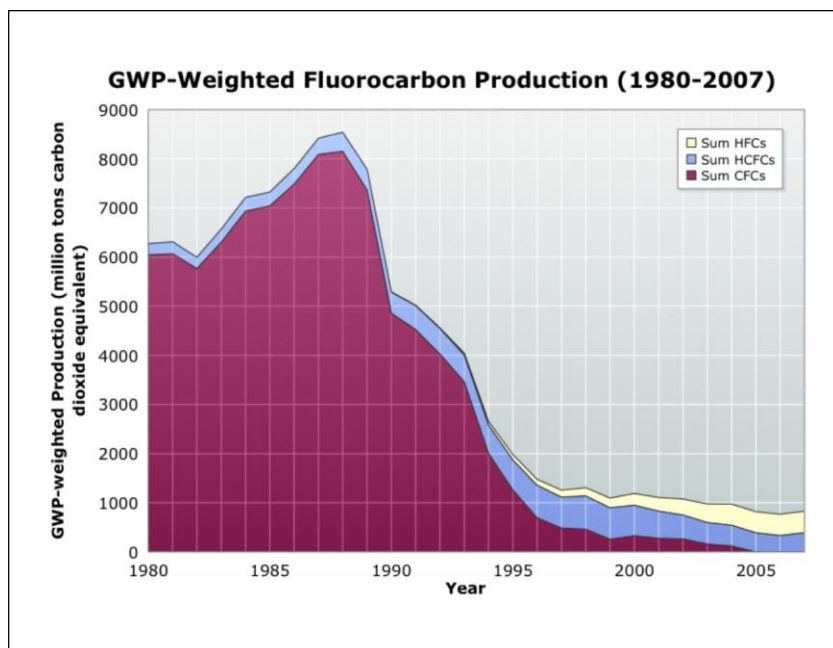


Fig.8: Les mêmes données exprimées en termes de GWP, <http://www.afeas.org/download.php?file=gwp2007.pdf>

L'AFEAS s'est formée en 1988. Elle a comme objectif la recherche et des recommandations pour remplacer les substances nuisibles à la couche d'ozone, notamment les CFC.

Leur site contient d'informations détaillées. Ils proposent comme alternatives aux CFC les HCFC et plus tard les HFC.

Ils rappellent notamment que ces substances contribuent à une meilleure efficacité énergétique et ont donc aussi un effet positif sur le changement climatique. Ils ont également étudié le total « equivalent warming impact » (TEWI) des produits et des alternatives chimiques et non chimiques.

Dans le programme PAFT ils ont fait des tests toxicologiques sur les substances HFC-134a, HCFC-123, HCFC-141b, HCFC-124, HFC-125, HCFC-225ca/cb. Pas de problèmes toxicologiques notables.

1.7 Le stock des produits

Si on trouve assez facilement des statistiques de production, les statistiques d'émission sont plus lacunaires. Les produits synthétisés se trouvent intégrés dans des appareils qui fonctionnent et sont relâchés dans l'atmosphère seulement plus que 10 ans après leur production. Voici un exemple pour un gaz de réfrigération:

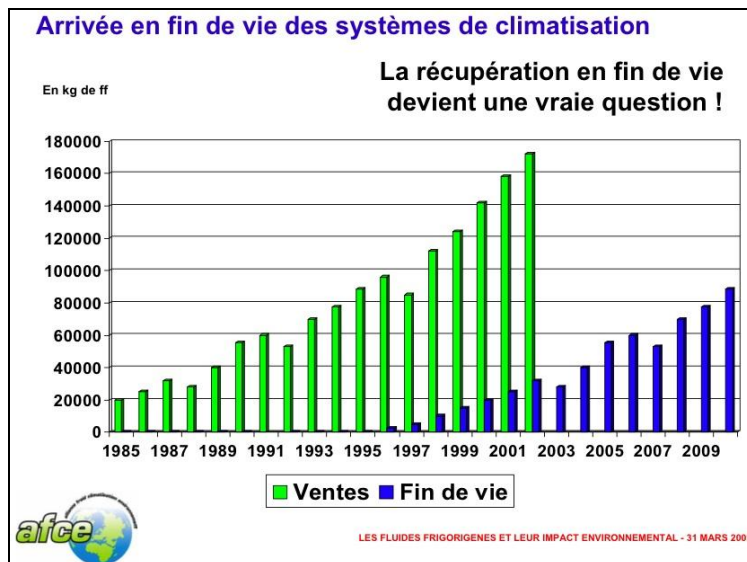


Fig.9: Le gaz réfrigérant est stocké dans des appareils qui fonctionnent.

www.fluorocarbons.org/documents/presentations/FSaurer_fluidesfrigo.pdf

On voit donc que les gaz sont émis dans l'environnement seulement 10 à 15 ans après leur production.

1.8 Le remplacement des HFC

Il n'est pas si facile de trouver des remplaçants pour les HFC. On peut recourir à l'ammoniaque, produit utilisé historiquement dans les machines à froid, mais qui pose de nombreux problèmes techniques. On peut aussi recourir à d'autres substances comme d'hydrocarbures voir d'autres composés qui ont cependant tous leurs problèmes soit techniques soit écotoxiques.

En règle général, on oublie les autres solutions techniques, comme refroidissement adiabatique, construction bio-énergétique (utilisation optimale des conditions météorologiques), isolations intelligemment placés, ventilateurs, etc.

La publication suivante donne une recherche très complète et détaillée des possibilités de remplacement: <http://www.greenpeace.org/raw/content/china/en/campaigns/stop-climate-change/climate-friendly-cooling/cool-technologies-working-wit.pdf>

1.8.1 Réfrigération et conditionnement d'air domestique.

15% de la production mondiale d'HFC134a est pour les frigos domestiques.

Greenpeace a développé des réfrigérateurs domestiques en 1992 déjà, sous la dénomination "Greenfreeze". Ils fonctionnent avec 30 à 60 g de isobutane comme fluide réfrigérant et avec du cyclopentane comme remplissage pour la mousse. Les deux ne posent pas de problèmes environnementaux majeurs. L'inflammabilité des produits ne pose pas de problèmes, car ils sont confinés dans un appareil à circuit fermé.

Des appareils sont disponibles dans tous les pays développés. 30% de la production mondiale de frigos est "Greenfreeze".

Depuis 1995 l'entreprise italienne De'Longhi vend des climatiseurs domestiques portables sous le nom de "Pinguino ECO". La compagnie anglaise Elstar commercialise de produits similaires. Attention: les climatiseurs domestiques devraient être interdits de toute façon, à cause de leur consommation excessive d'électricité.

1.8.2 Réfrigération et conditionnement d'air commerciale et industrielle.

35% de production mondiale d'HFC134a sert à la climatisation commerciale et domestique.

Il existe une initiative globale soutenue par Greenpeace et United Nations Environmental program (UNEP). Les participants sont à ce jour: Coca-Cola, Unilever, McDonald's, IKEA, Carlsberg, Pepsico. La plupart des nouveaux appareils de vente de glace d'Unilever (tous?) fonctionnent avec des hydrocarbures.

McDonald's a ouvert son premier restaurant sans fluor en 2003. Vers 2010 tous les nouveaux appareils seront sans fluor.

Nestlé est plus hésitante dans l'application de la technologie sans fluor¹.

Pour la climatisation des bureaux et locaux de vente existe une multitude de solutions: CO₂, ammoniac, hydrocarbures, par évaporation, dessiccation(?) ou absorption. Il ne faut pas se concentrer absolument sur la recherche d'un fluide qui remplace les HCFC.

Ne pas oublier: réseaux de froid (exemple Genève – Lac – Nations) et rafraîchissement passive.

Dans ref 1 sont énumérées des dizaines d'exemples des différentes technologies.

1.8.3 Climatisations mobiles.

50% de la production mondiale de HFC134a est pour la climatisation des voitures. Le grand problème sont les fuites. La quantité précise est inconnue. Un remplacement par des hydrocarbures est possible et même avantageux du point de vue énergétique. Désavantage à mon avis: l'inflammabilité en cas d'accident.

L'industrie allemande s'est décidée pour le CO₂ en le préférant à des solutions proposé par DuPont, Honeywell et Inoes (produits nommés DP1, H Blend et AC1).

La plus grande concurrence du CO₂ est le produit HFO1234yf. Son avantage est qu'il est compatible (même mélangables?) avec HFC123 et convient donc comme fluide de remplacement dans des installations existantes.

La performance des systèmes est exprimée par la Life cycle climate performance (LCCP) <http://www.epa.gov/cppd/mac/compare.htm> . Cette méthode tient compte de l'impact direct (émission par fuite) et impact indirect (émission de CO₂ supplémentaire à cause d'un efficacité diminuée, émission lors de la production du fluide etc). HFO1234yf est 15 % meilleure que HFC134a. Le CO₂ est encore un peu mieux, mais la différence n'est pas grande. (Attention CO₂ = R744) Une recherche

¹ Nestlé nous fait remarquer de manière crédible que leur maison est pionnière dans la production du froid industriel respectueux du climat.

google (lccp co2 r744) fournit un tas de résultats. Apparemment la méthode est controversée. (Je pense qu'elle est influencée par l'industrie automobile pour dénigrer le CO2).

Un résultat pour les pays chauds est montré en fig.10. Le remplacement de HFC134a par le CO2 diminuera dans ces pays les émissions d'équivalents de CO2 de 40%.

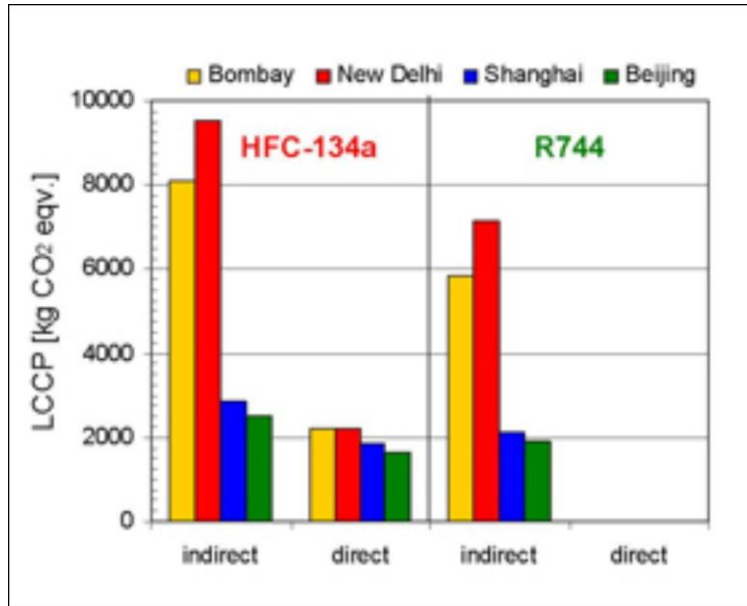


Fig.10: impact indirect sur le climat (émissions supplémentaire de CO2 (= R744) pour de raisons techniques) et impact direct (émission de fluide) pour HFC134a et CO2, calculé pour des villes à climat chaud. L'impact total est la somme de l'impact direct et indirect. Le CO2 est donc nettement avantageux. (<http://www.r744.com/article.view.php?Id=532>)

1.8.4 Remplissage de mousses isolantes.

1.8.4.1 Dans le bâtiment

Le HCFC-141b est interdit pour le remplissage des mousses rigides en polyuréthane et est remplacé par HFC-245fa et HFC-365mfc ou éventuellement pas le HFC-134a.

En 2005, 55% des panneaux sont fait avec des hydrocarbures (pentane) comme alternative, malgré son inflammabilité. C'est meilleur marché que les HFC-245fa ou -365mfc.

Polystyrène extrudé avec CO2 est également une possibilité, mais nécessite la modification des installations de production.

Les meilleures alternatives ne sont pas de mousses, mais des fibres (pierre, cellulose, cellulose recyclé etc).

1.8.4.2 Autres applications

Cyclopentane ou CO2 presque pour toutes les applications..

1.9 Technologies de substitution sans utilisation de fluides

1.9.1 Refroidissement par évaporation d'eau

On peut utiliser l'évaporation d'eau comme technique de réfrigération. Cette méthode s'appelle rafraîchissement adiabatique. Du fait que l'eau n'est pas chère et ne présente aucune toxicité, on utilise souvent des systèmes ouverts. Le système le plus simple est la transpiration de la peau humaine.

1.9.1.1 Conditionnement d'air par évaporation de l'eau

Rafraîchissement adiabatique dans des bus aux USA: Projet pilote sur 500 buses dans les états chauds des USA.

http://unfccc.int/methods_and_science/other_methodological_issues/interactions_with_ozone_layer/it_ems/498.php

la compagnie: http://reocities.com/ResearchTriangle/System/6868/Vehicool-The_Company.html

1.9.1.2 Desiccant cooling:

Au lieu de la rafraîchir on sèche l'air. Un air sec rend la transpiration corporelle plus efficace et diminue la sensation de chaleur.

La méthode est aussi utilisée dans des climatisations pour rafraîchir l'air en évitant l'utilisation de machines à froid. <http://www.toolbase.org/Technology-Inventory/HVAC/desiccant-cooling> ou <http://www.gaiagroup.org/Research/RI/solarac/index.html>

1.9.2 Autres méthodes

1.9.2.1 Refroidissement par cogénération

La chaleur thermique résiduaire d'un système de chauffage peut être utilisé pour produire du froid. On utilise une solution de bromure de lithium (LiBr) à première vue sans danger pour l'environnement. Méthode largement appliquée. Elle valorise de la chaleur résiduaire pour faire du froid. Est-ce qu'elle est énergétiquement intéressante ?

1.9.2.2 Refroidissement passive "free cooling"

Emmagasiner la fraîcheur de la nuit pour rafraîchir pendant la journée par un système architectural de gestion des courants d'air. Grand savoir faire en suisse romande <http://www.estia.ch/>

1.9.2.3 Panneaux d'isolation

Au lieu de rechercher des gaz de remplissage de mousses isolantes on peut utiliser des panneaux dans gaz: exemples: Laine de verre (à déconseiller pour des raisons de santé), laine de pierre (maison Flumroc), et surtout de cellulose (Isofloc).

Pavatex est apprécié car ce produit a une bonne capacité de chaleur.

Thanex Polyurethan Chemie GmbH & Co. KG, 41747 Viersen, DE (ce n'est pas Thanex, Danmark) a inventé un procédé qui utilise tetraméthylsilane comme gaz propulseur. Avantage: meilleure isolation qu'avec des hydrocarbures. Aujourd'hui, Thanex est repris par Recticel, Wiesbaden.

1.10 Considérations techniques et économiques

<http://www.epa.gov/highgwp/projections.html>

Etude technique et économique volumineuse, super intéressante

Centre allemand de compétence des industries allemandes de techniques frigorifiques

<http://www.eurammon.com/html/index.html>

2 Documents divers

2.1 Présentation du problème

Par le Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) de la Columbia University.

<http://www.ciesin.org/TG/OZ/warming.html>

2.1.1 Présentation technique générale des techniques du refroidissement

<http://www.ifmaindia.org/presentations/Trane%20effective%20&%20environmental%20responsibility%20at%20WE%20forum%20on%2004.04.08.ppt> Conférence à IFMA (

http://www.ifmaindia.org/about_us.html)

2.1.2 Explication du GWP et de l'horizon temporel

<http://www.ciesin.org/docs/011-463/011-463.html>

Compound	Estimated Atmospheric Lifetime	GWPs for Various Integration Time Horizons		
		20 years	100 years	500 years
Carbon Dioxide	†	1	1	1
CFC-11	55	4500	3400	1400
CFC-12	116	7100	7100	4100
CFC-115	550	5500	7000	8500
HCFC-22	15.8	4200	1600	540
HCFC-123	1.7	330	90	30
HFC-125	40.5	5200	3400	1200
HCFC-141b	10.8	1800	580	200
HCFC-225ca ¹	2.7	610	170	60
HCFC-225cb ¹	7.9	2400	690	240
HFC-134a	15.6	3100	1200	400
HFC-152a	1.8	530	150	49
Methane ²	10.5	35	11	4

† The decay of carbon dioxide concentrations cannot be reproduced using a single exponential decay lifetime. Thus, there is no meaningful single value for the lifetime that can be compared directly with other values in this table.

¹ The HCFC-225ca/cb GWP values were calculated by Atmospheric and Environmental Research, Inc. and are based on rate constant measurements reported by Z. Zhang et al., Geophysical Research Letters, Vol. 18, January 1991, pp. 5-7, and the infrared energy absorption properties measured at Allied-Signal Central Laboratory.

² The GWP values include the direct radiative effect and the effect due to carbon dioxide formation, but do not include any effects resulting from tropospheric ozone or stratospheric water formed as methane decomposes in the atmosphere.

Fig.11: Les GWP en fonction du temps considéré.

2.1.3 Présentation des alternatives

<http://www.ciesin.org/docs/011-462/011-462.html#fn3>

Entre 1980 et 1990 les CFC contribuaient à 24% au global warming (selon IPCC 1990)

Les HFC augmentent certes le global warming, mais économisent du CO₂. Il faut tenir compte également de cet effet bénéfique pour une évaluation globale. Ceci est fait dans la Life cycle climate performance (LCCP)

2.2 Historique de la technologie du froid

A.S. Karimabad, Master Thesis, Royal institute of technology Stockholm 2006. <http://www.iuc-sek.se/upload/file/projekt%20Nat%20kold%20co2/Master%20Thesis%20NH3-CO2%20jun06.pdf>

1856: Première réfrigération (pour bière) par James Harrison

1913 Premier frigo électrique

1927 Commercialisation en masse de frigos par General Electric.

Les premiers systèmes ont utilisé ammoniaque (NH₃, R717), Dioxyde de soufre (SO₂, R767), Chlorure de méthyle (CHCl₃, R40). Le dioxyde de carbone (CO₂, R744) était plus rarement utilisé car cette substance demande de hautes pressions.

1932 Frick Company introduit le système "Split Stage". Prérefroidissement par une petite unité à l'ammoniaque toxique et malodorant. Refroidissement final par une plus grande installation de CO₂ à une pression moindre.

1931 Introduction de Dichlorodifluorométhane (R12) a rapidement remplacé le CO₂ et l'ammoniaque car la technologie était plus simple. (faible toxicité, produit peu agressif, faible pression nécessaire).

Entre 1950 et 1970: introduction des nouveaux produits synthétiques CFC.

1987 Protocole de Montréal. Diminution et fin de la production de CFC. Retour sur les anciens fluides. Avec les technologies modernes, ceux-ci sont aujourd'hui plus avantageux qu'à l'époque.

2.3 Liste des ozone depletion potential (ODP) des CFC

Classe I: <http://www.epa.gov/ozone/science/ods/classone.html>

Classe II: <http://www.epa.gov/ozone/science/ods/classtwo.html>

2.4 Liste du GWP

<http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/excel/GHG&GWPs.xls>

Une autre liste très complète qui mentionne l'utilisation du produit:

16 HFC, 7 PFC, 4 gaz "exotiques"

<http://www.epa.gov/ozone/geninfo/gwps.html>

Et quelques autres produits et surtout des mélanges <http://www.abcclim.net/les-gwp-des-fluides.html>

Liste EXCEL assez complète des ODP et GWP de tous les CFC, HCFC et HFC en annexe.

2.5 Fonctionnement des PAC au CO₂ et autres

http://conseils.xpair.com/consulter_parole_expert/pompe_chaleur_co2.htm

C'est une explication publicitaire pour le CO₂.

Avantage: marche bien pour l'eau chaude sanitaire

Désavantage: haute pression

La figure 12 montre que le CO2 est théoriquement un peu moins bonne que les autres fluides, notamment pour le refroidissement à -10°.

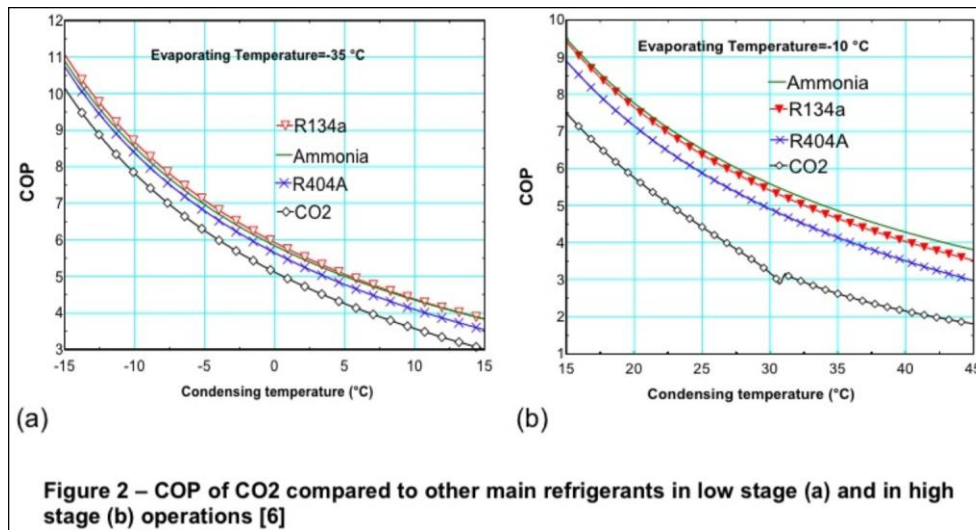


Fig.12: Efficacité de divers réfrigérants.

La grande pression de travail du CO2 a comme effet une plus grande capacité thermique volumique, ce qui permet la construction d'appareils plus compacts.

CO2 a certains autres avantages physiques, comme la faible tension superficielle et la faible viscosité des vapeurs.

Pour des applications de chauffage d'eau chaude sanitaire ou conditionnement d'air, le CO2 arrive à des pressions élevées (p ex. 74 bar à 31°).

2.6 HFO-1234yf

Cette substance serait le remplaçant idéal au HFC134a. Les propriétés chimiques et physicochimiques sont très similaires. Le produit est peu toxique. Il n'a pas d'effet sur l'ozone. Il a une courte durée de vie dans l'atmosphère, alors un petit GWP. Pour quelles raisons est-il alors critiqué? Lors de sa décomposition, il forme de l'acide trifluoroacétique (TFA) qui peut être dangereux pour l'eau. (voir à ce sujet le chapitre 1.4.2).

2.7 Des faux CDM lors de la production de HCFC22

Lors de la production de HCFC22 sont générés des quantités non négligeables d'un sous produit inutile est nuisible pour le climat, le HFC23. L'incinération de ce dernier sont des "certified emission reductions" (CER) qui peuvent être vendus. Or le prix de vente couvre très largement les frais d'incinération. En résultat, on produit du HCFC pour la seule raison de pouvoir incinérer le sous-produit HFC23 et de vendre les certificats générés. Cette pratique absurde génère à peu près la moitié des certificats CO2 dans le monde, pour une valeur d'environ 1 milliard de dollar.

Noe21, l'IEA et Greenpeace ont demandé auprès de l'executive board de l'UNFCCC la révision de la méthodologie no. AM0001 qui permet cette pratique.

L'affaire est en cours. Les dernières nouvelles se trouvent sur le site de Noé21.