



# Rapport Fluides frigorigènes

## Septembre 2024

INVENTAIRE DES EMISSIONS DE FLUIDES  
FRIGORIGENES POUR LA FRANCE  
METROPOLE

RESULTATS 2022 ET ESTIMATION PROVISOIRE



Promouvoir  
une attitude  
responsable



## RÉDACTION

	Prénom, nom	Fonction au sein du Citepa
Coordinateur principal	Stéphanie Barrault	Responsable de Département & Experte gaz fluorés
Rédacteur principal	Ariane Druart	Responsable Traitement de données

## VÉRIFICATION

	Nom	Fonction au sein du Citepa
Validation	Stéphanie Barrault	Responsable de Département & Experte gaz fluorés

Pour citer ce document :

Citepa/AFCE, 2024. Inventaire des émissions de fluides frigorigènes pour la France métropole. Résultats 2022 et estimation provisoire 2023

Ce Rapport a été financé par l'AFCE (Alliance Froid Climatisation Environnement), sur la base de l'étude d'inventaire réalisée pour le compte du Ministère de la Transition Ecologique (MTE). Cette édition annule et remplace toutes les éditions antérieures relatives au même rapport.

Référence Citepa | 2399



Promouvoir  
une attitude  
responsable

217, rue de l'amiral  
Hamelin 75 016

[dg@afce.asso.fr](mailto:dg@afce.asso.fr)

<https://www.afce.asso.fr>

Pour obtenir des éléments contenus dans  
ce rapport :



42 rue de Paradis  
75010 Paris

01 44 83 68 83  
[infos@citepa.org](mailto:infos@citepa.org)

[citepa.org](https://citepa.org)

# Sommaire

Résumé.....	5
<b>1. Approche utilisée. ....</b>	<b>6</b>
1.1. Introduction .....	7
1.2. Résumé de la méthode de calcul.....	11
<b>2. Résultats totaux 2022 – France métropole. ....</b>	<b>17</b>
2.1. Les émissions de gaz fluorés parmi les émissions de gaz à effet de serre .....	18
2.2. Banque .....	19
2.3. Emissions de fluides frigorigènes .....	21
2.4. Demande .....	26
2.5. Vérification de cohérence .....	29
<b>3. Applications domestiques. ....</b>	<b>32</b>
3.1. Introduction .....	33
3.2. Données et hypothèses .....	33
3.3. Résultats.....	37
<b>4. Froid commercial. ....</b>	<b>40</b>
4.1. Introduction .....	41
4.2. Données et hypothèses .....	42
4.3. Résultats.....	49
<b>5. Transports frigorifiques. ....</b>	<b>55</b>
5.1. Introduction .....	56
5.2. Données et hypothèses .....	57
5.3. Résultats.....	63
<b>6. Froid industriel.....</b>	<b>67</b>
6.1. Introduction .....	68

6.2. Données et hypothèses .....	69
6.3. Résultats.....	75
<b>7. Groupes refroidisseurs à eau (GRE). .....</b>	<b>80</b>
7.1. Introduction .....	81
7.2. Données et hypothèses .....	82
7.3. Résultats.....	87
<b>8. Climatisation à air et PAC air/air.....</b>	<b>92</b>
8.1. Introduction .....	93
8.2. Données et hypothèses .....	95
8.3. Résultats.....	102
<b>9. Pompes à chaleur réversibles. ....</b>	<b>108</b>
9.1. Introduction .....	109
9.2. Données et hypothèses .....	109
9.3. Résultats.....	112
<b>10. Climatisation embarquée / climatisation automobile. ....</b>	<b>116</b>
10.1. Introduction .....	117
10.2. Données et hypothèses.....	118
10.3. Résultats.....	126
<b>11. Annexes. ....</b>	<b>130</b>
11.1. PRG donnés par le 4 <sup>ème</sup> & 5 <sup>ème</sup> rapport du GIEC (AR4 – AR5) 131	
11.2. Emissions déclarées pour le secteur 2F1 .....	132
11.3. Acronymes et abréviations .....	133
11.4. Table des figures.....	134
11.5. Table des tableaux.....	137
11.6. Références bibliographiques .....	140

# Résumé

Basé sur l'inventaire annuel des émissions de gaz à effet de serre réalisé par le Citepa, le rapport Fluides frigorigènes de l'AFCE présente le bilan des émissions, des banques, de la récupération, par grand secteur du froid et de la climatisation.

Depuis plusieurs années, l'AFCE mandate le Citepa pour réaliser le bilan des émissions et de l'utilisation des fluides frigorigènes pour l'ensemble de la filière du froid, de la climatisation et des pompes à chaleur résidentielles. Ce travail s'appuie sur les calculs réalisés par le Citepa pour évaluer les émissions de gaz à effet de serre de la France dans le cadre des engagements de la France envers le Protocole de Kyoto et l'Accord de Paris. Les émissions de HFC doivent être déclarées avec l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques et à la Commission Européenne. Dans le cadre de cette étude, le bilan est étendu à l'ensemble des fluides frigorigènes, sur la période 1990 – 2023 : CFC, HCFC, HFC et fluides frigorigènes non fluorés. L'ensemble des données et hypothèses prises en compte dans le calcul est précisé, par secteur et les résultats en termes de banque, émissions, émissions CO<sub>2</sub> équivalentes, récupération et demande sont présentés. Une analyse globale est donnée en amont, montrant l'évolution de la situation pour l'ensemble des secteurs du froid et de la climatisation.

# 1

## Approche utilisée

# 1.1. Introduction

## 1.1.1. Contexte réglementaire

Dans le cadre des engagements de la France au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), du Protocole de Kyoto, de l'amendement de Doha et de l'Accord de Paris, la France doit réaliser chaque année l'inventaire de ses émissions de gaz à effet de serre.

Les substances devant être inventoriées sont les sept gaz à effet de serre direct qui constituent le « panier Kyoto » : dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), méthane (CH<sub>4</sub>), protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), les deux familles de substances halogénées, à savoir les hydrofluorocarbures (HFC) et perfluorocarbures (PFC), l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>) ainsi que le trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub>). Dans le cadre de la France, les périmètres couverts sont la Métropole et l'ensemble des territoires d'Outre-mer pour la CCNUCC ; la Métropole et les territoires d'Outre-mer inclus dans l'Union Européenne (UE) pour le Protocole de Kyoto.

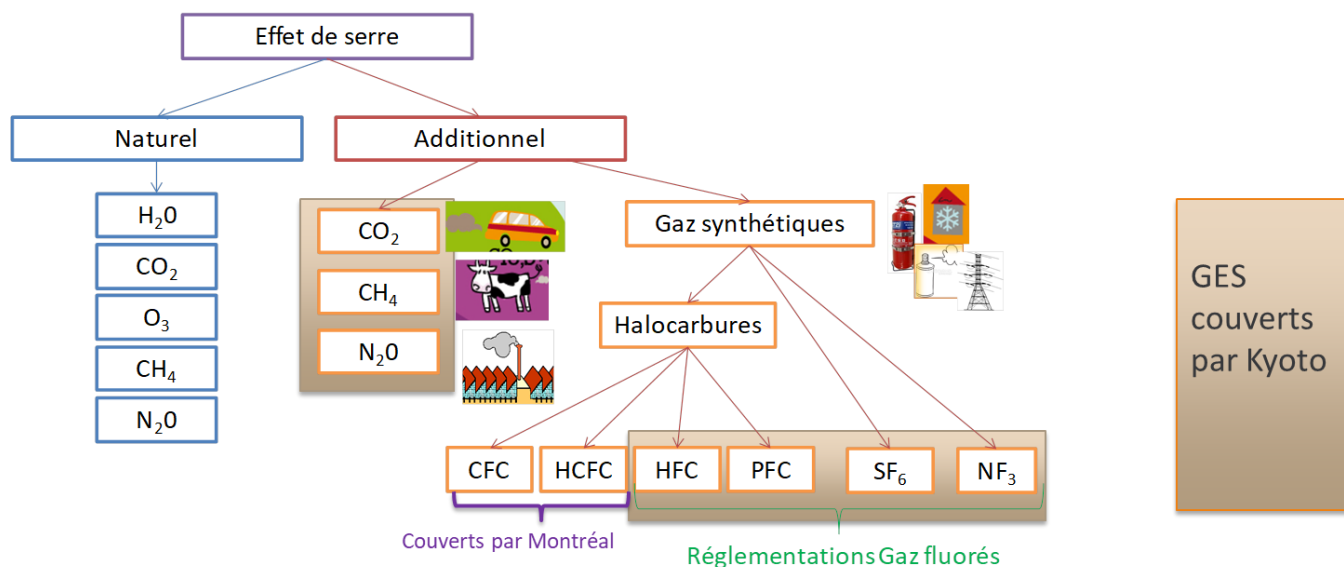


Figure 1 - Les gaz à effet de serre

Le Citepa, mandaté par le ministère de l'Environnement depuis 2000, réalise les inventaires d'émissions de gaz à effet de serre (GES), service d'intérêt économique général (SIEG). Dans ce cadre, il calcule les émissions de l'ensemble des gaz à effet de serre, dont les HFC, et en particulier ceux utilisés dans les secteurs du froid et de la climatisation.

Dans le cadre des obligations de rapportage de la France, ces émissions sont déclarées au secteur 2F1 des tables CRT (Common Reporting Tables) de la CCNUCC.

La Figure 2 présente les données devant être déclarées lors du rapportage des émissions de HFC. Elles sont de deux types : les données d'activité et les émissions.

Les données d'activité sont, pour chaque HFC, de trois types :

- les quantités chargées dans les nouveaux équipements,
- la banque, soit les quantités présentes dans les équipements formant le parc français,
- les quantités restant dans les équipements parvenant en fin de vie.

Les émissions sont décomposées en trois parties : les émissions à la charge, les émissions se produisant au cours de la vie de l'équipement et les émissions de fin de vie.

Elles sont décomposées par HFC primaire :

- HFC-32,
- HFC-125,
- HFC-134a,
- HFC-143a
- et HFC-152a.

Les HFC contenus dans les mélanges HCFC-HFC doivent être pris en compte. En revanche, les HFO ne sont pas encore soumis à déclaration.

Les déclarations doivent être réalisées pour chacun des 6 grands secteurs d'activité :

- froid domestique,
- froid commercial,
- transport frigorifique,
- froid industriel incluant une partie des chillers,
- climatisation fixe, incluant la climatisation à air, les pompes à chaleur résidentielles et une partie de chillers,
- et climatisation embarquée incluant la climatisation automobile, celle des véhicules industriels, cars, bus, trains, métros.

Une mise à jour des données déclarées est réalisée pour les années 1990 à l'année d'inventaire en cours (ici 2022), à chaque édition d'inventaire.

**Tables CRF**

Quantité de fluide introduite dans les nouveaux équipements   
 Banque   
 Quantité de fluide dans les équipements fin de vie   
 Emissions à la charge des nouveaux équipements   
 Emissions durée de vie   
 Emissions fin de vie

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	Gas (please specify) <i>One row per substance</i>	ACTIVITY DATA			IMPLIED EMISSION FACTORS <sup>(1)</sup>			EMISSIONS <sup>(2)</sup>			
		Filled into new manufactured products	In operating systems (average annual stocks)	Remaining in products at decommissioning	Product manufacturing factor	Product life factor	Disposal loss factor	From manufacturing	From stocks	From disposal	Recovery <sup>(3)</sup>
								Amount	Amount	Amount	kg
<b>F. Product uses as substitutes for ODS</b>											
<b>1. Refrigeration and air-conditioning</b>											
<b>Commercial refrigeration</b>											
HFC-32	HFC-32	NO	IE	NO	NO	IE	NO	NO	IE	NO	NO
HFC-125	HFC-125	NO	IE	NO	NO	IE	NO	NO	IE	NO	NO
HFC-134a	HFC-134a	NO	IE	NO	NO	IE	NO	NO	IE	NO	NO
HFC-143a	HFC-143a	NO	IE	NO	NO	IE	NO	NO	IE	NO	NO
C3F8	C3F8	NO	IE	NO	NO	IE	NO	NO	IE	NO	NO
<b>Domestic refrigeration</b>											
HFC-134a	HFC-134a	NO	1,28	NO	NO	0,30	NO	NO	0,00	NO	NO
<b>Industrial refrigeration</b>											
<b>Transport refrigeration</b>											
<b>Mobile air-conditioning</b>											
HFC-134a	HFC-134a	NO	16,33	NO	NO	8,33	NO	NO	1,36	NO	NO
<b>Stationary air-conditioning</b>											
HFC-32	HFC-32	NO	0,57	NO	NO	100,00	NO	NO	0,57	NO	NO
HFC-125	HFC-125	NO	0,62	NO	NO	100,00	NO	NO	0,62	NO	NO
HFC-134a	HFC-134a	NO	0,34	NO	NO	100,00	NO	NO	0,34	NO	NO
HFC-143a	HFC-143a	NO	0,09	NO	NO	100,00	NO	NO	0,09	NO	NO
C3F8	C3F8	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Figure 2 – Tables CRF (Common Reporting Format), mode de déclaration des émissions de HFC auprès de la CNUCC

Bien que tous les pays européens soient soumis à la même obligation de déclaration des émissions de gaz fluorés, il n'y a pas d'obligation sur la méthode ou l'outil à utiliser pour le calcul des émissions et les niveaux de précision des émissions calculées peuvent varier fortement d'un pays à l'autre. La méthode utilisée par la France est



particulièrement détaillée et vise à estimer les émissions de la façon la plus précise et exhaustive possible. En particulier :

- C'est une [méthode détaillée « Tier2a »](#) recommandée par le GIEC pour le calcul des émissions des secteurs du froid et de la climatisation
- Elle prend en compte [toutes les émissions](#) au cours de la vie des équipements : à la charge, fugitives, à la maintenance, lors des opérations de retrofit, et en fin de vie ;
- Elle utilise les données [issues de la profession](#) et collabore avec les fédérations de professionnels ;
- Elle prend en compte les [obligations réglementaires](#) mais s'appuie sur des retours de terrains pour traduire la réalité des pratiques et pour ne pas sous-estimer les niveaux d'émissions ;
- Elle tient compte des publications sur les [taux d'émissions](#) des équipements neufs mais prend également en compte la diversité des comportements, pratiques et performances sur le terrain, en incluant les dysfonctionnements et les pertes accidentelles qui peuvent pénaliser les niveaux moyens.

## 1.1.2. La demande de l'AFCE

Pour répondre aux besoins de la profession, l'AFCE a souhaité que le Citepa réalise un rapport annuel dédié aux secteurs du froid et de la climatisation et couvrant l'ensemble des fluides frigorigènes, pas seulement les HFC soumis à déclaration. Ce rapport présente donc les résultats du calcul d'inventaire de 1990 à 2022 par famille de fluide frigorigène (CFC, HCFC, HFC, autres fluides non fluorés) et par fluide pour l'année 2022, les résultats de l'année 2023 n'étant qu'une estimation provisoire. Les résultats sont regroupés pour les fluides frigorigènes de même type (par exemple R-448A/R-449A pour les mélanges de PRG autour de 1300) car la méthode de calcul ne permet pas de distinguer les parts de marché des fluides frigorigènes.

La structure du rapport est la suivante :

- l'approche utilisée pour le calcul des émissions de fluides frigorigènes est présentée,
- puis la synthèse des résultats totaux
- et des chapitres sectoriels présentent les hypothèses et principaux résultats (émissions, banques et demandes en fluides frigorigènes) par secteur. Les graphes présentent les résultats par famille de fluides frigorigènes de 1990 à 2022 ; l'estimation provisoire pour 2023, calculée à partir de données projetées est également présentée

La date de parution du rapport est contrainte aux dates de soumission auprès des instances internationales qui est finalisée en avril de l'année suivante (les calculs 2022 sont réalisés en 2023 et soumis puis validés en avril 2024).

Pour avoir des explications détaillées sur la méthode de calcul et la reconstitution de la base de données des hypothèses, par secteur, merci de consulter le rapport d'inventaire de 2022 [Ref 1 – Rapport d'inventaire d'émissions de fluides frigorigènes pour la France métropole. Résultats 2020 et estimation provisoire 2021. Citepa – AFCE. Juin 2022. [Rapport AFCE – Inventaire des émissions de fluides frigorigènes – AFCE – Alliance Froid Climatisation Environnement](#)

] Les rapports suivants présentent seulement un résumé de la méthode de calcul et s'attachent à détailler les hypothèses de l'année en cours.

Ce rapport est un outil de travail pour améliorer l'évaluation des émissions de fluides frigorigènes. Il peut permettre de favoriser les échanges entre ceux qui réalisent l'inventaire des émissions de fluides frigorigènes et la profession, qui pourra apporter ses données et retours d'expérience. Il se veut transparent sur les méthodes et hypothèses utilisées de façon à pouvoir améliorer chaque année les estimations en fonction des retours et des nouvelles sources de données qui seront communiquées. Nous tenons à remercier les membres de l'AFCE pour leurs retours sur les précédents rapports d'inventaire publiés qui permettent à la fois d'améliorer le calcul des émissions et d'adapter le rapport pour qu'il soit plus utile à la profession.

### 1.1.3. Evolution des PRG (Potentiel de Réchauffement Global) utilisés

Les PRG (Potentiel de réchauffement Global) ou GWP (Global Warming Potential), en anglais, sont des indices caractérisant l'impact des gaz à effet de serre (GES) sur le réchauffement climatique en comparaison du CO<sub>2</sub> (dont le PRG est 1). Ils permettent, notamment, de convertir les émissions de HFC en équivalents CO<sub>2</sub>. Les PRG sont réévalués régulièrement et publiés dans les rapports du GIEC. Les obligations internationales et les réglementations peuvent choisir de s'appuyer sur l'une ou l'autre de ces évaluations. La réglementation européenne F-Gas utilise les PRG du 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC, même dans sa version révisée ((UE) 2024/573) excepté pour les HFO pour lesquels elle considère les PRG du 6<sup>ème</sup> rapport du GIEC).

La dernière évaluation est celle du 6<sup>ème</sup> rapport du GIEC (AR6) paru en 2022.

Pour l'inventaire des émissions de GES, la CCNUCC a imposé d'utiliser :

- l'évaluation du 2<sup>nd</sup> rapport (SAR) du GIEC sur la première période d'engagement du Protocole de Kyoto (2008-2012)
- puis celle du 4<sup>ème</sup> rapport (AR4) sur la deuxième période d'engagement (2012-2020)
- et, à partir de l'inventaire 2021, celle du 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC (AR5), bien que paru en 2014.

Les inventaires 2021 et 2022 ont donc pris en compte les valeurs des PRG données par le 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC alors que l'inventaire 2020 prenait en compte celles du 4<sup>ème</sup> rapport. Comme le montre le tableau ci-dessous, la tendance est principalement à la baisse entre ces deux évaluations.

**Tableau 1 – Evolution des PRG des principaux CFC, HCFC et HFC utilisés en réfrigération et climatisation [Ref 5]**

SUBSTANCE	FORMULE CHIMIQUE	PRG A HORIZON 100 ANS		
		2 <sup>ND</sup> RAPPORT (SAR)	4 <sup>E</sup> RAPPORT (AR4)	5 <sup>E</sup> RAPPORT (AR5)
Substances relatives au Protocole de Montréal				
CFC-11	CCl <sub>3</sub> F	3 800	4 750	4 660
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	8 100	10 900	10 200
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	1 500	1 810	1 760
Hydrofluorocarbures (HFC)				
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	1 300	1 430	1 300
HFC-143a	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	3 800	4 470	4 800
HFC-152a	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	140	124	138
HFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	2 800	3 500	3 170
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	650	675	677
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	11 700	14 800	12 400

Dans l'inventaire, les émissions sont réévaluées chaque année sur toute la période temporelle, depuis 1990. Par conséquent, le changement de référence impacte à la baisse l'ensemble des émissions de HFC depuis 1990.

# 1.2. Résumé de la méthode de calcul

La méthode de calcul s'appuie sur les lignes directrices du GIEC [Ref 2], les développements réalisés par le CES MINES-ParisTech lors de la réalisation des inventaires de fluides frigorigènes jusqu'en 2016 [Ref 7] et des travaux de thèse [Ref 3].

L'ensemble des équipements du froid et de la climatisation sont pris en compte et structurés selon 8 grands secteurs (Tableau 2). De nouveaux sous-secteurs peuvent être pris en compte, dans un souci d'amélioration ou d'exhaustivité (décomposition de certains sous-secteurs ou ajouts). Il a été question de distinguer le sous-secteur des cuisines professionnelles dans le froid commercial. Les échanges avec le SYNEG ont montré que cette application n'était prise en compte que partiellement dans le sous-secteur des petits commerces dans l'inventaire. Des données complémentaires sont nécessaires afin d'évaluer la charge moyenne de ce type d'équipements et de pouvoir le prendre en compte de façon plus précise dans le calcul. Le SYNEG n'a pas encore pu fournir ces éléments.

### Enquête 2023 :

Pour les besoins de déclarations d'inventaire auprès de la CNUCCC et de la CE, qui ne comportent que 6 principaux secteurs, les chillers et les pompes à chaleurs doivent être répartis dans les secteurs « climatisation » et « froid industriel ». Les pompes à chaleur résidentielles sont, dans leur globalité, supposées appartenir au secteur climatisation. Pour le secteur « froid industriel, une enquête assez ancienne auprès des fabricants avait montré la tendance que 2/3 des émissions des chillers pouvaient être attribuées au secteur froid industriel. Le secteur « climatisation » inclut donc les émissions de la climatisation à air, des pompes à chaleur réversibles et 1/3 des émissions des chillers. Dans le cadre de l'enquête 2023-2024, Unclima a été sollicité pour mettre à jour ces tendances. Peu de réponses ont pu être obtenues cette année. Les premiers éléments de l'enquête montrent que :

- Les chillers de forte puissance concernent plus significativement l'industrie ;
- Les technologies « water cooled » sont davantage utilisées en industrie que les « air cooled » ;
- Selon les positionnements des fabricants, les réponses peuvent être assez variées et le seuil de rattachement au secteur industriel être assez bas si le fabricant est bien implanté dans le secteur industriel.

A ce stade des réponses, il a été décidé de ne pas faire évoluer les ratios pour cette année et de relancer les adhérents d'Uniclimate pour l'an prochain.

Tableau 2 – Structure de la base de données des secteurs du froid et de la climatisation

SECTEUR	SOUS-SECTEUR
Froid domestique	Réfrigérateurs Congélateurs Sèche-linges thermodynamiques
Froid commercial	Supermarchés Hypermarchés Petits commerces
Transport frigorifique	Semi-remorques Utilitaires Part des conteneurs réfrigérés au niveau mondial Part des navires réfrigérés

SECTEUR	SOUS-SECTEUR
Climatisation à air	Climatiseurs portables Splits Windows Multi-splits Installations centralisées VRV Roof top Autres équipements de climatisation
Pompes à chaleurs réversibles	Air/eau Eau/eau Sol/sol Sol/eau Chauffe-eaux thermodynamiques
Groupes refroidisseurs à eau	À compresseur centrifuge De forte puissance (> 350 kW) De moyenne puissance (50 à 350 kW) De faible puissance (< 50 kW)
Froid industriel	Agroalimentaire Procédés chimiques Procédés pharmaceutiques Production caoutchouc Patinoires
Climatisation automobile	Véhicules particuliers et utilitaires légers Véhicules industriels Cars et bus Trains

### 1.2.1. Approche de niveau 2a

La méthode de calcul est basée sur les recommandations données par les lignes directrices du GIEC pour la réalisation des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre. Dans le cas des réfrigérants, si les informations nécessaires sont disponibles (données par sous-application et facteurs d'émission spécifiques), il est recommandé d'utiliser une approche de Niveau 2a, approche détaillée, par facteur d'émission. Cette méthode reconstitue la banque de fluides frigorigènes par application, soit les quantités de fluides présentes dans les équipements installés en France et formant le parc d'équipements. L'approche est dite « bottom-up », utilisant les données sur les marchés d'équipements, charges moyennes, fluides utilisés, durée de vie moyenne pour reconstituer le stock contenu dans les équipements puis calculer les émissions.

Il est nécessaire de tenir compte :

- des émissions à la charge des équipements ( $E_{charge}$ ) ;

- des émissions au cours de la durée de vie des équipements, issues des banques de fluides frigorigènes, pendant le fonctionnement et la maintenance des équipements, incluant les pertes accidentelles ( $E_{durée\ de\ vie}$ );
- des émissions de fin de vie, lors de la mise au rebut de l'équipement ( $E_{fin\ de\ vie}$ );
- des émissions liées à la gestion des conteneurs de fluides frigorigènes, notamment aux talons de charge résiduels ( $E_{conteneurs}$ ).

$$E_{totales} = E_{charges} + E_{durée\ de\ vie} + E_{fin\ de\ vie} + E_{conteneurs}$$

Les lignes directrices ne mentionnent pas les émissions liées au retrofit d'installations, qui peuvent être incluses dans les émissions au cours de la durée de vie.

Dans l'approche 2a, les facteurs d'émissions sont appliqués aux données d'activité. Leur estimation peut se faire de différentes façons, selon les données disponibles. Le GIEC met à disposition des gammes de facteur d'émissions pour les différents types d'émissions qui peuvent être utilisés en cas d'absence de facteur d'émission spécifique ou pour vérifier que les facteurs d'émissions nationaux entrent bien dans la gamme de valeurs recommandée.

### 1.2.2. Mise en œuvre de l'approche de niveau 2a

La Figure 3 présente la méthode de calcul mise en œuvre dans l'outil Gaz Fluorés du Citepa, à partir des recommandations du GIEC pour une méthode de niveau 2a. Toutes les émissions au cours de la vie de l'équipement sont prises en compte.

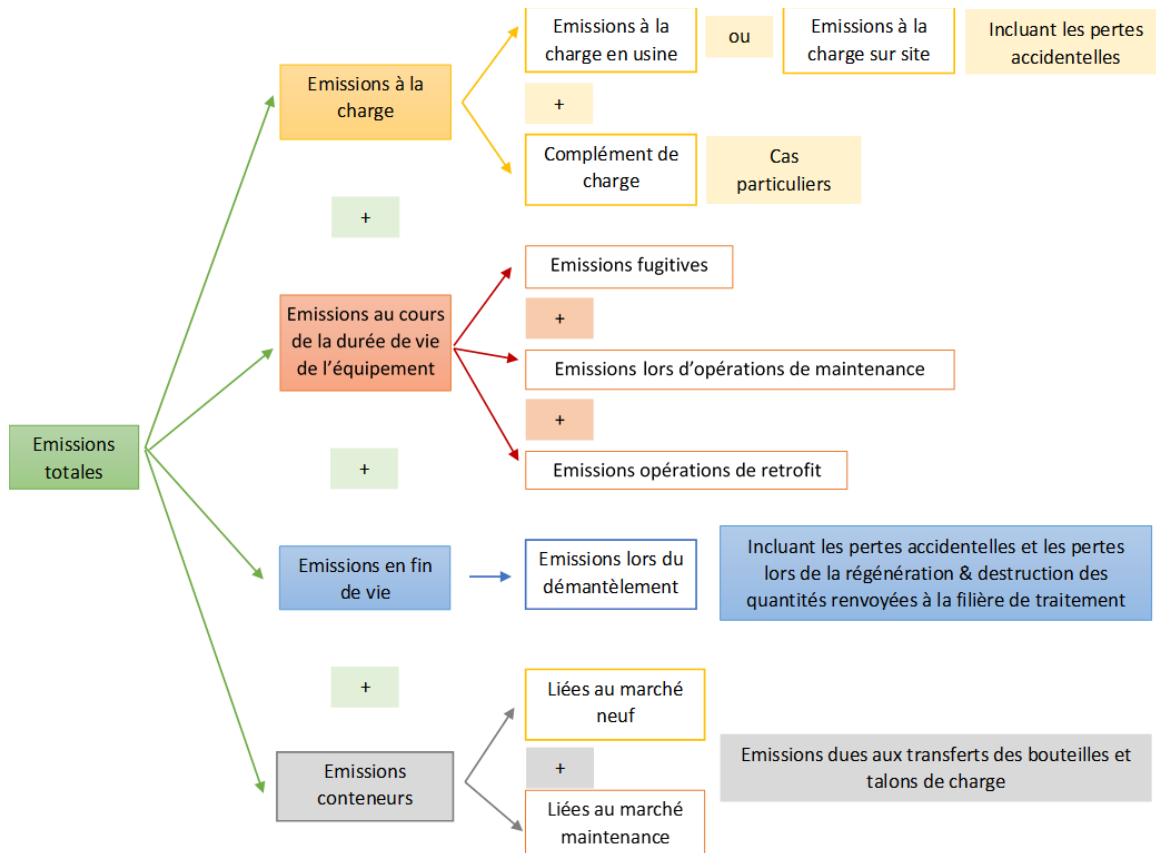


Figure 3 - Principes de la méthode de calcul des émissions de fluides frigorigènes

Les émissions sont calculées à partir :

- de paramètres permettant d'évaluer la « donnée d'activité » (Tableau 3) ;
- d'un facteur d'émission.

La banque de fluides frigorigènes est calculée à partir des données de marchés d'équipements, en tenant compte de la variation de la charge, ou d'un ratio de charge au cours du temps, et de la durée de vie de l'équipement. Un modèle de la courbe de durée de vie [Ref 3] est utilisé de façon à introduire une évolution plus réaliste de la banque et des transitions de fluides frigorigènes, par application. Chaque équipement est caractérisé par une durée de vie moyenne, autour de laquelle est construite, par millésime de mise sur le marché, une courbe de durée de vie en trois parties (exemples Figure 4, Figure 5).

La maintenance est prise en compte de façon détaillée : la charge réelle de l'équipement est calculée au cours du temps et il est considéré qu'une opération de maintenance et une recharge de l'équipement ont lieu quand la charge réelle se trouve en deçà d'un seuil de bon fonctionnement. Les émissions lors des opérations de maintenance sont alors évaluées en tenant compte d'un facteur d'émission à la recharge de l'installation (et à la décharge, le cas échéant).

Les retrofits d'installations sont également pris en compte dans les émissions au cours de la vie des équipements en considérant que durant la période précédant une interdiction réglementaire d'usage de certains fluides frigorigènes, les installations qui ne parviennent pas en fin de vie sont en partie converties vers un autre fluide frigorigène (fluides de transition). Les hypothèses sont simplifiées et il est considéré qu'un retrofit prolonge en moyenne de 10 ans la durée de vie de l'installation.

Les émissions de fin de vie correspondent aux émissions lors du démantèlement des installations : elles sont rapportées aux quantités de fluides frigorigènes résiduelles dans l'équipement lorsqu'il est démantelé. Celles-ci dépendent :

- des quantités chargées dans les équipements neufs
- de la durée de vie de l'équipement
- du taux d'émissions fugitif qui va réduire la charge de l'équipement et impacter la charge résiduelle.

La charge résiduelle de l'équipement arrivant en fin de vie est calculée en fonction de l'âge de l'équipement et de sa charge réelle annuelle. Les double-comptes entre les émissions fin de vie et les émissions fugitives sont ainsi évités.

Enfin, les « émissions conteneurs » liées au transfert des fluides frigorigènes des conteneurs vers les bouteilles et à l'existence de talons de charge sont calculées à partir de la reconstitution du marché de fluide frigorigène nécessaire à la maintenance, à la production en France et à la charge des équipements mis vides sur le marché français.

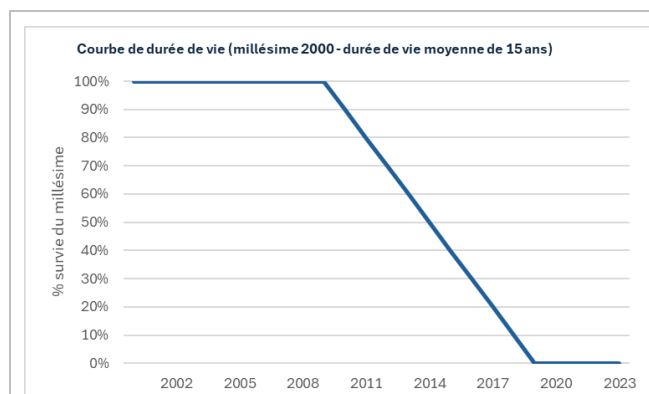


Figure 4 – Exemple d'une courbe de durée de vie pour un équipement de durée de vie moyenne de 15 ans

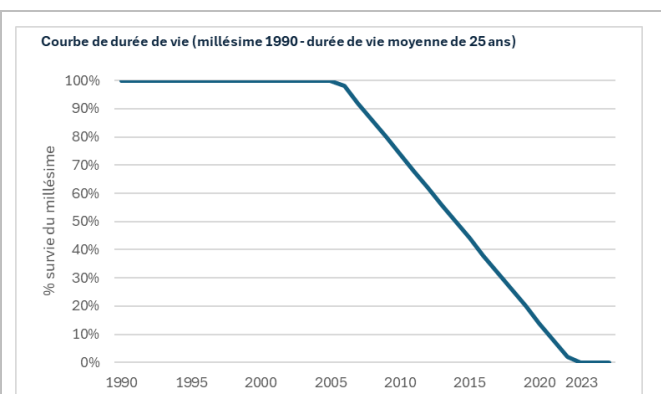


Figure 5 – Exemple d'une courbe de durée de vie pour un équipement de durée de vie moyenne de 25 ans

## 1.2.3. Bilan des données nécessaires au calcul

L'ensemble des données d'activité et facteurs d'émissions récapitulé au Tableau 3, a été consolidé, pour la période nécessaire au calcul d'inventaire de 1990 à 2022, pour chacune des 40 applications des 8 domaines du froid et de la climatisation prises en compte. Ces données sont revues chaque année, alors que l'année en cours est mise à jour.

Tableau 3 – Données d'activité nécessaires par application et par an pour le calcul des émissions de réfrigérants

TYPE D'EMISSION	DONNEE D'ACTIVITE	PARAMETRES DONT DEPENDENT LES DONNEES D'ACTIVITES
A la charge	Quantités chargées dans les équipements neufs	Marchés ou productions d'équipements selon mode de charge & charge moyenne & fluides utilisés
Durée de vie	Banque	Marchés d'équipements et fluides utilisés & Charge moyenne & durée de vie Caractéristiques de la maintenance et du retrofit
Fin de vie	Quantités contenues dans les équipements arrivant en fin de vie	Marchés d'équipement & Charge moyenne & durée de vie & mode de maintenance et taux d'émission fugitif (impactant la charge résiduelle)
Conteneurs	Marchés de HFC	Marché neuf, marché maintenance, marché retrofit

Les facteurs d'émissions sont, dans le cas de la France, généralement évalués par retour d'enquête de terrain et avis de fabricants et d'experts. Ces facteurs tiennent compte aussi des pertes accidentelles. Si des données sont disponibles, les déclarations d'émissions sont étudiées de façon à prendre en compte les retours de terrain.

- **Le facteur d'émission lié à la gestion des conteneurs** est particulièrement difficile à estimer. Selon les lignes directrices, les émissions sont estimées entre 2 et 10 % du marché de fluide frigorigène. Le facteur d'émission est actuellement considéré constant dans le calcul égal à 3% sur toute la période d'inventaire mais il n'est appliqué qu'aux talons de charge, lesquels sont supposés égaux à 15 % du marché. Des échanges avec l'ADC3R [Ref 53] ont visé à affiner cette estimation. Après discussion, le niveau de ces hypothèses semble correct cependant, la plupart des gros conteneurs ne sont, en pratique, pas vidés mais rechargés des mêmes fluides frigorigènes. Par conséquent, les émissions ne se produisent pas systématiquement. Restent les émissions se produisant lors du transfert en conteneurs et bouteilles de différents volumes. La distinction est difficile à chiffrer. Il a été convenu de maintenir les hypothèses.
- **Le facteur d'émission à la charge de l'équipement** varie, selon les lignes directrices du GIEC, entre 0,2 et 3 %, dépendant du mode de charge.
- **Les facteurs d'émissions fugitives** sont beaucoup plus variables : les lignes directrices du GIEC recommandent d'utiliser les données spécifiques au pays, basées sur les données fabricants, les enquêtes de terrain, les installateurs, opérateurs incluant, si nécessaire, les avis d'expert. Dans le cadre de la méthode de calcul développée, le facteur d'émission au cours de la vie d'un équipement tient compte :
- D'un **facteur d'émission fugitif** incluant les pertes accidentelles sur le parc,
- D'un **facteur d'émission à la décharge** et à la recharge de l'installation au cours des opérations de maintenance et de retrofit
  - les occurrences de maintenance sont évaluées en fonction de l'atteinte d'un seuil minimum de charge sauf pour les installations de charge élevée dont l'entretien est annualisé.
  - les hypothèses de retrofit sont basées sur les échéances réglementaires.
- **Les facteurs d'émissions de fin de vie** dépendent de la mise en place ou non de filières de récupération et de bonnes pratiques souvent liées à l'existence de réglementations. Dans la pratique, la quasi-totalité du fluide

devrait pouvoir être récupérée de l'équipement démantelé mais le facteur d'émission dépendra de la réalité du terrain et de la part estimée d'équipements traités sur l'ensemble du parc parvenant en fin de vie. Ce facteur d'émission dépend donc de la filière et de son efficacité.

Les valeurs des facteurs d'émissions, à la charge, fugitives et de fin de vie, prises en compte dans le calcul seront précisées dans la partie hypothèses de chaque secteur.





# Résultats totaux 2022 – France métropole

## 2.1. Les émissions de gaz fluorés parmi les émissions de gaz à effet de serre

En 2022, les émissions de HFC représentent seulement 2,4 % des émissions de gaz à effet de serre de la France (Figure 6). D'un point de vue sectoriel, 82 % des émissions de gaz fluorés sont attribuables aux applications du froid et de la climatisation (Figure 7).

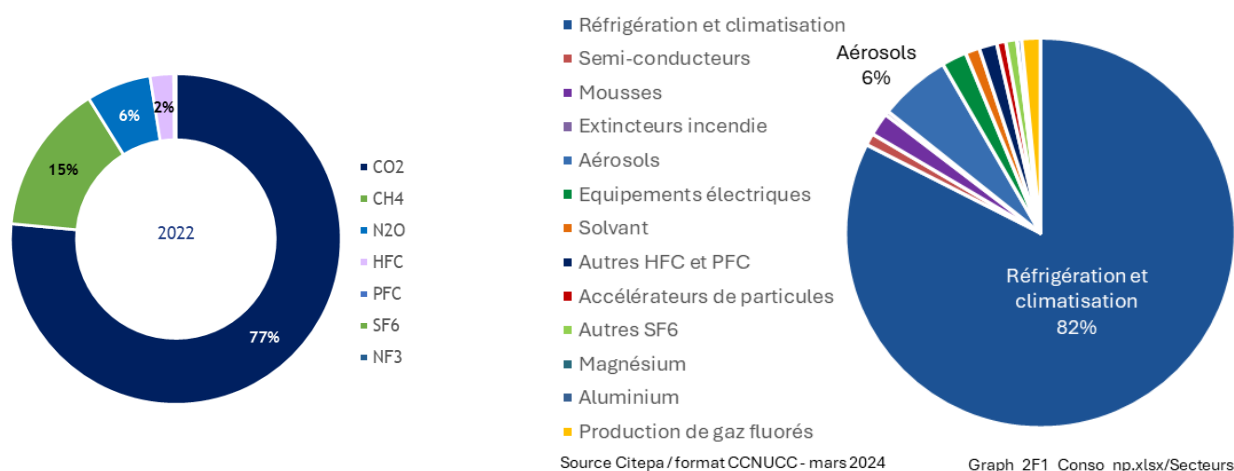


Figure 6 - Répartition des émissions de GES en 2022 (Métropole & territoires d'Outre-mer compris dans l'Europe)

Figure 7 - Répartition sectorielle des gaz fluorés en 2022 (Métropole)

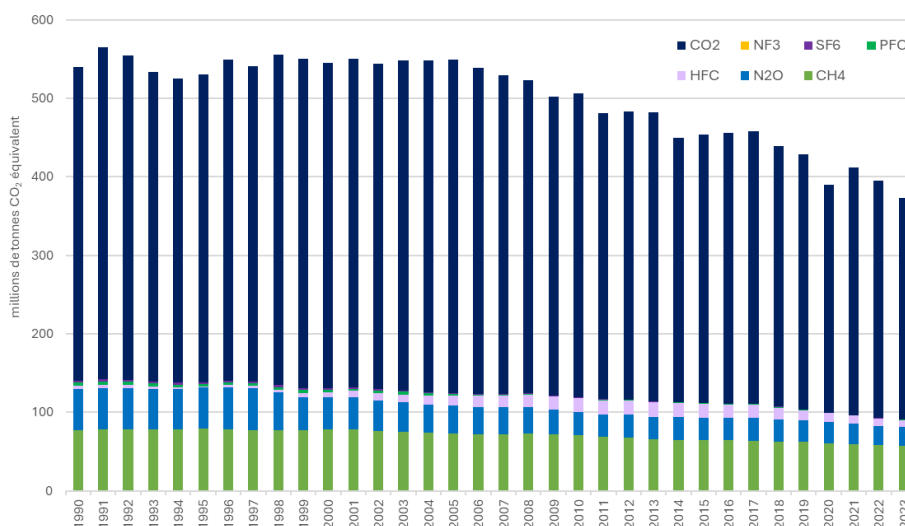


Figure 8 - Répartition des émissions de GES en CO<sub>2</sub> équivalent en France (Métropole & territoires d'Outre-mer compris dans l'Europe). Source : Citepa, données Secten 2024.

La Figure 8 présente l'évolution de la répartition des émissions de gaz à effet de serre, en CO<sub>2</sub> équivalent au cours du temps : la part des HFC est en décroissance. La Figure 9 montre qu'en revanche, la part du secteur du froid et de la climatisation est plus significative ces dernières années car la part des aérosols s'est vue réduite par l'arrêt d'utilisation du R-134a depuis 2018.

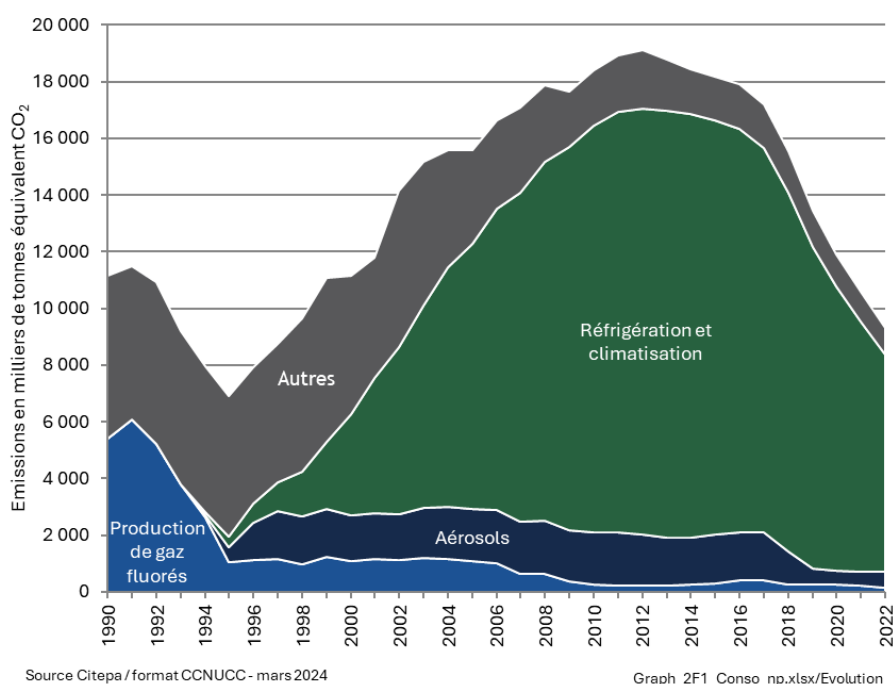


Figure 9 - Evolution des émissions de gaz fluorés (HFC, PFC, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>) en France de 1990 à 2022, (France métropole et territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE). Source : Citepa, rapport CNUCC 2024

Les gaz fluorés représentent donc une faible part des émissions de gaz à effet de serre en France. Les émissions de gaz fluorés sont dominées par celles des HFC et les secteurs du froid et de la climatisation en sont les principaux utilisateurs. La suite du rapport se limitera à ces secteurs mais englobera l'ensemble des fluides frigorigènes : CFC, HCFC, HFC (incluant les HFO) et les fluides frigorigènes non fluorés (HC, CO<sub>2</sub> et ammoniac).

## 2.2. Banque

La banque est formée par les quantités de fluides frigorigènes contenues dans l'ensemble des équipements installés en France. La banque impacte fortement les émissions puisque c'est elle qui émet, de façon fugitive et représente un potentiel d'émissions ou de quantités à récupérer tant que les équipements n'ont pas atteint leur fin de vie.

**La banque totale de fluides frigorigènes en France métropole** est en croissance régulière, plus marquée depuis 2018, du fait de celle des banques des secteurs de la climatisation à air (+6% entre 2021 et 2022) et des pompes à chaleur (+18%). Elle **a atteint 64 700 tonnes en 2022** dont 14% de fluides frigorigènes non fluorés. La banque augmente de 2,5% entre 2021 et 2022, la même augmentation est prévue pour 2023, à confirmer par le prochain inventaire. La banque de R-134a est toujours élevée et représente 22% de la banque totale de fluides frigorigènes en France en 2022 mais elle est désormais dépassée par celle de R-410A qui représente 28% de la banque totale. En effet, la banque de R-134a est en décroissance depuis 2015, du fait de la réglementation concernant la climatisation automobile, tandis que celle de R-410A est toujours en légère croissance, du fait de la croissance des marchés de climatisation et pompes à chaleur. La décroissance de la banque de R-410A commence en 2023, d'après les premières estimations. Le R-410A n'est quasiment utilisé qu'en climatisation : à 59% pour la climatisation fixe, 4% pour les chillers et 37% pour les pompes à chaleur réversibles. Au total, la banque de HFC, représente près de 56 000 tonnes, dont 7 350 tonnes de HFO et est dominée par la climatisation à air à 27% et la climatisation mobile à 25%. Les parcs

d'équipements des PAC sont en forte croissance et ce secteur représente désormais 16% de la banque (Figure 11). La banque de la climatisation automobile se renouvelle progressivement vers du R-1234yf, ce qui explique qu'en équivalent CO<sub>2</sub>, la part de ce secteur ne représente plus que 12% (Figure 12). En climatisation à air, en revanche, le renouvellement du parc au R-410A n'est encore qu'à ses débuts, ce qui fait apparaître la climatisation à air comme la banque CO<sub>2</sub> équivalente la plus importante (31%). Le froid commercial représente 11% de la banque CO<sub>2</sub> équivalente de HFC, la banque résiduelle de R-404A étant estimée à environ 2 650 tonnes en 2022. La banque résiduelle de HCFC est liée au transport maritime, qui est traité au niveau international.

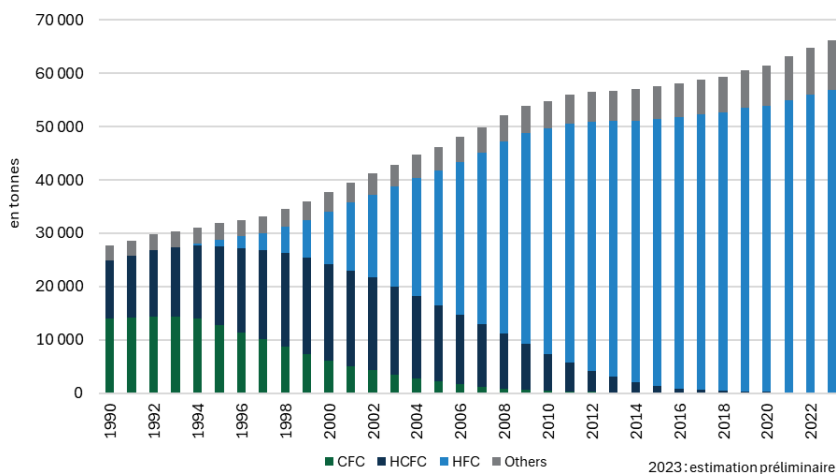


Figure 10 - Evolution de la banque totale de fluides frigorigènes en France métropole

Tableau 4 – Banque de fluide 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-11	9
R-12	37
Total CFC	46
R-22	111
Total HCFC	111
R-134a	14 006
R-32	6 061
R-404A - R507 (PRG~3950)	2 659
R-407A	470
R-407C	2 060
R-407F	384
R-410A	18 137
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	508
R-448A - R-449A (PRG~1300)	2 456
R-452A	332
R-454C - R-455A (PRG~150)	242
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	1 162
Total HFC hors HFO	48 476
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	7 301
Total HFC	55 777
R-290	1 385
R-600a	2 811
R-717	3 407
R-744	1 161
Total Autres	8 764
Total général	64 699

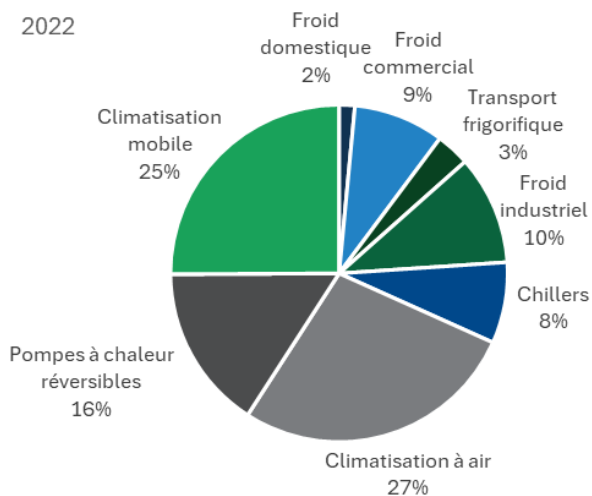


Figure 11 - Répartition sectorielle de la banque de HFC (en tonnes) en France métropole en 2022

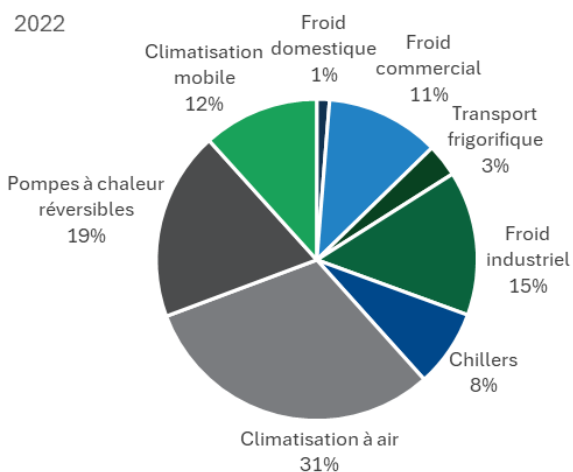


Figure 12 - Répartition sectorielle de la banque équivalente CO<sub>2</sub> de HFC en France métropole en 2022

## 2.3. Emissions de fluides frigorigènes

### 2.3.1. Emissions totales

Les émissions totales de fluides frigorigènes de la France métropole, incluant les émissions à la charge, lors de la vie de l'équipement ainsi que lors de son démantèlement en fin de vie, sont estimées à 5 920 tonnes en 2022, en baisse de 3,8 % par rapport à 2021. Les émissions de HFC sont également en baisse de 3,8% par rapport à 2021 et entre 2022 et 2023, les prévisions chiffrent cette baisse à 2,4%.

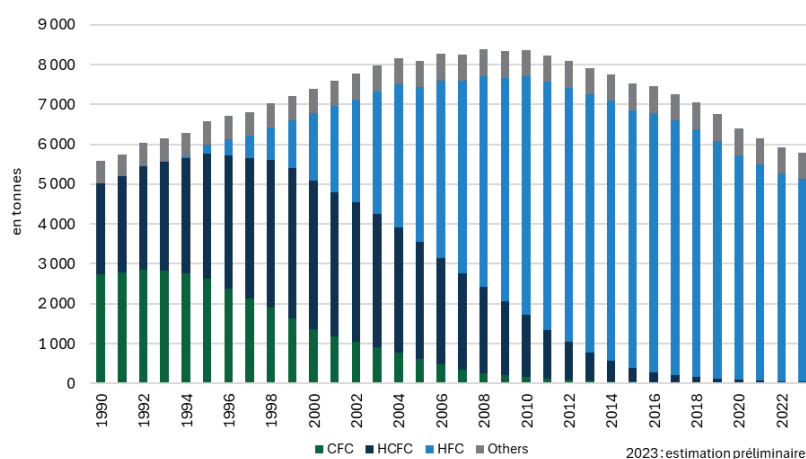


Figure 13 - Evolution des émissions de fluides frigorigènes en tonnes en France métropole (1990-2023)

Tableau 5 – Emissions 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-11	1,2
R-12	14
Total CFC	15
R-22	40
Total HCFC	40
R-134a	1 972
R-32	252
R-404A - R507 (PRG~3950)	404
R-407A	81
R-407C	202
R-407F	69
R-410A	995
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	53
R-448A - R-449A (PRG~1300)	370
R-452A	49
R-454C - R-455A (PRG~150)	36
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	143
Total HFC hors HFO	4 627
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	586
Total HFC	5 213
R-290	31
R-600a	60
R-717	344
R-744	215
Total Autres	650
Total général	5 918

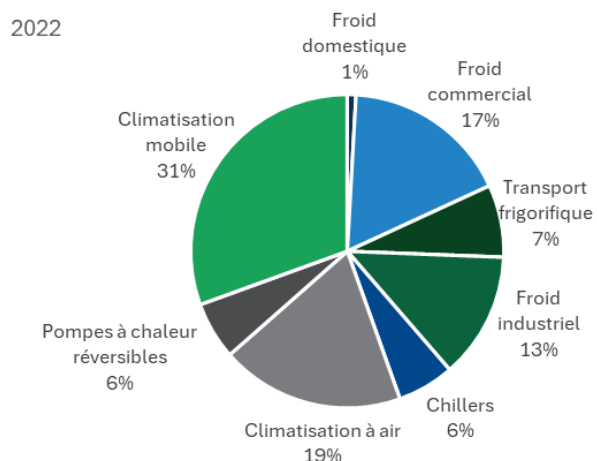


Figure 14 - Répartition sectorielle des émissions de HFC (en tonnes) en France métropole en 2022

Les émissions de fluides frigorigènes sont en décroissance, du fait de l'amélioration des pratiques, de l'amélioration de la formation des opérateurs, de l'efficacité grandissante des filières de fin de vie. La réglementation, les accords

volontaires de la profession mais aussi la hausse des prix des HFC depuis quelques années ont également contribué à l'amélioration de la récupération des fluides frigorigènes et ainsi à la réduction des émissions.

Les émissions sont, à l'image de la constitution de la banque (Tableau 5), dominées par celles du R 134a (33%) et du R 410A (17%). Les émissions de R 404A ne représentent plus que 7% du total, du fait de la conversion progressive des installations et de la réduction des taux de fuites.

## 2.3.2. Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes

Selon les exigences de la CCNUCC dans le cadre de la mise en œuvre de l'Accord de Paris, les émissions CO<sub>2</sub> doivent être calculées, depuis l'inventaire 2021, en tenant compte des PRG donnés par le 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC (AR5), conformément aux. Ce rapport présentera donc les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes en tenant compte des valeurs de PRG données par l'AR5, au total, et par secteur, dans les chapitres suivants. Cependant, les émissions calculées selon les PRG du 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC, sont également présentées au global pour information.

En 2022, les émissions de fluides frigorigènes en France métropole sont estimées à **7,8 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent (AR5)** dont 7,6 millions de HFC. Les émissions de fluides frigorigènes, en CO<sub>2</sub> équivalent, sont en forte décroissance depuis 2018, de plus de 10% par an (Figure 15). La baisse est de 12% entre 2021 et 2022, et pourrait être d'environ 10% entre 2022 et 2023 pour atteindre 7,1 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2023, selon les premières estimations. Plusieurs points expliquent cette décroissance, notamment :

- Le renouvellement du parc automobile, dont les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes ont ainsi baissé de plus de 10 % par an depuis 2018 ;
- L'échéance de 2020 interdisant l'usage des HFC de PRG supérieur à 2500 pour la maintenance des installations de réfrigération, qui a conduit à l'accélération du renouvellement ou au retrofit d'installations de réfrigération utilisant du R-404A (PRG = 3921) au profit d'installations utilisant des HFC avec un PRG inférieur à 1500 ;
- L'introduction progressive du R-32 (PRG = 675) à la place du R-410A (PRG = 2087), avec une pénétration très rapide, bien avant l'échéance de 2025 pour certaines applications ;
- L'amélioration de la récupération du fait de l'augmentation des prix et de la pénurie de certains HFC à cause de la mise en place du « phasedown » par le règlement UE 517/2014.

En 2022, la part des émissions de la climatisation fixe représente 32 % des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes des HFC si l'on considère l'ensemble du secteur incluant la climatisation à air, les pompes à chaleur réversibles et 1/3 des chillers (Figure 16). Les émissions CO<sub>2</sub> des secteurs du froid commercial et du froid industriel ont fortement diminué au cours du temps (Figure 17). La banque de R-404A s'est réduite de près de 80 % entre 2015 et 2022, les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes du froid commercial ont baissé mais représentent encore 22 % des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes de fluides frigorigènes, car les émissions fugitives de R-404A et celles se produisant au cours des retrofits ou fins de vie sont encore significatives. La part des émissions CO<sub>2</sub> du froid industriel est plus faible grâce à l'usage répandu de l'ammoniac. Le renouvellement progressif du parc automobile vers des véhicules équipés d'un système de climatisation au R-1234yf (PRG = 1 (AR5)), a réduit fortement les émissions de la climatisation automobile qui ne représentent désormais que 17% (Figure 16) des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes de HFC de la France métropole.

## Résultats globaux en AR5 :

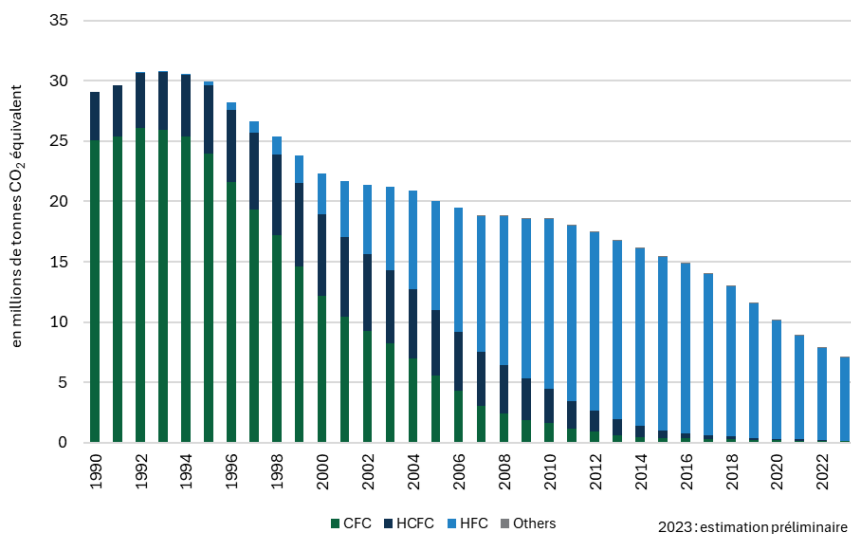


Figure 15 - Evolution, en tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent (AR5), des émissions de fluides frigorigènes en France métropole

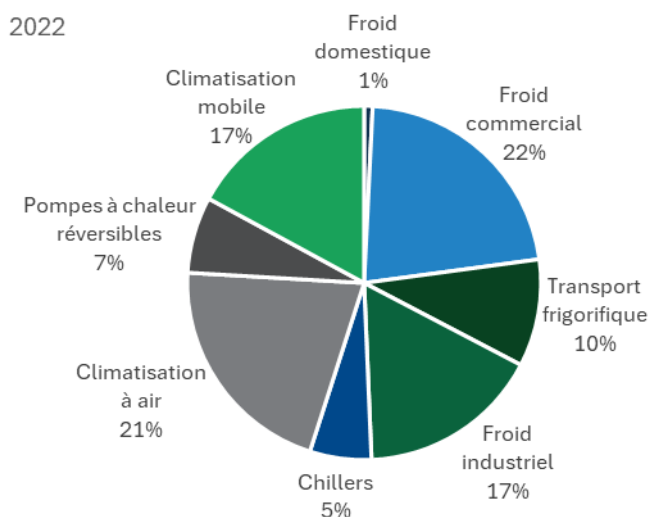


Figure 16 - Répartition sectorielle des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes (AR5) de HFC en France métropole en 2022

Tableau 6 – Emissions 2022 (AR5)

Fluide frigorigène	2022 (en ktCO <sub>2</sub> e)
R-11	11,4
R-12	141
Total CFC	153
R-22	71
Total HCFC	71
R-134a	2 563
R-32	171
R-404A - R507 (PRG~3950)	1 594
R-407A	157
R-407C	328
R-407F	115
R-410A	1 913
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	121
R-448A - R-449A (PRG~1300)	472
R-452A	96
R-454C - R-455A (PRG~150)	5,3
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	81
Total HFC hors HFO	7 616
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	0,6
Total HFC	7 617
R-290	0,09
R-600a	0,18
R-744	0,22
Total Autres	0,49
Total général	7 841

## Impact du changement de PRG sur le calcul des émissions de fluides frigorigènes (AR5 / AR4)

L'utilisation des PRG du 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC conduit à une réduction des émissions totales CO<sub>2</sub> équivalentes de 6 % comparativement aux résultats donnés avec les PRG du 4<sup>ème</sup> rapport.

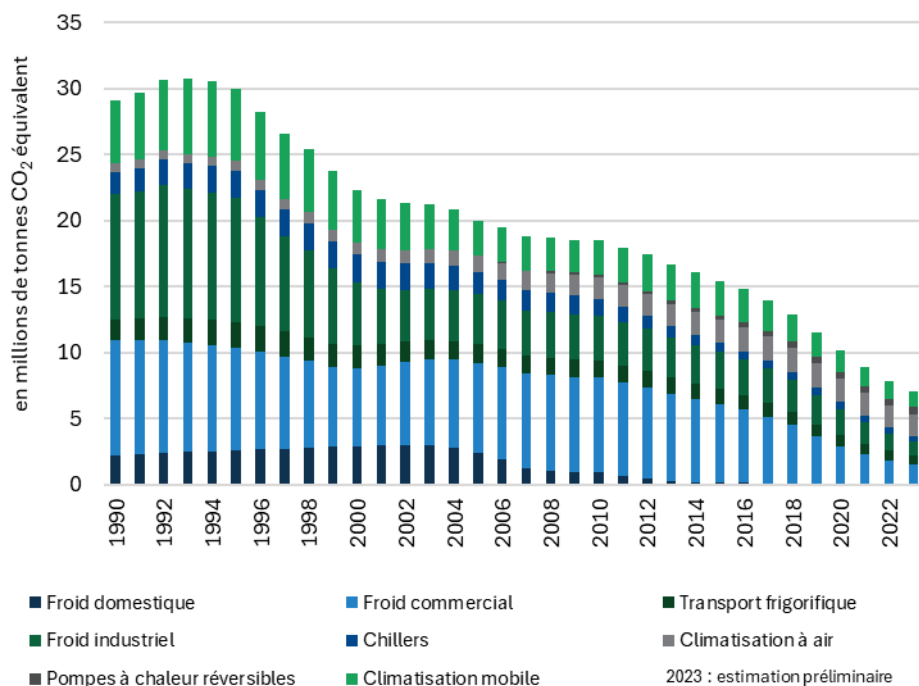


Figure 17 - Evolution des parts sectorielles des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes (AR5) de fluides frigorigènes

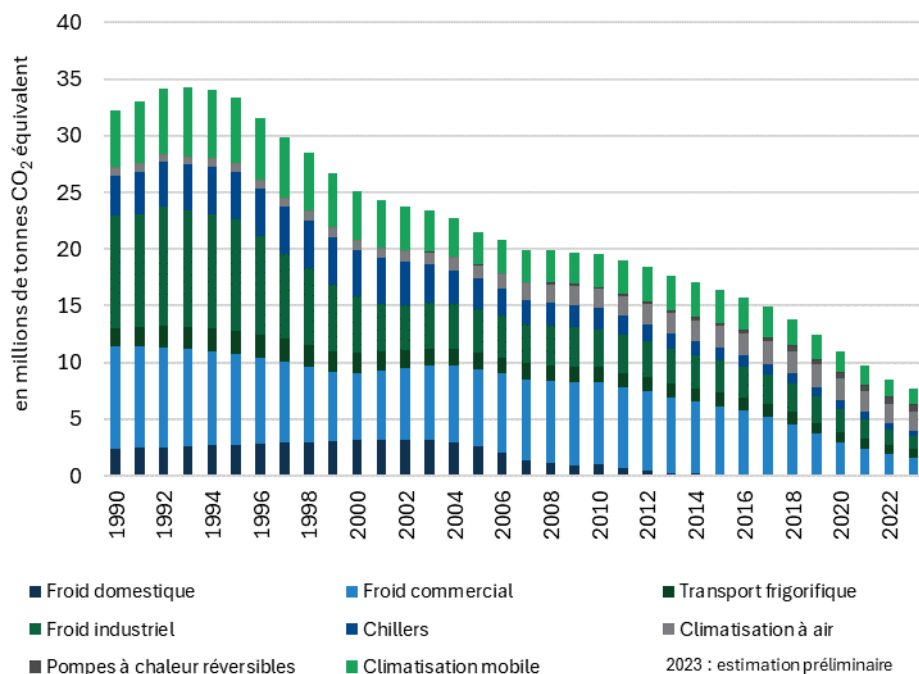


Figure 18 - Evolution des parts sectorielles des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes (AR4) de fluides frigorigènes



## Résultats globaux en AR4 :

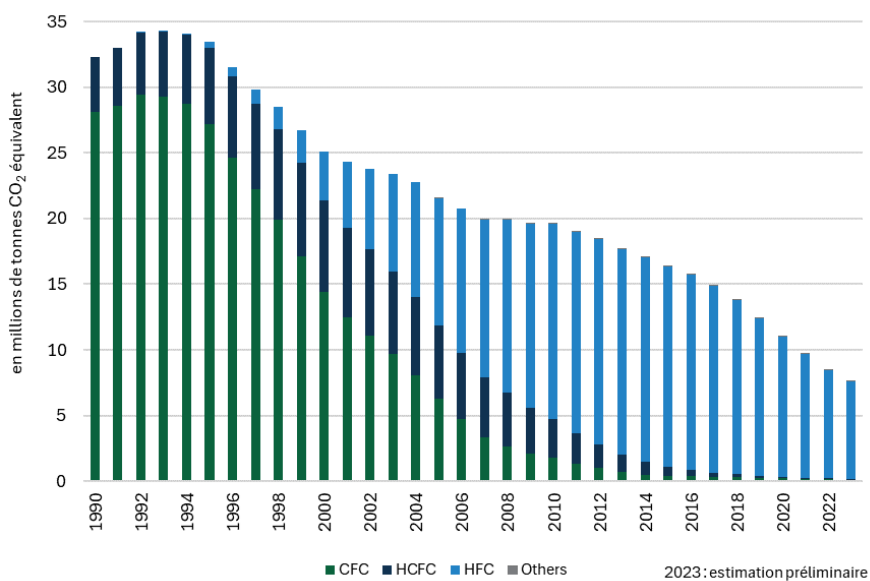


Figure 19 - Evolution, en tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent (AR4), des émissions de fluides frigorigènes en France métropole

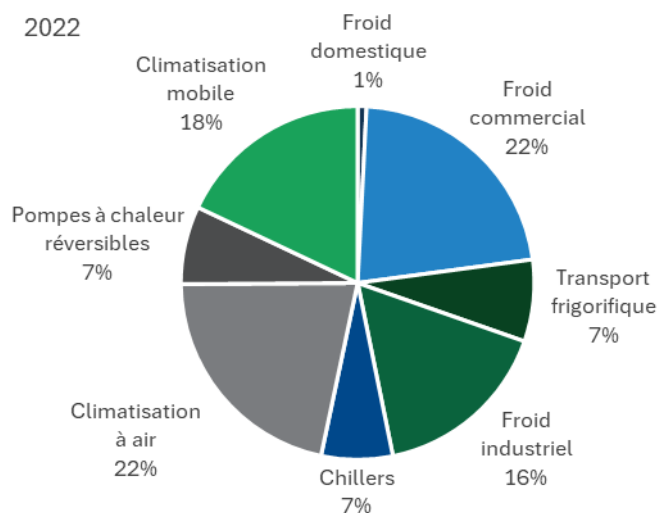


Figure 20 - Répartition sectorielle des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes (AR4) de HFC en France métropole en 2022

Tableau 7 – Emissions 2022 (AR4)

Fluide frigorigène	2022 (en ktCO <sub>2</sub> e)
R-11	6,5
R-12	151
Total CFC	157
R-22	73
Total HCFC	73
R-134a	2 881
R-32	170
R-404A - R507 (PRG~3950)	1 586
R-407A	172
R-407C	359
R-407F	125
R-410A	2 076
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	132
R-448A - R-449A (PRG~1300)	514
R-452A	106
R-454C - R-455A (PRG~150)	5,4
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	89
Total HFC hors HFO	8 216
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	2,4
Total HFC	8 218
R-290	0,09
R-600a	0,18
R-744	0,22
Total Autres	0,49
Total général	8 449

## 2.4. Demande

Cette section concerne la demande totale, soit l'estimation du besoin en fluides frigorigènes pour la production, la charge, la maintenance et le retrofit des installations de froid et de climatisation en France. La demande totale est établie à partir des besoins estimés et tient compte des talons de charge supposés équivalents à 15% de la demande. Une partie de cette demande peut être satisfaite par le marché des régénérés ou par le recyclage direct de fluides frigorigènes récupérés par les opérateurs lors des opérations de maintenance, ce qui explique certains écarts observés avec les marchés déclarés, notamment depuis 2017.

### 2.4.1. Demande totale

La demande totale en fluides frigorigènes est évaluée à 7 900 tonnes pour l'année 2022, dont 6 900 tonnes de HFC (6 100 t hors HFO). 20% de la demande totale concerne le R-134a. La part des fluides frigorigènes non fluorés représente seulement 12% de la demande totale en 2022.

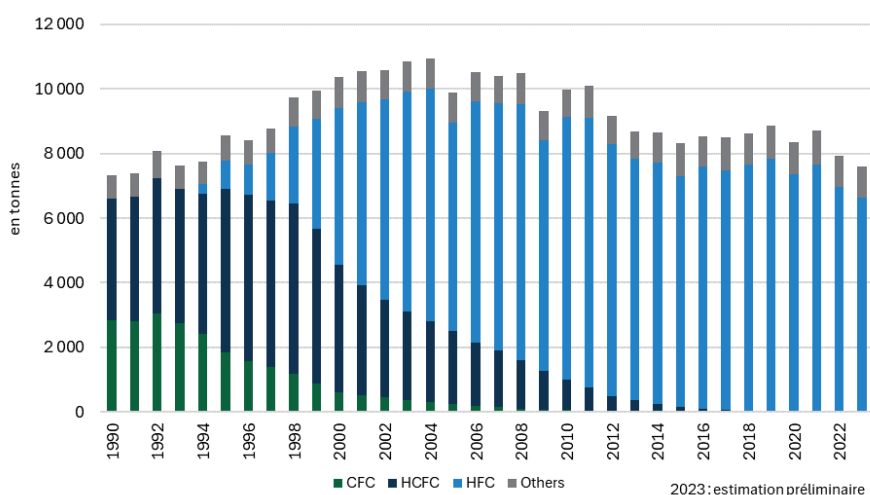


Figure 22 - Demande totale en fluides frigorigènes pour la France métropole

Tableau 9 – Demande 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-11	1,2
R-12	3,0
Total CFC	4,2
R-22	14
Total HCFC	14
R-134a	1 626
R-32	1 156
R-404A - R507 (PRG~3950)	334
R-407A	86
R-407C	58
R-407F	79
R-410A	1 042
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	42
R-448A - R-449A (PRG~1300)	1 069
R-452A	85
R-454C - R-455A (PRG~150)	121
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	392
Total HFC hors HFO	6 090
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	849
Total HFC	6 938
R-290	28
R-600a	4,0
R-717	517
R-744	430
Total Autres	978
Total général	7 934

Du fait des retrofits et renouvellements d'installations ainsi que de la baisse des niveaux d'émissions, la demande totale en HFC à fort PRG est en forte décroissance (excepté pour le R-410A +6%) : -39% pour le R-404A, -17% pour le R-407C entre 2021 et 2022.

La demande en CFC/HCFC correspond à un besoin estimé par le calcul pour la maintenance des équipements résiduels contenant encore ces fluides frigorigènes. C'est une demande non satisfaite pour des équipements assez étanches qui pourraient ne pas avoir été renouvelés. Cette demande est marquée d'une forte incertitude et dépend des hypothèses de calcul.

La demande totale est estimée à partir des besoins pour la production en France, la charge des équipements neufs sur site, le retrofit et la maintenance des installations, en tenant compte des talons de charge, et peut être comparée aux marchés déclarés.

### 2.4.1.1. Besoin pour les équipements neufs

La demande pour les équipements neufs est constituée par :

- le besoin pour les équipements préchargés produits en France (Figure 23) sur laquelle il y a une forte incertitude liée à la confidentialité des données ;
- le besoin pour la charge sur site des équipements installés en France (Figure 24).

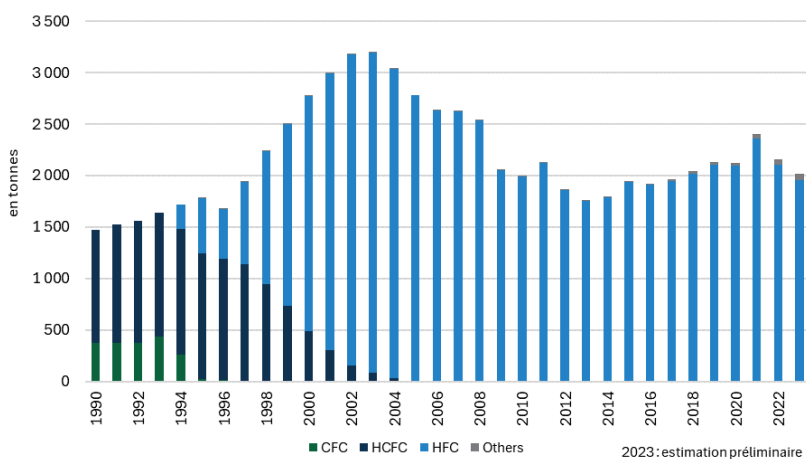


Figure 23 - Besoin en fluides frigorigènes pour la production d'équipements préchargés en France métropole

Tableau 10 – Production 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	261
R-32	711
R-404A - R507 (PRG~3950)	-
R-407A	1,2
R-407C	1,3
R-410A	329
R-448A - R-449A (PRG~1300)	22
R-452A	18,3
R-454C - R-455A (PRG~150)	1,6
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	87
Total HFC hors HFO	1 432
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	673
Total HFC	2 106
R-290	7
R-600a	3,2
R-717	4,8
R-744	35
Total Autres	50
Total général	2 156

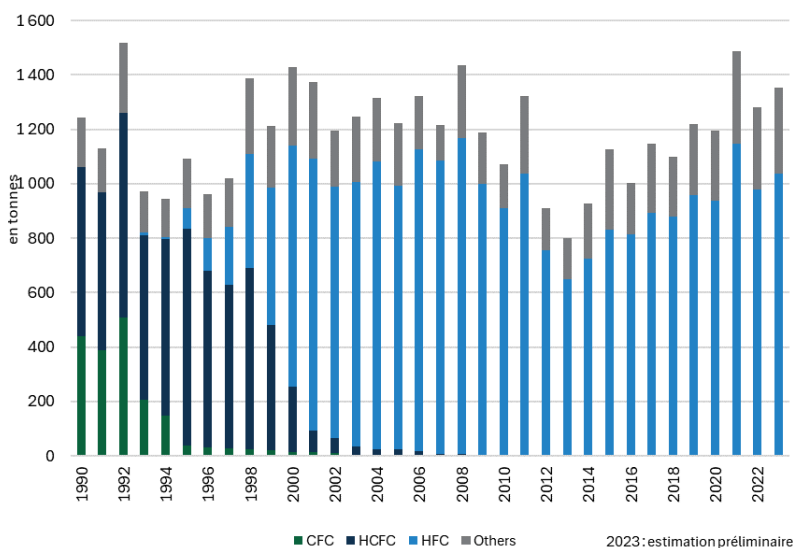


Figure 24 - Besoin en fluides frigorigènes pour la charge d'équipements sur site

Tableau 11 – Charge 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	69
R-32	269
R-407F	0,6
R-410A	195
R-448A - R-449A (PRG~1300)	234
R-452A	26
R-454C - R-455A (PRG~150)	97
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	42
Total HFC hors HFO	933
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	46
Total HFC	979
R-290	8,8
R-717	116
R-744	178
Total Autres	303
Total général	1 282

La demande liée aux nouvelles installations est dans une tendance croissante, en lien avec les renouvellements

d'installations aux HFC à fort PRG, notamment. La part des nouvelles installations utilisant des fluides frigorigènes non fluorés est également en croissance comme on le voit Figure 24.

## 2.4.1.2. Besoin pour la maintenance et le retrofit du parc d'installations

Le besoin pour la maintenance des installations est en nette décroissance depuis 2018 (Figure 26).

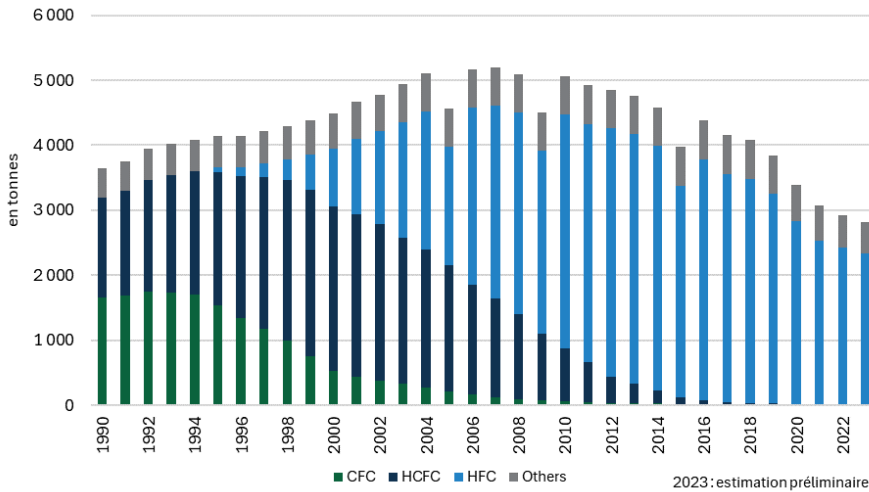


Figure 26 - Evolution du besoin estimé pour la maintenance des installations sur le parc d'équipements en France

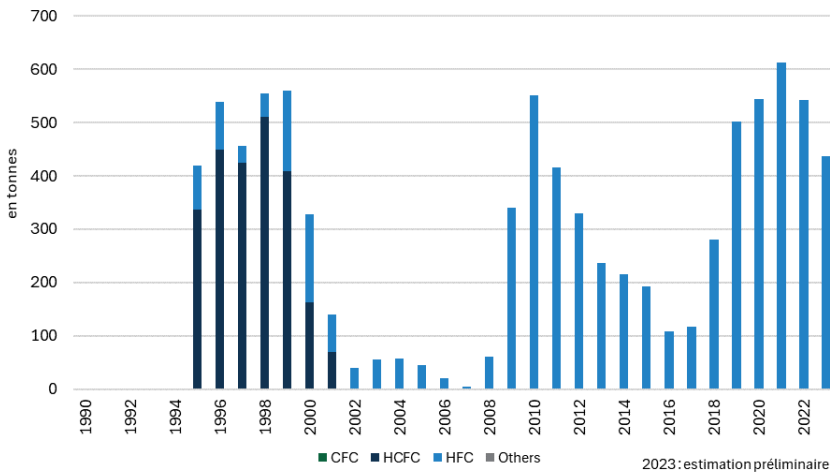


Figure 27 - Evolution du besoin estimé pour le retrofit des installations en France

Tableau 13 – Besoin maintenance 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-11	1,0
R-12	2,6
Total CFC	3,6
R-22	12
Total HCFC	12
R-134a	1 084
R-32	24,5
R-404A - R507 (PRG~3950)	290
R-407A	73
R-407C	49
R-407F	68
R-410A	383
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	36
R-448A - R-449A (PRG~1300)	269
R-452A	21
R-454C - R-455A (PRG~150)	6,2
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	90
Total HFC hors HFO	2 395
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	11,9
Total HFC	2 406
R-290	8,1
R-600a	0,3
R-717	328
R-744	161
Total Autres	497
Total général	2 919

Tableau 14 – Besoin retrofit 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-448A - R-449A (PRG~1300)	405
R-452A	8,2
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	122
Total HFC hors HFO	535
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	7,0
Total HFC	542
Total général	542

La tendance historique était que le besoin pour la maintenance représentait 2/3 de la demande totale. Depuis quelques années, les demandes pour les installations neuves et pour la maintenance sont comparables et ce ratio tend vers 1/2.

**A noter :** les demandes pour la maintenance et pour le retrofit correspondent aux besoins évalués pour entretenir le parc d'équipements, en fonction des durées de vie et des taux d'émissions estimés. Une partie peut ne pas être satisfaite, une autre peut être comblée par le recyclage des quantités récupérées lors d'opérations de maintenance.

## 2.5. Vérification de cohérence

### 2.5.1. Comparaison des marchés et demandes par HFC

Afin de vérifier la cohérence de l'approche et des hypothèses de calcul, la demande totale reconstituée peut être comparée aux marchés déclarés. La Figure 28 présente l'évolution des marchés déclarés au SNEFCCA et la demande totale reconstituée par le calcul Citepa.

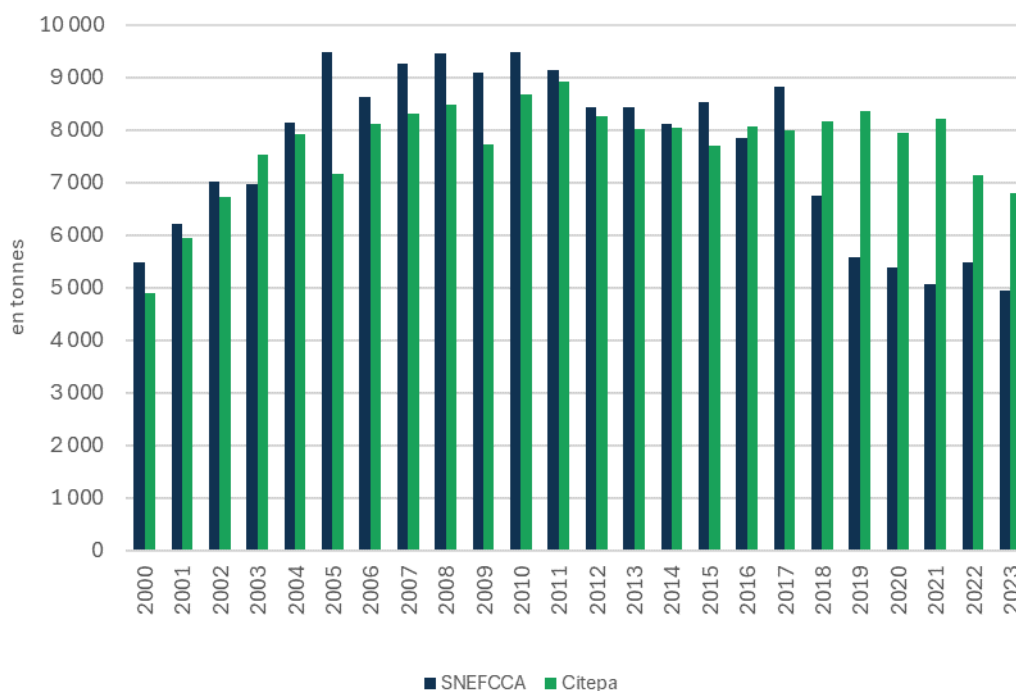


Figure 28 - Comparaison de la demande totale calculée en HFC aux marchés déclarés au SNEFCCA

La tendance montre que, globalement, la demande approche bien le marché, excepté certaines années telles que 2005 où un marché a été sous-estimé ou, au contraire, une surproduction de réfrigérants s'est produite. La demande est, sur l'historique, plutôt inférieure aux marchés déclarés. Il est possible qu'une partie du parc d'équipements n'ait pas été prise en compte dans l'inventaire (toutes les données ne sont pas accessibles), ou que les taux d'émissions aient été sous-estimés. Sur certaines années, l'écart peut s'expliquer par un stockage qui n'est pas pris en compte dans le calcul de la demande, équivalente au besoin pour la maintenance, la production et la charge des équipements.

Depuis 2018 la tendance est inversée : la demande calculée est supérieure au marché déclaré et l'écart s'accroît fortement. Cela signifie qu'une partie du besoin, pour la maintenance, n'est pas satisfaite, ou l'est par des quantités non déclarées : fluides recyclés directement ou marché illicite. Cette inversion de tendance est apparue très significativement avec la forte hausse des prix des HFC à partir de 2017-2018. L'année 2017 a sans doute été

l'occasion de stockage par crainte de la hausse des prix et de la pénurie.

Des comparaisons par fluide frigorigène sont également faites pour conforter les hypothèses par secteur ou mieux comprendre les écarts.

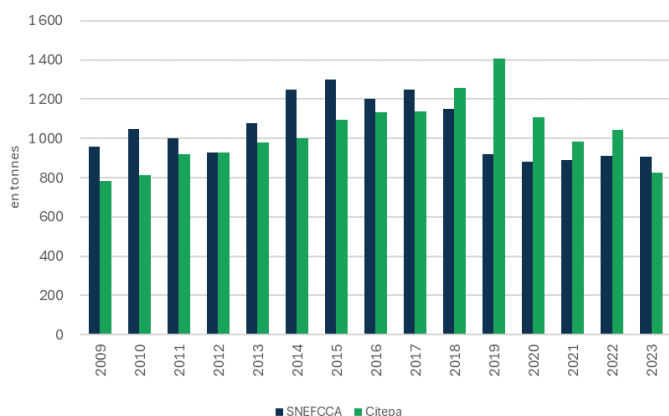


Figure 29 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-410A

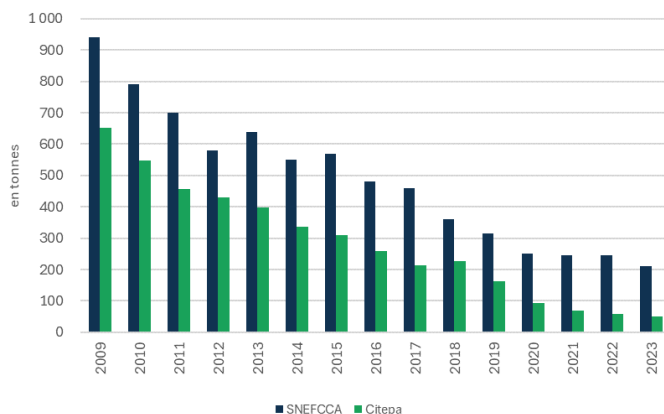


Figure 30 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-407C

En climatisation, les R-410A et le R-407C sont les HFC les plus utilisés. Les secteurs de la climatisation à air, des pompes à chaleur réversibles et des chillers sont bien estimés du fait d'une bonne collaboration avec une fédération professionnelle, Uniclimate, qui fournit au Citepa des données détaillées sur les marchés d'équipements et les fluides utilisés par gamme. Les résultats des comparaisons (Figure 29 et Figure 30) tendent à montrer que l'ensemble des hypothèses est cohérent. Cependant les productions d'équipements sont, pour la plupart, estimées et les écarts observés sur les marchés de peuvent s'expliquer par la forte incertitude sur les données de production en France.

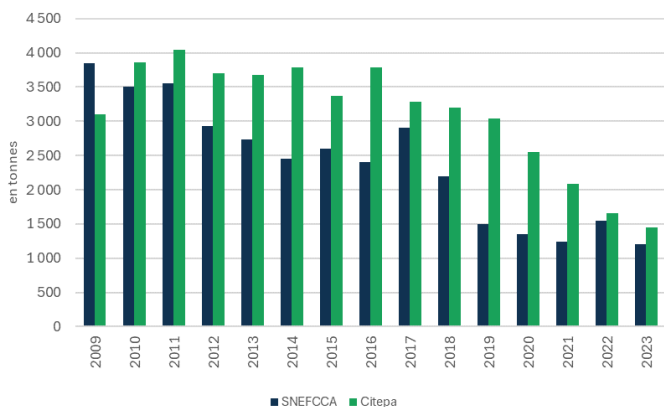


Figure 31 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-134a

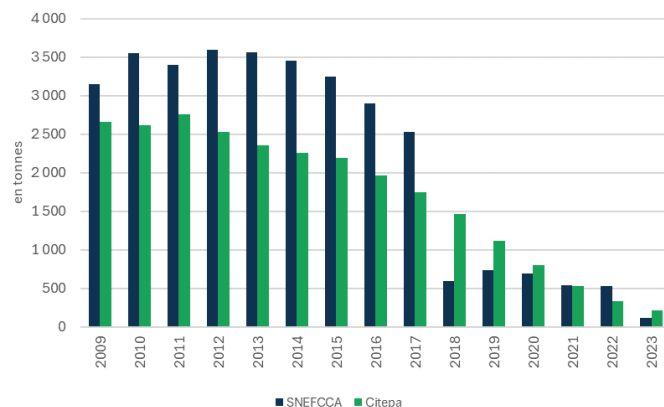


Figure 32 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-404A

Les comparaisons de la demande de R-134a et de R-404A avec les marchés déclarés font apparaître des écarts significatifs avant 2017. Une incertitude sur la demande de R-404A peut être liée à la prise en compte des petits commerces, au rythme de transition R-22/R-404A, à une sous-estimation des facteurs d'émission, bien qu'ils soient déjà élevés. Sur les années récentes, la demande en R404A est supérieure au marché déclaré et en partie satisfaite par du fluide recyclé sur site ou un marché illicite.

## 2.5.2. Analyse des résultats sur la récupération en fin de vie des équipements

La Figure 33 compare les quantités de gaz fluorés récupérées en fin de vie des équipements, estimées par le calcul avec les quantités réellement retournées aux distributeurs (selon les déclarations SNEFCCA). Les courbes représentées sont :

- En bleu clair, les quantités cumulées de CFC, HCFC, HFC retournées aux distributeurs pour régénération ou destruction (données SNEFCCA) ;
- En bleu foncé, les quantités récupérées estimées par le calcul du Citepa, celles-ci dépendant des données et hypothèses sur les performances des filières de récupération en fin de vie ;

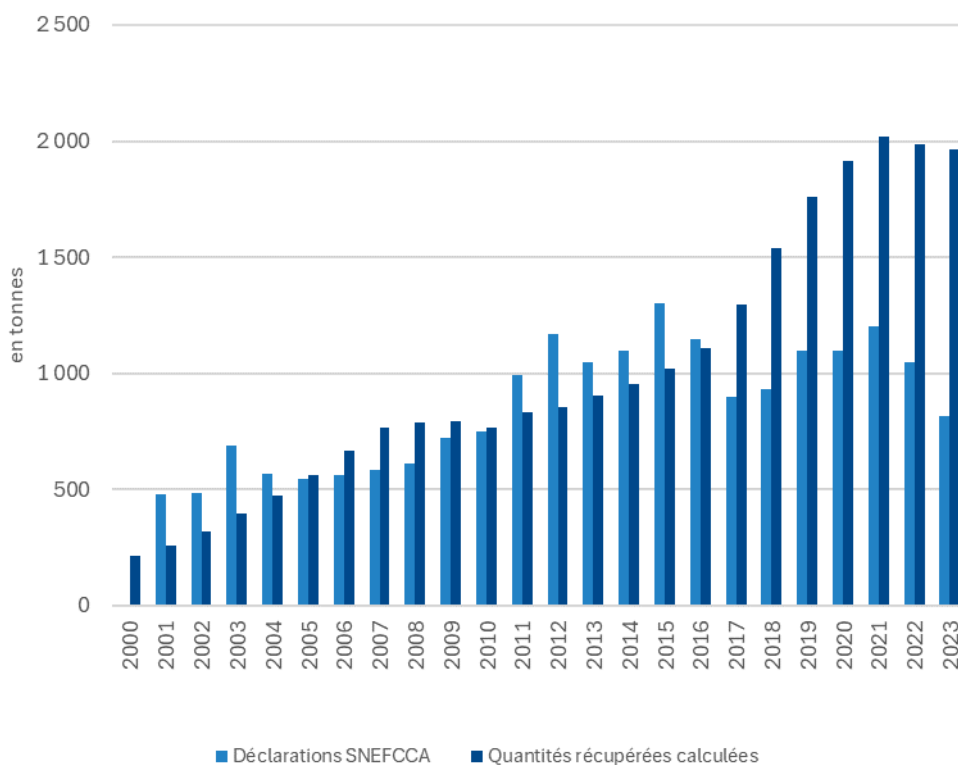


Figure 33 Comparaison des données sur la récupération en France métropole

La comparaison fait apparaître un écart très significatif à partir de 2017 entre les données déclarées et les quantités récupérées estimées par le calcul. Une partie de l'écart s'explique par le fait qu'une partie des quantités récupérées par les opérateurs n'est pas retournée aux distributeurs mais directement recyclée. L'écart s'accroît sur les dernières années depuis la hausse des prix observée sur les HFC à fort PRG ainsi qu'une pénurie de certains fluides, à la suite de la mise en place du phasedown.

# 3

## Applications domestiques



## 3.1. Introduction

### Applications prises en compte

Ce secteur regroupe 4 sous-secteurs :

- les réfrigérateurs (tous types confondus) ;
- les congélateurs seuls ;
- les sèche-linges avec pompe à chaleur ;
- les caves à vin.

Tous les types de réfrigérateurs sont pris en compte : table-top, simple porte, combiné, double porte, américain. Tous les types de congélateurs sont pris en compte : armoire, coffre, « table-top ». Depuis le début des années 2010, une nouvelle technologie fait appel à une pompe à chaleur afin de sécher les vêtements, les sèche-linges thermodynamiques sont inclus dans les équipements domestiques utilisateurs de fluides frigorigènes. Enfin, les caves à vin, apparues dans les années 1970, sont également prises en compte : caves de vieillissement, caves de mise en température, caves combinées ou multi-températures.

### Modes de charge

Les équipements domestiques sont tous chargés en usine (lieux de production).

### Modes de maintenance

Il est considéré qu'il n'y a pas de maintenance faite sur ces équipements, les systèmes frigorifiques étant entièrement scellés.

### Durée de vie moyenne

La durée de vie moyenne de ces équipements prise en compte dans les calculs est de 15 ans pour les réfrigérateurs, congélateurs et caves à vin, et de 10 ans pour les sèche-linges avec pompe à chaleur. Une courbe de durée de vie est associée.

## 3.2. Données et hypothèses

### 3.2.1. Données d'activités

#### 3.2.1.1. Marchés et productions

##### MARCHES

- **Réfrigérateur et congélateur** : le Gifam (Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'Équipement Ménager) publie chaque année les statistiques de marchés pour certains appareils domestiques, dont les réfrigérateurs et les congélateurs [Ref 6]. Une répartition des modèles de réfrigérateurs et congélateurs (en termes de volume moyen) sur le parc français est disponible pour certaines années [Ref 7]. Ainsi, les ventes annuelles en France sont connues avec une bonne précision.
- **Cave à vin** : Le marché des caves à vin a démarré dans les années 2000 et a été reconstitué à partir de données de diverses sources (publications dans la presse notamment). Les marchés sont publiés désormais par le Gifam [Ref 6]. Un seul producteur est référencé en France, Eurocave.

- **Sèche-linge avec pompe à chaleur** : Le marché des sèche-linges avec pompe à chaleur en France a été reconstitué depuis 2010 à partir des informations d'un producteur d'équipement [Ref 8] et des données récentes du Gifam [Ref 7] qui fournit les ventes de sèche-linges en France ainsi que la segmentation par produit.

Tableau 15 – Marchés d'équipements du secteur de froid domestique (nombre d'unités)

ANNEE	REFRIGERATEURS	CONGELATEURS	CAVES A VIN	SECHE-LINGES THERMODYNAMIQUES
2022	2 906 000	897 120	188 947	453 217

## PRODUCTIONS

Les équipements domestiques étant chargés d'usine, la donnée d'activité à prendre en compte pour estimer les émissions à la charge des équipements est la production d'équipements.

- **Réfrigérateur et congélateur** : Les réfrigérateurs ne sont plus produits en France depuis 2001 et les congélateurs depuis 2005.
- **Cave à vin** : Il existe un seul fabricant de caves à vin en France (groupe Eurocave). L'hypothèse a été faite de considérer les productions à partir de l'année où le marché des caves à vin a commencé à être représentatif en France, soit en 2000. Le volume de production en France en 2013 a été utilisé et provient d'une revue spécialisée [Ref 9]. Les volumes de productions des années antérieures et postérieures ont été estimées en suivant les tendances d'un taux d'augmentation annuel de 8 %.
- **Sèche-linge avec pompe à chaleur** : Parmi les sèche-linges fabriqués en France, seule une usine a fabriqué des sèche-linges de type pompe à chaleur entre 2013 et 2018 ; elle n'utilise que le R-134a. Les consommations de réfrigérants pour la production de ces équipements ont été directement transmises par l'exploitant et le nombre d'appareils produits est déduit de ces consommations et de la charge moyenne par appareil.

Tableau 16 – Estimation des productions d'équipements du secteur de froid domestique

PRODUCTION (NOMBRE D'UNITES)	REFRIGERATEURS	CONGELATEURS	CAVES A VIN	SECHE-LINGES THERMODYNAMIQUES
2022	0	0	25 258	0

### 3.2.1.2. Charge nominale

Tableau 17 – Hypothèses de charges nominales des équipements de froid domestiques

2022	RATIO DE CHARGE	VOLUME MOYEN (L)
Réfrigérateur	230 g/l (R-600a)	244
Congélateur	300 g/l (R-600a)	202
Sèche-linge thermodynamique	325g / appareil	-
Cave à vin	65g / appareil	-

- **Réfrigérateur et congélateur** : Une évolution des ratios de charge est prise en compte au cours du temps selon le type de fluide frigorigène. La charge pour un même équipement est environ deux fois moins élevée si l'équipement utilise du R-600a plutôt que du R-12 ou du R-134a.
- La charge est ensuite calculée en fonction du ratio de charge par fluide et d'un volume moyen basé sur les

meilleures ventes d'équipements.

- **Sèche-linge avec pompe à chaleur** : La quantité de R-134a contenue dans un appareil dépend des classes énergétiques. Selon une communication d'un fabricant, elle est de 280g pour les bases A+ et de 370g pour les bases A++ [Ref 8]. Une moyenne de 325 g/appareil est considérée dans l'inventaire. Ce niveau de charge moyenne est cohérent avec la gamme proposée dans les Lignes directrices du GIEC (entre 50 et 500 g/appareil).
- **Cave à vin** : La quantité de réfrigérant contenue dans les caves à vin varie en fonction de la gamme, entre 30 g et 100 g [Ref 10]. Une valeur moyenne de 65 g/appareil est considérée dans l'inventaire. Ce niveau de charge moyenne est également cohérent avec l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 (entre 50 et 500 g/appareil).

### 3.2.1.3. Fluides frigorigènes utilisés

La réglementation européenne CE 517/2014 a interdit la mise sur le marché des réfrigérateurs et congélateurs domestiques contenant un fluide frigorigène de PRG supérieur à 150 depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2015.

- **Réfrigérateur et congélateur** : Le CFC-12 a historiquement été utilisé avant son interdiction par le Protocole de Montréal. Deux fluides l'ont remplacé à partir des années 1995, le R-134a et le R-600a (isobutane). L'évolution des fluides frigorigènes utilisés au cours du temps sur le marché français est basée sur des enquêtes de terrain régulières [Ref 7] et les tendances données par le rapport RTOC de l'UNEP. Depuis 2015, l'intégralité des équipements produits et mis sur le marché utilisent du R-600a (Figure 34).

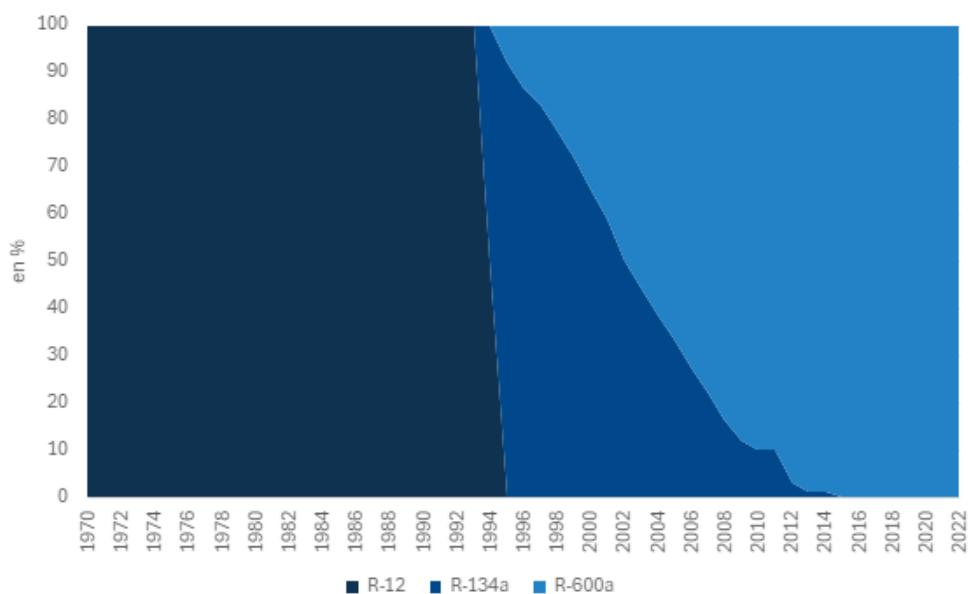


Figure 34 Part des réfrigérants utilisés sur le marché des réfrigérateurs domestiques

- **Sèche-linge avec pompe à chaleur** : Dans l'inventaire, il est supposé que seul le R-134a était utilisé dans les équipements jusqu'en 2018 où une enquête de terrain [Ref 11] a mis en évidence la présence de R-450A et R-290. Une introduction progressive de ces fluides a donc été prise en compte dans les hypothèses de calcul.
- **Cave à vin** : L'étude de catalogues de vente et une étude de terrain en 2019 ont permis d'établir l'évolution des fluides frigorigènes utilisés pour ce sous-secteur [Ref 11] : le R-600a est le fluide le plus largement utilisé. Il a été supposé une introduction du R-600a progressive en remplacement du R-134a à partir de 2000.

### 3.2.1.4. Durée de vie

La durée de vie moyenne des réfrigérateurs et des caves à vins réfrigérées est supposée identique à celle des

congélateurs, estimée à 15 ans. Pour les sèche-linges avec pompe à chaleur la durée de vie est estimée à 10 ans. Une courbe de durée de vie est construite autour de ces valeurs moyennes telles (Figure 4).

## 3.2.2. Facteurs d'émissions

### 3.2.2.1. A la charge

Les facteurs d'émissions sont estimés sur la base des déclarations des producteurs ou, sans information plus précise, selon la valeur moyenne donnée par les lignes directrices du GIEC. Une tendance à la réduction a été prise au cours du temps afin de traduire l'amélioration des pratiques. Ils ont peu d'impact sur le calcul des émissions de ce secteur pour lequel la production en France est désormais très faible.

Les facteurs d'émissions à la charge pris en compte pour l'année 2022 sont présentés au Tableau 18.

**Tableau 18 – Facteur d'émission à la charge des équipements de froid domestique**

2022	REFRIGERATEURS	CONGELATEURS	CAVES A VIN	SECHE-LINGES THERMODYNAMIQUES
Facteur d'émission à la charge	0,2%	0,2%	0,6%	0,1%

- **Réfrigérateur et congélateur** : L'hypothèse d'un facteur d'émission de 2 % a été prise jusqu'à la fin de l'utilisation du R-12, dans le milieu des années 1990, pour atteindre à partir de 2010 un taux de 0,2 % correspondant à la tranche basse des facteurs d'émission des Lignes directrices du GIEC 2006 pour le froid domestique [Ref 12].
- **Sèche-linge avec pompe à chaleur** : Un facteur d'émission spécifique a été calculé en utilisant les consommations et les émissions déclarées par l'unique site de production en France. La mise en place d'un nouveau process de remplissage du gaz explique en partie la forte baisse de ce facteur d'émission à partir de 2016.
- **Cave à vin** : Le facteur d'émission utilisé correspond à la moyenne de l'intervalle préconisé dans les Lignes directrices du GIEC 2006 [Ref 12], soit 0,6 %.

### 3.2.2.2. Fugitif

Les appareils de froid domestique sont étanches, le circuit frigorifique étant entièrement soudé et il n'existe que très peu d'opérations de maintenance sur ce type d'appareil, en France. Les émissions fugitives sont donc quasi-inexistantes et constituées de très rares pertes complètes de la charge correspondant généralement à un défaut initial de brasure. Il est proposé d'assimiler ce taux d'émissions à la fréquence de défaillance des équipements ; il est considéré stable, de l'ordre de 0,01 % correspondant à 1 défaillance sur 10 000 appareils [Ref 7]. Ce taux est basé sur les résultats d'une enquête assez ancienne qui avait été menée auprès d'un magasin de vente. Ce taux d'émission est supposé identique pour les 4 sous-applications de ce secteur.

**Tableau 19 – Facteur d'émission fugitif des équipements de froid domestique**

2022	APPAREILS DOMESTIQUES
Facteur d'émission fugitif	0,01%

Il n'est pas pris en compte d'opérations de maintenance pour les applications domestiques.

### 3.2.2.3. En fin de vie

Depuis la mise en place de la filière DEEE en 2007 imposée par la réglementation française (décret n° 2005-829 du 20 juillet 2005 relatif à la composition des équipements électriques et électroniques et à l'élimination des déchets issus de ces équipements), des éco-organismes assurent la collecte, le recyclage et le suivi des quantités récupérées lors du démantèlement des appareils. Les quantités annuelles de CFC, HCFC, HFC et HC extraites en première phase de dépollution des appareils de froid domestique sont communiquées chaque année par l'ADEME dans les rapports DEEE [Ref 13]. Un taux de récupération peut ainsi être estimé en comparant les quantités récupérées et les quantités de réfrigérants contenues dans les appareils supposés être en fin de vie en fonction des mises sur le marché et de la durée de vie moyenne des équipements. Ce taux de récupération est supposé caractériser le secteur du froid domestique. Le même taux de récupération, et donc le même facteur d'émission de fin de vie, est appliqué à chaque sous-application.

Tableau 20 – Facteur d'émission de fin de vie des équipements de froid domestique

2022	APPAREILS DOMESTIQUES
Facteur d'émission de fin de vie	44%

## 3.3. Résultats

### 3.3.1. Banque

Le parc des appareils de froid domestique s'est renouvelé progressivement et est, depuis 2013, dominé par les appareils utilisant des hydrocarbures (R-600a). Le ratio de charge de ces appareils étant plus faible que ceux fonctionnant au R-12 ou R-134a, la banque totale de fluides frigorigènes a décru entre 2000 et 2014. Depuis 2015 on observe une hausse de la banque du secteur du froid domestique, du fait de la hausse des marchés de réfrigérateurs, de sèche-linges et de caves à vins réfrigérées. La banque totale de fluides frigorigènes du froid domestique est estimée à environ 3 900 t en 2022, composée à de 71 % de R-600a (Tableau 21).

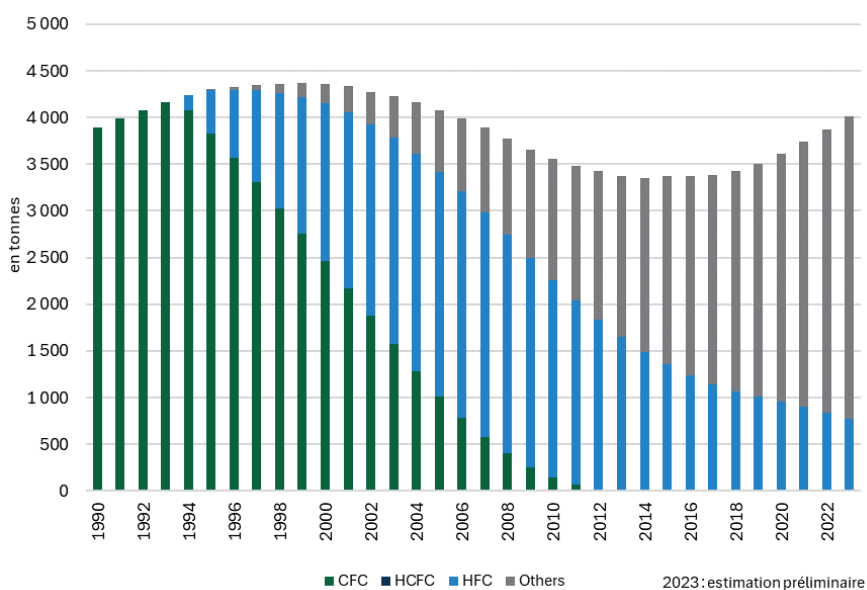


Tableau 21 – Banque de fluide 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	718
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	125
Total HFC	842
R-290	264
R-600a	2 766
Total Autres	3 029
Total général	3 871

Figure 35 Banque de fluide dans le secteur du froid domestique

### 3.3.2. Demande

La demande pour les applications de froid domestique est liée à la production des équipements en France, les besoins pour maintenance (réparation) d'appareils étant très faible. La demande a beaucoup diminué depuis 2000 avec l'arrêt de la production de réfrigérateurs (depuis 2001) et de congélateurs (depuis 2005) en France. Entre 2013 et 2018, la demande est liée à la production de sèche-linges thermodynamiques fabriqués en France et utilisant uniquement du R-134a. Depuis 2019, il ne s'agit que de la production, assez faible, des caves à vin au R-600a.

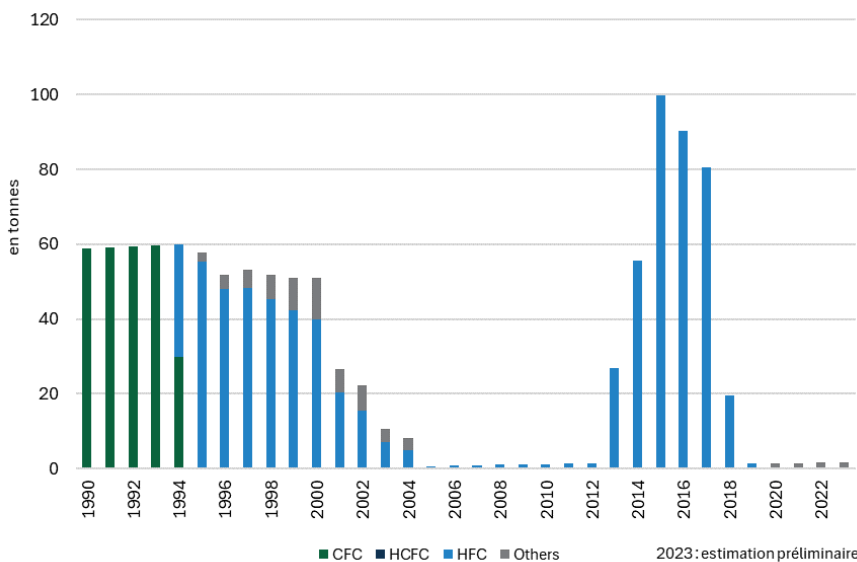


Tableau 23 – Production 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-600a	1,7
Total Autres	1,7
Total général	1,7

Figure 37 Demande en fluides frigorigènes pour la production dans le secteur du froid domestique

### 3.3.3. Emissions

#### 3.3.3.1. Emissions totales

En 2022, les émissions totales du froid domestique sont en leur quasi-totalité constituées des émissions de fin de vie des équipements, les systèmes étant hermétiques. Elles sont assez faibles, de l'ordre de 106 tonnes en 2022, étant donnée l'efficacité croissante de la filière DEEE. La part des HFC ne représente plus que 44%.

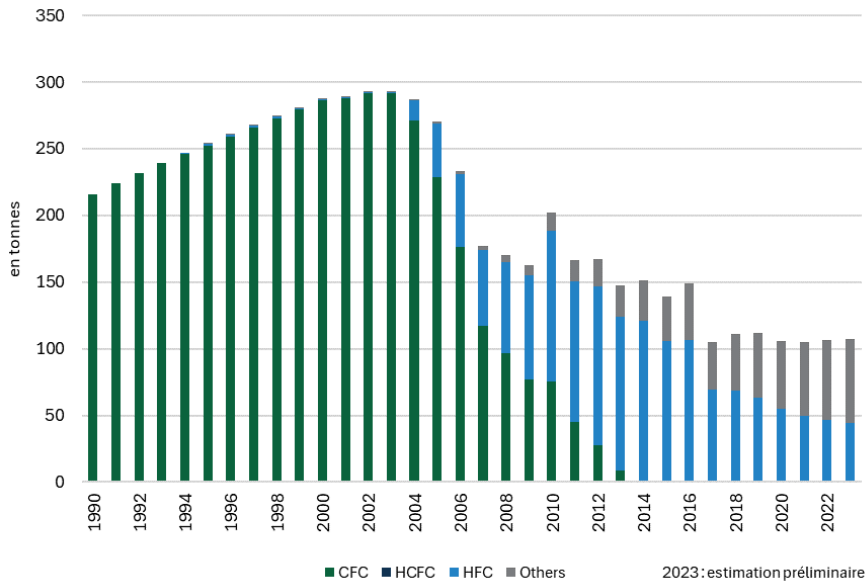


Figure 38 Emissions totales du froid domestique

Tableau 24 – Emissions totales 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	47
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	0,01
Total HFC	47
R-290	0,03
R-600a	60
Total Autres	60
Total général	106

### 3.3.3.2. Emissions totales en CO<sub>2</sub> équivalent

Alors qu'elles culminaient à environ 3 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2002, les émissions du froid domestique ne représentent plus que 61 000 tonnes de CO<sub>2</sub> en 2022 et sont amenées à décroître encore, les équipements parvenant en fin de vie contenant désormais principalement du R-600a (Figure 39).

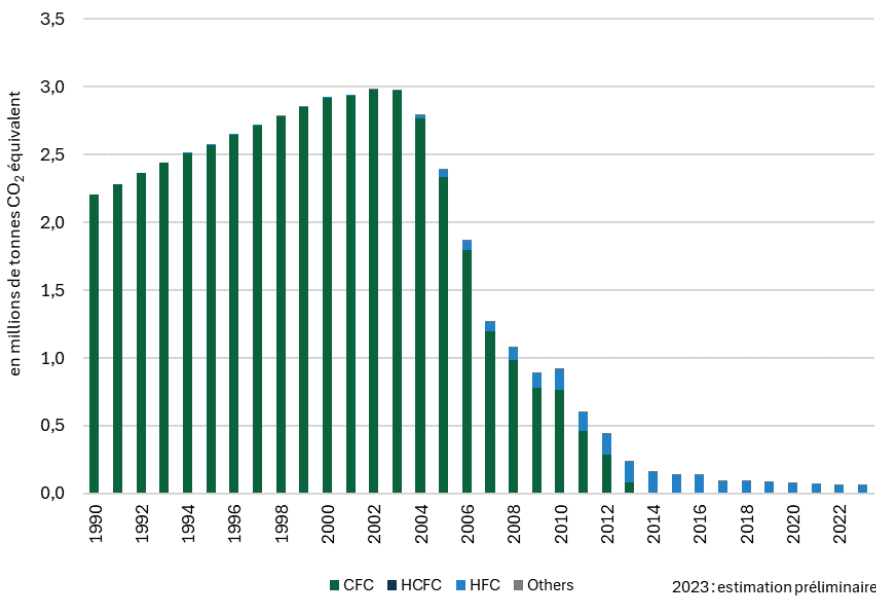


Figure 39 Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes du froid domestique (millions de tonnes)

Tableau 25 – Emissions totales en CO<sub>2</sub>e 2022

Fluide frigorigène	2022 (en ktCO <sub>2</sub> e)
R-134a	61
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	0,01
Total HFC	61
R-290	0,0001
R-600a	0,2
Total Autres	0,2
Total général	61

# 4

## Froid commercial



# 4.1. Introduction

## Applications prises en compte

Ce secteur est décomposé en quatre sous-secteurs :

- les installations frigorifiques des hypermarchés (surface de vente égale ou supérieure à 2 500 m<sup>2</sup>) ;
- les installations des supermarchés (surface de vente comprise entre 400 m<sup>2</sup> à 2 500 m<sup>2</sup>) ;
- les équipements frigorifiques des petits commerces utilisant des groupes de condensation (chambre froide, par exemple).;
- les équipements utilisant des groupes hermétiques (armoire réfrigérée par exemple) dans les petits commerces et les distributeurs automatiques..

Les super et hypermarchés sont équipés d'une salle des machines comportant deux séries de centrales frigorifiques, l'une dite de froid positif (entre - 10°C et -15°C) pour la conservation des produits frais et l'autre dite de froid négatif (aux environs de -35°C à -38°C) pour les produits surgelés. 80 % de la puissance frigorifique et 75 % des charges de fluides se trouvent dans les centrales de froid positif.

Le calcul des charges de fluides frigorigènes est réalisé à partir de la description du parc de magasins en termes de nombre de magasins et surfaces de vente. Les quantités de fluides frigorigènes nécessaires aux nouvelles surfaces de vente (incluant un renouvellement des installations tous les 15 ans) sont estimées à partir de ratios de charge surfacique (kg/m<sup>2</sup>), eux-mêmes basés sur des enquêtes de terrain et une tendance décroissante liée à l'introduction des systèmes indirects et cascades est prise en compte.

Les « petits commerces » sont équipés de groupes de condensation ou de groupes hermétiques. Ces équipements sont utilisés dans les commerces alimentaires de détail, du spécialiste alimentaire à la supérette. Les équipements utilisés dans les bars, hôtels, restaurants, cuisines professionnelles ainsi que les stations-services sont rattachés aux petits commerces. Les distributeurs automatiques de boissons réfrigérées sont également pris en compte. Les magasins de type « Drive » sont également considérés dans l'inventaire. Enfin, concernant les maxidiscomptes dont les surfaces de vente réfrigérées sont nettement inférieures à celles des supermarchés, leurs installations frigorifiques s'apparentent à celles des supérettes. L'ensemble des petits commerces est pris en compte en 4 groupes de magasins présentés au tableau ci-dessous, supposé présenter les mêmes caractéristiques en termes d'équipements.

Des échanges avec le SYNEG [Ref 50] ont permis d'évaluer qu'environ 50% des cuisines professionnelles était pris en compte dans l'inventaire : les équipements des restaurants. En revanche, les équipements des collectivités locales ne sont pas comptabilisés. Des données détaillées n'ont pas pu être rassemblées par le Syneg afin d'évaluer la charge moyenne de ce type d'équipements et de pouvoir le prendre en compte de façon plus précise dans le calcul.

Tableau 26 – Catégories de magasin prises en compte dans les équipements des petits commerces

SUPERETTES	PETITS SPECIALISES	COMMERCES	DRIVES	DISTRIBUTEURS AUTOMATIQUES
Maxi-discomptes, Supérettes, Surgelés	Alimentations générales, Bars, Hôtels, Restaurants, Boulangeries pâtisseries, Boucheries charcuteries, Poissonneries, Primeurs, Stations-services,		Magasins drives	Distributeurs automatiques réfrigérés

## Modes de charge

Les installations frigorifiques des super et hypermarchés ainsi que les équipements réfrigérés des commerces alimentaires de détail sont chargés sur site excepté les groupes hermétiques équipant les armoires et vitrines frigorifiques qui sont chargés dans les usines de production.

## Modes de maintenance

Etant donné les contraintes réglementaires impactant les équipements de plus de 300 kg, il est pris en compte au moins une opération de maintenance annuelle pour les supermarchés et les hypermarchés. Pour les petits commerces, on considère que la maintenance intervient lorsque la quantité réelle de réfrigérant passe en deçà d'un certain seuil de 70% de charge (Tableau 27). Il n'est pas considéré de maintenance pour les équipements utilisant des groupes hermétiques. Dans le modèle de calcul, il est estimé que lors de la maintenance, ces équipements sont rechargés d'un complément de charge égal aux quantités perdues par émissions fugitives depuis l'installation ou la dernière opération de maintenance.

Tableau 27 – Modes de maintenance des équipements de froid commercial

SOUS-SECTEUR	RYTHME DE MAINTENANCE	SEUIL
Hypermarchés	annuel	-
Supermarchés	annuel	-
Groupes de condensation	Selon le seuil	70%
Groupes hermétiques	Pas de maintenance	-

## Durée de vie moyenne

Pour tous les équipements du froid commercial, il est considéré une durée de vie moyenne de 15 ans, hypothèse basée sur les rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [Ref 7] et les lignes directrices du GIEC [Ref 12]. Le marché d'équipements est ainsi estimé en fonction de l'évolution du parc et du renouvellement des équipements dans les magasins existants. Une courbe de durée de vie est associée aux durées de vie moyenne afin de prendre en compte une variation sur le parc d'installations (Figure 4).

# 4.2. Données et hypothèses

## 4.2.1. Données d'activités

### 4.2.1.1. Marchés et productions

#### MARCHES

Les marchés d'équipements sont estimés à partir de l'évolution du parc et d'une hypothèse de renouvellement des équipements tous les 15 ans.

- **Hypermarchés et Supermarchés** : l'évolution du parc de magasins a été reconstituée, pour les supermarchés comme les hypermarchés, depuis 1970 à partir de plusieurs sources de données ([Ref 7], [Ref 14], [Ref 15], [Ref 16], [Ref 17], [Ref 18], [Ref 19] [Ref 20], [Ref 21]). Les années manquantes pour lesquelles les informations sont indisponibles, sont estimées par interpolation. Sur les années récentes, les données sur le parc de magasins sont communiquées par LSA ([Ref 20]).
- Dans le cas des supermarchés et hypermarchés, sont évaluées les nouvelles surfaces de ventes car la charge

moyenne est ensuite évaluée à partir d'un ratio de charge surfacique. A ces nouvelles surfaces sont ajoutés les renouvellements.

- **Groupes de condensation et Groupes hermétiques des petits commerces** : l'évolution du parc de petits commerces, de supérettes, de magasins drive et de distributeurs automatiques a été reconstituée à partir de différentes sources, notamment les rapports des Mines [Ref 7], de la base de données de l'ACOSS [Ref 19] et des bases de données de l'INSEE ([Ref 15], [Ref 16], [Ref 17], [Ref 18]).
- Dans le cas des petits commerces, est évalué le nombre de nouveaux magasins, incluant le renouvellement des installations. Une charge moyenne établie en fonction d'un équipement type par catégorie de magasin y est ensuite associée.

Tableau 28 – Parcs de magasins

2022	PARC DE MAGASINS
Hypermarchés	2 303
Supermarchés	5 793
Petits commerces	270 858

## PRODUCTIONS

Seul le sous-secteur des groupes hermétiques, chargés d'usine, est concerné par cette hypothèse. Faute de données, il est supposé que la production des groupes hermétiques sur le territoire national est équivalente au marché.

### 4.2.1.2. Charge nominale

Pour les hypermarchés et supermarchés, la charge de fluide est calculée en fonction d'un ratio par unité de surface ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Ces ratios ont été estimés à partir d'enquêtes de terrain et d'avis d'experts, incluant progressivement la réduction des charges via notamment l'introduction des systèmes indirects et cascade [Ref 7]. La courbe a été lissée, sur l'historique, en utilisant un modèle de courbe en S.

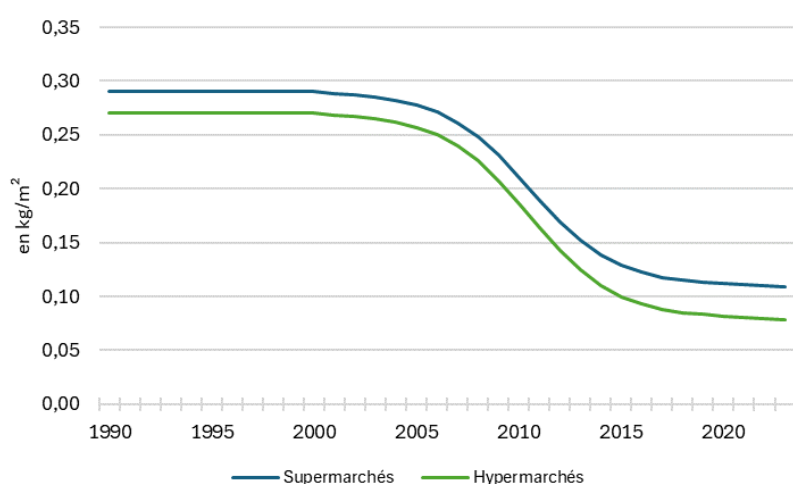


Tableau 29 – Charges moyennes en super et hypermarchés ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

SECTEUR	AVANT 2000	2022
Hypermarchés	0,27	0,08
Supermarchés	0,29	0,11

Figure 40 Ratios de charge surfacique en supermarchés et hypermarchés

Pour les petits commerces, les charges de fluides des groupes de condensation et des groupes hermétiques

varient selon le type de commerces rencontré.

Tableau 30 – Charges moyennes des équipements par type de petits commerces (kg)

SECTEUR	AVANT 2000	2022
Supérettes – Groupes de condensation	129	20
Supérettes – Groupes hermétiques	2,8	2,8
Petits commerces - Groupes de condensation	3,5	3,5
Petits commerces – Groupes hermétiques	1,4	1,4
Distributeurs automatiques - Groupes hermétiques	0,3	0,3
Drives - Groupes de condensation	200	200

### 4.2.1.3. Fluides frigorigènes utilisés

Les évolutions des fluides frigorigènes utilisés par sous-secteur du froid commercial ont été reconstituées à partir de différentes sources, notamment des données issues des anciens rapports d’inventaire de fluides frigorigènes [Ref 7] et du rapport RTOC de 1998 [Ref 23], tout en prenant en compte l’évolution de la réglementation européenne ((EU) 517/2014).

**Hypermarchés** : l’évolution des fluides frigorigènes utilisés dans les hypermarchés est présentée Figure 41. Depuis 2015, du fait de la réglementation F-Gas et de l’interdiction programmée d’utilisation du R-404A dans les équipements neufs à partir de 2022, de nouveaux fluides frigorigènes ont été introduits sur le marché, à plus bas PRG. La part du R-404A diminue progressivement et est supposée nulle en 2020 au profit d’autres réfrigérants : le R-744, principalement, ainsi que le R-134a, R-448A, R-449A, R-450A et R-454C dans des proportions variables à partir de 2017.

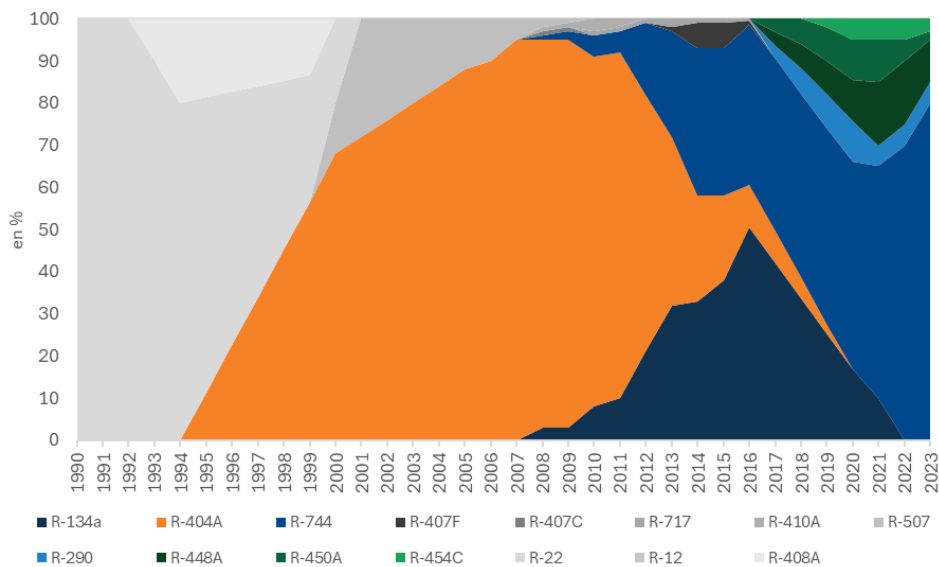


Figure 41 Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les nouvelles installations des hypermarchés

A partir de 2016, les hypothèses de calcul tiennent compte des retrofits d’une partie du parc d’installations au R-

404A vers des installations au R-407A, R-407F puis R-448A et R-449A (20% en 2022).

**Supermarchés :** L'utilisation du R-404A a été dominante dans les supermarchés jusqu'en 2010. De même que pour les hypermarchés, du fait des systèmes cascade et indirects, le R-134a a été progressivement introduit dans les années 2010 et la part du R-404A a diminué. Depuis 2015, la baisse progressive de l'utilisation du R-404A au profit de nouveaux fluides frigorigènes aux potentiels de réchauffement globaux plus faible tels que le R-407A, le R-407F, le R-448A/449A mais aussi le R-744 est prise en compte (Figure 42).

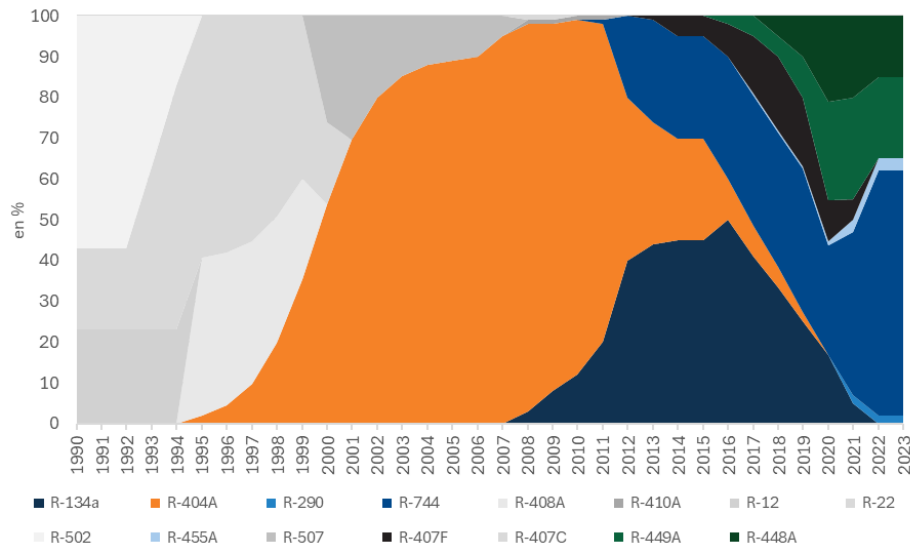


Figure 42 Evolution des fluides frigorigènes utilisés en supermarchés

De même que dans les hypermarchés, il est supposé un retrofit d'installations au R-404A vers des installations au R-407A, R-448A, R-449 à partir de 2016. En 2022, il est à nouveau considéré un niveau de retrofit de 20% de la banque de R-404A vers du R-448A/449A.

**Groupes de condensation :** depuis 2000, les équipements des petits commerces équipés de groupes de condensation utilisent majoritairement du R-404A. Depuis 2015, d'autres fluides frigorigènes à plus bas PRG ont été progressivement utilisés (R-744, R-407A, R-448&449A, R-450A et le R-454C).

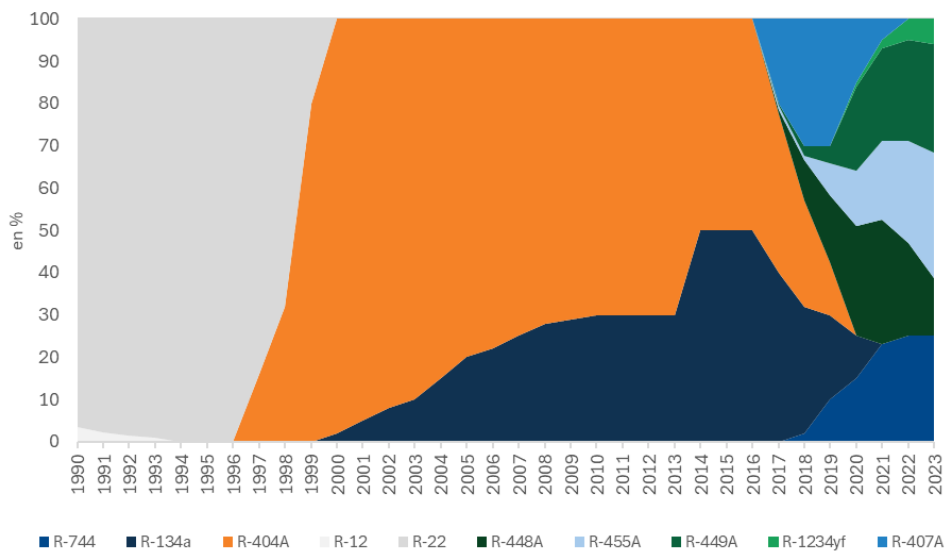


Figure 43 Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les petits commerces (groupes de condensation)

**Groupes hermétiques** : jusqu'en 2010, le R-134a est le seul fluide frigorigène utilisé dans ces groupes frigorifiques. Depuis, les hydrocarbures et le CO<sub>2</sub> (R-290, R-600a, R-744) ont été progressivement introduits.

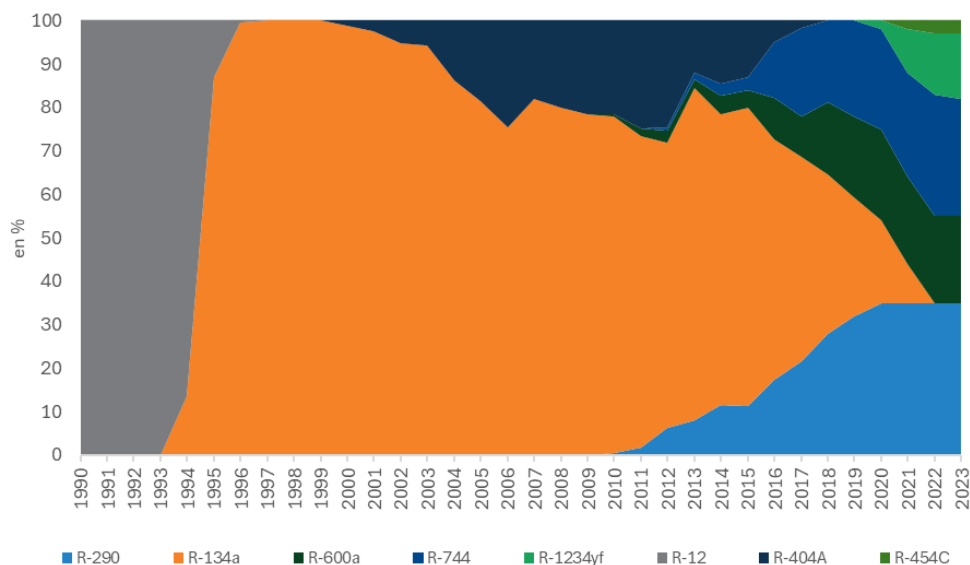


Figure 44 Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les petits commerces (groupes hermétiques)

#### 4.2.1.4. Durée de vie

En froid commercial, la durée de vie de l'équipement est estimée en moyenne à 15 ans. Indépendamment de la durée de vie des magasins, cette valeur tient compte de la fréquence moyenne de renouvellement des installations frigorifiques. La courbe de durée de vie (Figure 4) est basée sur cette valeur moyenne et permet de prendre en compte des variations de durée de vie des équipements au sein du parc, de 10 à 20 ans.

### 4.2.2. Facteurs d'émissions

#### 4.2.2.1. A la charge

Les facteurs d'émissions utilisés sont issus des Lignes directrices du GIEC ([Ref 24],[Ref 12]) et dépendent du mode de chargement des équipements (d'usine, sur site).

Tableau 31 – hypothèses de facteurs d'émission à la charge des équipements de froid commercial

SOUS-SECTEUR	TAUX D'EMISSION A LA CHARGE EN 1990	TAUX D'EMISSION A LA CHARGE EN 2022
Hypermarchés	4,5%	1,9%
Supermarchés	4,5%	1,9%
Groupes de condensation	4,5%	1,9%
Groupes hermétiques	3%	2,6%

## 4.2.2.2. Fugitif

Les courbes d'évolution des facteurs d'émissions fugitifs, au cours de la vie des équipements, pour l'ensemble des sous-secteurs du froid commercial, prennent en compte l'amélioration des pratiques. Les courbes sont basées sur des données issues d'enquêtes de terrain sur les consommations de HFC pour la maintenance des installations sur un échantillon du parc d'équipements, pour certaines années. Ces valeurs représentent une tendance moyenne sur l'ensemble du parc de magasins, elles incluent les pertes accidentelles.

Tableau 32 – Facteur d'émission fugitif des équipements de froid commercial

SOUS-SECTEUR	TAUX D'EMISSION A LA CHARGE EN 1990	TAUX D'EMISSION A LA CHARGE EN 2022
Hypermarchés	35%	24%
Supermarchés	30%	18,5%
Groupes de condensation	15%	13%
Groupes hermétiques	1%	1%

**Hypermarchés et supermarchés** : l'évolution des taux d'émission en super et hypermarchés est basée sur les résultats d'enquêtes régulières et de contrôles réalisés par le ministère de l'Environnement sur les quantités annuelles consommées pour la maintenance des installations. Celles-ci sont assimilées aux pertes annuelles par émissions fugitives. Une courbe de tendance a été établie sur ces données en prenant en compte également l'amélioration des pratiques de maintenance, le renforcement des contrôles d'étanchéité, la généralisation progressive de système de détections de fuites, et, plus récemment, une incitation à la récupération du fait de la pénurie de certains HFC et de l'augmentation des prix.

**Groupes de condensation** : pour les années antérieures à 2017, un taux d'émission fugitif constant de 15 % a été pris en compte (lignes directrices du GIEC). Au-delà, afin de traduire l'amélioration des pratiques, on pose l'hypothèse d'une diminution de ce taux à 10 % en 2035 et on évalue la progression par une courbe en S.

**Groupes hermétiques** : le taux d'émission fugitif associé aux groupes hermétiques est considéré constant à 1% sur toute la série temporelle, afin de prendre en compte les pertes accidentelles, le système étant hermétique.

## 4.2.2.3. A la maintenance

L'évolution du taux d'émission à la maintenance pour le secteur du froid commercial est donnée Figure 45. Le modèle de calcul considère qu'à chaque opération de maintenance, des émissions ont lieu sur les quantités rechargées dans l'installation, à cause de la manipulation du fluide frigorigène et de pertes accidentelles. Ce taux est fortement réduit au cours du temps, grâce à l'amélioration des pratiques et à la hausse des prix des HFC sur les années récentes.

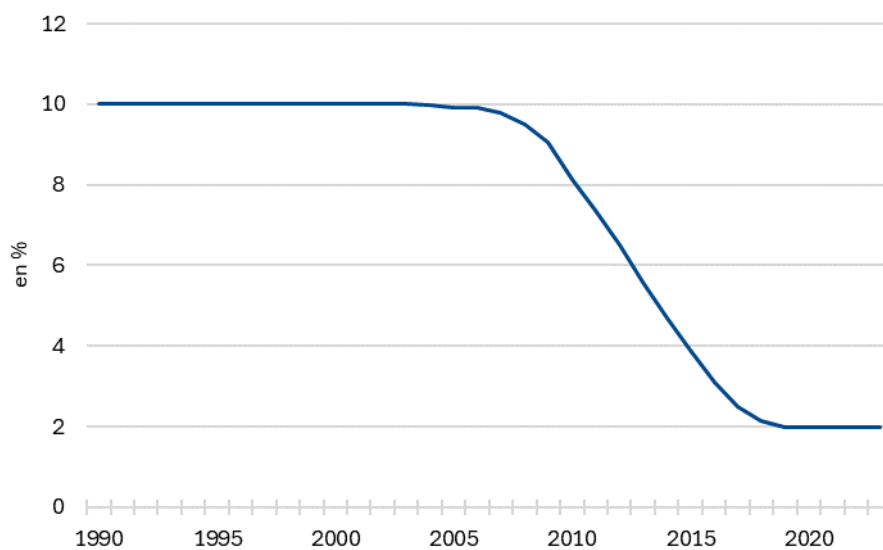


Figure 45 Taux d'émission à la maintenance - Froid commercial

#### 4.2.2.4. En fin de vie

Les émissions en fin de vie des équipements dépendent des quantités présentes dans l'équipement quand il atteint sa fin de vie et d'un facteur d'émission fin de vie traduisant l'efficacité des filières de récupération ou de l'opérateur assurant le démantèlement. La charge réelle de l'équipement, à laquelle est appliquée ce facteur d'émission, est calculée au cours de sa durée de vie en tenant compte des occurrences de maintenance, ce qui permet de ne pas surestimer les émissions de fin de vie, la charge de fin de vie tenant compte des émissions fugitives des années précédentes.

L'évolution de ces facteurs est supposée suivre un modèle de courbe en S (Figure 46).

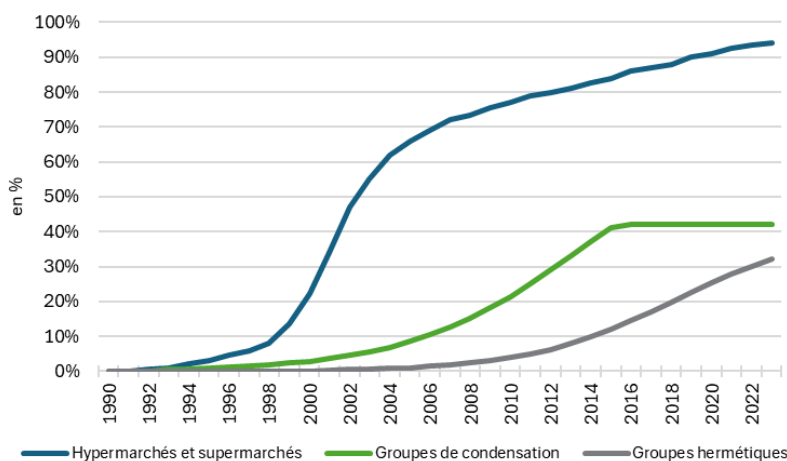


Figure 46 Efficacité de récupération en fin de vie des équipements dans le secteur du froid commercial

Pour 2022, les taux d'émissions de fin de vie présentés au tableau suivant sont pris en compte.



Tableau 33 – Hypothèses de facteurs d'émission fin de vie – secteur du froid commercial

SOUS-SECTEUR	TAUX D'EMISSION A LA CHARGE EN 1990	TAUX D'EMISSION A LA CHARGE EN 2022
Hypermarchés	100%	5%
Supermarchés	100%	6,5%
Groupes de condensation	100%	49%
Groupes hermétiques	100%	70%

## 4.3. Résultats

### 4.3.1. Banque

La banque de froid commercial est évaluée à 5 913 t en 2022. La banque des fluides frigorigènes non fluorés représente désormais 18%, en croissance de 22% par rapport à 2021. La banque totale est stable sur 2021-2022 du fait d'une relative stabilité du parc de magasins et d'une tendance à la réduction des charges des installations.

La banque de R-404A est en forte réduction, estimée à plus de 30% par an sur 2021-2023 du fait des fins de vie et retrofits d'installations. Elle ne représente plus que 15% de la banque du froid commercial en 2022 (Tableau 34) alors qu'elle constituait 70 % de la banque de 2015 .

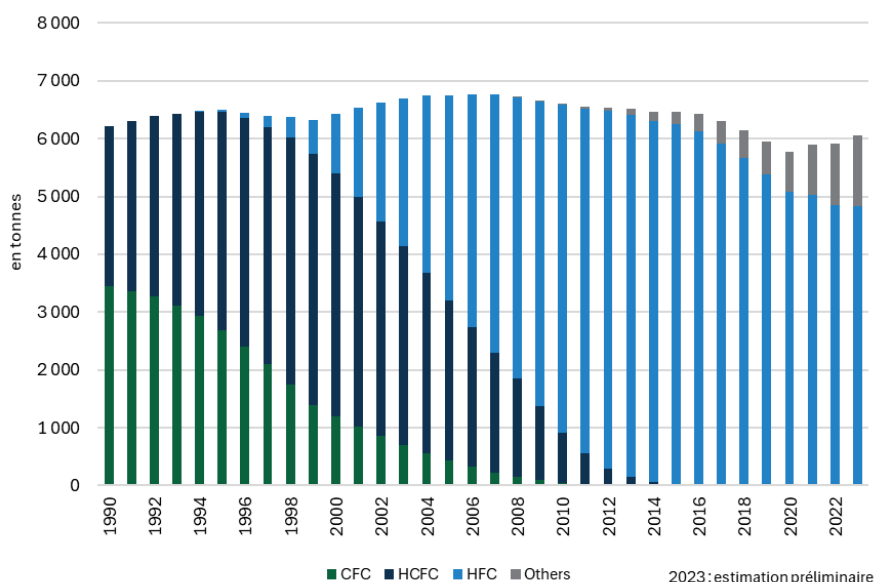


Figure 47 Banque de fluide dans le secteur du froid commercial

Tableau 34 – Banque de fluide 2022

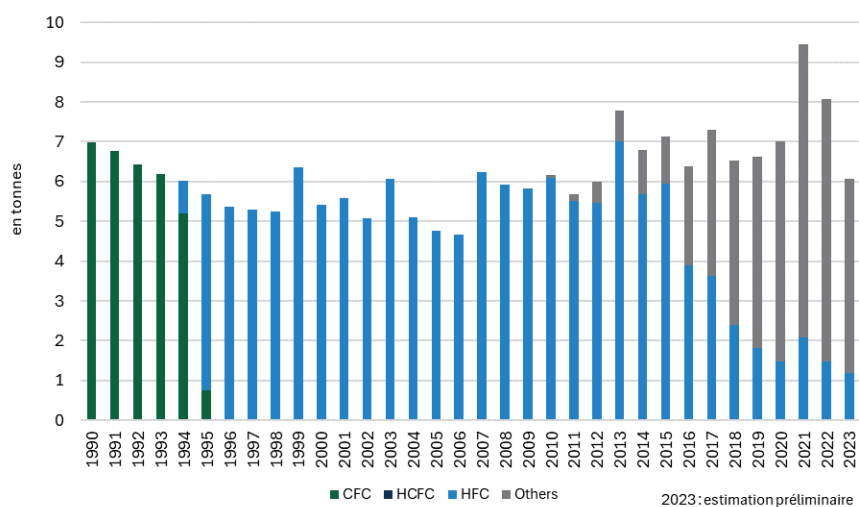
Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	1 411
R-404A - R507 (PRG~3950)	994
R-407A	389
R-407C	3,1
R-407F	273
R-410A	9,5
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	34
R-448A - R-449A (PRG~1300)	1 443
R-454C - R-455A (PRG~150)	232
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	27
Total HFC hors HFO	4 814
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	39
Total HFC	4 853
R-290	118
R-600a	46
R-717	6,9
R-744	889
Total Autres	1 060
Total général	5 913

## 4.3.2. Demande

### 4.3.2.1. Besoin pour les nouvelles installations

On distingue ici les besoins pour la production des groupes hermétiques chargés sur site, très faible, du besoin pour la mise en service des installations chargées sur site.

En 2022, la demande pour la production d'équipements de froid commercial en France est principalement constituée de fluides non fluorés (82%), du fait de la part croissante des hydrocarbures dans les groupes équipant les petits commerces (Tableau 35). Ces chiffres sont à prendre avec précaution, les données de production étant marquées d'une forte incertitude.



#### le secteur du froid commercial

Tableau 35 – Production 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-454C - R-455A (PRG~150)	0,4
Total HFC hors HFO	0,4
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	1,1
Total HFC	1,5
R-290	2,8
R-600a	1,6
R-744	2,2
Total Autres	6,6
Total général	8,1

Figure 48 Quantités nécessaires à la production d'équipements en France dans

Les quantités nécessaires à la charge sur site des nouveaux équipements de froid commercial sont en baisse régulière depuis 2011 (Figure 49) du fait de la tendance à la réduction des charges induite par l'augmentation du nombre d'installations indirectes ou cascade. En 2022, ce besoin représente environ 1700 tonnes dont 78% est constitué de HFC et 22% de fluides non fluorés.

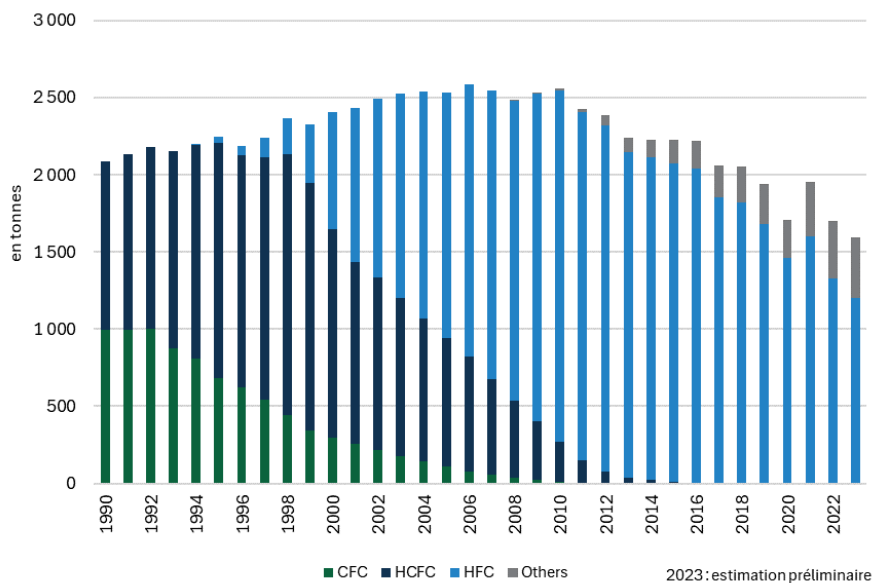


Figure 49 Besoin en fluides frigorigènes pour la charge sur site des équipements neufs pour le secteur du froid commercial

Tableau 36 – Charges 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	214
R-404A - R507 (PRG~3950)	142
R-407A	75
R-407C	0,8
R-407F	66
R-410A	2,5
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	7,0
R-448A - R-449A (PRG~1300)	670
R-454C - R-455A (PRG~150)	115
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	12
Total HFC hors HFO	1 304
234yf - R-1234ze - R-1233zd)	21
Total HFC	1 325
R-290	22
R-600a	1,8
R-717	1,9
R-744	346
Total Autres	372
Total général	1 697

#### 4.3.2.2. Besoin pour la maintenance

Le besoin pour la maintenance des installations est estimé à moins 800 tonnes en 2022. Ce besoin est inférieur de 43% au niveau de 2016. Depuis 2016-2017, on observe une baisse significative des quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur du froid commercial du fait de l'amélioration de pratiques et de la certification des opérateurs, de la généralisation de systèmes de détection de fuites mais aussi du fait du contexte de pénurie et augmentation des prix des HFC à fort PRG qui ont incité à une meilleure récupération.

La répartition du besoin pour la maintenance est à l'image de la banque : les parts du R-404A et du R-134a restent prépondérantes, suivies désormais par le R-744.

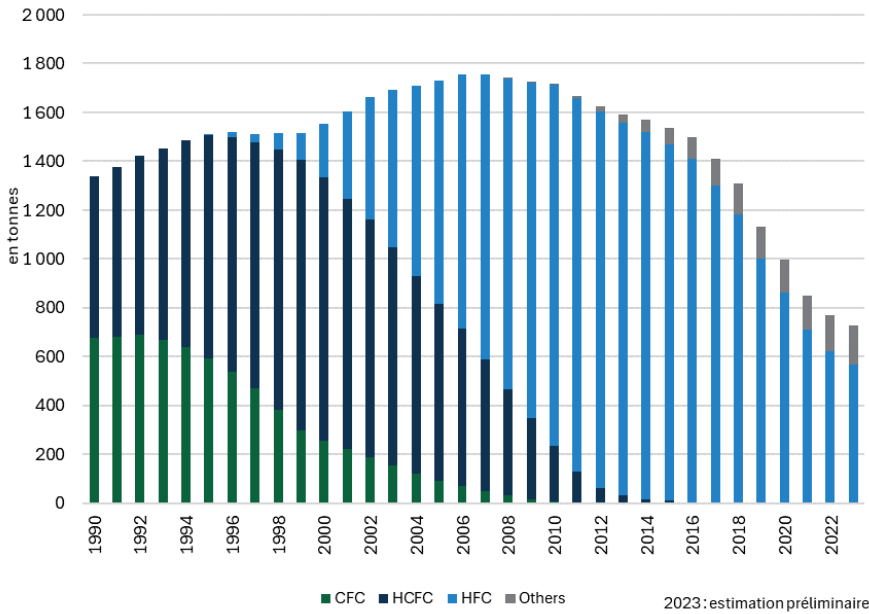


Figure 50 Besoin en fluides frigorigènes pour la maintenance du parc d’installations dans le secteur du froid commercial

Tableau 37 – Quantités pour la maintenance 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	186
R-404A - R507 (PRG~3950)	123
R-407A	65
R-407C	0,7
R-407F	57
R-410A	2,2
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	6,1
R-448A - R-449A (PRG~1300)	170
R-454C - R-455A (PRG~150)	5,2
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	6,5
Total HFC	623
R-290	8,0
R-717	1,7
R-744	139
Total Autres	149
Total général	772

### 4.3.2.3. Besoin pour le retrofit

Ces dernières années, les fluides principalement utilisés pour le retrofit R-404A dans les hypermarchés et supermarchés, sont le R-407F, R-448A, et R-449A. En 2022, ce besoin est estimé à un peu plus de 200 tonnes, essentiellement de R-448A et R-449A.

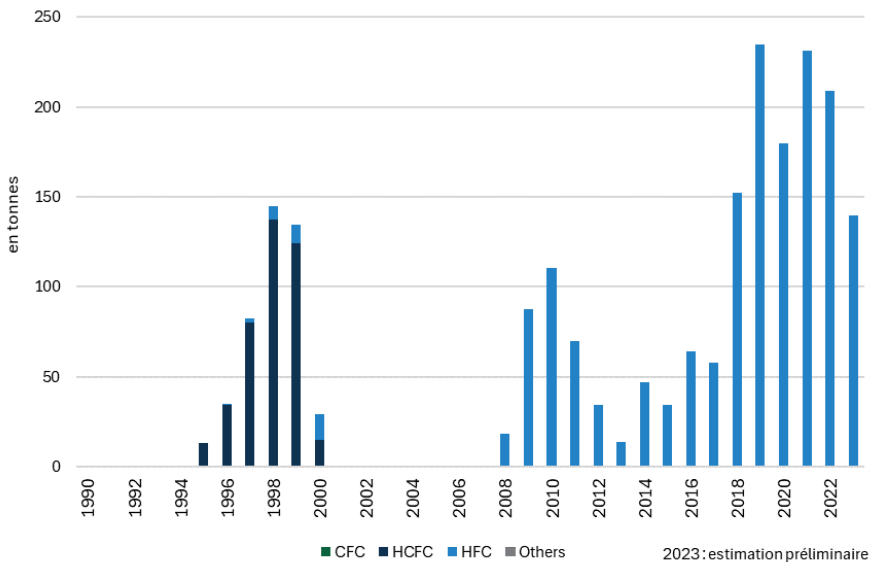


Figure 51 Besoin en fluides frigorigènes pour le retrofit d’installations dans le secteur du froid commercial

Tableau 38 – Quantités pour le retrofit 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-448A - R-449A (PRG~1300)	209
Total HFC	209
Total général	209

## 4.3.3. Emissions

### 4.3.3.1. Emissions totales

En 2022, les émissions totales de l'ensemble du secteur du froid commercial sont estimées à environ 1 100 tonnes de fluides frigorigènes (Tableau 39). On constate une diminution des émissions du secteur depuis les années 2010 (Figure 52) notamment du fait de la tendance à la réduction des charges dans les supermarchés et les hypermarchés et de l'amélioration des pratiques et des facteurs d'émissions (Figure 40, Figure 41), notamment sur ces dernières années.

Les émissions 2022 sont dominées à 57% par les installations aux fortes charges des supermarchés et hypermarchés même si leur taux d'émission s'est réduit de façon significative depuis quelques années, puis par les groupes de condensation (40%) équipant les petits commerces, aux niveaux d'émissions encore élevés.

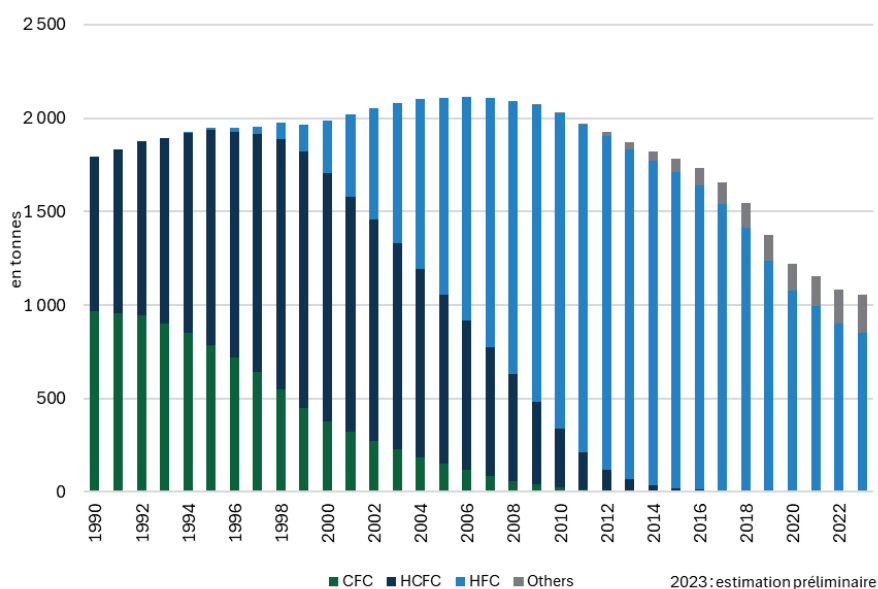


Figure 52 Émissions totales du froid commercial

Tableau 39 – Emissions totales 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	243
R-404A - R507 (PRG~3950)	206
R-407A	73
R-407C	0,7
R-407F	58
R-410A	2,2
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	6,8
R-448A - R-449A (PRG~1300)	264
R-454C - R-455A (PRG~150)	35
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	6,6
Total HFC hors HFO	895
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	4,4
Total HFC	899
R-290	9,3
R-600a	0,6
R-717	1,7
R-744	171
Total Autres	182
Total général	1 081

### 4.3.3.2. Emissions totales en CO<sub>2</sub> équivalent

Les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes du froid commerciales baissent de façon drastique, d'environ 20 % par an depuis 3 ans. Elles ont été divisées par deux depuis 2019 et ne représentent plus que 1,7 million de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2022 (1,4 million selon la première estimation de 2023). Elles sont amenées à décroître encore avec la généralisation de l'utilisation de fluides à plus faibles PRG (Figure 53).

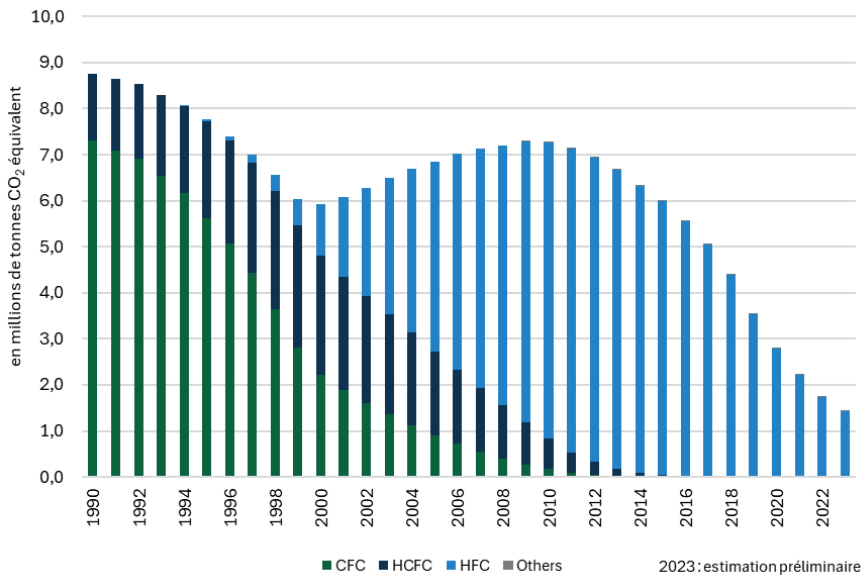


Figure 53 Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes du froid commercial (millions de tonnes)

Tableau 40 – Emissions totales en CO<sub>2</sub>e 2022

Fluide frigorigène	2022 (en ktCO <sub>2</sub> e)
R-134a	316
R-404A - R507 (PRG~3950)	813
R-407A	140
R-407C	1,2
R-407F	97
R-410A	4,3
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	15
R-448A - R-449A (PRG~1300)	337
R-454C - R-455A (PRG~150)	5,2
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	3,6
Total HFC hors HFO	1 731
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	0,004
Total HFC	1 731
R-290	0,03
R-600a	0,002
R-744	0,17
Total Autres	0,20
Total général	1 731

# 5

## Transports frigorifiques

# 5.1. Introduction

## Applications prises en compte

Le secteur des transports frigorifiques se compose de 3 sous-secteurs : les navires réfrigérés, les conteneurs frigorifiques autonomes et le transport routier. Ce dernier est scindé en 2 catégories :

- les véhicules équipés de groupes frigorifiques autonomes de type « moteur thermique », rencontrés généralement sur les remorques ou semi-remorques ;
- les véhicules équipés de groupes de type « poulie-courroie » accouplés au moteur et installés sur les véhicules plus petits.

Les navires réfrigérés correspondent aux cales réfrigérées ou « reefers », c'est-à-dire les navires équipés de leurs propres systèmes de production frigorifique. On distingue plusieurs types de navires réfrigérés : les navires congélateurs, les transporteurs de palettes, les transporteurs en vrac ou les navires citernes (pour le transport des jus notamment).

Les conteneurs frigorifiques autonomes sont indépendants du mode de transport et sont véhiculés par train, camion ou bateau (porte-conteneurs). Les portes conteneurs sont apparus dans les années 1970 et sont devenus le principal mode de fret maritime et leur nombre continue de croître.

## Modes de charge

Pour le secteur des transports frigorifiques, il est considéré que :

- les systèmes de type « poulie-courroie » sont chargés sur le site de production des remorques ou semi-remorques,
- les véhicules équipés de groupes frigorifiques autonomes de type « moteur thermique » sont chargés en usine de production,
- les cales réfrigérées des navires sont chargées sur place,
- les conteneurs frigorifiques sont chargés d'usine.

## Modes de maintenance

Il est considéré que ces équipements subissent une opération de maintenance dès lors que leur charge de réfrigérant passe en deçà d'un certain seuil et que la maintenance consiste en un complément de charge sans décharge de l'équipement.

Tableau 41 – prise en compte de la maintenance dans la méthode de calcul pour le transport frigorifique

SOUS-SECTEUR	RYTHME DE MAINTENANCE	SEUIL	DECHARGE COMPLETE LORS DE LA MAINTENANCE
Véhicules utilitaires réfrigérés	Selon le seuil	70%	non
Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques	Selon le seuil	70%	non
Cales réfrigérées	Selon le seuil	70%	non
Conteneurs frigorifiques	Selon le seuil	80%	non



## Durée de vie moyenne

L'hypothèse de durée de vie moyenne des équipements est de 10 ans pour les équipements du transport routier, de 20 ans pour les conteneurs frigorifiques et de 30 ans pour les navires équipés de cales réfrigérées [Ref 7]. Des courbes de durée de vie y sont associées, comme pour les autres secteurs.

# 5.2. Données et hypothèses

## 5.2.1. Données d'activités

### 5.2.1.1. Marchés et productions

#### MARCHES

- **Véhicules utilitaires réfrigérés légers & Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques :** l'évolution des marchés de véhicules a été reconstituée à partir de différentes sources de données ([Ref 7], [Ref 26]) et d'hypothèses sur les taux de croissance du sous-secteur. L'association Carcoserco devenue la Fédération Française de carrosserie (FFC), en particulier, communique régulièrement au Citepa une estimation du marché national par catégorie de véhicule frigorifique.

Tableau 42 – Marchés des groupes frigorifiques pour le transport routier

TYPE	1990	2000	2010	2020	2022
Véhicules utilitaires réfrigérés légers	2 724	3 273	4 299	7 219	5 784
Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques	3 857	4 857	3 835	5 489	5 574

- **Reefers :** la flotte maritime de navires réfrigérés est estimée au niveau mondial, seules des statistiques globales étant disponibles. Il est considéré qu'une part de 10 % peut être attribuée à la France [Ref 7], ce taux pourra être reconsidéré selon les données disponibles.

L'évolution des marchés a été reconstituée à partir des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [Ref 8] et des données disponibles sur le site MarineTraffic.

- **Conteneurs frigorifiques :** comme pour la flotte de navires réfrigérés, seules des statistiques mondiales sont disponibles, le marché national de conteneurs réfrigérés est supposé égal à 10 % du marché mondial. Les conteneurs frigorifiques étant chargés d'usine, la production française risque par cette méthode d'être surestimée, les résultats concernant le transport maritime sont donc à prendre avec précaution.

Les marchés historiques et récents ont été estimés à partir des anciens rapports d'inventaires de fluides frigorigènes [Ref 7] et du Container Handbook [Ref 27].

- Le **transport frigorifique par voie ferroviaire** est peu développé en France [Ref 7]. Compte tenu de la similarité des technologies utilisées, le transport ferroviaire réfrigéré est supposé être comptabilisé dans le parc total de conteneurs frigorifiques.

#### PRODUCTIONS

Les données de production des véhicules du transport routier frigorifique sont issues de communications du Cemafroid pour les rapports d'inventaires antérieurs [Ref 7] et extrapolées sur 2017-2022.

Tableau 43 – Productions estimées des groupes frigorifiques pour le transport routier

TYPE	1990	2000	2010	2020	2022
Véhicules utilitaires réfrigérés légers	1 526	2 690	5 570	5 353	5 513
Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques	6 511	10 800	16 150	22 284	22 633

- Pour les reefers et les conteneurs frigorifiques qui sont traités à l'échelle mondiale, le marché est supposé égal à la production.

### 5.2.1.2. Charge nominale

- Pour le **transport routier**, les charges nominales sont estimées à partir des données issues d'enquêtes auprès des fabricants recensées dans les anciens rapports d'inventaires [Ref 7] et de communications du Petit Forestier [Ref 28]. Les charges des équipements du transport routier sont en baisse depuis 2007.

Tableau 44 – Evolution des niveaux de charge nominale des équipements frigorifiques du transport routier (en kg)

SOUS-SECTEUR	AVANT 2006	2010	2015	2020	2022
Véhicules utilitaires réfrigérés légers	2,50	2,20	2,19	2,02	2,01
Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques	7,20	6,72	6,74	6,60	6,56

- Pour le **transport maritime**, les charges sont issues des anciens rapports d'inventaires [Ref 7]. Les charges des navires à cales réfrigérées sont supposées constantes jusqu'en 2000, puis une réduction de charge est prise en compte, liée à l'utilisation de systèmes indirects. Faute de données plus précises, la charge des conteneurs réfrigérés est supposée constante sur toute la série temporelle.

Tableau 45 – charges nominales des équipements frigorifiques du transport maritime (kg)

SOUS-SECTEUR	AVANT 2000	2022
Reefers	4000	1000
Conteneurs réfrigérés	4,60	4,60

### 5.2.1.3. Fluides frigorigènes utilisés

- **Véhicules utilitaires réfrigérés légers**

L'évolution des fluides frigorigènes utilisés a été estimée sur la base :

- des données fournies par les anciens rapports des inventaires d'émissions des fluides frigorigènes [Ref 7], incluant des communications de Carrier et du Cemafroid,
- d'échanges avec Petit Forestier [Ref 28],
- d'échanges avec l'European Partnership for Energy and the Environment (EPEE) [Ref 22].

Entre 1970 et 1990 on considère que l'ensemble du parc de véhicules utilitaires réfrigérés légers fonctionnaient au R-12. Il est considéré qu'au début des années 1990, une transition s'opère vers des systèmes chargés au R-134a et qu'il est utilisé à 100 % dans les véhicules équipés de groupes de type « poulie-courroie » jusqu'au début des années 2000. A partir de 2003, le R-134a fait progressivement place au R-404A qui devient prépondérant après 2010. A partir de 2016, le R-452A apparaît en tant que HFC à plus bas PRG pouvant substituer le R-404A, puis le R-744 et le R-450A commencent à être introduits sur le marché en 2020.

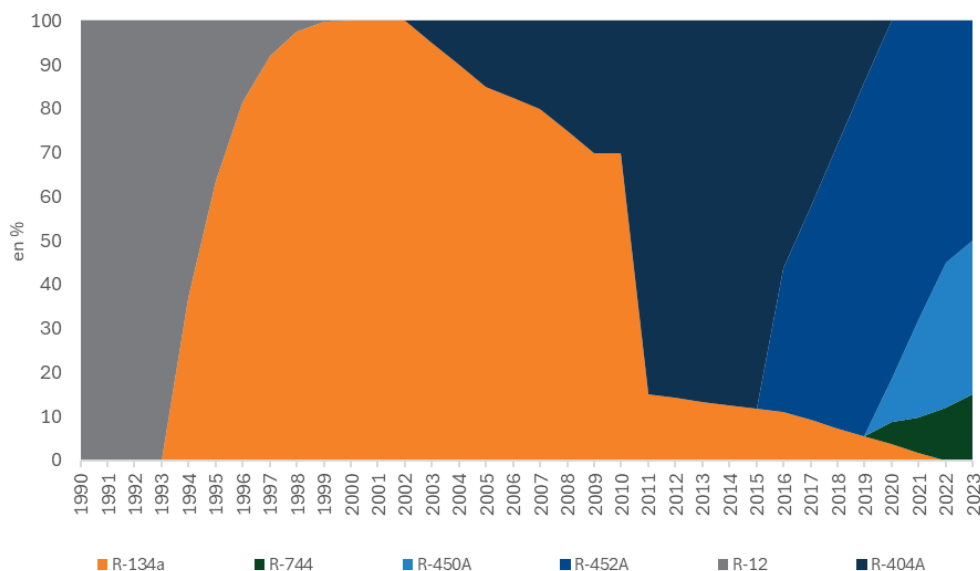


Figure 54 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes poulie courroie

- **Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques**

Jusqu'au milieu des années 90, les camions et semi-remorques frigorifiques étaient chargés au R 502, principalement, et au R-22. Ces fluides ont progressivement laissé place au R-404A dont l'utilisation est généralisée à tous les véhicules équipés de groupes frigorifiques autonomes de type « moteur thermique » ([Ref 23] , [Ref 7]). Jusqu'en 2007, le R-404A est le seul fluide utilisé pour les camions et semi-remorques. A partir de 2008, le R-134a est introduit. Les hypothèses d'évolution des fluides frigorigènes utilisés sont basées sur les tendances fournies par le Cemafrroid. Le R-452A apparaît sur le marché en 2016 et est majoritairement utilisé en 2022. Depuis 2020, le R-450A et le R-744 ont également été introduits. La répartition des fluides utilisés a été estimée sur la base des mêmes références que pour les véhicules utilitaires légers.

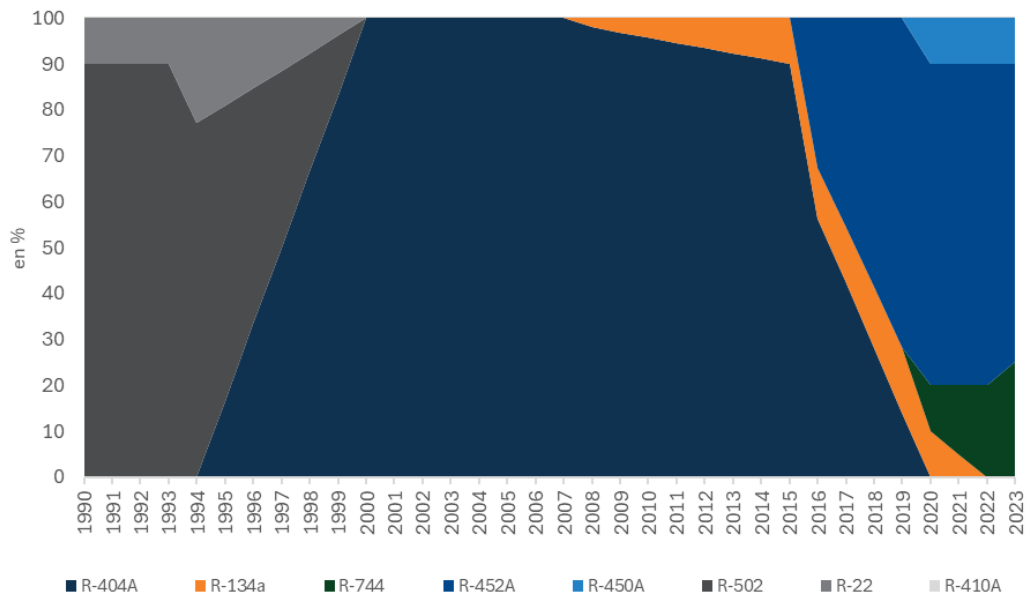


Figure 55 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes semi-remorques

- Reefers** : entre 1970 et 2000, le R-22 et le R-12 constituent les 2 fluides utilisés dans les cales frigorifiques des navires, la part du R-12 diminuant rapidement sur les dernières années [Ref 29]. Depuis 2000, le R-404A, le R-410A, le R-407C, le R-290 et le R-717 ont progressivement remplacé le R-22. On considère que le R-22 n'est plus utilisé dans les nouveaux navires à partir de 2018. Ces hypothèses reposent principalement sur les rapports RTOC et la prise en compte de l'évolution de la réglementation internationale.
- Conteneurs frigorifiques** : les hypothèses d'évolution des fluides frigorigènes utilisés dans les conteneurs frigorifiques sont présentées Figure 56. Jusqu'en 1993, on estime que l'ensemble des conteneurs frigorifiques sont chargés au R-12 [Ref 23]. Il laisse rapidement sa place au R-134a qui a été le réfrigérant le plus utilisé pour cette application. Plus récemment, de nouveaux fluides frigorigènes sont apparus en remplacement du R-134a : le R-513A, le R-513B, le R456A et le R-744. Ces hypothèses se basent principalement sur les rapports RTOC.

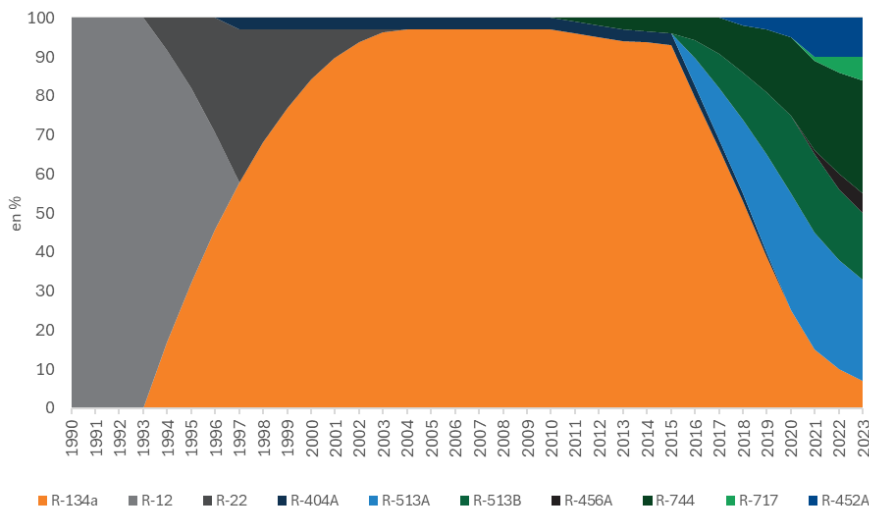


Figure 56 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les conteneurs frigorifiques (transport maritime)

#### 5.2.1.4. Durée de vie

Les courbes de durées de vie du secteur du transport frigorifique sont construites sur la base de durée de vies des équipements : 30 ans pour les reefers, 15 ans pour les conteneurs réfrigérés (Figure 4) et 10 ans pour les véhicules routiers réfrigérés.

### 5.2.2. Facteurs d'émissions

#### 5.2.2.1. A la charge

Les hypothèses concernant les facteurs d'émission à la charge sont issues des Lignes directrices du GIEC ([Ref 24], [Ref 12]).

Tableau 46 – Facteurs d'émissions à la charge pour le transport frigorifique

SOUS-SECTEUR	1990	2022
Reefers	5,0%	1,0%
Conteneurs frigorifiques	3,0%	1,0%
Véhicules utilitaires réfrigérés légers	5,0%	1,0%
Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques	3,0%	1,0%

#### 5.2.2.2. Fugitif

Les facteurs d'émissions à l'usage pour l'ensemble des sous-secteurs du transport frigorifique sont donnés Tableau 47. Leur évolution a été reconstituée à partir de différentes références ([Ref 7], [Ref 23]). Depuis 2014 ces facteurs d'émission du transport routier sont calculés sur la base de données communiquées par Petit Forestier [Ref 28].

Tableau 47 – Facteurs d'émissions fugitives pour les applications du transport frigorifique

SOUS-SECTEUR	TAUX D'EMISSION A LA CHARGE EN 1990	TAUX D'EMISSION A LA CHARGE EN 2022
Reefers	35%	15%
Conteneurs frigorifiques	35%	20%
Véhicules utilitaires réfrigérés légers	35%	17%
Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques	15%	12%

#### 5.2.2.3. A la maintenance

L'évolution du taux d'émission à la maintenance pour le secteur du transport frigorifique est présentée ci-dessous et

prend en compte, comme dans tous les secteurs, l'amélioration des pratiques.

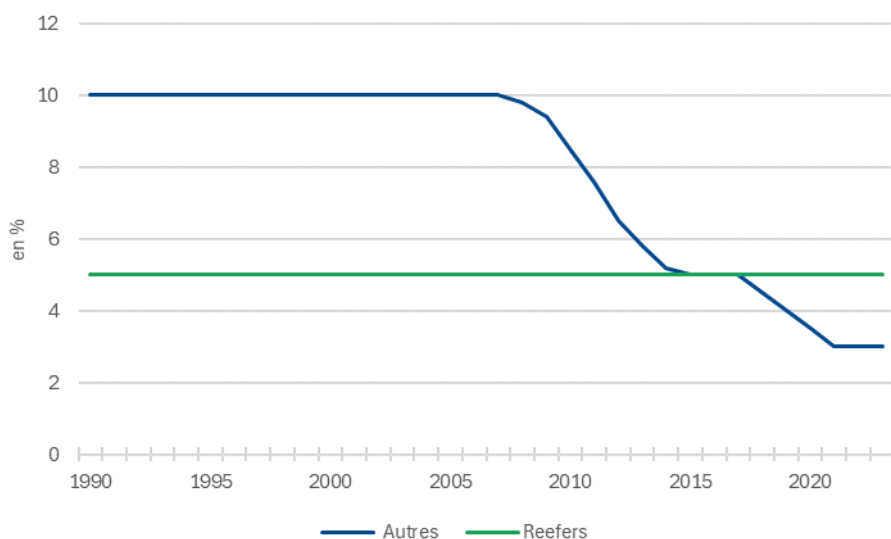


Figure 57 - Taux d'émissions à la maintenance – transports frigorifiques

#### 5.2.2.4. En fin de vie

Dans le secteur du transport routier, la récupération des fluides est supposée débiter aux termes du règlement (CE) no 3093/9. L'évolution de la récupération est supposée suivre une courbe en S atteignant une valeur de 70 % en 2021. Ce niveau est à confirmer.

Pour le transport maritime, il est également pris en compte une évolution de la récupération en fin de vie selon une courbe en S mais avec une évolution plus lente. Il est supposé que la récupération commence dans les années 1990 pour atteindre 40 % en 2021 pour les reefers et 50 % pour les conteneurs.

Tableau 48 – Facteurs d'émission en fin de vie des équipements du transport frigorifique

SOUS-SECTEUR	1990	2022
Reefers	100%	61,5%
Conteneurs frigorifiques	100%	52,8%
Véhicules utilitaires réfrigérés légers	100%	29,8%
Systèmes autonomes équipant les camions et semi-remorques	100%	29,8%

## 5.3. Résultats

### 5.3.1. Banque

La banque du transport frigorifique, évaluée à plus de 2 000 tonnes en 2022 (Tableau 46). Elle est constituée à 70 % par la banque des conteneurs réfrigérés et à 17% par les systèmes autonomes équipant les camions frigorifiques.

La banque est en croissance régulière, notamment du fait de la croissance de la flotte des conteneurs frigorifiques qui augmente de 3 à 5 % par an sur les dix dernières années.

En 2022, le R-134a, très utilisé historiquement dans les conteneurs frigorifiques, représente moins de 50 % de la banque. Le R-404A, historiquement très utilisé en transport frigorifique routier, ne représente plus que 6 % de la banque du transport frigorifique.

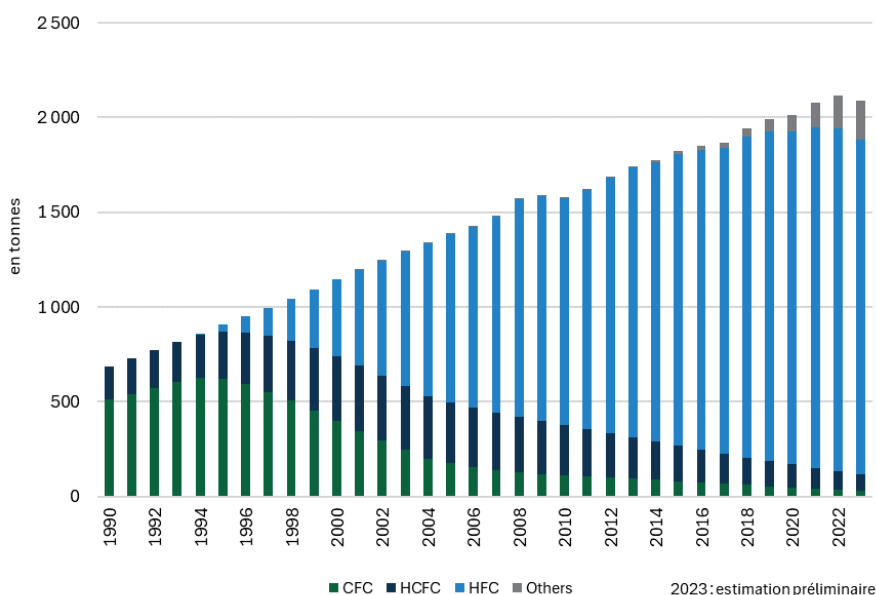


Tableau 49 – Banque de fluide 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-12	37
Total CFC	37
R-22	99
Total HCFC	99
R-134a	1 030
R-404A - R507 (PRG~3950)	118
R-410A	3,4
R-452A	332
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	322
Total HFC	1 806
R-717	6,9
R-744	166
Total Autres	173
Total général	2 115

Figure 58 - Banque de fluide dans le secteur du transport frigorifique

### 5.3.2. Demande

#### 5.3.2.1. Besoin pour les équipements neufs

Le besoin en fluides frigorigènes pour les équipements neufs est évalué à moins de 600 tonnes en 2022. Un quart de cette demande est liée à la production d'équipements, qui peut être surestimée étant données les incertitudes sur les niveaux de production en France et la prise en compte des conteneurs réfrigérés. Cependant, cette incertitude n'impacte que les émissions à la charge, dont le niveau est faible, le facteur d'émissions étant bas. Cette demande est principalement constituée de HFC (80 % en 2022), notamment de R-513A/B (25 %) et le R-134a (28%). La part des fluides non fluorés est en croissance et représente environ 15 % de la demande pour les équipements neufs en 2022.

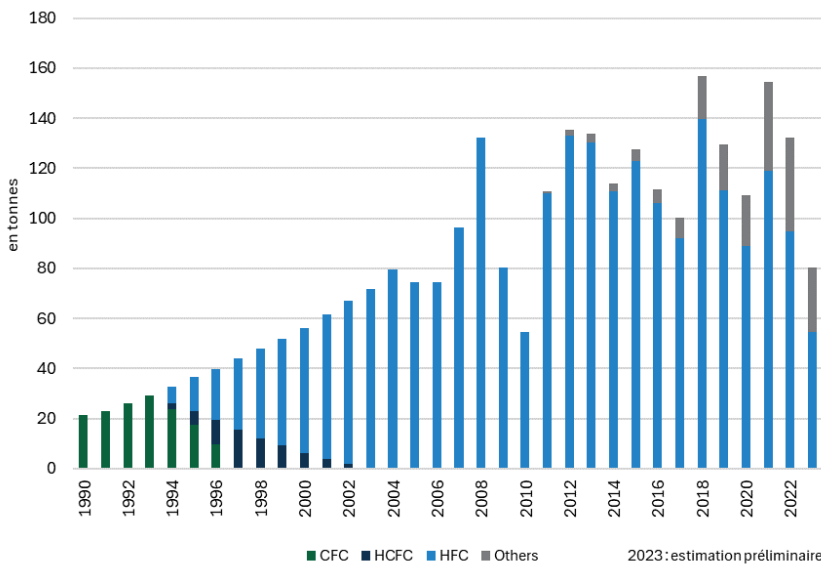


Figure 59 - Quantités nécessaires à la production dans le secteur du transport frigorifique

Tableau 50 – Production 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	12
R-452A	18,3
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	64
Total HFC	95
R-717	4,8
R-744	33
Total Autres	38
Total général	132

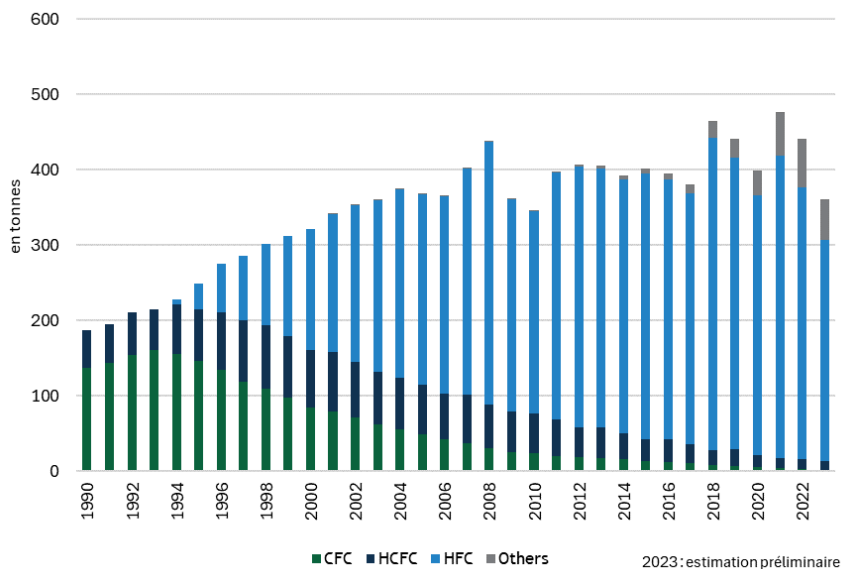


Figure 60 - Quantités nécessaires à la charge des équipements sur site pour le secteur du transport frigorifique

Tableau 51 – Charges sur site 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-12	3,0
Total CFC	3,0
R-22	13
Total HCFC	13
R-134a	149
R-404A - R507 (PRG~3950)	24
R-410A	0,5
R-452A	85
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	103
Total HFC	361
R-717	5,8
R-744	58
Total Autres	64
Total général	441

### 5.3.2.2. Besoin pour la maintenance

La tendance à la baisse des facteurs d'émissions permet d'observer des quantités nécessaires à la maintenance relativement stables, autour de 200 tonnes par an, pour l'ensemble du secteur du transport frigorifique malgré une croissance de la banque, les taux d'émissions des conteneurs étant particulièrement bas.



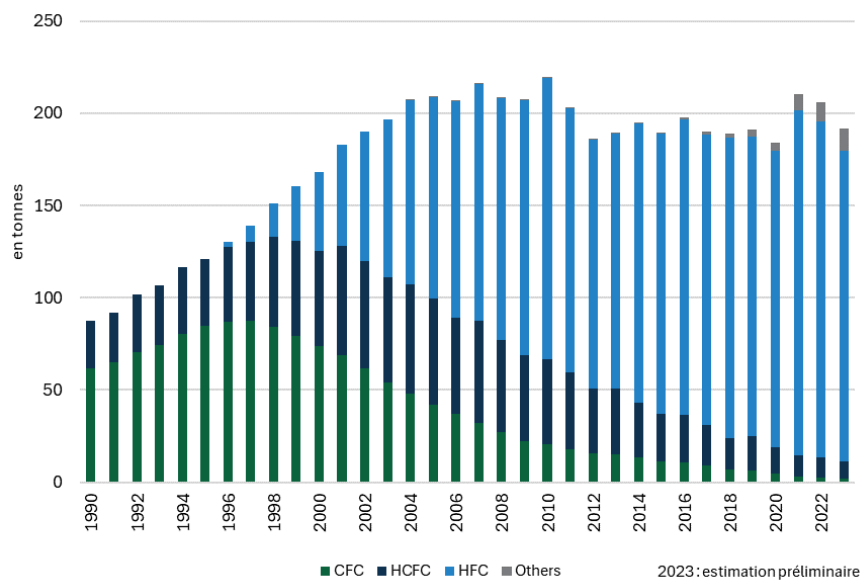


Tableau 52 – Quantités pour la maintenance 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-12	2,6
Total CFC	2,6
R-22	11
Total HCFC	11
R-134a	117
R-404A - R507 (PRG~3950)	21
R-410A	0,4
R-452A	21
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	22
Total HFC	182
R-717	0,04
R-744	10
Total Autres	10
Total général	206

Figure 61 - Besoin pour la maintenance dans le secteur du transport frigorifique

### 5.3.3. Emissions

#### 5.3.3.1. Emissions totales

Le niveau 2022 des émissions totales dues à l'ensemble du secteur du transport frigorifique est estimé à environ 471 tonnes de fluides frigorigènes (Tableau 53) dont plus de 80 % proviennent du transport maritime. Les émissions 2022 sont dominées à 83 % par les HFC.

Contrairement à la banque qui est en augmentation régulière, on constate une stabilité des émissions du secteur (Figure 62), en lien avec la baisse des taux d'émission fugitifs des équipements, les émissions fugitives représentant 91% des émissions totales du secteur.

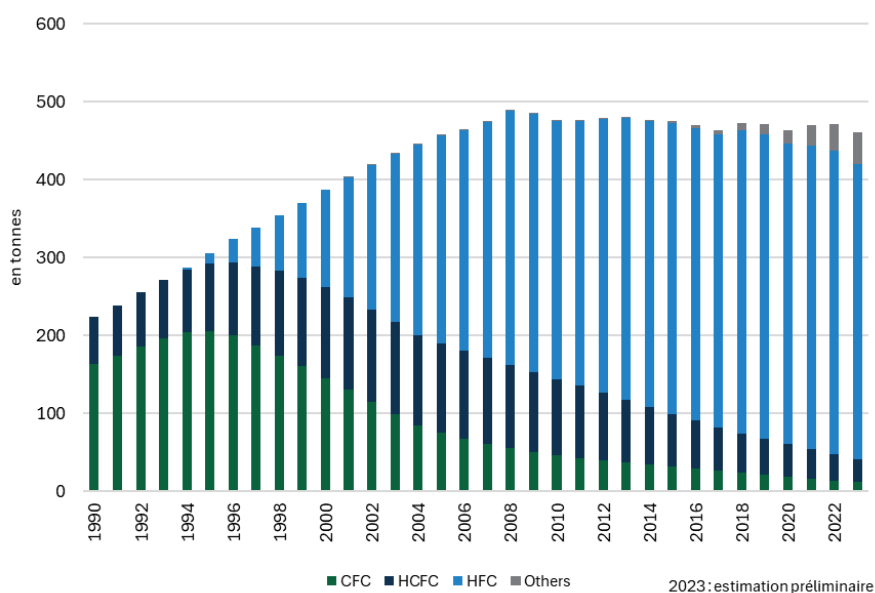


Figure 62 - Emissions totales du transport frigorifique

Tableau 53 – Emissions totales 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-12	14
Total CFC	14
R-22	34
Total HCFC	34
R-134a	243
R-404A - R507 (PRG~3950)	30
R-410A	0,7
R-452A	49
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	65
Total HFC	389
R-717	1,4
R-744	33
Total Autres	34
Total général	471

### 5.3.3.2. Emissions totales en CO<sub>2</sub> équivalent

Alors qu'elles culminaient à près de 2 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> dans les années 1995, les émissions du transport frigorifique représentent environ 770 milliers de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2022 grâce à l'introduction des nouveaux réfrigérants et à la baisse des taux d'émissions fugitives (Figure 63). Ce secteur étant traité au niveau international et les navires du transport maritime ayant des durées de vie élevées, ce secteur comporte encore une banque de CFC, qui, bien que très faible, se démarque ici lorsque les émissions sont converties en CO<sub>2</sub> équivalent, le R-12 ayant un PRG de 10 200 (AR5).

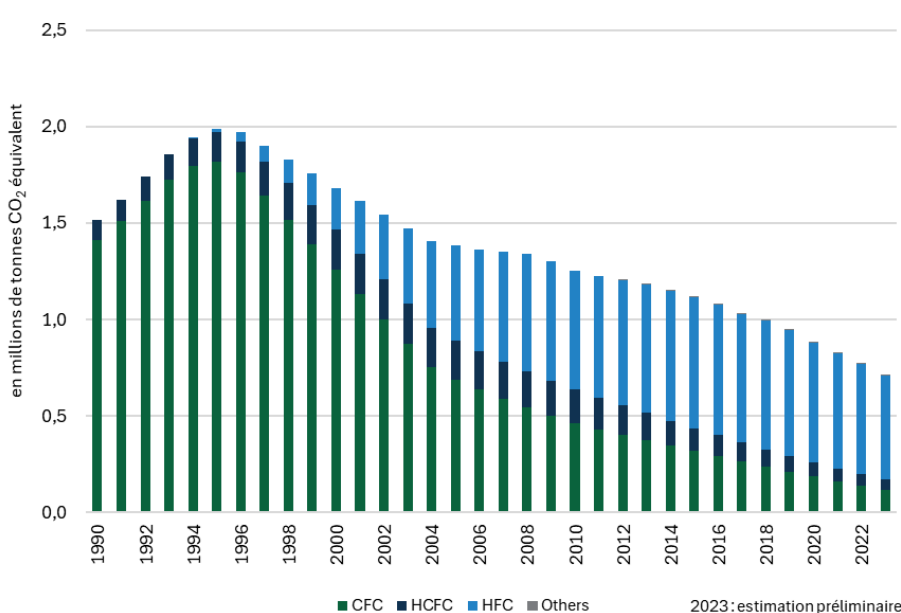


Figure 63 - Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes du transport frigorifique (millions de tonnes)

Tableau 54 – Emissions totales en CO<sub>2</sub>e 2022

Fluide frigorigène	2022 (en ktCO <sub>2</sub> e)
R-12	139
Total CFC	139
R-22	59
Total HCFC	59
R-134a	316
R-404A - R507 (PRG~3950)	120
R-410A	1,4
R-452A	96
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	37
Total HFC	570
R-744	0,03
Total Autres	0,03
Total général	769

# 6

## Froid industriel

## 6.1. Introduction

Le secteur du froid industriel inclut principalement les installations centralisées de l'industrie agroalimentaire et celles dédiées au refroidissement de certains procédés industriels : chimie, pharmacie et caoutchouc. Il est considéré que le refroidissement des data centers est assuré au moyen de groupes refroidisseurs à eau et est déjà comptabilisé dans le secteur des chillers. Plus généralement, une partie du froid industriel utilise des chillers pour assurer le refroidissement d'une partie du processus de production.

Le secteur du froid industriel est marqué d'une forte confidentialité et peu d'informations sont disponibles ou communiquées pour permettre d'améliorer l'estimation de ce secteur ou vérifier l'exhaustivité des procédés à prendre en compte, en particulier sur les applications des procédés industriels (chimie, pharmacie).

### Applications prises en compte

Ce secteur est décomposé en 10 sous-secteurs :

- l'industrie agroalimentaire de la viande ;
- l'industrie agroalimentaire du lait ;
- Brasserie et industrie du vin ;
- les autres industries agroalimentaires, regroupées pour cet inventaire mais qui pourront être décomposées ultérieurement ;
- les entrepôts réfrigérés ;
- l'industrie chimique ;
- l'industrie pharmaceutique ;
- l'industrie du caoutchouc ;
- Les patinoires ;
- Les tanks à lait.

### Modes de charge

Les installations centralisées des entreprises agroalimentaires, entrepôts et procédés industriels sont chargées sur site.

### Modes de maintenance

Les installations de froid industriel ont, le plus souvent, des charges élevées, rendant, en pratique, obligatoires plusieurs contrôles d'étanchéité par an. Il est considéré, dans les hypothèses du modèle, qu'une opération annuelle de maintenance a lieu, au cours de laquelle les quantités rechargées correspondent aux quantités perdues par émissions fugitives la même année.

### Durée de vie moyenne

Les installations de froid industriel ont des durées de vie élevées, considérées de 20 ans en moyenne. Une courbe de durée de vie est construite de façon à prendre en compte une variabilité des durées de vie au sein d'un même millésime d'équipements.

## 6.2. Données et hypothèses

### 6.2.1. Données d'activités

Pour les grandes installations de froid industriel, les besoins en froid peuvent être estimés à partir des productions et de ratios caractéristiques [Ref 7] :

- le ratio de charge en fluide frigorigène par kW (kg/kW) pour les systèmes à détente directe et pour les installations indirectes, en froid positif et en froid négatif ; ces ratios dépendent des systèmes et sont considérés communs à l'ensemble du froid industriel ;
- le ratio de puissance frigorifique nécessaire par tonnage produit (kW/t) ; ce ratio est propre à chaque sous-secteur de l'industrie agroalimentaire ou des procédés industriels et doit être affiné par l'enquête de terrain ;
- la part des systèmes indirects sur l'ensemble des installations (kW indirect/kW total) ;

Ces ratios varient au cours du temps et permettent ainsi de prendre en compte la tendance à la réduction des charges moyennes et la pénétration croissante des systèmes indirects.

#### 6.2.1.1. Marchés et productions

- [Industrie Agroalimentaire \(IAA\)](#)

Les productions agroalimentaires sont estimées à partir des publications de la base de données de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) [Ref 31]. Celles-ci sont mises à jour avec un certain délai et présentent 1 à 3 ans de décalage par rapport à l'année en cours, selon les productions.

Les productions agroalimentaires prises en compte sont celles de la viande, du lait et produits laitiers ainsi que les autres productions agroalimentaires (surgelés, poisson, chocolat, brasseries, etc.). Dans l'attente de données complémentaires plus détaillées, les productions agroalimentaires autres que celles de la viande et du lait ont été rassemblées en un seul sous-secteur « autres productions ».

- [Tanks à lait](#)

Le marché des tanks à lait (ou refroidisseurs à lait) a été reconstitué à partir des données anciennes d'inventaire [Ref 7] et, depuis 2020 des données fournies par le groupe Serap [Ref 51].

- [Entrepôts réfrigérés](#)

Les entrepôts frigorifiques sont distincts, dans le calcul, de l'industrie agroalimentaire même si une partie des entrepôts est utilisé par l'IAA (8 % en 2010).

Tableau 55 – Répartition des surfaces d'entrepôts frigorifiques en France – Insee 2012

	en milliers de m <sup>2</sup>			
	Ensemble	Température		
		Positive	Négative	Mixte*
<b>Ensemble</b>	<b>11 648</b>	<b>6 501</b>	<b>1 026</b>	<b>4 120</b>
<b>IAA (yc agriculture)</b>	925	438	299	187
<b>Industrie</b>	931	867	0	64
<b>Commerce</b>	4 337	2 197	99	2 041
<b>Transports et entreposage (yc conditionnement)</b>	4 943	2 591	628	1 724
<b>Autres services</b>	512	408	0	104

Source : SOeS, enquête entrepôts 2010

\* Température mixte : à la fois positive et négative.

De même que pour l'industrie agroalimentaire, la donnée d'activité nécessaire au calcul est composée de la connaissance des surfaces totales et de différents ratios permettant d'aboutir à un ratio de charge moyen en kg/m<sup>3</sup> entreposé.

Il est considéré que la part des entrepôts ayant du froid négatif est d'environ 44 % (d'après le Tableau 55, Insee 2012).

Le niveau 2021 de la capacité d'entreposage frigorifique en France est estimé à 21 millions de m<sup>3</sup> réfrigérés d'après les données de l'USNEF (Union Syndicale Nationale des Exploitations Frigorifiques).

- Patinoires

Le marché des systèmes frigorifiques des patinoires est estimé à partir de l'évolution du parc fourni par le Syndicat des patinoires en tenant compte d'un renouvellement tous les 15 ans.

- Procédés industriels

Cette catégorie inclut les sous-secteurs des procédés de l'industrie chimique, pharmaceutique et du caoutchouc. Les productions de l'industrie chimique et pharmaceutique sont marquées d'une forte incertitude et en attente de données complémentaires.

## 6.2.1.2. Charge nominale

Dans le cas du froid industriel, la charge installée est estimée à partir de plusieurs ratios de charge [Ref 7].

On peut résumer l'ensemble de ces ratios à deux principaux :

- Un **ratio de charge** « équivalent », en kg/kW prenant en compte :
  - les caractéristiques générales des systèmes à détente directe et des systèmes directs pour le froid positif et le froid négatif ;
  - la part du froid négatif dans la puissance totale (dans le cas de l'industrie laitière, par exemple, cette part est de 20 %) et l'évolution tendancielle de la part des systèmes indirects, propre à chaque type d'industrie agroalimentaire
- Un **ratio** traduisant le besoin en froid pour la **production**, en kW/t, caractéristique du procédé.

Concernant l'industrie agroalimentaire, les entrepôts et les procédés industriels, les charges sont évaluées à partir du besoin en froid nécessaire à la production, exprimé en kW. Plusieurs ratios sont considérés, basés sur les précédentes études d'inventaires. Ces ratios, bien qu'issus d'enquêtes de terrain anciennes sont considérés constants excepté la part des système indirects en croissance.

Tableau 56 – Ratios frigorifiques caractéristiques par application

APPLICATION	VIANDE	LAIT	AUTRES	ENTREPOTS
Besoin frigorifique pour la production (kW/t ou kW/m <sup>3</sup> )	0,44	0,013	0,018	0,032
Part de froid négatif	30%	20%	0%	40%

La figure suivante montre l'évolution du ratio de charge (kg/kW) dans le cas de l'industrie laitière.

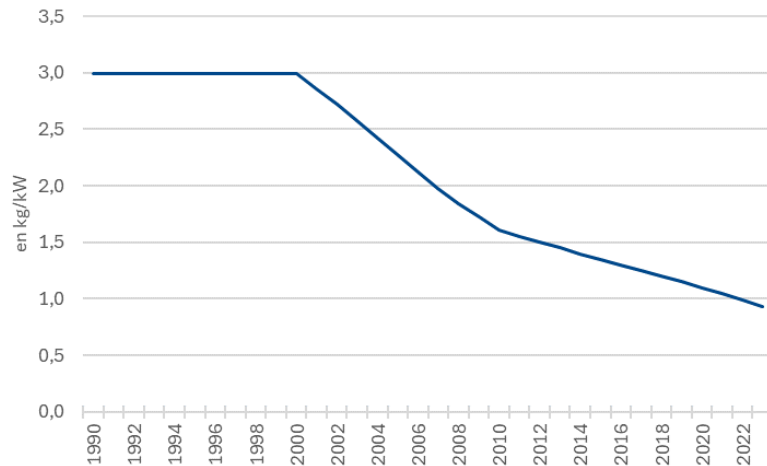


Figure 64 Ratio de charge équivalent – Exemple de l'industrie laitière

Les niveaux de charge des systèmes frigorifiques utilisés dans les patinoires sont issus des enquêtes d'inventaires antérieures [Ref 7] et dépendent du fluide utilisé. En 2022, une charge moyenne de 300 à 500 kg/ installation, selon le fluide utilisé, est prise en compte.

Pour les tanks à lait, la charge dépend de la puissance du compresseur installé et varie de 2 à 8kg par circuit [Ref 52]. Actuellement, les refroidisseurs à lait mis sur le marché sont équipés de 2 circuits : pour les cuves de 8 000 litres, il s'agit de 2 circuits de 3kg de charge ; pour les cuves de 15 000 litres, de deux circuits de 8 kg de charge (au R-449A), selon le groupe Serap [Ref 51].

### 6.2.1.3. Fluides frigorigènes utilisés

Les principaux fluides frigorigènes utilisés en **agroalimentaire** ont été, historiquement le CFC-12 et, plus largement le HCFC-22. A partir de 1995, le R-404A a progressivement remplacé le R-22 pour être le seul HFC utilisé de 2000 à 2008. Depuis 2008, l'introduction des systèmes de type cascade R-134a/CO<sub>2</sub> est pris en compte, et plus récemment, celle des systèmes CO<sub>2</sub> trans-critiques. La tendance est la même pour les **entrepôts frigorifiques**. L'ammoniac (R-717) a toujours été fortement utilisé en agroalimentaire.

A la suite des écarts observés entre le marché de R-404A déclaré et la demande reconstituée par le calcul, la généralisation de la correction apportée à l'industrie laitière aux autres secteurs a été corrigée (par exemple Figure 64), de façon à conserver une répartition plus équilibrée entre l'ammoniac et le R-404A sur l'historique. La part de R-717 reste croissante depuis 2018 dans les nouvelles installations.

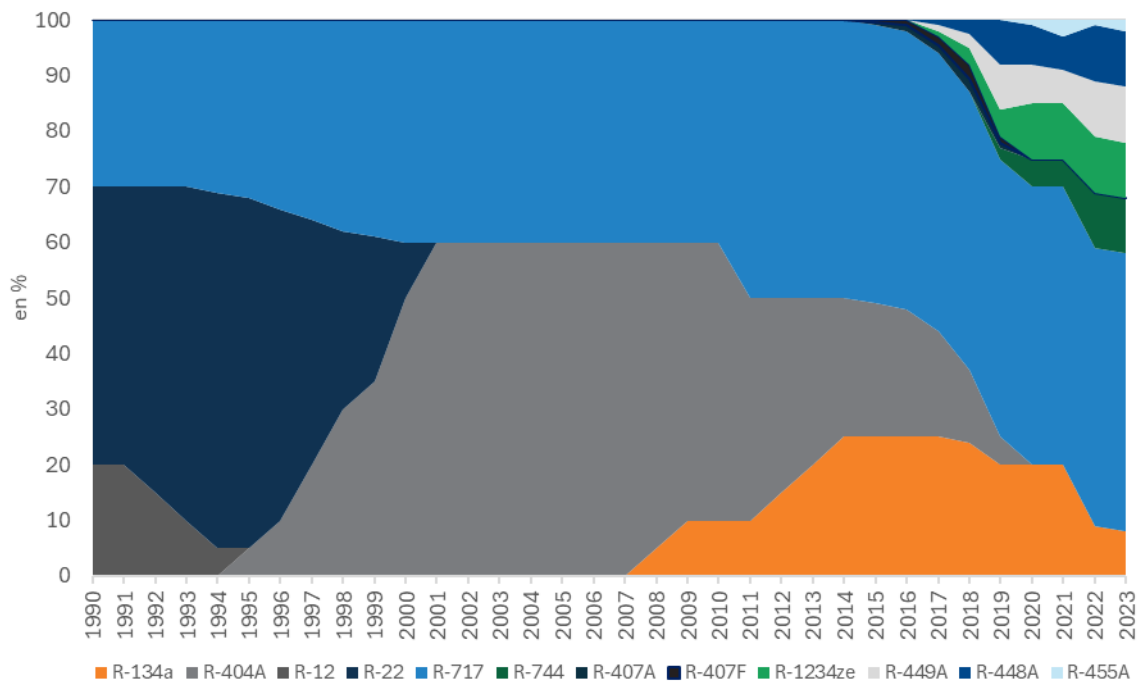


Figure 65 Evolution des réfrigérants utilisés dans les installations neuves de l'industrie de la viande

Concernant le sous-secteur des **tanks à lait**, le R-404A a été le principal fluide frigorigène utilisé. Depuis 2017 on assiste à une transition vers le R-449A [Ref 51].

Pour le sous-secteur des **patinoires**, le R-134a a longtemps été utilisé, notamment pour les patinoires mobiles. En 2022, il est considéré que 42% des patinoires utilisent le R-134a et que le reste des nouvelles installations utilise le R-448A, R-449A ou l'ammoniac.

#### 6.2.1.4. Durée de vie

Les courbes ont été établies autour de la durée de vie moyenne de l'installation frigorifique, estimée à 20 ans pour le froid industriel (Figure 4).

### 6.2.2. Facteurs d'émissions

#### 6.2.2.1. A la charge

Les hypothèses de facteurs d'émissions à la charge des installations sont issues des Lignes directrices du GIEC ([Ref 24], [Ref 12]).



Tableau 57 – Facteur d’émission à la charge des installations de froid industriel

SOUS-SECTEUR	1990	2022
Patinoires	5,0%	3,0%
Tanks à lait	5,0%	3,0%
Industrie pharmaceutique	5,0%	2,5%
Industrie du caoutchouc	5,0%	2,5%
Autres (dont agroalimentaire et entrepôts)	5,0%	1,0%

## 6.2.2.2. Fugitif

Les facteurs d’émissions à l’usage pour le secteur du froid industriel sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 58 – Facteurs d’émissions fugitives par application du froid industriel

SOUS-SECTEUR	TAUX D’EMISSION A LA CHARGE EN 1990	TAUX D’EMISSION A LA CHARGE EN 2022
Industrie de la viande	15%	7,0%
Industrie du lait	15%	7,0%
Brasserie et industrie du vin	15%	10%
Autres industries agroalimentaires	15%	10%
Entrepôts	15%	11%
Industrie chimique	15%	10%
Industrie pharmaceutique	15%	12%
Industrie du caoutchouc	100%	14%
Patinoires	15%	7,7%
Tanks à lait	15%	7,6%

- **Industries agroalimentaires et entrepôts** : sur la base des hypothèses des anciennes études d’inventaires [Ref 7], les taux d’émissions fugitives sont supposés de 15 % jusqu’en 2005. A la suite de l’enquête de terrain, les facteurs d’émission fugitifs de l’industrie agroalimentaire ont été revus à la baisse, depuis 2010, et suivent une courbe de décroissance en S.
- **Procédés industriels** : excepté dans le cas de l’industrie du caoutchouc où les quantités utilisées pour la maintenance ont été régulièrement communiquées et les taux d’émissions élevés (jusqu’à 100 % en 2005), les taux d’émissions fugitives sont supposés de l’ordre de 10 % à 14% en 2022, faute de communication plus précise, et en légère décroissance depuis 2009.

### 6.2.2.3. A la maintenance

L'évolution du taux d'émission à la maintenance pour le secteur du froid industriel est donnée sur la figure ci-dessous. Il prend en compte l'amélioration des pratiques depuis 2005.

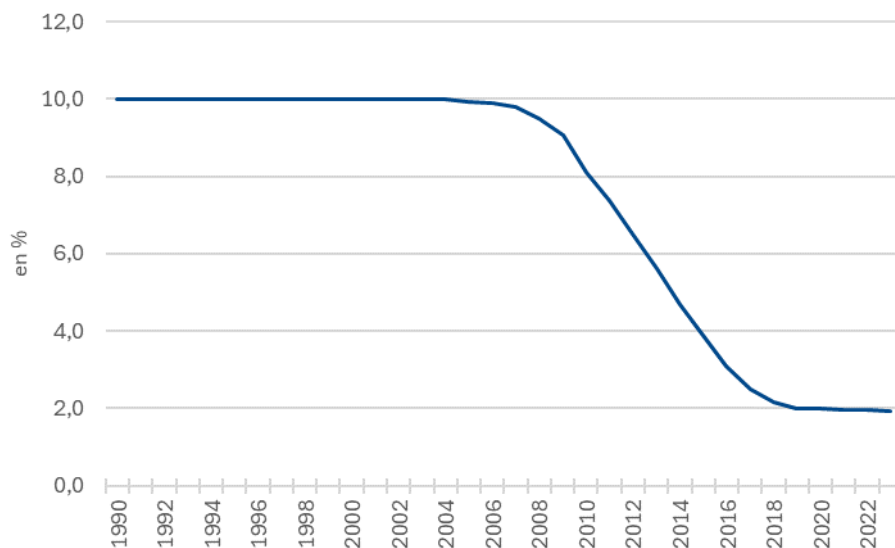


Figure 66 - Taux d'émission à la maintenance - Froid industriel

### 6.2.2.4. En fin de vie

Les émissions en fin de vie des équipements dépendent des quantités présentes dans l'équipement au moment de son démantèlement et d'un facteur d'émission fin de vie traduisant l'efficacité des filières de récupération. Pour tous les secteurs, la charge réelle de l'équipement est calculée au cours de sa durée de vie, tenant compte des occurrences de maintenance, permettant de ne pas surestimer les émissions de fin de vie.

- **Industries agroalimentaires** : sur la base des hypothèses des anciennes études d'inventaires [Ref 7], le début de la récupération en fin de vie est pris en compte à partir de 1993, pour atteindre 80 % en 2005 et 95 % en 2013, en considérant que la majorité des installations sont classées ICPE (Installations Classées Pour l'Environnement).
- **Entrepôts** : sur la base des hypothèses des anciennes études d'inventaires [Ref 7], le début de la récupération en fin de vie est pris en compte à partir de 1993, pour atteindre 70 % en 2005 et 80 % en 2013, et plus de 90 % en 2022.
- **Procédés industriels** : dans ce secteur, les entreprises sont classées ICPE (Installations Classées Pour l'Environnement) et les installations sont entretenues de façon très stricte, ce qui explique les taux d'émissions de fin de vie particulièrement bas, considérés de 5 % depuis 2013.

Tableau 59 – Facteurs d’émissions en fin de vie des équipements du froid industriel

SOUS-SECTEUR	1990	2022
Industrie de la viande	100%	5,0%
Industrie du lait	100%	5,0%
Brasserie et industrie du vin	100%	5,0%
Autres industries agroalimentaires	100%	5,0%
Entrepôts	100%	8,5%
Industrie chimique	100%	5,0%
Industrie pharmaceutique	100%	5,0%
Industrie du caoutchouc	100%	5,0%
Patinoires	100%	19,0%
Tanks à lait	100%	41,0%

## 6.3. Résultats

Cette partie présente les [résultats du froid industriel hors chillers](#). Ceux-ci sont présentés de façon indépendante, dans le chapitre suivant. Il est considéré que deux tiers des chillers peuvent être attribués au froid industriel. Une enquête a démarré auprès des adhérents d’uniclima mais la participation n’est pas encore suffisamment significative pour pouvoir vérifier si cette hypothèse de répartition sectorielle des chillers est toujours correcte. L’enquête sera poursuivie l’an prochain.

### 6.3.1. Banque

La banque du froid industriel est estimée à près de 9 400 tonnes en 2022, constituée à 62 % d’HFC, bien que le secteur agroalimentaire soit fortement utilisateur d’ammoniac. L’enquête de terrain a montré une part importante d’utilisation de l’ammoniac sur le parc d’installations et étant donnée l’interdiction d’utilisation du R-404A dans les installations neuves à partir de 2022, l’ammoniac est largement utilisé dans les nouvelles installations. La banque d’ammoniac s’est accrue et représente 36 % de la banque totale du froid industriel en 2022.

D’un point de vue sectoriel, l’industrie chimique et les industries agro-alimentaires représentent environ un quart chacune de la banque du froid industriel en 2022 (27% et 23% respectivement), puis viennent les entrepôts avec 17%.

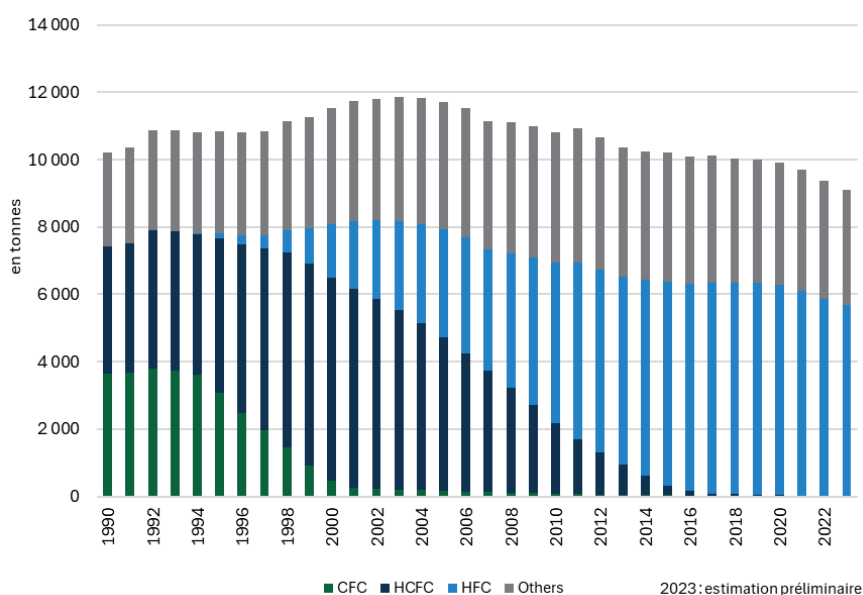


Figure 67 - Banque de fluide dans le secteur du froid industriel

Tableau 60 – Banque de fluide 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-11	8,2
Total CFC	8,2
R-22	10
Total HCFC	10
R-134a	2 244
R-404A - R507 (PRG~3950)	1 514
R-407A	81
R-407F	110
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	231
R-448A - R-449A (PRG~1300)	1 013
R-454C - R-455A (PRG~150)	9,5
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	545
Total HFC hors HFO	5 748
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	103
Total HFC	5 852
R-717	3 393
R-744	104
Total Autres	3 497
Total général	9 368

## 6.3.2. Demande

### 6.3.2.1. Besoin pour les équipements neufs

La demande pour les nouvelles installations du secteur du froid industriel est dominée en 2022 par l'ammoniac (40 %), principalement utilisé en industrie agroalimentaire et entrepôts, alors que le R-134a passe en seconde position cette même année (25 %), principalement utilisé dans les procédés industriels.

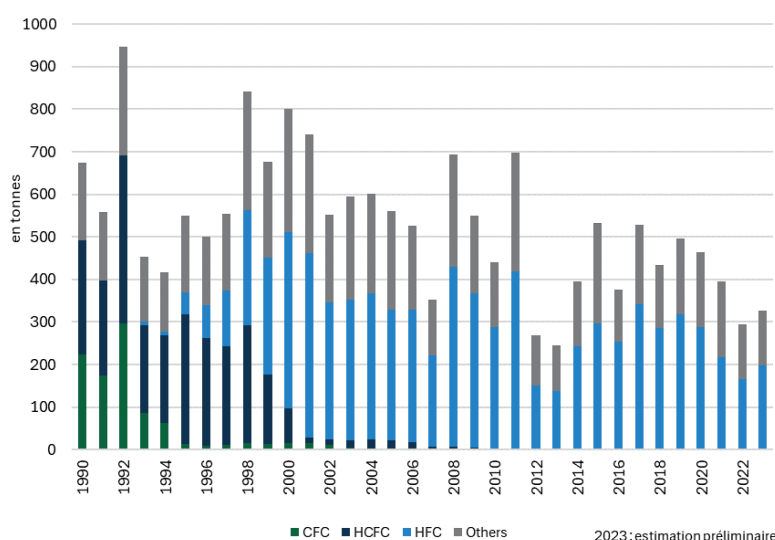


Figure 68 - Besoin en fluides frigorigènes pour les installations neuves du froid

### industriel

Tableau 61 – Charge sur site 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	69
R-407F	0,6
R-448A - R-449A (PRG~1300)	30
R-454C - R-455A (PRG~150)	2,6
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	35
Total HFC hors HFO	138
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	28
Total HFC	166
R-717	116
R-744	11
Total Autres	128
Total général	294

### 6.3.2.2. Besoin pour la maintenance

On observe une diminution des quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur du froid industriel du fait de la réduction des taux d'émissions et d'une tendance décroissante de la banque (Figure 69). Par ailleurs, l'usage de l'ammoniac tend à réduire les taux d'émissions puisque l'ammoniac permet leur détection plus rapidement. En 2022, on estime que 64 % des quantités demandées pour la maintenance sont des HFC, soit un peu plus de 600 tonnes, le reste est principalement de l'ammoniac (environ 330 tonnes).

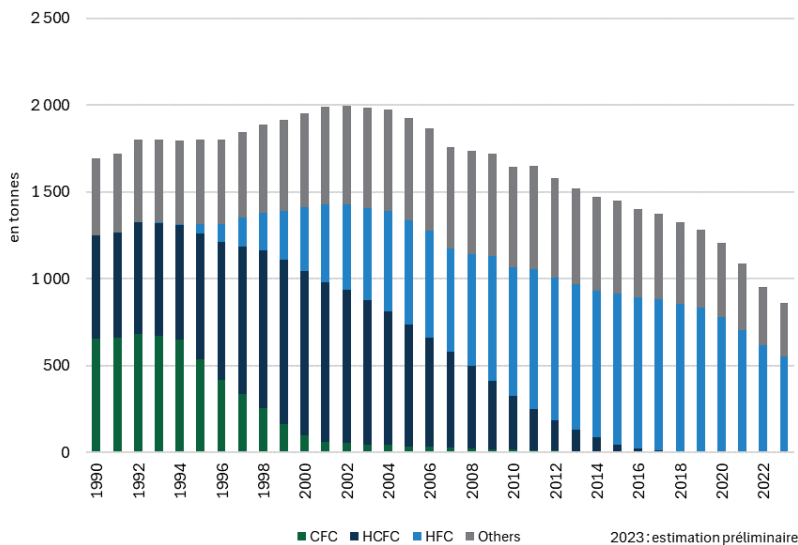


Figure 69 - Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur du froid industriel

Tableau 62 – Quantités pour la maintenance 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-11	1,0
Total CFC	1,0
R-22	0,7
Total HCFC	0,7
R-134a	254
R-404A - R507 (PRG~3950)	146
R-407A	8,1
R-407F	11
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	24
R-448A - R-449A (PRG~1300)	99
R-454C - R-455A (PRG~150)	1,0
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	61
Total HFC hors HFO	605
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	10
Total HFC	615
R-717	326
R-744	11
Total Autres	337
Total général	954

### 6.3.2.3. Besoin pour le retrofit

Depuis 2018, du fait des approches d'interdiction d'usage des fluides frigorigènes de PRG supérieur à 2500, pour la maintenance puis pour les installations neuves, de nombreux retrofits sont mis en œuvre. La demande pour le retrofit est élevée, évaluée à 300 tonnes de HFC en 2022.

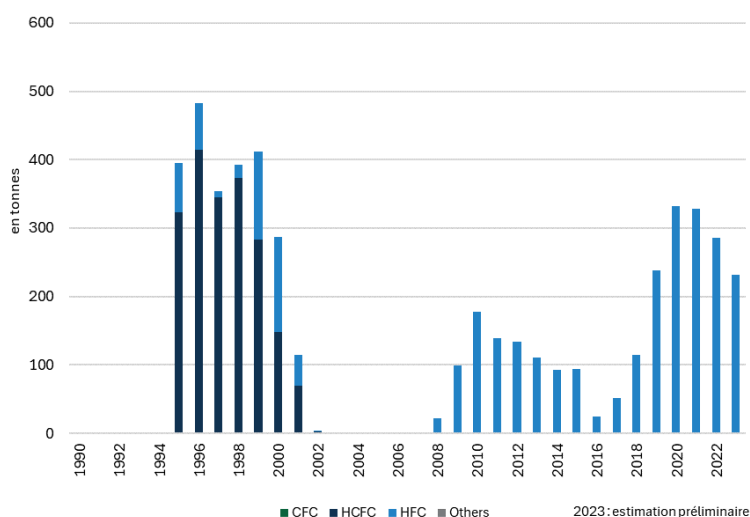


Figure 70 - Besoin pour le retrofit dans le secteur du froid industriel

Tableau 63 – Besoin retrofit 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-448A - R-449A (PRG~1300)	196
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	90
Total HFC	286
Total général	286

## 6.3.3. Emissions

### 6.3.3.1. Emissions totales

Les émissions totales du secteur du froid industriel sont estimées à 1 035 t, à 97 % constituées des émissions fugitives du parc des installations. Les taux d'émissions des installations utilisant de l'ammoniac sont plus bas étant données les mesures de sécurité liées à ce type d'installation. A l'image de la banque, les émissions ont tendance à décroître, d'autant plus que les taux d'émissions ont tendance à baisser depuis 2000 et la récupération en fin de vie à être très élevée, une large part des installations étant classées pour l'environnement (ICPE).

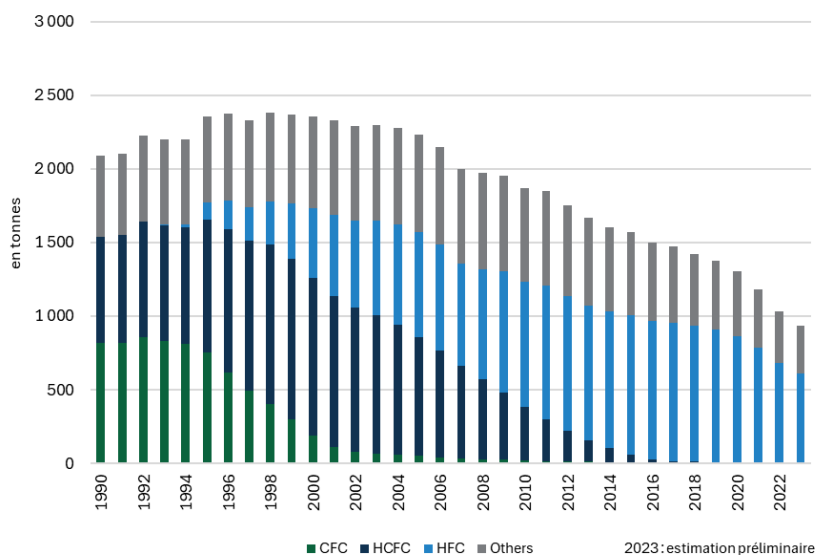


Figure 71 - Emissions totales du froid industriel

Tableau 64 – Emissions totales 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-11	1,1
R-12	0,1
Total CFC	1,1
R-22	2,0
Total HCFC	2,0
R-134a	280
R-404A - R507 (PRG~3950)	166
R-407A	8,6
R-407F	11
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	28
R-448A - R-449A (PRG~1300)	106
R-454C - R-455A (PRG~150)	1,1
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	68
Total HFC hors HFO	668
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	12
Total HFC	680
R-717	341
R-744	11
Total Autres	352
Total général	1 035

### 6.3.3.2. Emissions totales en CO<sub>2</sub> équivalent

Alors qu'elles culminaient aux environs de 10 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> dans les années 1990, les émissions de fluides frigorigènes du froid industriel ne représentent plus que 1,3 million de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2022. La tendance décroissante de la banque, sa forte proportion d'ammoniac et la baisse des taux d'émission sont l'explication de cette tendance. Cette tendance est plus significative depuis 2018 étant donné l'arrêt d'utilisation du R-404A dans les installations neuves depuis 2020 et une généralisation de l'utilisation de fluides à PRG plus faibles, avec une part croissante de l'ammoniac (Figure 72).

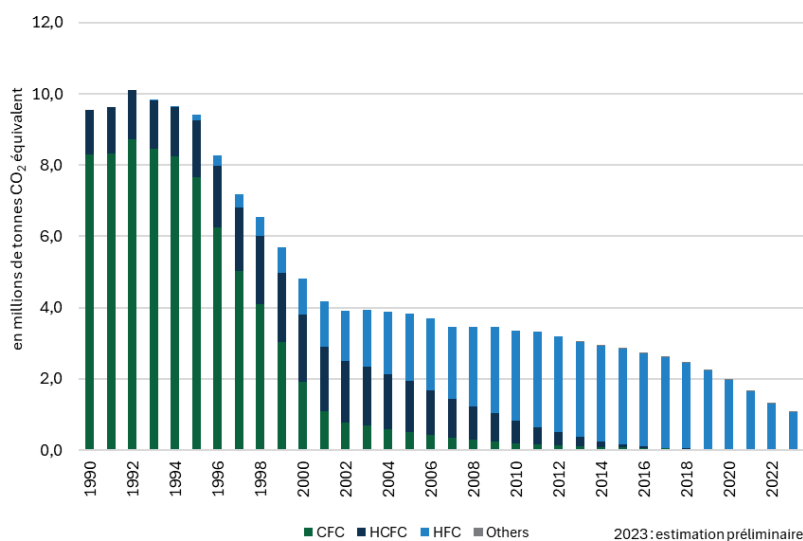


Tableau 65 – Emissions totales en CO<sub>2</sub>e 2022

Fluide frigorigène	2022 (en ktCO <sub>2</sub> e)
R-11	9,8
R-12	0,7
Total CFC	11
R-22	3,5
Total HCFC	3,5
R-134a	364
R-404A - R507 (PRG~3950)	655
R-407A	16
R-407F	18
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	65
R-448A - R-449A (PRG~1300)	136
R-454C - R-455A (PRG~150)	0,2
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	39
Total HFC hors HFO	1 292
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	0,01
Total HFC	1 292
R-744	0,01
Total Autres	0,01
Total général	1 306

Figure 72 - Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes du froid industriel (millions de tonnes)

D'un point de vue sectoriel, l'industrie chimique représente 35% des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes du froid industriel, les entrepôts environ 15% et l'agroalimentaire 42 % dont 12% pour l'industrie de la viande et 4% pour l'industrie du lait.



# Groupes refroidisseurs à eau (GRE)



# 7.1. Introduction

## Applications prises en compte

- Ce secteur est décomposé en quatre types de groupes refroidisseurs d'eau, distincts par leurs technologies de compresseurs et niveaux de puissance. On distingue d'une part les chillers à compresseurs centrifuges et, d'autre part, les chillers à compresseurs volumétriques que l'on choisit de diviser en trois sous-groupes en fonction de la puissance :
- Petite puissance (< 50 kW) ;
- Moyenne puissance (50 < P < 350 kW) ;
- Forte puissance (> 350 kW).

## Modes de charge

Les groupes refroidisseurs à eau chargés d'usines, ils font partie des équipements dits pré-chargés.

## Modes de maintenance

Il n'y a pas de maintenance annuelle pour ces équipements qui subissent une opération de maintenance dès lors que la quantité de fluide réfrigérant contenue est en deçà d'un certain seuil. Par ailleurs, ces équipements ne nécessitent pas de décharge complète du fluide pendant la maintenance. Ces pratiques sont prises en compte dans les calculs des émissions liées à la maintenance des équipements. Les différentes hypothèses retenues, après entretiens avec des fabricants et experts du secteur [Ref 32] par équipement sont listées ci-dessous.

Tableau 66 - Rythme de maintenance des Chillers

SOUS-SECTEUR	RYTHME DE MAINTENANCE	SEUIL
Chillers P < 50 kW	Selon seuil	90%
Chillers 50 < P < 350 kW	Selon seuil	90%
Chillers P > 350 kW	Selon seuil	90%
Chillers à compresseur centrifuge	Selon seuil	95%

## Durée de vie moyenne

La durée de vie moyenne des équipements provient des rapports d'inventaire d'émissions de fluides frigorigènes [Ref 7]. Des échanges récents avec la profession pourraient conduire à faire évoluer ces valeurs, notamment pour les chillers de moyenne puissance dont la durée de vie pourrait se rapprocher de 20 ans. Le tableau suivant récapitule les valeurs prises en compte pour l'inventaire.

Tableau 67 - durée de vie moyenne des chillers

SOUS-SECTEUR	DUREE DE VIE
Chillers P < 50 kW	15 ans
Chillers 50 < P < 350 kW	15 ans
Chillers P > 350 kW	20 ans
Chillers à compresseur centrifuge	25 ans

## 7.2. Données et hypothèses

### 7.2.1. Données d'activités

#### 7.2.1.1. Marchés et productions

##### MARCHES

Le syndicat Uniclimate dispose de données détaillées de marchés par fine gamme de puissance pour les chillers ainsi que des informations sur les fluides frigorigènes utilisés. Ces données sont communiquées chaque année par Uniclimate [Ref 33] au Citepa, ce qui permet d'avoir une vision très précise du marché. Le marché Uniclimate est corrigé de 8 % pour tenir compte du fait que tous les acteurs du marché ne sont pas adhérents à la fédération.

Les marchés sont communiqués pour trois types de chillers à compresseur volumétrique (condensation à eau, condensation à air et condensation par ventilateur centrifuge) et par gamme de puissance (P < 7 kW ; 7 < P < 17,5 kW ; 17,5 < P < 50 kW ; 51 < P < 100 kW ; 101 < P < 200 kW ; 201 < P < 350 kW ; 351 < P < 500 kW ; 501 < P < 700 kW ; 701 < P < 900 kW ; P > 900 kW) permettant d'avoir des informations fines sur ce parc d'équipements en France.

Les marchés des compresseurs centrifuges proviennent des rapports d'inventaires de fluides frigorigènes [Ref 7]. Celui-ci se situe autour des 50 unités par an depuis le début des années 2000.

Les marchés « historiques » (avant 2002) des chillers à compresseur volumétrique ont été reconstitués à partir :

- des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes pour l'année 2002 (2001 étant estimé par la moyenne des marchés entre 2000 et 2002) [Ref 7] ;
- du rapport RTOC 2002 pour l'année 1999 ;
- d'hypothèses sur le début du marché des chillers en France (pris en 1970) et le taux d'accroissement (supposé linéaire entre 1970 et 1999).
- Les marchés des compresseurs centrifuges ont été estimés à l'aide des rapports d'inventaires des fluides frigorigènes pour 2000 et 2001 [Ref 7].

##### PRODUCTIONS

Les chillers sont chargés en usine. La donnée d'activité à prendre en compte pour le calcul des émissions à la charge est donc le nombre d'équipements produits par an.

Les productions annuelles par gamme de puissance en France ne sont pas collectées par une fédération. Par conséquent, ces valeurs sont estimées à partir de communications confidentielles, le plus souvent anciennes et pour

une année donnée. Des ratios entre productions d'équipements et marchés sont établis et appliqués sur les autres années. Ces données sont marquées d'une forte incertitude mais n'impactent, en termes d'émissions, que les émissions à la charge.

### 7.2.1.2. Charge nominale

La charge moyenne des chillers est calculée en moyenne pondérée par les marchés à partir d'un ratio de charge exprimé en kg de fluide frigorigène par unité de puissance.

$$Charge\ moyenne(i) = \sum Marché_{(i)} * Ratio\ de\ charge_{(i)} * Puissance(i) / Puissance\ totale$$

Ces ratios de charge ont été communiqués par des fabricants d'équipements et sont parfois distincts par fluide.

**Tableau 68 – Ratios de charge par gamme de chillers en 2022**

SOUS-SECTEUR	RATIO KG/KW
Chillers P < 50 kW	0,26
Chillers 50 < P < 350 kW	0,18
Chillers P > 350 kW	0,18
Chillers à compresseur centrifuge	0,30

### 7.2.1.3. Fluides frigorigènes utilisés

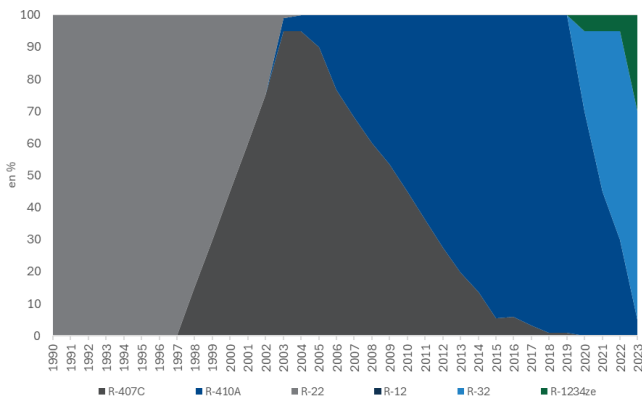
Pour répondre aux contraintes du « phasedown » imposé par la réglementation (UE) N°517/2014, le R 1234ze et le R-32 ont été progressivement introduits sur les différentes gammes de chillers en remplacement du R-134a et du R-410A, respectivement. Depuis 2022, les parts des fluides frigorigènes à bas PRG deviennent très significatives et, les chillers centrifuges sont passés, pour la quasi-totalité, aux HFO.

Pour les chillers à compresseur volumétrique, l'évolution des fluides frigorigènes (Figure 73) utilisés dans les équipements a été reconstituée à partir des données sur les réfrigérants communiquées par Uniclimate pour les années depuis 2002 [Ref 33] et des rapports du RTOC [Ref 44].

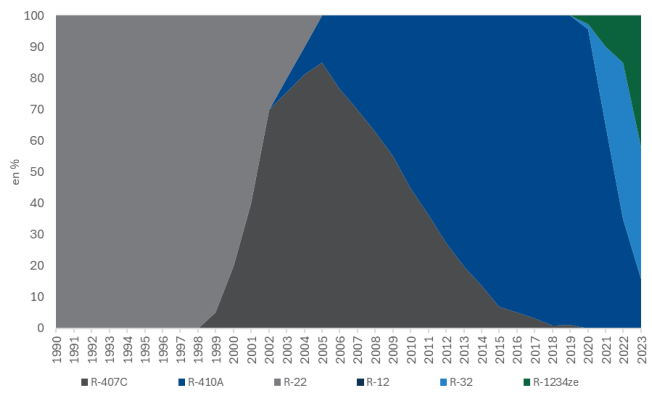
Pour les chillers de forte puissance, il a été pris en compte un arrêt de la production des équipements avec du R-22 à partir de 2000, et, pour les chillers de faible et moyenne puissance, à partir de 2003. Les réfrigérants de remplacement dans la gamme des petites et moyennes puissances ont été le R-407C et le R 410A, alors que le R-134a a été utilisé pour les chillers de forte puissance en plus du R-407C. La répartition des parts de marchés entre le R-407C et le R 410A a été établie en fonction des informations fournies par Uniclimate. Aujourd'hui, le R-32 est utilisé surtout dans les chillers de petites puissances <17,5kW et un peu dans la gamme <50kW.

Tableau 69 – Fluides frigorigènes utilisés sur le marché des chillers en 2022

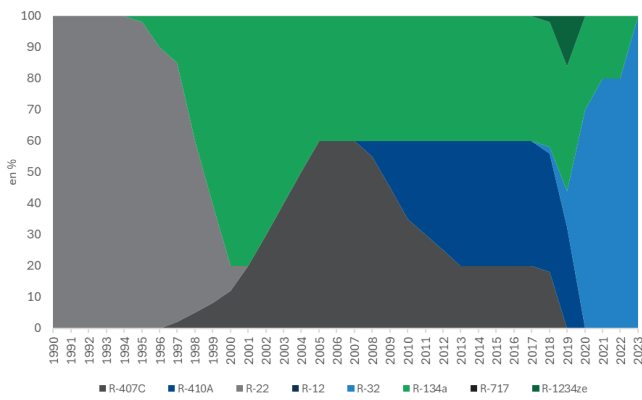
SOUS-SECTEUR	FLUIDES FRIGORIGENES
Chillers P < 50 kW	30% R-410A 65% R-32 5% R-1234ze
Chillers 50 < P < 350 kW	35% R-410A 50% R-32 15% R-1234ze
Chillers P > 350 kW	80% R-32 20% R-124a
Chillers à compresseur centrifuge	5% R-134a 40% R-1234ze 55% R-1233zd



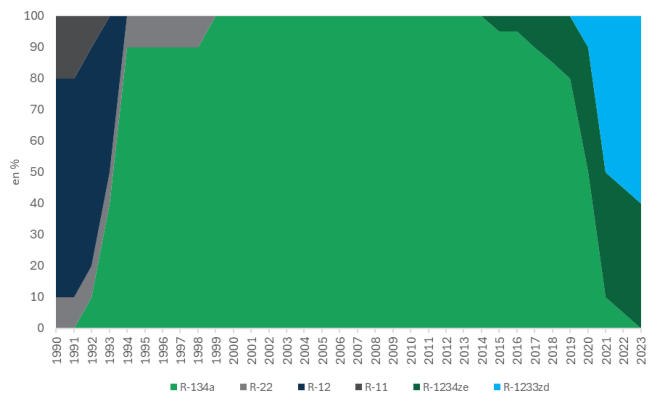
P < 50 kW



50 < P < 350 kW



P > 350 kW



Centrifuges

Figure 73 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés par gamme de chillers

#### 7.2.1.4. Durée de vie

Les courbes de durée de vie sont construites à partir des durées de vie moyennes, supposées de 15 ans pour les chillers de petites et moyennes puissances et de 20 et 25 ans respectivement pour les chillers de fortes puissances et les centrifuges (Figure 4).

### 7.2.2. Facteurs d'émissions

#### 7.2.2.1. A la charge

Les facteurs d'émission à la charge sont supposés évoluer selon une courbe en S. Celle-ci a été construite de façon à prendre en compte l'amélioration continue des pratiques. La valeur asymptotique estimée pour l'année 2015 a été calculée à partir des données d'un producteur d'équipements en France, de l'ordre de 1,5 %. Cette valeur est conservée pour les années suivantes. Ces taux d'émission à la charge pourraient être encore affinés en prenant en compte d'autres producteurs d'équipements en France et en les faisant évoluer annuellement sur la base des déclarations des exploitants dans GEREPE car actuellement ils font apparaître des valeurs supérieures à l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC (entre 0,2 et 1 %).

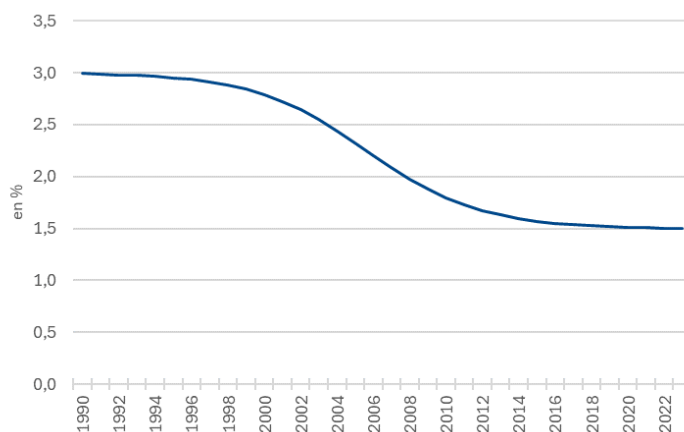


Figure 74 - Facteur d'émission à la charge des chillers (en %)

#### 7.2.2.2. Fugitif

Pour tous les équipements, le facteur d'émission utilisé jusqu'en 1990 provient de la tranche haute des Lignes directrices du GIEC (15 %). Les courbes en S ont été construites pour atteindre les niveaux 2016 donnés par les enquêtes réalisées au cours des précédentes études d'inventaire. On suppose que les taux d'émission pour les chillers à compresseur volumétrique de faible (< 50 kW) et moyenne puissance (50 < P < 350 kW) sont identiques.

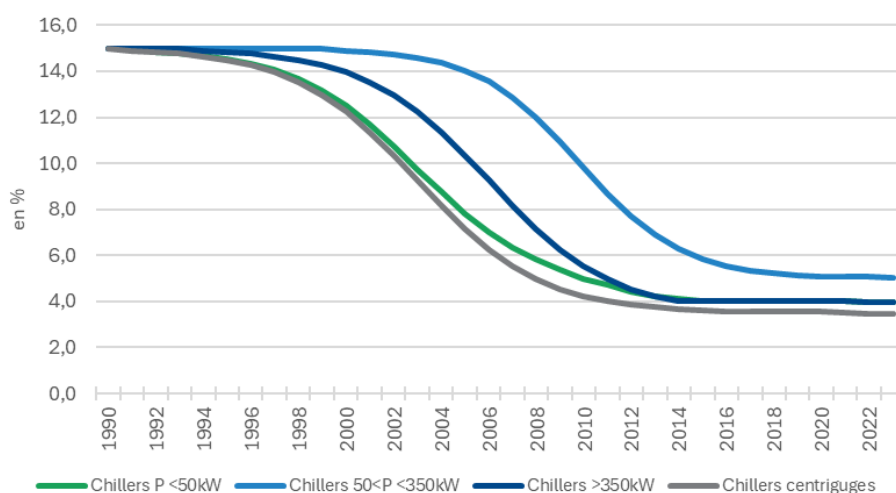


Figure 75 Facteur d'émission pendant la durée de vie – chillers (en %)

Les facteurs d'émission estimés sont bien inclus dans l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC (entre 2 et 15 %).

### 7.2.2.3. A la maintenance

L'évolution du taux d'émission au cours des opérations de maintenance pour le secteur des groupes refroidisseurs à eau est donnée sur les figures ci-dessous et traduit l'amélioration des pratiques. Ces taux d'émissions sont appliqués au complément de charge réalisé lors de la maintenance du chiller.

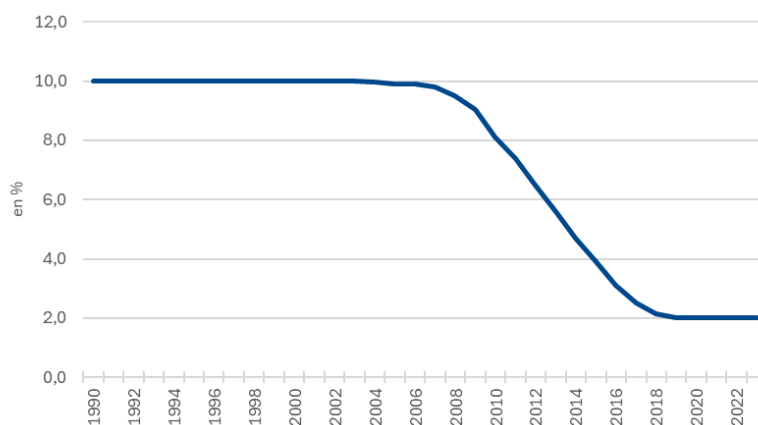


Figure 76 Taux d'émission à la maintenance – Chillers

### 7.2.2.4. En fin de vie

Les émissions en fin de vie des équipements dépendent des quantités présentes dans l'équipement quand il atteint sa fin de vie et d'un facteur d'émission fin de vie traduisant l'efficacité des filières de récupération. Les courbes d'évolution des facteurs d'émission en fin de vie sont établies également sur la base d'une courbe en S. Il est supposé que les chillers centrifuges font partie des installations IPCE (classées pour l'environnement) et ont eu, très tôt, des conditions d'entretien et de surveillance permettant des niveaux d'émissions particulièrement bas.

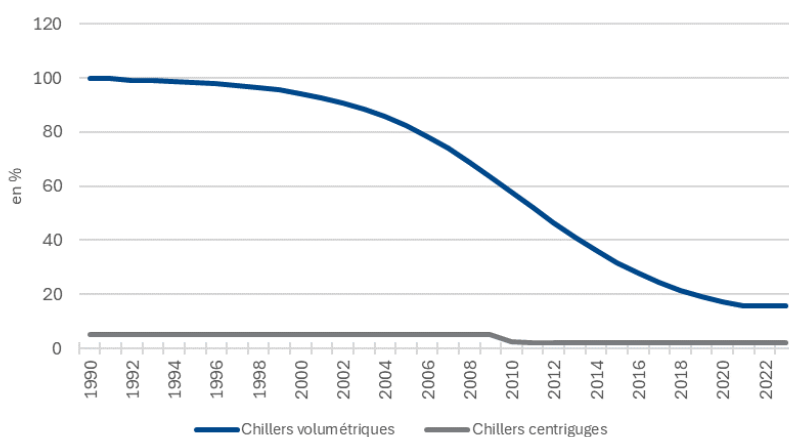


Figure 77 Facteurs d'émission en fin de vie des chillers (en %)

## 7.3. Résultats

### 7.3.1. Banque

La banque du secteur des GRE est estimée à un peu plus de 4 300 tonnes en 2022. La tendance décroissante des marchés de chillers et celle de la diminution des ratios de charge (kg/kW) conduisent à une décroissance continue de la banque, de 2 % par rapport à 2021. Bien que le R 32 et les HFO soient en forte progression sur le marché neuf, la banque est encore en grande partie constituée de de R-134a, de R-407C et de R-410A du fait des durées de vie élevées des installations. En 2022, la banque de R-134a représente 47 % de la banque totale (Tableau 70), suivie de celle du R-407C (19%) et du R 410A (14%).

Etant donné leur charge moyenne élevée et leur parc, les chillers volumétriques de puissance supérieure à 350 kW constituent la plus grande part de la banque (75%) des GRE.

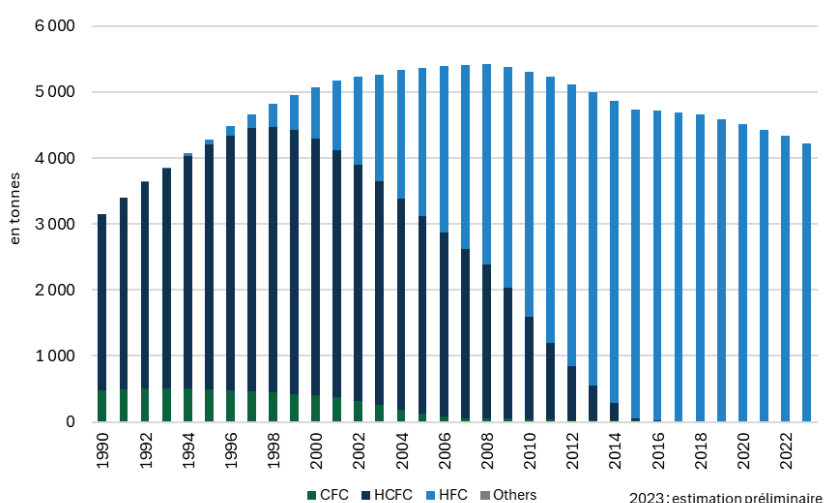


Figure 78 - Banque de fluide dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau

Tableau 70 – Banque de fluide 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-11	1,0
Total CFC	1,0
R-134a	1 792
R-32	442
R-407C	982
R-407F	1,1
R-410A	693
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	213
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	72
Total HFC hors HFO	4 195
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	143
Total HFC	4 338
Total général	4 339

## 7.3.2. Demande

### 7.3.2.1. Besoin pour les équipements neufs

Le besoin en fluides frigorigènes pour la production des groupes refroidisseurs à eau est entièrement constitué de HFC, notamment de R-32 (55 %) et de HFO (24 %) en 2022. On estime le besoin total à environ 600 tonnes cette même année.

Concernant les quantités brutes mises sur le marché, on observe une diminution depuis le début des années 2000, avec une forte réduction en 2004-2005, due à la baisse des marchés des chillers de petite et moyenne puissance (une partie des statistiques pouvait comptabiliser des pompes à chaleur, qui, à partir de 2005-2006, ont été comptabilisées à part).

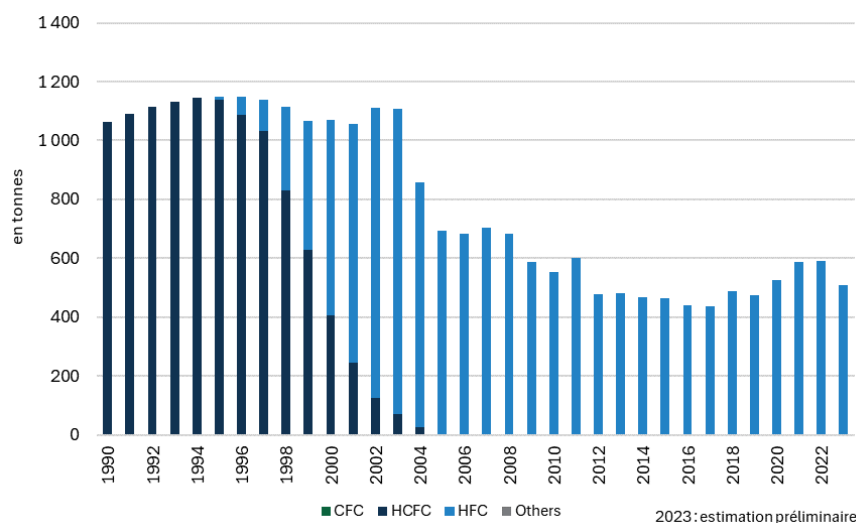


Tableau 71 – Production 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	78
R-32	325
R-407C	0,2
R-410A	48
Total HFC hors HFO	452
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	140
Total HFC	592
Total général	592

Figure 79 Quantités nécessaires à la production des groupes refroidisseurs à eau (GRE) en France métropole.

### 7.3.2.2. Besoin pour la maintenance

À l'instar de la banque de fluide, les quantités nécessaires à la maintenance des chillers sont en décroissance, de façon plus significative, avec la baisse des taux d'émissions (Tableau 72).



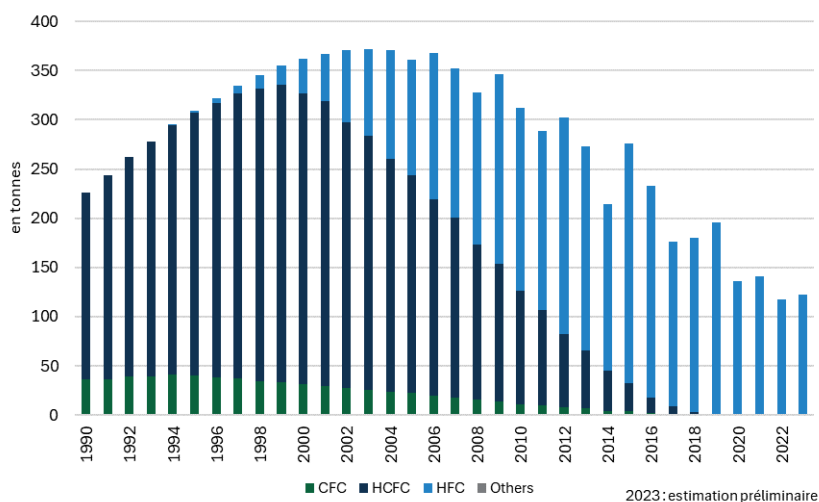


Figure 80 Besoin pour la maintenance dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau (GRE)

Tableau 72 – Quantités pour la maintenance 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-22	0,2
Total HCFC	0,2
R-134a	54
R-32	0,3
R-407C	36
R-407F	0,04
R-410A	21
R-417A - R-422A - R-422D - R-427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	4,1
Total HFC hors HFO	116
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	1,4
Total HFC	117
Total général	117

### 7.3.2.3. Besoin pour le retrofit

Le secteur des chillers a été essentiellement concerné par le retrofit des installations au R-22. Depuis 2020, les retrofits concernent des installations au R-134a vers un HFO, le rythme est considéré faible et est à confirmer.

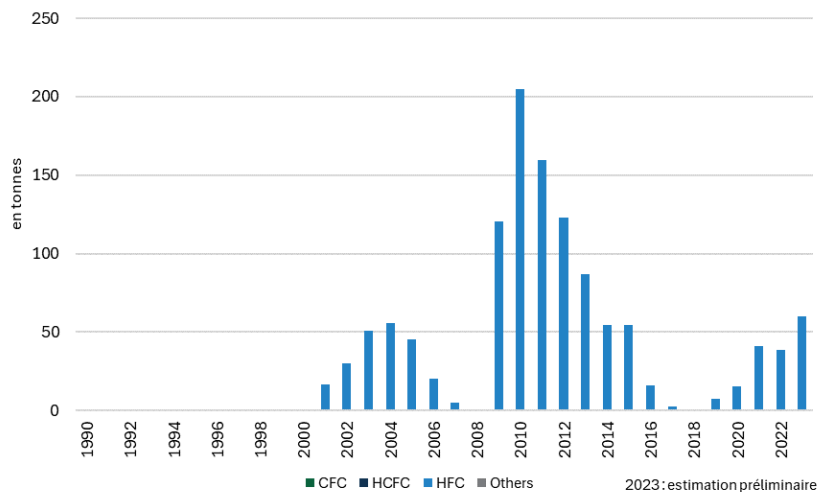


Figure 81 Besoin pour le retrofit dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau (GRE)

Tableau 73 – Besoin retrofit 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	32
Total HFC hors HFO	32
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	7,0
Total HFC	39
Total général	39

## 7.3.3. Emissions

### 7.3.3.1. Emissions totales

Les émissions du secteur des chillers sont en diminution continue depuis 2000 car les taux d'émissions des installations neuves ont fortement diminué, les filières de fin de vie se sont améliorées et le parc s'est progressivement renouvelé vers des installations à plus faible charge. Les émissions totales sont estimées à 310 tonnes en 2022 (Tableau 74), composées à 80% d'émissions fugitives.

C'est le secteur des chillers de forte puissance qui, à l'image de la banque, domine les émissions, à 76 %.

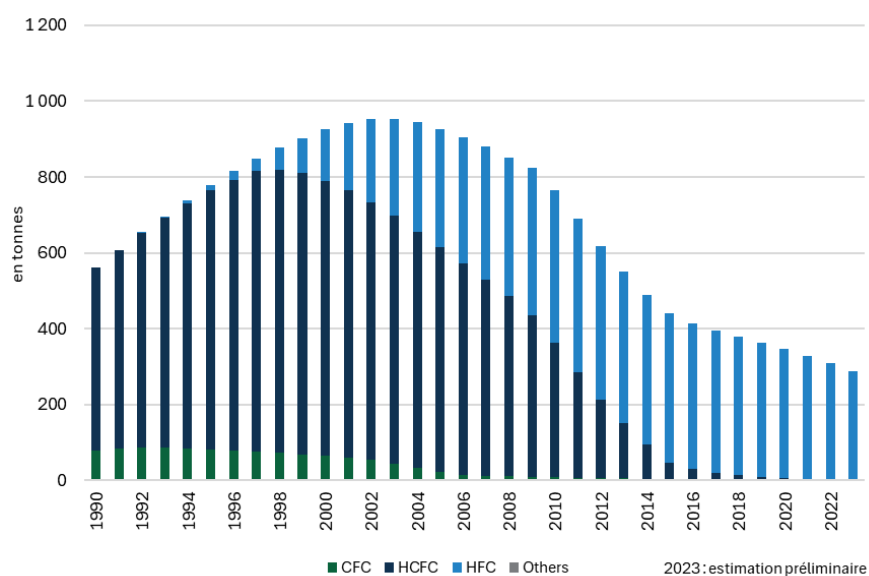


Tableau 74 – Emissions totales 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-11	0,2
R-12	0,1
Total CFC	0,3
R-22	2,5
Total HCFC	2,5
R-134a	140
R-32	24
R-407C	87
R-407F	0,002
R-410A	33
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	14
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	0,8
Total HFC hors HFO	299
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	8,0
Total HFC	307
Total général	310

Figure 82 Emissions totales du secteur des groupes refroidisseurs à eau (GRE)

### 7.3.3.2. Emissions totales en CO<sub>2</sub> équivalent

Les émissions du secteur des GRE s'élèvent à 440 000 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> en 2022. Elles sont en baisse de 8 % entre 2021 et 2022 du fait de l'accroissement de l'usage des fluides à bas PRG. Les fluides utilisés dans le secteur des chillers ayant des PRG relativement proches, la répartition sectorielle des émissions équivalentes CO<sub>2</sub> est assez similaire à celles des émissions totales, dominée par les chillers de forte puissance à 78 %.

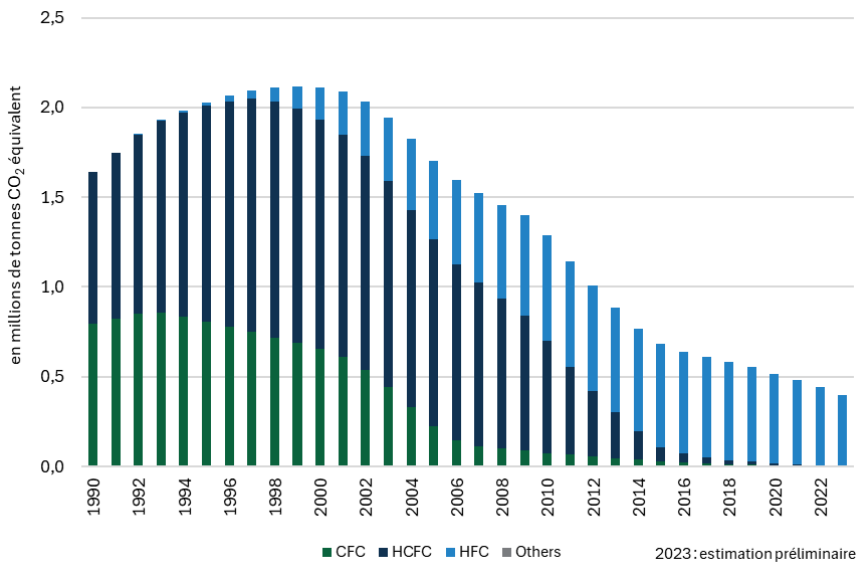


Figure 83 Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes des groupes refroidisseurs à eau (GRE)  
(millions de tonnes)

Tableau 75 – Emissions totales en  
CO<sub>2</sub>e 2022

Fluide frigorigène	2022 (en ktCO <sub>2</sub> e)
R-11	1,6
R-12	0,9
Total CFC	2,5
R-22	4,4
Total HCFC	4,4
R-134a	182
R-32	16
R-407C	141
R-407F	0,004
R-410A	64
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	31
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	0,4
Total HFC hors HFO	435
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	0,02
Total HFC	435
Total général	442



# Climatisation à air et PAC air/air

# 8.1. Introduction

Les équipements de climatisation à air et pompes à chaleur (PAC) air/air peuvent se classer en deux sous-secteurs, distincts par leurs niveaux de puissance : celui de la climatisation individuelle (< 17,5 kW) et celui de la climatisation autonome (> 17,5 kW).

## Applications prises en compte

Ce secteur est composé de 9 sous-secteurs, définis par la structuration adoptée par Uniclimate, qui communique chaque année les statistiques des marchés d'équipements.

- Climatisation individuelle :
- Climatiseur mobile ;
- Climatiseur fenêtre (ou window) ;
- PAC air/air Mono-split ;
- PAC air/air Multi-split
- Climatisation autonome
- Armoires verticales (ou consoles) ;
- PAC air/air DRV (Débit Réfrigérant Variable);
- Systèmes splits centralisés ;
- Roof top ;
- Armoire spéciale (ou cabinet).

## Modes de charge

Les équipements de climatisation à air peuvent être chargés en usine (lieux de production) ou sur site (lieux d'installation). Certains équipements, tels que les PAC air/air multi-splits ou les PAC air/air DRV, nécessitent un complément de charge lors de l'installation sur site. Le tableau suivant présente les hypothèses prises en compte pour les différents sous- secteurs.

Tableau 76 - modes de charge des équipements de climatisation à air

SOUS-SECTEUR	CHARGE D'USINE (DIT PRE-CHARGE)	CHARGE SUR SITE	COMPLEMENT DE CHARGE
PAC air/air Mono splits	Oui	Non	Non
PAC air/air Multi-splits	Oui	Non	50%
Systems splits centralisés	Oui	Non	30%
Roof-top	Oui	Non	Non
PAC air/air DRV	Oui	Non	80%
Mobiles	Oui	Non	Non
Windows	Oui	Non	Non
Consoles	Non	Oui	Non
Armoires spéciales	Non	Oui	Non

### Modes de maintenance

Les fréquences de maintenance dépendent des équipements. Il est considéré qu'une opération de maintenance a lieu dès que la charge de fluide réfrigérant passe en deçà d'un certain seuil. Par ailleurs, il est supposé que les équipements ne nécessitent pas de décharge complète du fluide pendant la maintenance. Les différentes hypothèses retenues par équipement, après entretiens avec des fabricants et experts du secteur [Ref 32], sont listées au Tableau 74.

Tableau 77 - Modes de maintenance des équipements de climatisation à air

SOUS-SECTEUR	CHARGE D'USINE (DIT PRE-CHARGE)	CHARGE SUR SITE
PAC air/air Mono splits	selon seuil	90 %
PAC air/air Multi-splits	selon seuil	90 %
Systems splits centralisés	selon seuil	90 %
Roof-top	selon seuil	80 %
PAC air/air DRV	selon seuil	80 %
Mobiles	Pas de maintenance	-
Windows	selon seuil	70 %
Consoles	selon seuil	70 %
Armoires spéciales	selon seuil	70 %

### Durée de vie moyenne

La durée de vie moyenne des équipements varie entre 10 et 20 ans, selon les équipements. Comme pour les autres secteurs, une courbe de durée de vie est appliquée, à partir de ces valeurs moyennes (Figure 4).

Tableau 78 - Durées de vie moyenne des équipements de climatisation à air

SOUS-SECTEUR	DUREE DE VIE
PAC air/air Mono splits	15 ans
PAC air/air Multi-splits	15 ans
Systems splits centralisés	15 ans
Roof-top	20 ans
PAC air/air DRV	15 ans
Mobiles	10 ans
Windows	10 ans
Consoles	15 ans
Armoires spéciales	15 ans

## 8.2. Données et hypothèses

### 8.2.1. Données d'activités

#### 8.2.1.1. Marchés et productions

##### MARCHES

Les statistiques de marchés d'équipements sont communiquées pour la grande majorité par Uniclimate [Ref 33]. La représentativité des adhérents d'Uniclimate est estimée à 92 % à l'exception du sous-secteur des rooftops pour lequel le marché national est estimé à partir des données transmises par Lennox à partir de 2015 (Ref 52).

Les marchés des climatiseurs mobiles ne sont pas suivis par Uniclimate. Jusqu'à présent, ils étaient estimés à partir d'une donnée ancienne. Une nouvelle source a été obtenue cette année, par communication confidentielle du Gifam [Ref 54], ce qui a conduit à une réestimation du marché sur la période 2011-2023, lequel était fortement sous-estimé.

Par ailleurs, des données détaillées par gamme de puissances ont été transmises pour les équipements suivants :

- Climatiseur mono-split ;
- Climatiseur multi-split ;
- DRV ;
- Rooftop

Cela permet d'affiner l'estimation de la charge moyenne et des quantités de fluides frigorigènes mises sur le marché par sous-secteur.

Les marchés historiques (avant 2002) des équipements de climatisation à air ont été reconstitués à partir des anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [Ref 7], du rapport RTOC 2002, d'hypothèses sur le début du marché de la climatisation en France (pris en 1970) avec l'hypothèse d'un taux d'accroissement linéaire entre 1970 et 1999.

## PRODUCTIONS

Les équipements de grandes puissances sont chargés sur site ou avec un complément de charge sur site et ceux de petites puissances en usine (cf. tableau des modes de charge précédemment). Les productions annuelles en France par type d'équipement ne sont pas collectées par une fédération. Elles sont estimées sur la base des hypothèses suivantes :

- des ratios ont été établis entre les niveaux de production d'équipements et ceux des marchés dans les anciens rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [Ref 7]. Ces ratios sont basés sur des communications ponctuelles, le plus souvent pour l'année 2004. Ils conduisent à des évaluations de la production à 6 % du marché pour les climatisations mobiles, 23 % pour les climatisations fenêtres, 6 % pour les mono-split, 10 % pour les multi-split et 150 % pour les rooftop. Ces valeurs sont prises en compte en première estimation et pourront être corrigées en fonction des retours de fabricants.
- Il est également pris en compte, selon les communications de certains fabricants d'équipements que :
  - les DRV n'ont pas été fabriqués en France mais sont importés,
  - les climatisations mobiles et fenêtres ne sont plus produites en France, depuis 2010 et 2011, respectivement.

### 8.2.1.2. Charge nominale

Selon les équipements, leur mode de charge, le raffinement des données disponibles et l'évolution au cours du temps, l'estimation des charges nominales des équipements est différente.

#### Charge constante

Pour les applications présentées dans le tableau suivant, la charge est considérée constante.

Tableau 79 – hypothèses de charge nominale constante pour certains équipements de climatisation à air

SOUS-SECTEUR	CHARGE MOYENNE (KG)
Climatiseurs mobiles	0,5
Climatisation de fenêtre	0,6
Armoires verticales	2,8
Armoires spéciales	18

#### Charge variant selon une courbe en S

Pour les systèmes splits centralisés, les études d'inventaire considéraient jusqu'en 2016 une charge constante de 7,5 kg. Afin de prendre en compte les valeurs historiques données par les rapports du RTOC et les retours de la profession sur les hypothèses, tendant à considérer ce niveau trop élevé sur les années récentes, une réduction de charge selon une courbe en S est supposée pour cette application (Figure 86).



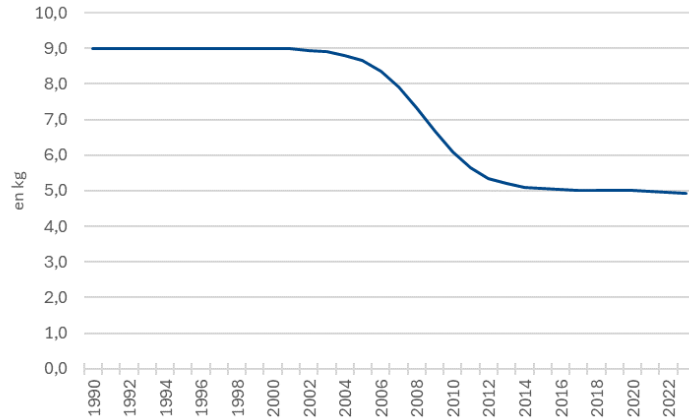


Figure 84 Evolution de la charge des systèmes splits centralisés

Ces valeurs sont basées sur des communications de fabricants mentionnées dans les anciens rapports d'inventaire [Ref 7].

- Charge établie à partir du ratio de charge (kg/kW)

Pour les équipements dont le marché est connu par gamme de puissance, la charge moyenne est calculée à partir d'un ratio de charge, communiqué par les fabricants d'équipements, exprimé en kg de fluide frigorigène par unité de puissance et d'une puissance moyenne calculée sur la base des ventes par gamme de puissance.

$$Charge\ moyenne(i) = \sum_{i=1}^i \text{Marché}_{(i)} * \text{Ratio de charge}_{(i)} * \text{Puissance}(i) / \text{Puissance totale}$$

Ce calcul plus fin est réalisé pour les mono-splits, multi-splits, DRV et rooftops.

Tableau 80 – charges nominales 2022 des équipements de climatisation à air

SOUS-SECTEUR	CHARGE MOYENNE EN 2022 (KG)
PAC air/air Mono-splits	1,3 (R-410A) 1,2 (R-32)
PAC air/air Multi-splits	1,9 (R-410A) 1,7 (R-32)
PAC air/air DRV	6,6
rooftops	16 (R-410A) 14,4 (R-32)

- Complément de charge

Certains équipements chargés d'usines nécessitent un complément de charge au moment de l'installation. C'est notamment le cas des systèmes splits centralisés, des multi-splits et des DRV. Le complément de charge s'applique aux charges nominales d'usine (Tableau 80).

Pour les DRV, ce complément de charge varie en fonction de la puissance de l'équipement et a été calculé à partir des données d'un fabricant. Un complément de charge d'environ 78 % de la charge initiale a été calculé. Ce complément de charge est supposé constant pour toutes les années. Concernant les multi-splits, un complément de charge de 50 % est pris en compte dans les calculs, 30 % pour les systèmes split centralisés.

### 8.2.1.3. Fluides frigorigènes utilisés

La réglementation (UE) N°517/2014 imposait une interdiction de mise sur le marché des équipements de type split utilisant un HFC dont le PRG > 750 à partir de 2025 et une interdiction des climatisations mobiles utilisant des HFC dont le PRG > 150 à partir de 2020. Le R-32 a été progressivement introduit dans la plupart des sous-secteurs d'équipements et représente la quasi-totalité du marché des mono-splits et multi-splits. Le HC-290 a remplacé en 5 ans le R-410A dans les équipements de type mobile.

L'évolution des fluides frigorigènes utilisés a été reconstituée sur le passé à partir des données communiquées par Uniclimate [Ref 33] pour les années depuis 2000 (nombre d'équipements mis sur le marché par type de réfrigérant). Ces données annuelles ont été transmises pour les équipements suivants :

- PAC air/air Mono-split ;
- PAC air/air Multi-split ;
- Systèmes split centralisés ;
- Rooftop ;
- PAC air/air DRV.

Pour les autres équipements, les hypothèses concernant les réfrigérants utilisés sont issues des tendances données par [Ref 7].

Les hypothèses pour l'année 2022 sont récapitulées au tableau suivant :

**Tableau 81 – Fluides frigorigènes utilisés sur les marchés neufs des équipements de climatisation à air en 2022**

SOUS-SECTEUR	FLUIDES FRIGORIGENES
Mobiles	100% R-290
Windows	20% R-32 80% R-290A
PAC air/air Mono split	4% R-410A 96% R-32
PAC air/air Multi split	4% R-410A 96% R-32
Armoires verticales	46,5% R-410A 53,5% R-32
PAC air/air DRV	97% R-410A 3% R-32
Systèmes split centralisé	51% R-410A 49% R-32
Roof top	29% R-410A 68% R-32 3% R-450A
Armoires spéciales	100% R-410A

Les hypothèses sur les années antérieures à 2001 ont été établies à partir des rapports du RTOC et de données

d'experts. Il est considéré que:

- l'intégralité du marché des nouveaux équipements est au R-22 à partir de 1990 ;
- le R-407C a été utilisé à partir de 2000 comme substitut du R-22, puis le R-410A a été introduit progressivement.

## 8.2.1.4. Durée de vie

Dans le secteur de la climatisation à air, deux courbes de durée de vie sont utilisées (Figure 4, Figure 5), en fonction des durées de vie moyennes qui caractérisent jusqu'à présent les équipements : 15 ans pour les mono-splits, multi-splits, armoires verticales, DRV, splits centralisés, rooftop et armoires spéciales et 10 ans pour les climatiseurs fenêtres et mobiles.

## 8.2.2. Facteurs d'émissions

### 8.2.2.1. A la charge

- Les facteurs d'émission à la charge sont supposés décroître selon une courbe en S. Celle-ci a été modélisée pour les deux modes de charges (d'usine ou sur site) afin de prendre en compte l'amélioration continue des pratiques (Figure 85). La valeur asymptotique estimée pour l'année 2015 a été calculée à partir des données d'un producteur d'équipements en France (équipement chargé d'usine) et la même allure est adopté pour les équipements chargés sur site.
- Remarque : les facteurs d'émission calculés montrent des valeurs supérieures à l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC (entre 0,2 et 1 %). Il serait utile d'intégrer les déclarations d'autres producteurs d'équipements pour moyenner les déclarations du premier fabricant.

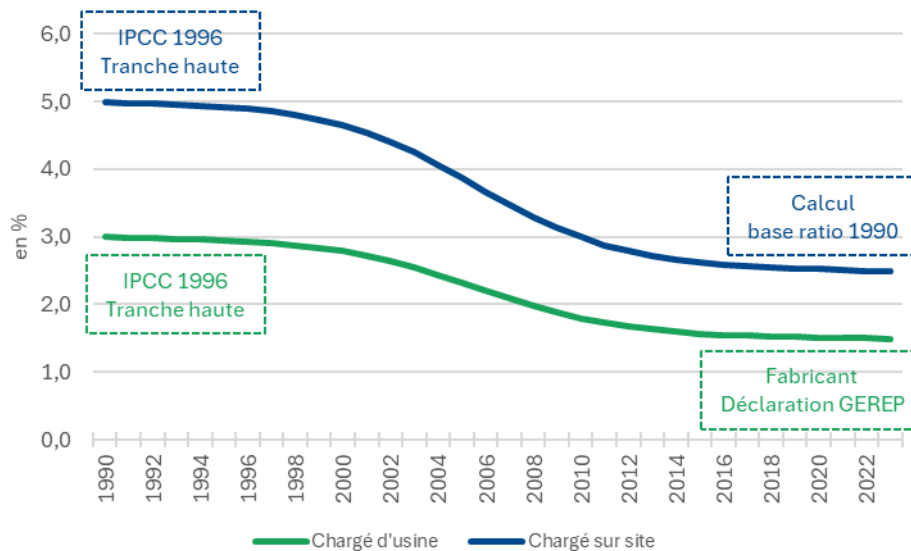


Figure 85 - Facteur d'émission à la charge (en %) des équipements de climatisation à air

### 8.2.2.2. Fugitif

Les taux d'émission pendant le fonctionnement de l'équipement sont également supposés évoluer selon une courbe en S (Figure 86).

Pour la majorité des équipements de PAC et de climatisation, le facteur d'émission utilisé jusqu'en 1990 provient de la tranche haute des Lignes directrices du GIEC (10 %). Les courbes en S ont été construites à partir des valeurs utilisées pour l'enquête de l'inventaire 2016.

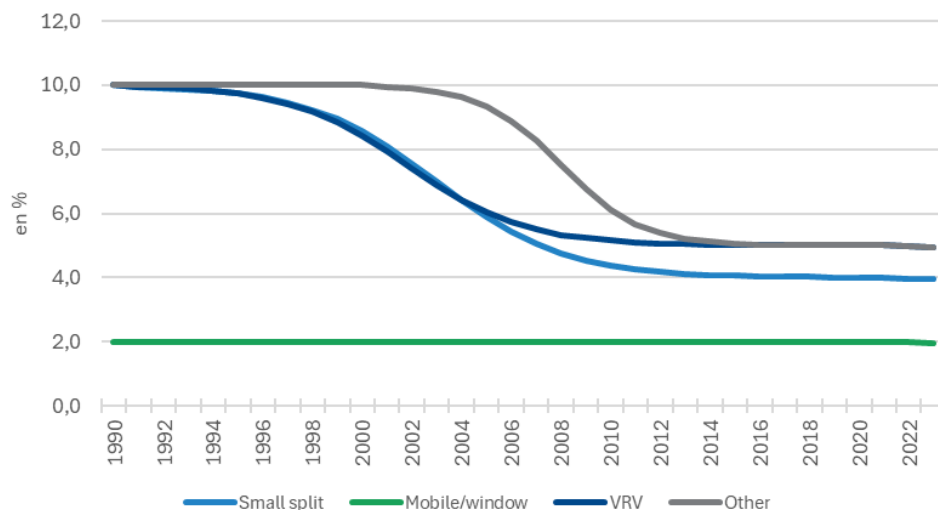


Figure 86 - Facteur d'émission pendant la durée de vie – PAC air/air et climatisation fixe (en %)

Pour les climatisations mobiles et les climatisations « fenêtres », un taux d'émission constant et égal à 2 % est pris en compte dans les calculs afin de tenir compte des pertes accidentelles.

Remarque : ces hypothèses conduisent à des facteurs d'émissions compris dans l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC (entre 1 et 10 %).

### 8.2.2.3. A la maintenance

L'évolution du taux d'émission à la maintenance pour le secteur de la climatisation à air est donnée sur la figure ci-dessous. Elle suppose un taux d'émission évoluant de 10 % à 2 % entre 1990 et 2022.

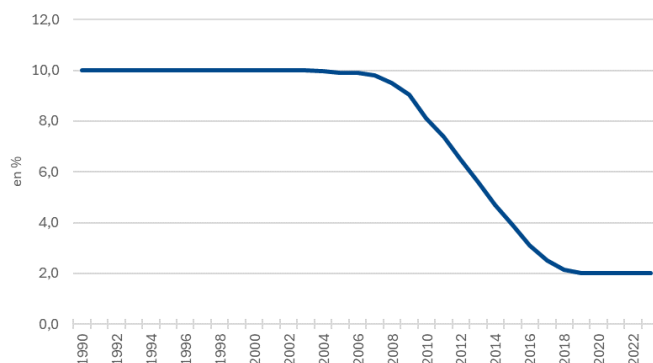


Figure 87 - Taux d'émissions à la maintenance des équipements de climatisation à air de type split

## 8.2.2.4. En fin de vie

Pour la climatisation stationnaire, quatre courbes d'évolution sont proposées afin de prendre en compte au mieux les pratiques de récupération des fluides dans les divers équipements. Ces courbes sont établies de manière identique sur la base d'une courbe en S comportant une année de démarrage de la récupération et une année asymptotique projetée à l'horizon 2030. Les facteurs d'émission diffèrent en fonction du type d'équipement étudié.

### Modèle 1

Ce modèle est représentatif des climatisations domestiques qui sont gérées par la filière DEEE créée en 2003. Les particuliers doivent faire récupérer et traiter leurs équipements en fin de vie par ces organismes. Les équipements concernés par ce modèle sont les [climatisations de type mobiles et fenêtres](#).

Hypothèses de ce modèle :

- Année de démarrage : 2006 (année des premiers retours de la filière de récupération) ;
- Taux de récupération estimé en 2030 : 60 %.

### Modèle 2

Ce modèle est représentatif des climatisations utilisées dans le résidentiel/tertiaire et pour lesquelles un technicien intervient pour le remplacement de l'équipement en vue de l'envoyer en filière DEEE. Les équipements concernés par ce modèle sont les [climatisations de type console, cabinet, mono-split et multi-split](#).

Hypothèses de ce modèle :

- Année de démarrage : 2006 (année des premiers retours de la filière de récupération) ;
- Taux de récupération estimé en 2030 : 80 %.

### Modèle 3

Ce modèle est représentatif des climatisations et PAC utilisées dans le tertiaire et pour lesquelles les interventions sont faites par des opérateurs spécialisés. Les équipements concernés par ce modèle sont les [climatisations de type PAC air/air DRV, rooftop et système split centralisé](#).

Hypothèses de ce modèle :

- Année de démarrage : 1992 (correspond aux débuts de la réglementation sur la récupération en France et à la convention volontaire de 1993 signée par la filière du froid, le ministère et l'ADEME pour favoriser la récupération des fluides des équipements en fin de vie.) ;
- Taux de récupération estimé en 2030 : 90 %.

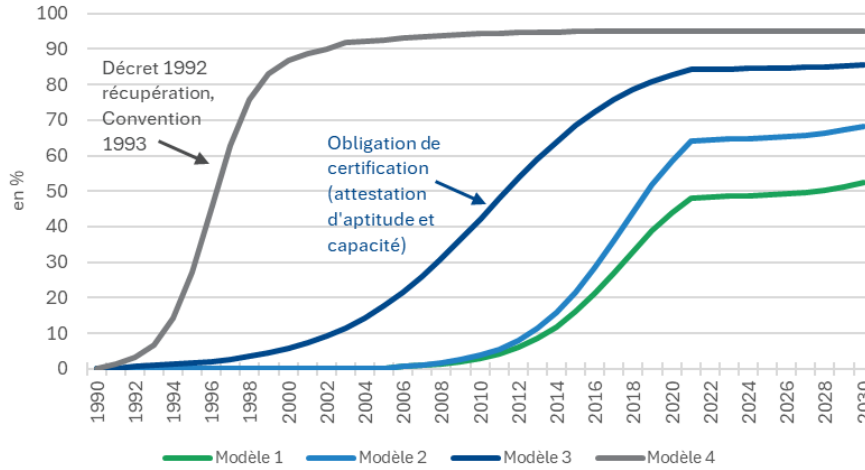


Figure 88 - Efficacité de récupération en fin de vie (en %) des équipements de la climatisation et PAC à air

## 8.3. Résultats

### 8.3.1. Banque

La banque des équipements de climatisation à air et des PC air/air est en croissance continue, de 5 % par an en moyenne sur les cinq dernières années. Elle s'élève à plus de 16 200 tonnes et est constituée à 66 % de R-410A et 25 % de R-32 (Tableau 82). La banque d'hydrocarbures est faible (6 %) et concerne les équipements hermétiques de type mobile devant satisfaire, pour l'ensemble du marché, à l'exigence réglementaire de n'utiliser que des fluides frigorigènes de PRG<150 depuis 2020.

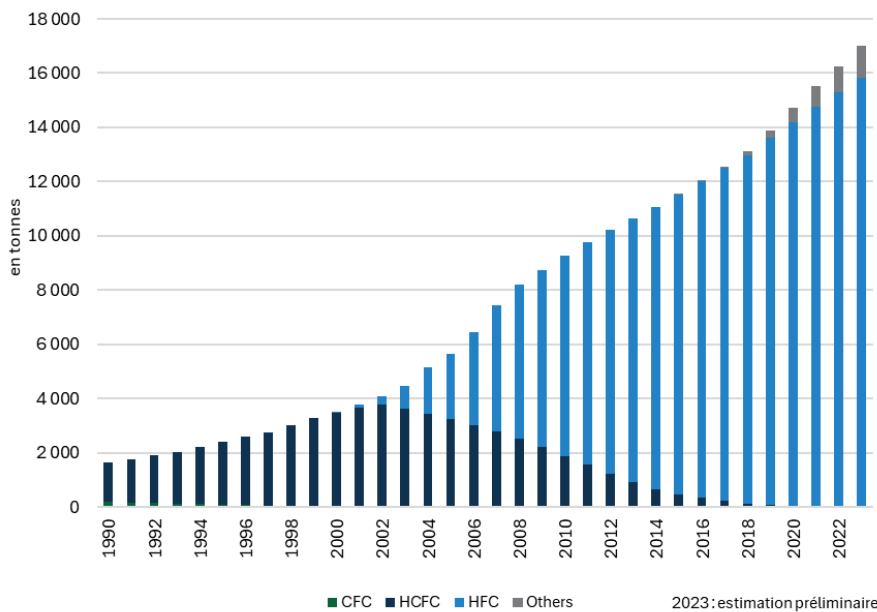


Figure 89 - Banque de fluide du secteur de la climatisation à air et PAC air/air

Tableau 82 – Banque de fluide 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-12	0,001
Total CFC	0,001
R-22	0,001
Total HCFC	0,001
R-134a	14
R-32	4 073
R-407C	484
R-410A	10 685
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	30
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	1,2
Total HFC	15 287
R-290	967
Total Autres	967
Total général	16 254

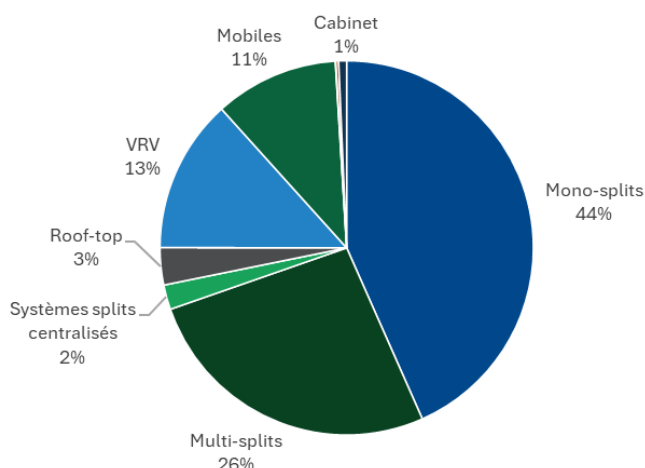


Figure 90 - Répartition sectorielle de la banque 2022 de la climatisation à air et PAC air/air

D'un point de vue sous-sectoriel, la banque est dominée par des équipements de type mono-splits et multi-splits.

## 8.3.2. Demande

### 8.3.2.1. Besoin pour les équipements neufs

Le besoin pour la charge sur site des équipements de climatisation fixe et des PAC air/air est dans sa totalité constituée de HFC (R-32 et R-410A). En 2022, on estime cette quantité à 464 tonnes. Le besoin pour la production des équipements de climatisation et PAC air/air en France est, elle, dominée par le R-32 (85 %). Les comparaisons de la demande et du marché de R-32 tendent cependant à montrer que la production d'équipements préchargés au R-32 en France pourrait être surestimée.

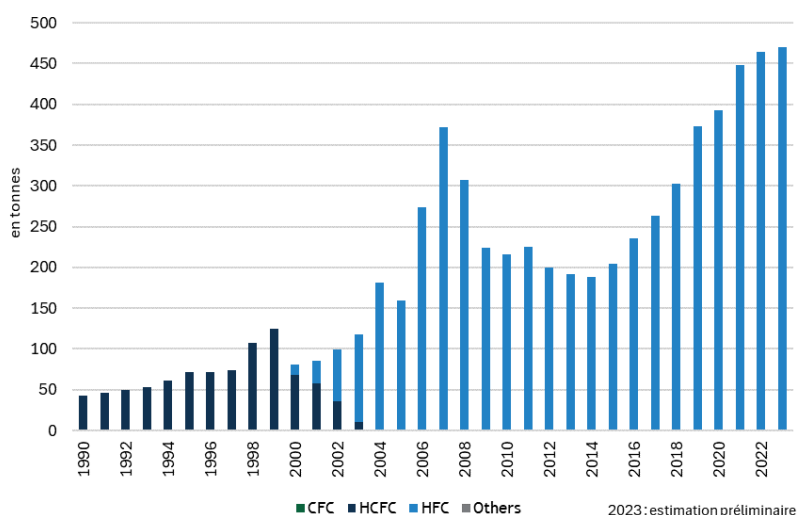


Figure 91 - Quantités nécessaires à la charge des équipements de la climatisation fixe

Tableau 83 – Besoin pour la charge 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-32	269
R-410A	195
Total HFC	464
Total général	464

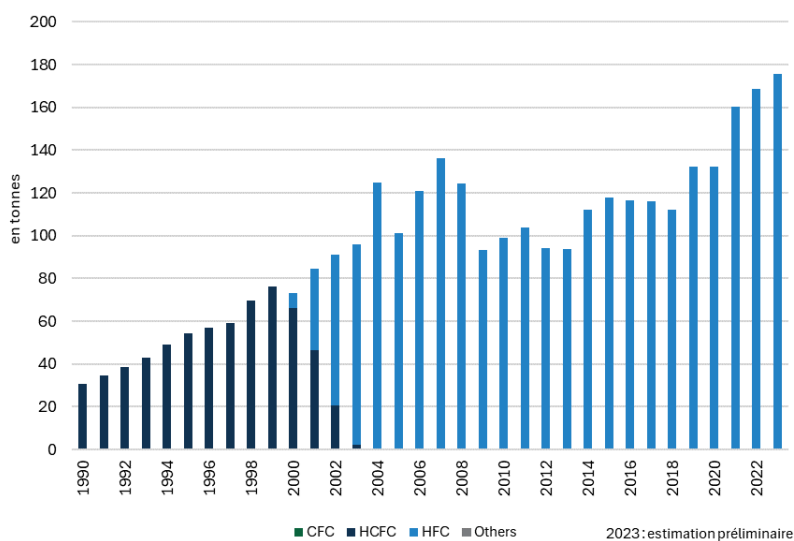


Figure 92 - Quantités nécessaires à la production dans le secteur de la climatisation et PAC air/air fixe

Tableau 84 – Production 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-32	143
R-410A	24
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	2,4
Total HFC	169
Total général	169

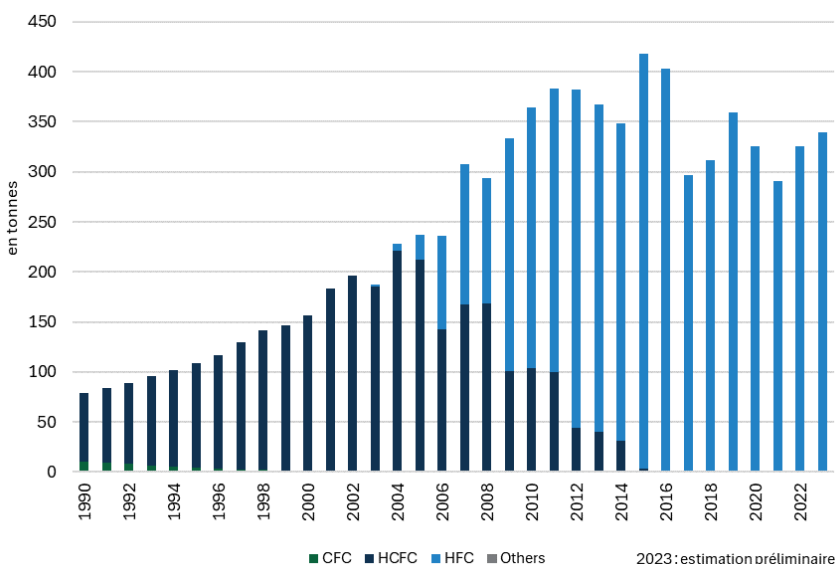


Figure 93 - Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur de la climatisation et PAC air/air fixe

Tableau 85 – Quantités pour la maintenance 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-32	24
R-407C	2,9
R-410A	297
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	1,8
Total HFC	326
Total général	326

En 2022, le besoin pour la maintenance des installations présentes sur le parc de France métropole est évalué à un peu plus de 300 tonnes dont plus grande partie est du R-410A (95 %). Malgré une croissance continue de la banque, une baisse générale du besoin pour la maintenance est observée, liée à l'amélioration des niveaux d'émissions.

### 8.3.2.2. Besoin pour le retrofit

Les quantités présentées Figure 94 concernent les retrofits des installations au R-22 vers des mélanges de remplacement dans les années 2010.



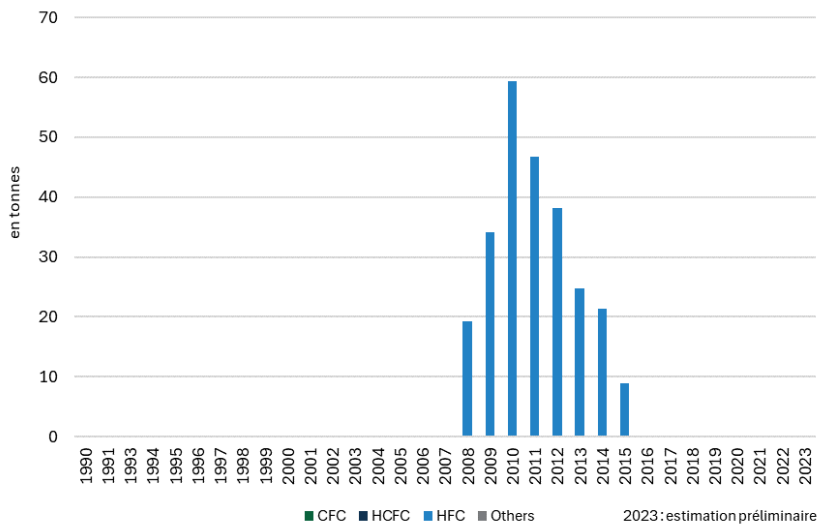


Figure 94 - Quantités nécessaires à le retrofit dans le secteur de la climatisation et PAC air/air fixe

## 8.3.3. Emissions

### 8.3.3.1. Emissions totales

Les émissions totales du secteur de la climatisation et PAC à air sont estimées à environ 1 000 tonnes pour 2022, dominées par le R-410A (71 %). Stables jusqu'en 2021, les émissions sont en légère croissance sur 2021-2023, du fait de l'augmentation du nombre d'équipements arrivant en fin de vie.

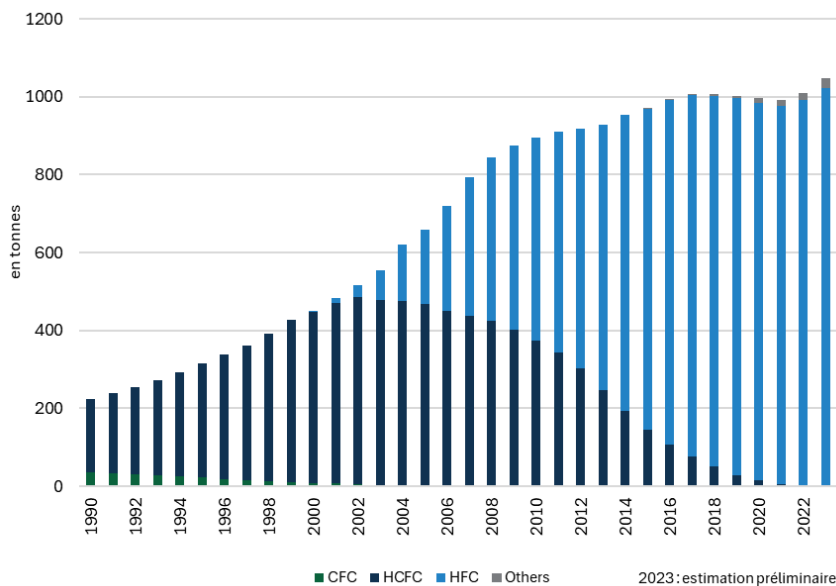


Tableau 86 – Emissions totales 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-12	0,0002
Total CFC	0,0002
R-22	0,4
Total HCFC	0,4
R-134a	1,7
R-32	192
R-407C	72
R-410A	720
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	4,2
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	0,1
Total HFC	990
R-290	20,2
Total Autres	20,2
Total général	1 011

Figure 95 - Emissions totales du secteur de la climatisation et PAC air/air fixe

Les émissions fugitives de la climatisation et PAC air/air fixe constituent environ 74 % des émissions du secteur. Les émissions de fin de vie des équipements de la climatisation et PAC air/air fixe représentent une part non négligeable des émissions totales (25 % en 2022), du fait, notamment des équipements de climatisation et chauffage domestique dont la filière de récupération est encore peu efficace.

### 8.3.3.2. Emissions totales en CO<sub>2</sub> équivalent

En équivalent CO<sub>2</sub>, les émissions du secteur de la climatisation et PAC à air s'élèvent à 1,6 million de tonnes. Depuis le pic de 2017, les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes sont en décroissance (Figure 95) grâce à l'introduction progressive du R-32 et des hydrocarbures. Les émissions équivalentes CO<sub>2</sub> sont dominées par le R-410A (PRG = 1924 selon le 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC) à 84 %.

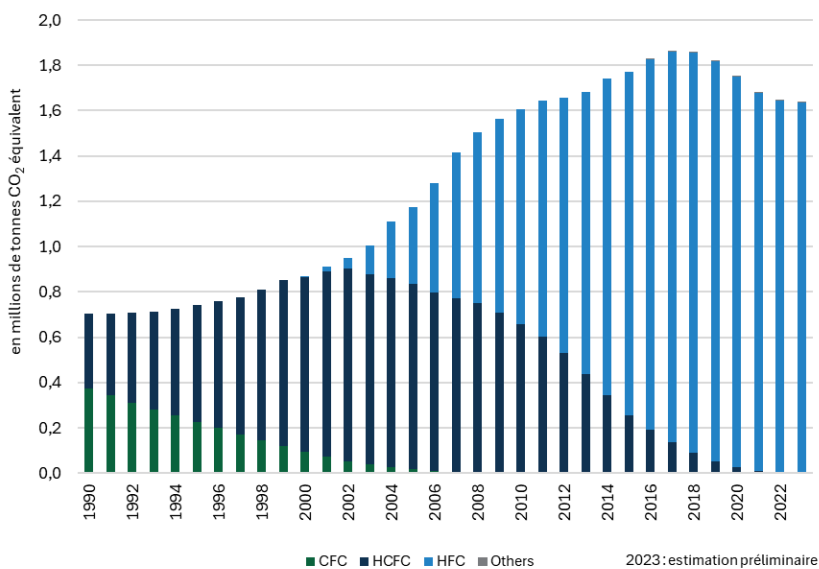


Figure 96 - Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes de la climatisation et PAC air/air fixe (millions de tonnes)

Tableau 87 – Emissions totales en CO<sub>2</sub>e 2022

Fluide frigorigène	2022 (en ktCO <sub>2</sub> e)
R-12	0,002
Total CFC	0,002
R-22	0,7
Total HCFC	0,7
R-134a	2,2
R-32	130
R-407C	116
R-410A	1 385
R-417A - R-422A - R-422D - R427A (remplacement du R-22 PRG>2000)	9,3
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	0,06
Total HFC	1 643
R-290	0,06
Total Autres	0,06
Total général	1 644

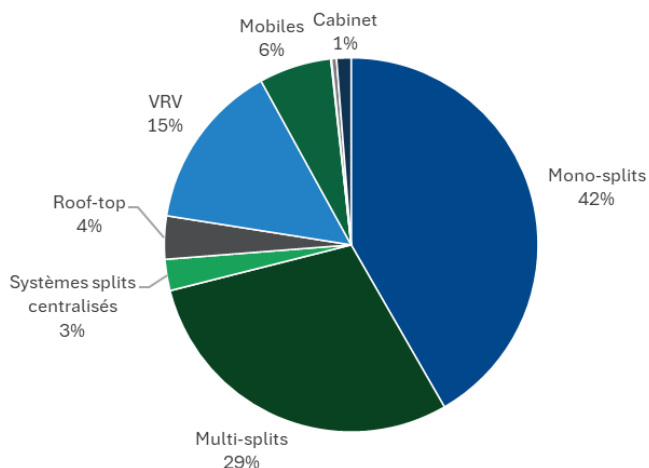


Figure 97 - Répartition sectorielle des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes de la climatisation & PAC à air en 2022

Les taux d'émissions des différents équipements étant assez proches et les PRG des fluides frigorigènes utilisés en climatisation et PAC à air étant de même ordre (excepté pour les mobiles), l'allure sectorielle des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes est assez proche de celle de la banque, dominée par les splits et multi-splits.

# 9

## Pompes à chaleur réversibles

# 9.1. Introduction

## Applications prises en compte

Le secteur des pompes à chaleur réversibles (PAC) est composé de 4 sous-secteurs :

- Les PAC Air/Eau ;
- Les PAC géothermiques ;
- Les PAC Eau/Eau ;
- Les chauffe-eaux thermodynamiques (CET).

Les PAC air/air sont prises en compte dans la climatisation à air et sont devenues majoritaires sur le marché depuis 2010.

## Modes de charge

Les pompes à chaleurs réversibles sont des équipements chargés d'usine.

## Modes de maintenance

Il est considéré que les PAC subissent une opération de maintenance dès lors que leur charge passe en deçà du seuil de 90% de la charge nominale. Ces équipements ne nécessitent pas de décharge complète du fluide pendant la maintenance.

## Durée de vie moyenne

La durée de vie moyenne des équipements est supposée de 15 ans, cette hypothèse provient des anciens rapports d'inventaire d'émissions de fluides frigorigènes [Ref 7]. Comme pour l'ensemble des équipements, une courbe de durée de vie est prise en compte (Figure 4).

# 9.2. Données et hypothèses

## 9.2.1. Données d'activités

### 9.2.1.1. Marchés et productions

#### MARCHES

Les statistiques des marchés des PAC Air/Eau proviennent des données de l'AFPAC (l'association française pour la pompe à chaleur) jusqu'en 2013 puis d'Uniclimate [Ref 33] pour différentes gammes de puissance, elles sont supposées être représentatives du marché français.

Les marchés par type de PAC géothermiques ont été reconstitués en utilisant les rapports d'inventaire de fluides frigorigènes [Ref 7] jusqu'en 2007 puis les données Uniclimate à partir de 2008.

Les données de marchés des chauffe-eaux thermodynamiques sont également issues de l'AFPAC [Ref 34] et d'Uniclimate [Ref 33]. Ce marché a débuté en 2008.

#### PRODUCTIONS

Les productions annuelles en France ne sont pas collectées par une fédération. Par conséquent, ces valeurs sont

estimées sur la base d'une information extraite du rapport d'inventaire des fluides frigorigènes [Ref 7] qui évalue, à partir d'une communication confidentielle, la production de PAC à 10 % du marché excepté pour les PAC Air/Eau où elle est estimée à 30 % du marché.

Toutes les données concernant les productions françaises sont marquées d'une forte incertitude. Cependant, les émissions durant la fabrication des équipements sont très faibles par rapport aux émissions totales du secteur.

## 9.2.1.2. Charge nominale

Les hypothèses de charges nominales des différents types de PAC sont basées sur des communications de fabricants mentionnées dans les anciens rapports d'inventaire [Ref 7] et plus récemment, d'Uniclimate. Par ailleurs, il est considéré que la charge des PAC fonctionnant au R-32 est de 10% inférieure à celle du R-410A. Pour les autres sous-secteurs, les valeurs sont considérées constantes. Les valeurs des charges moyennes pour l'année 2022 sont présentées au Tableau 88.

**Tableau 88 – charges nominales des PAC en 2022**

SOUS-SECTEUR	CHARGE MOYENNE (KG)
PAC Air/Eau	2,6 pour le R-410A 2,3 pour le R-32
PAC Eau/Eau	2,5
PAC géothermique	15
CET	0,5

## 9.2.1.3. Fluides frigorigènes utilisés

Depuis 2006, les hypothèses concernant les réfrigérants utilisés sont basées sur les données d'Uniclimate [Ref 33].

Dans la reconstitution de l'évolution des fluides utilisés par le passé, il est supposé que le R-22 a été le seul fluide frigorigène utilisé dans les pompes à chaleur avant les années 2000 [Ref 7]. La réglementation n°2037/2000 interdisant la production d'équipement au R-22 à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2004 pour les PAC, il a été supposé un arrêt progressif entre 2002 et 2004 et une utilisation généralisée du R-410A et R-407C. L'introduction du R-32 est prise en compte à partir de 2018. Les hypothèses 2022 sont présentées au tableau suivant :

**Tableau 89 – Fluides frigorigènes utilisés sur le marché neuf des PAC en 2022**

SOUS-SECTEUR	FLUIDES FRIGORIGENES
PAC Air/Eau	47% R-410A / 49% R-32 / 1% R-290 / 1% R-450A / 1% R-1234ze
PAC Eau/Eau	60% R-410A / 35% R-407C / 4% R-32 / 1% R-290 / 1% R-1234ze
PAC géothermique	60% R-410A / 35% R-407C / 4% R-32 / 1% R-290 / 1% R-450A / 1% R-1234ze
CET	55% R-290 / 20% R-134a / 15% R-513A / 10% R-32

### 9.2.1.4. Durée de vie

Pour tous les sous-secteurs des PAC réversibles, il est pris en compte la courbe de durée basée sur une durée de vie moyenne de 15 ans (Figure 3).

## 9.2.2. Facteurs d'émissions

### 9.2.2.1. A la charge

Les mêmes hypothèses de facteurs d'émission que pour les équipements de climatisation à air chargés d'usine sont prises en compte (Figure 85).

### 9.2.2.2. Fugitif

Les taux d'émission fugitifs sont supposés évoluer selon une courbe en S à l'exception des CET pour lesquels est appliqué le facteur d'émission des équipements de réfrigération domestique (0,01 %, constant). Les courbes sont construites en considérant la tranche haute des Lignes directrices du GIEC 2006 (10 %) pour le facteur d'émission en 1990 et les valeurs données pour l'année 2016 dans le rapport 2016 d'inventaire des fluides frigorigènes [Ref 7].

Remarque : les facteurs d'émission estimés pour les années récentes sont inclus dans l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2019 (entre 1 et 10 %)

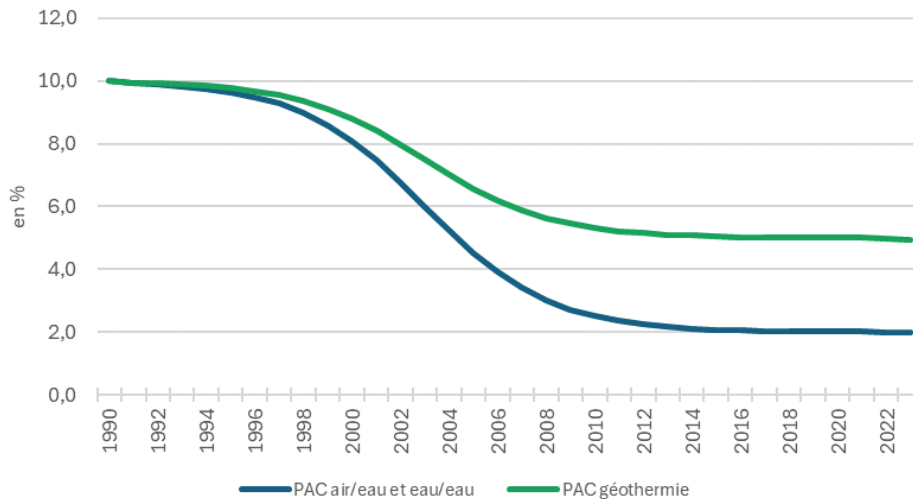


Figure 98 - Facteur d'émission fugitif – pompes à chaleurs réversibles (en %)

### 9.2.2.3. A la maintenance

L'évolution du taux d'émission à la maintenance pour le secteur des pompes à chaleurs réversibles est la même que pour les équipements de climatisation à air, évolue de 10 % à 2 % entre 1990 et 2022 (Figure 87).

### 9.2.2.4. En fin de vie

Le facteur d'émission en fin de vie des pompes à chaleur résidentielles est supposé suivre le modèle 1 (climatisation domestique) des courbes en S proposées pour les équipements de climatisation, Figure 88. L'efficacité de récupération de la filière est évaluée à 55 % en 2022.

## 9.3. Résultats

### 9.3.1. Banque

La banque des pompes à chaleur résidentielles est en croissance continue, de plus de 10 % par an depuis 2020 et de 18% entre 2021 et 2022, du fait de la forte croissance des marchés d'équipements (+ 30% entre 2021 et 2022). Elle est estimée à 8 850 tonnes en 2022. Elle représente environ 14 % de la banque totale de fluides frigorigènes en France en 2022. Elle est dominée par le R-410A à 76 %. La progression des PAC utilisant le propane est relativement lente du fait des barrières réglementaires, la banque d'hydrocarbures représente moins de 1 % de la banque des PAC en 2022.

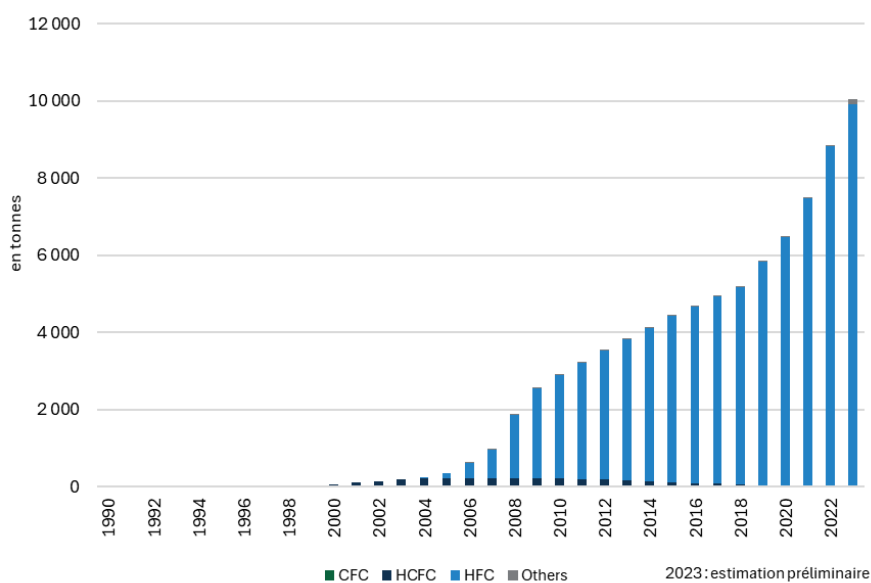


Tableau 90 – Banque de fluide 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-22	2,7
Total HCFC	2,7
R-134a	1,5
R-32	1 529
R-404A - R507 (PRG~3950)	33
R-407C	427
R-410A	6 747
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	39
Total HFC hors HFO	8 776
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	39
Total HFC	8 815
R-290	37
R-744	1,0
Total Autres	38
Total général	8 856

Figure 99 - Banque de fluide dans le secteur des pompes à chaleur résidentielles



## 9.3.2. Demande

### 9.3.2.1. Besoin pour les équipements neufs

Le besoin pour les équipements neufs concerne la production en France, les PAC étant chargées d'usine. La totalité de la demande est quasiment constituée de HFC, avec le R-410A et le R-32 se partageant à peu près à parts égales le besoin. En 2022, cette quantité a augmenté de 28% par rapport à 2021 et est estimée à 500 tonnes.

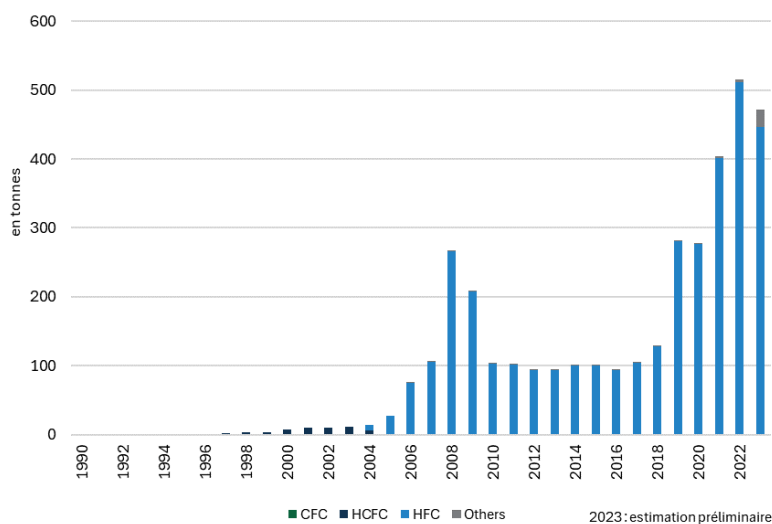


Tableau 91 – Besoin production 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-32	238
R-407C	1,1
R-410A	257
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	7,3
Total HFC hors HFO	504
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	7,3
Total HFC	511
R-290	4,3
Total Autres	4,3
Total général	515

Figure 100 Quantités requises à la production dans le secteur des pompes à chaleur réversibles

### 9.3.2.2. Besoin pour la maintenance

Dans ce secteur, la maintenance des équipements n'étant pas annuelle, la demande en fluides frigorigènes pour la maintenance annuelle est très variable. Les taux d'émissions étant par ailleurs faibles, le besoin pour la maintenance l'est aussi et est estimé à seulement 68 tonnes en 2022.

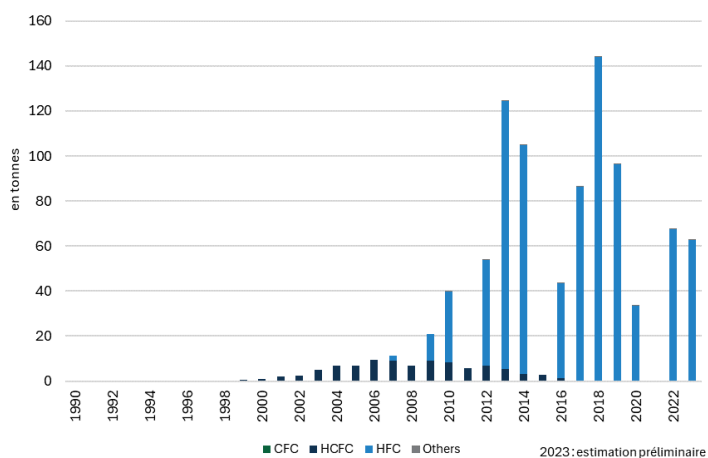


Tableau 92 – Quantités pour la maintenance 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	0,002
R-32	0,02
R-404A - R507 (PRG~3950)	0,4
R-407C	5,3
R-410A	62
Total HFC	67
R-290	0,08
R-744	0,05
Total Autres	0,13
Total général	68

Figure 101 Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur des PAC

### 9.3.2.3. Besoin pour le retrofit

Il n'est pas pris en compte d'opérations de retrofit pour les installations du secteur des pompes à chaleur réversibles.

## 9.3.3. Emissions

### 9.3.3.1. Emissions totales

Les premières PAC mises sur le marché français datent de 1997-1998 et le marché a crû significativement seulement à partir de 2005. Avec une durée de vie moyenne de 15 ans, le nombre d'équipements parvenant à leur fin de vie commence à être significatif. Les émissions présentées Figure 102 sont dominées par les émissions durant la durée de vie (62%), la fin de vie participant à 34 % des émissions en 2022. Les émissions totales, à l'image de la banque sont composées essentiellement de R-410A (76 %).

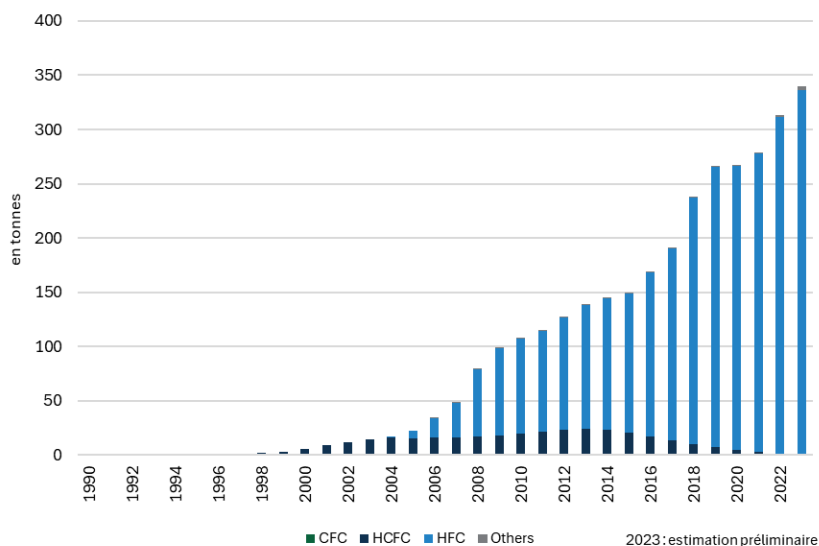


Figure 102 Emissions totales du secteur des pompes à chaleur réversibles

Tableau 93 – Emissions totales 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-22	1,7
Total HCFC	1,7
R-134a	0,1
R-32	35
R-404A - R507 (PRG~3950)	1,7
R-407C	33
R-410A	238
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	0,9
Total HFC hors HFO	309
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	0,9
Total HFC	310
R-290	1,2
R-744	0,07
Total Autres	1,3
Total général	313

### 9.3.3.2. Emissions totales en CO<sub>2</sub> équivalent

L'impact du secteur des PAC réversibles sur les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes est faible, de seulement 550 000 tonnes, les parcs d'équipements arrivant en fin de vie étant encore peu nombreux et les charges nominales étant faibles.

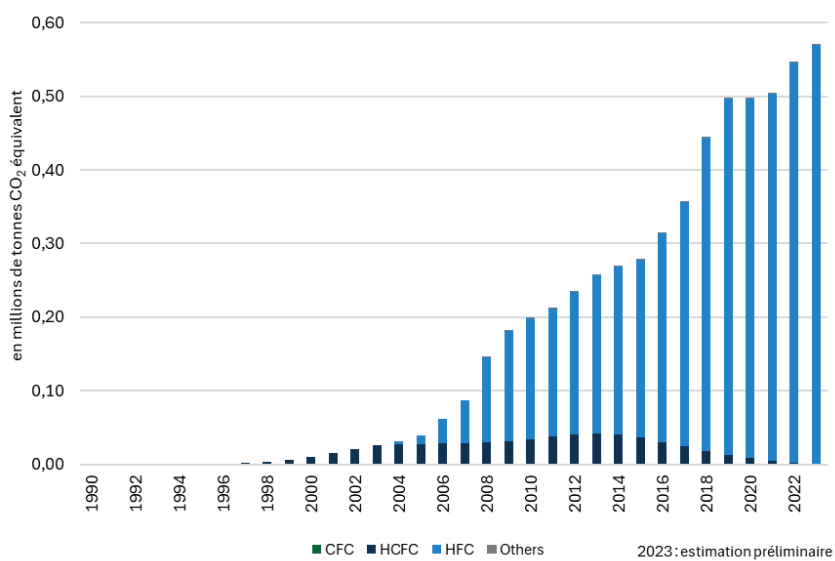


Figure 103 Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes des pompes à chaleur réversibles (millions de tonnes)

Tableau 94 – Emissions totales en CO<sub>2</sub>e 2022

Fluide frigorigène	2022 (en ktCO <sub>2</sub> e)
R-22	3,0
Total HCFC	3,0
R-134a	0,1
R-32	23,8
R-404A - R507 (PRG~3950)	6,8
R-407C	54
R-410A	458
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	0,5
Total HFC hors HFO	543
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	0,001
Total HFC	543
R-290	0,004
R-744	0,0001
Total Autres	0,004
Total général	546

10

Climatisation  
embarquée /  
climatisation  
automobile

# 10.1. Introduction

## Applications prises en compte

Le secteur de la climatisation embarquée se divise en quatre sous-secteurs, déterminés par les technologies utilisées et les modes de transport :

- La **climatisation automobile** : elle comprend les circuits de climatisation des véhicules particuliers et utilitaires légers (VUL), jusqu'à 5 t ;
- Les **véhicules industriels** : ils regroupent les camions de plus de 5 t. Ce sous-secteur est proche de celui de la climatisation automobile, seule la cabine du conducteur est climatisée par des systèmes de technologie identique.
- Les **cars et bus** : ils présentent des systèmes de climatisation différents, plus puissants, où tout le véhicule est rafraîchi.
- Le **transport ferroviaire** : il comprend les trains/TGV, les tramways, les RER et les métros. Les technologies sont spécifiques, avec des climatisations dans les cabines de conduites et des climatisations pour les segments voyageurs. Les sous-secteurs tramways, métros et RER constituent une part minoritaire du parc ferroviaire.

## Modes de charge

Tous ces équipements sont chargés en usine.

## Modes de maintenance

Dans le modèle de calcul, il est considéré que ces équipements subissent une opération de maintenance lorsque la charge réelle du système de climatisation passe en deçà d'un certain seuil à partir duquel la climatisation du véhicule fonctionne moins bien. Les différentes hypothèses retenues dans le modèle sont listées au Tableau 95.

Tableau 95 – hypothèses concernant les conditions de maintenance des systèmes de climatisation automobile

SOUS-SECTEUR	RYTHME MAINTENANCE	DE SEUIL	DECHARGE COMPLETE LORS DE LA MAINTENANCE
Climatisation automobile	Selon le seuil	60%	Oui
Véhicules industriels	Selon le seuil	60%	Oui
Car et bus	Selon le seuil	60%	Oui
Transport ferroviaire	Selon le seuil	50%	Non

## Durée de vie moyenne

Les durées de vie moyenne des équipements de climatisation mobile sont présentées au Tableau 96. Elles sont cohérentes avec les hypothèses des précédentes études d'inventaires [Ref 7].

Tableau 96 – Durées de vie moyennes par sous-secteur de la climatisation automobile

SOUS-SECTEUR	DUREE DE VIE
Climatisation automobile	12 ans
Véhicules industriels	12 ans
Car et bus	15 ans
Transport ferroviaire	15 ans

Une courbe de durée de vie est associée aux durées de vie moyenne afin de prendre en compte une variation réaliste de la durée de vie pour les véhicules d'un même millésime (Figure 4).

## 10.2. Données et hypothèses

### 10.2.1. Données d'activités

#### 10.2.1.1. Marchés et productions

##### MARCHES

Deux paramètres sont nécessaires pour reconstituer le parc de climatisation embarquée :

- Les ventes annuelles ou nombre d'immatriculations neuves de véhicules ;
- Le taux de climatisation du marché des nouveaux équipements.

- **Climatisation automobile**

Le marché de véhicules en France est communiqué chaque année par le Comité des Constructeurs Français d'Automobiles (CCFA) [Ref 35] pour toute la période à partir de 1990.

La courbe de pénétration de la climatisation sur le marché automobile français a été reconstituée à partir des données du modèle COPERT, logiciel européen de calcul des émissions de véhicules et d'informations annuelles provenant des principaux constructeurs automobiles en France [Ref 36] et [Ref 37].

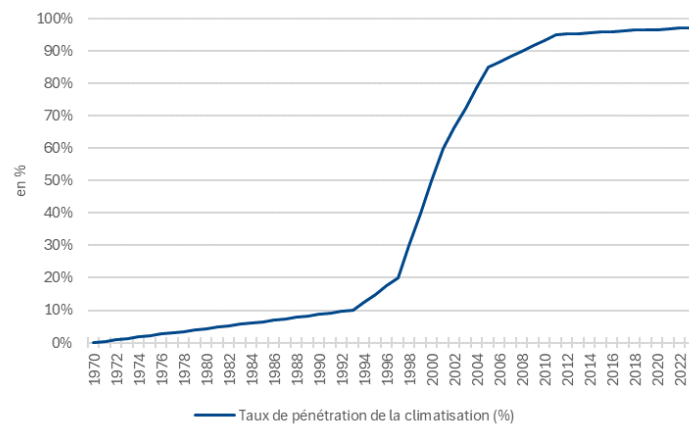


Figure 104 Evolution du taux de climatisation automobile en France métropole (en %)

- **Véhicules industriels**

Le marché de véhicules industriels supérieurs à 5t en France est connu par les données du CCFA [Ref 35] pour toute la période à partir de 1990.

Le taux de climatisation est supposé être identique à celui de la climatisation automobile (Figure 104) à la différence qu'il continue à progresser à partir de 2010 pour atteindre 99% en 2018 selon un fabricant [Ref 38].

- **Car et bus**

Le marché de cars et bus en France est connu à l'aide des données du CCFA [Ref 35] pour toute la période à partir de 1990.

La courbe de pénétration de la climatisation a été reconstituée à partir d'informations issues des rapports inventaires de fluides frigorigènes [Ref 7] et de données fabricants [Ref 39]. La courbe ainsi générée conduit à un niveau de 83 % de véhicules climatisés mis sur le marché en 2022.

- **Transport ferroviaire**

Les marchés des équipements de climatisation utilisés dans le transport ferroviaire ont été reconstitués à partir de données :

- Sur les parcs de moteurs et de remorques (ou rames) de trains et TGV publiés par le ministère chargé de l'écologie [Ref 40].
- Sur les données précisant les équipements types par mode de transport :
  - pour les tramways, il est considéré une climatisation par cabine et une autre climatisation pour 2 remorques (rapport inventaire des fluides frigorigènes [Ref 7]) ;
  - pour les trains/TGV, un ratio du nombre de climatisation par cabine et remorque pour chaque type de train a été établi à partir des données SNCF (description du parc d'équipements 2013);
  - pour les métros, sur la base des informations transmises par l'exploitant des transport parisiens [Ref 41], il est considéré un pourcentage de rames dotées d'une climatisation appliqué à l'ensemble des métros nationaux et que chaque cabine conducteur est équipée d'une climatisation.

## PRODUCTIONS

Le CCFA fournit les statistiques de production de véhicules en France pour les véhicules particuliers, utilitaires, industriels, cars et bus. Pour le sous-secteur « transport ferroviaire », la production des équipements de climatisation pour les trains, métros, RER et tramways est considérée égale aux marchés annuels.

### 10.2.1.2. Charge nominale

Pour l'année 2022, les niveaux moyens de charge nominale par application sont donnés au Tableau 94.

Tableau 97 – charges nominales des PAC en 2022

SOUS-SECTEUR	CHARGE MOYENNE (KG)
Climatisation automobile	0,46
Véhicules industriels	0,90
Car et bus	9,9
Transport ferroviaire	14,8

- **Climatisation automobile**

La charge moyenne des véhicules automobiles (Véhicules particuliers (VP) et Véhicules Utilitaires Légers (VUL)) est calculée chaque année à partir des données caractéristiques fournies par les équipementiers ([Ref 42] et [Ref 43]) et des meilleures ventes de véhicules [Ref 35].

La charge moyenne calculée diminue au cours du temps. Le niveau s'élevait à presque 900 g de réfrigérant par véhicule dans les années 1990 alors qu'il se situe aujourd'hui en-dessous de 500 g. La charge estimée ces dernières années est donc inférieure à l'intervalle indiqué dans les Lignes directrices du GIEC 2019 [Ref 12] mais ces données sont issues de calculs fins et spécifiques au pays et tiennent compte des progrès réalisés par les équipementiers et la profession automobile.

- **Véhicules industriels**

Les charges moyennes sont estimées sur la base d'informations transmises par deux producteurs français [Renault Truck, Scania].

Les niveaux de charge varient ainsi au cours du temps avec une constante diminution de 1310 g de réfrigérant par véhicule en 1990 à 904 g en 2022. Ces valeurs sont comprises dans l'intervalle proposé dans les Lignes directrices du GIEC 2019 (de 500 à 2000 g de réfrigérant par véhicule) [Ref 12].

- **Car et bus**

La quantité de réfrigérant contenu dans les systèmes de climatisation des bus et cars dépend notamment de la longueur et du type de bus (si seule la cabine du chauffeur est climatisée ou bien le bus entier). La courbe d'évolution de la charge moyenne de ces équipements a été reconstituée à partir d'informations tirées du rapport RTOC [Ref 44] et de données fabricant [Ref 39].

- **Transport ferroviaire**

Pour les trains, un ratio du nombre de climatisations par cabine et remorque pour chaque type de trains a été établi en 2013 à l'aide de l'état des lieux du principal opérateur ferroviaire en France [SNCF]. Ce ratio a ensuite été utilisé pour déduire le parc d'équipements pour les autres années. Les quantités de réfrigérant estimées sont les suivantes :

- Environ 3 kg par cabine de TGV climatisée ;
- Environ 2 kg par cabine climatisée pour les autres trains ;
- Environ 19 kg par remorque voyageur TGV climatisée ;
- Environ 23 kg par remorque voyageur pour les autres trains climatisés.

Pour les tramways, RER et métros, les informations utilisées proviennent de la RATP [Ref 41] et sont les suivantes :

- Entre 1 et 2 kg par cabine de métro climatisée ;
- Environ 2,5 kg par cabine de tramways climatisée ;
- Environ 5 kg par cabine de RER climatisée ;
- Environ 11,5 kg par remorque voyageur tramway climatisée ;
- Entre 13 et 17 kg par remorque voyageur métro climatisée.

### 10.2.1.3. Fluides frigorigènes utilisés

La directive 2006/40/CE du 17 mai 2006 concernant les émissions provenant des systèmes de climatisation des véhicules à moteur (Directive MAC, Mobile Air Conditioning) a interdit pour les véhicules neufs l'utilisation de fluide frigorigène dont le PRG est supérieur à 150 à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2017. Cette directive européenne concerne les véhicules particuliers et non les véhicules utilitaires légers. De même, la production des véhicules destinés à l'exportation hors Europe n'est pas concernée.



- Climatisation automobile

Au cours du temps, trois principaux fluides frigorigènes se sont succédés dans les climatisations des véhicules : le R-12 (CFC), le R-134a (HFC) rapidement à partir de 1995 [Ref 45] et le R-1234yf (HFO), progressivement introduit sur les véhicules neufs mis sur le marché Européen depuis 2015-2016.

Selon des informations du producteur de HFC-134a, en 2017 la réglementation européenne a été respectée et la totalité des véhicules particuliers ont été mis sur le marché européen avec des systèmes de climatisations fonctionnant au R-1234yf. En revanche, la progression du R-1234yf en remplacement du R-134a n'a eu lieu que très tardivement. Peu de véhicules utilisant le R-1234yf ont été mis sur le marché européen avant 2014 et la part du R-1234yf n'a été significative qu'à partir de 2016. A partir de 2016, on évalue le nombre de VP et VUL mis sur le marché avec du R-1234yf à l'aide des données de production d'un fabricant automobile [Ref 46].

- Véhicules industriels

Deux fluides frigorigènes ont été utilisés dans cette sous-application : le R-12 et le R-134a. Il est supposé que la transition entre ces deux fluides s'est faite comme pour la climatisation automobile en deux ans, entre 1992 et 1994. La transition avec le R-1234yf se fera plus lentement que pour les VP et VUL, selon les producteurs. En 2022, il est considéré que 73% du marché est encore au R-134a.

- Car et bus

L'évolution historique des fluides frigorigènes utilisés dans cette application a été reconstituée à partir des données des rapports RTOC [voir rapport NIR 2022]. Le R-1234yf est introduit à partir de 2021, il est supposé être utilisé par 40% du marché en 2022.

- Transport ferroviaire

Pour les trains et TGV, selon la SNCF, les équipements de climatisation utilisent le R-134a ou le R-407C, selon qu'ils équipent les TGV ou les TER et les postes de cabine ou wagon voyageur. Pour les RER, tramways et métros, le fluide utilisé est le R-134a [Ref 41]. Depuis 2020, le R-32, le R-450A et le R-1234yf sont introduits sur le marché.

#### 10.2.1.4. Durée de vie

Les courbes de durée de vie (Figure 4, Figure 5) ont été établies pour les différents sous-secteurs en se basant, sur les durées de vie moyenne de 12 et 15 ans, selon les types de véhicules.

### 10.2.2. Facteurs d'émissions

#### 10.2.2.1. A la charge

Les taux d'émission à la charge des équipements de climatisation mobile sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 98 – Facteurs d'émissions à la charge des systèmes de climatisations automobiles**

SOUS-SECTEUR	2022
Climatisation automobile	0,23%
Véhicules industriels	0,23%
Car et bus	0,13%
Transport ferroviaire	1%

- Climatisation automobile

Le facteur d'émission à la production des véhicules est estimé sur la base d'informations transmises par deux producteurs automobiles. Dans les années 1990, le facteur d'émission est estimé à environ 3 % puis diminue pour se situer entre 0,2 et 0,3 % ces dernières années. Le facteur d'émission national calculé pour les années récentes est donc compris dans l'intervalle des facteurs d'émission indiqués dans les Lignes directrices du GIEC 2019 (entre 0,2 et 0,5 %) [Ref 12].

- Véhicules industriels

Les facteurs d'émission à la production des véhicules industriels sont très faibles, et sont considérés identiques à ceux de la climatisation automobile.

- Car et bus

Le facteur d'émission à la charge des cars et bus est spécifique, déterminé par l'estimation par bilan matière d'un producteur pour les années 2018 et 2019 (respectivement 0,12 et 0,13 %). Ce ratio est inférieur à la gamme des Lignes directrices du GIEC 2019 [Ref 12] mais a été estimé pour deux années successives et récentes et considéré comme niveau moyen depuis 2018. Pour les années antérieures à 2018, faute de données spécifiques aux cars et bus, les valeurs estimées pour la climatisation automobile sont utilisées.

- Transport ferroviaire

Le facteur d'émission à la charge dans le transport ferroviaire est pris égal à celui utilisé dans le modèle des climatisations stationnaires chargées d'usine (entre 3 % pour les années anciennes et 1 % pour les années récentes).

## 10.2.2.2. Fugitif

Les taux d'émission fugitif par sous-secteur sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 99 – Facteurs d'émissions fugitifs des systèmes de climatisations automobiles**

SOUS-SECTEUR	2022
Climatisation automobile	8%
Véhicules industriels	8%
Car et bus	10%
Transport ferroviaire	5%

La courbe en S d'évolution des facteurs d'émission pendant le fonctionnement des véhicules est établie à partir des valeurs suivantes tirées des Lignes directrices du GIEC 2006 [Ref 12] :

**Tableau 100 – Données GIEC sur les taux d'émission fugitifs en climatisation automobile**

GENERATION	INTERVALLE		
	Haut	Bas	Moyenne
1 <sup>ère</sup> génération	20%	10%	15%
2 <sup>e</sup> génération	10,6%	5,3%	8%

L'hypothèse retenue dans les calculs correspond à la moyenne des intervalles de la deuxième génération à partir de la fin des années 2000 et à la moyenne de la première génération jusqu'en 1996. Il faut attendre une dizaine d'années

pour que le parc se renouvelle et se rapproche de 100% de véhicules équipés de climatisation de seconde génération et donc d'un facteur d'émission moyen de 8%.

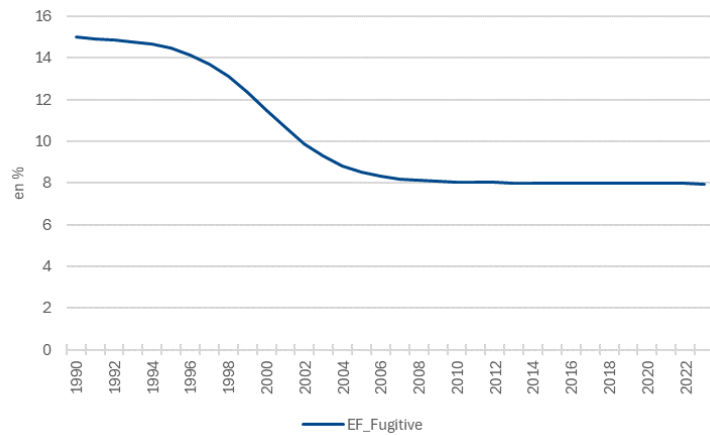


Figure 105 Facteur d'émission fugitif des véhicules (en %) en moyenne sur la flotte de véhicules

- Véhicules industriels

Des facteurs d'émission identiques à ceux utilisés pour la climatisation automobile sont pris en compte pour les véhicules industriels.

- Car et bus

Les hypothèses retenues dans cette application proviennent du rapport RTOC 2010 [Ref 47] : les taux de pertes annuelles pour les cars et bus sont d'environ 10 % de la charge nominale et, pour les engins construits avant 2000, ce facteur d'émission est deux fois plus élevé. Il a été considéré une régression linéaire entre 2000 et 2010.

- Transport ferroviaire

La courbe d'évolution des facteurs d'émission fugitifs pour le transport ferroviaire a été construite à l'aide d'une courbe en S allant d'un maximum de 15 % en 1995 (rapport RTOC [1109]) à un taux de 5 % dans les années 2010 [Ref 7] et maintenu constant, faute d'information complémentaire.

### 10.2.2.3. A la maintenance

L'évolution du taux d'émission à la maintenance pour le secteur de la climatisation mobile est donnée sur les figures ci-dessous. Elle prend en compte l'amélioration des pratiques. Les niveaux 2022 restent à confirmer.

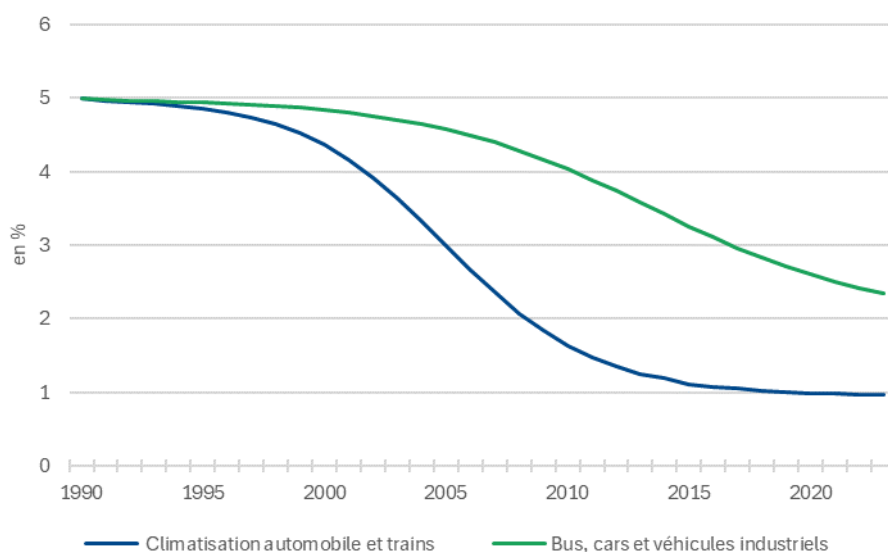


Figure 106 Facteurs d'émission à la maintenance des véhicules (en %)

#### 10.2.2.4. En fin de vie

Les taux d'émission en fin de vie des équipements sont présentés dans le tableau ci-dessous, par sous-secteur.

Tableau 101 – taux d'émission en fin de vie des véhicules automobiles

SOUS-SECTEUR	2022
Climatisation automobile	44%
Véhicules industriels	90%
Car et bus	50%
Transport ferroviaire	12%

- Climatisation automobile

Les émissions en fin de vie dépendent directement des quantités de gaz fluorés qui sont récupérées dans les véhicules hors d'usage (VHU) avant leur destruction. La directive 2000/53/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 septembre 2000 relative aux véhicules hors d'usage (dite directive VHU) fixe des objectifs en termes de :

- Promotion des politiques de prévention des déchets lors des phases de conception et de construction des véhicules ;
- Création d'un système de collecte des VHU ;
- Conditions de traitement des VHU ;
- Réutilisation et valorisation des VHU ;
- Obligations de communication des différents acteurs.

Parmi les matières à valoriser, on recense notamment les fluides frigorigènes utilisés dans les climatisations. Dès 2005, l'ADEME a mis en place le suivi de la filière des véhicules hors d'usage en créant l'observatoire des VHU dans le cadre de la mise en œuvre de l'arrêté du 19 janvier 2005 portant sur la communication d'informations relatives à la mise sur le marché des automobiles en France, aux opérations de dépollution, de traitement et de broyage des véhicules hors d'usage. L'objectif étant de suivre les performances de la filière globale des VHU. L'ADEME rapporte

ainsi chaque année dans son rapport les quantités de fluides frigorigènes récupérées par les filières de traitement des VHU. Cependant, ces données ne sont pas exploitables pour l'inventaire car les quantités de fluides récupérées sont estimées, et non mesurées, sur la base d'une quantité moyenne de fluide (0,54 kg) multipliée par le nombre de VHU. Ces quantités sont donc largement surestimées car d'une part tous les VHU ne sont pas climatisés, d'autre part, ceux qui le sont ont perdu une part de fluide pendant leur fonctionnement, et enfin la quantité moyenne de fluide contenue dans les véhicules dépend de la période de mise sur le marché.

Cependant, à la suite des revues internationales, il a été constaté que le taux d'émissions de fin de vie estimé pour la France était bien supérieur aux niveaux des autres pays européens alors que la filière VHU n'y est pas davantage mise en place. Des discussions lors des revues avaient également mis en évidence que la part exportée des véhicules en fin de vie n'était pas prise en compte et semblait significative.

Par conséquent, une correction a été apportée dans l'inventaire 2019 et un taux de récupération a été recalculé à partir de 2012 tenant compte :

de la quantité de VHU traités par les casses annuellement,

du gisement potentiel estimé à partir des données sur les marchés et la durée de vie moyenne des véhicules,

et d'un taux de récupération des HFC au sein des VHU traités, sa tendance d'évolution étant évaluée à partir d'hypothèses sur l'amélioration des comportements, bonnes pratiques et hausse récente des prix des HFC.

$$\text{Efficacité de récupération } (\%)_N = \text{Part VHU pris en charge}_N * \text{Part des fluides traités dans les VHU}_N$$

Avec :

$$\text{Part VHU pris en charge } (\%)_N = \frac{\text{Nombre VHU traités}_N}{\text{Nombre véhicules mis sur le marché}_{N-12} - \text{Nombre véhicules exportés}_N}$$

Pour les années antérieures, le taux de récupération n'a pas été modifié [Ref 7]].

Le nombre de VHU traités chaque année est communiqué dans les rapports VHU de l'ADEME [Ref 48] de même que les exportations. Le nombre de véhicules mis sur le marché à l'année N-12 (durée de vie moyenne des véhicules) est connu précisément dans les rapports du CCFA [Ref 35]. La part des fluides traités dans les VHU pris en charge par les casses est estimée sur la base d'hypothèses et augmente chaque année. Celle-ci a été estimée à 25% en 2013 et 50% en 2017. Des enquêtes terrains auprès des casses pourraient valider l'ordre de grandeur de ces hypothèses. Les niveaux 2019-2022 ont été estimés tendanciellement, pour atteindre 56 % d'efficacité de récupération, tenant compte des exportations, en 2022.

- Véhicules industriels

Les taux de récupération des fluides frigorigènes en fin de vie de ces véhicules sont supposés rester bas, faute d'information complémentaire. Les niveaux des anciens rapports d'inventaires [Ref 7] sont maintenus.

- Car et bus

Il est considéré que la filière de récupération en fin de vie des systèmes de climatisation des cars et bus a démarré dans les années 2015, pour atteindre 50% d'efficacité de récupération en 2022.

- Transport ferroviaire

D'après le service de maintenance de la SNCF, la récupération en fin de vie des équipements de climatisation des trains est équivalente à celle réalisée lors des opérations de maintenance. La progression de l'efficacité de récupération est estimée à partir d'une courbe en S démarrant en 1990 pour atteindre environ 90 % dans les années 2022.

# 10.3. Résultats

## 10.3.1. Banque

La banque de la climatisation embarquée est en légère décroissance depuis 2019, la croissance du parc étant compensée par la réduction des charges moyennes des véhicules. Elle est estimée à 14 000 tonnes en 2022, constituée exclusivement de HFC, la banque de CFC étant éliminée depuis 2006. La banque de R-1234yf, remplaçant progressivement celle du R-134a, constitue désormais environ la moitié de la banque de climatisation embarquée (Tableau 102).

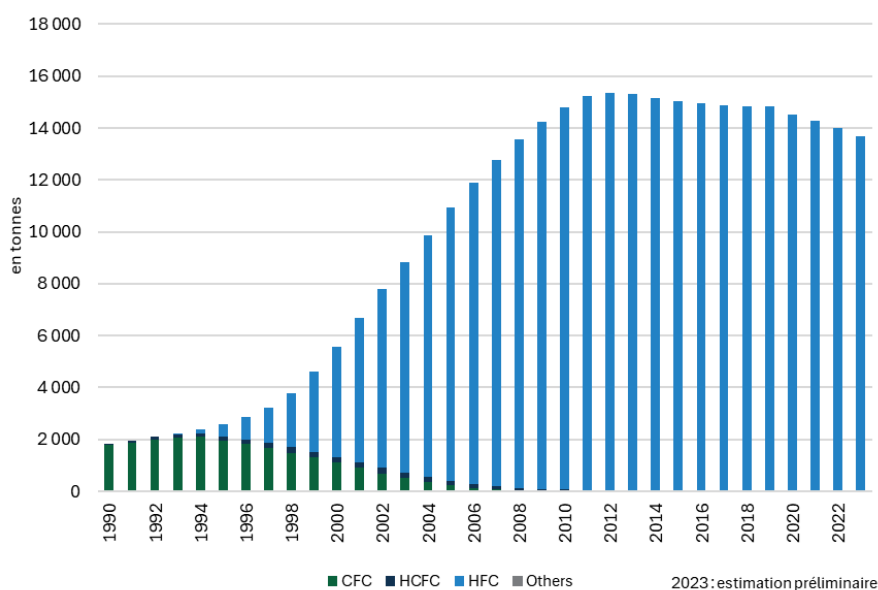


Tableau 102 – Banque de fluide 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	6 796
R-32	16
R-407C	164
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	32
Total HFC hors HFO	7 007
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	6 976
Total HFC	13 984
Total général	13 984

Figure 107 - Banque de fluide dans le secteur de la climatisation automobile

## 10.3.2. Demande

### 10.3.2.1. Besoin pour les équipements neufs

En 2022, le besoin pour la production est estimé à 713 tonnes ; composé aux ¾ de R-1234yf.

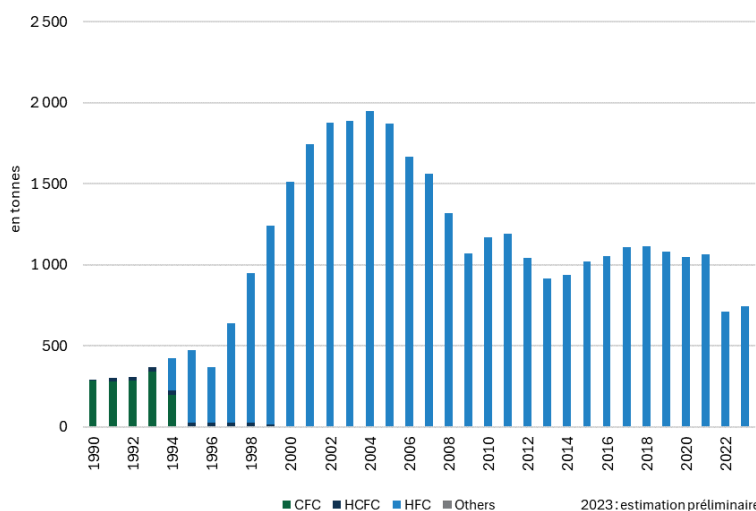


Figure 108 - Quantités nécessaires à la production dans le secteur de la climatisation mobile

Tableau 103 – Besoin production 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	171
R-32	4,4
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	13
Total HFC hors HFO	188
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	525
Total HFC	713
Total général	713

### 10.3.2.2. Besoin pour la maintenance

Le besoin évalué pour la maintenance dans le secteur de la climatisation automobile est estimé à environ 500 tonnes en 2022. Comme pour la climatisation à air, le besoin estimé pour la maintenance est irrégulier car évalué en fonction de l'atteinte d'un seuil de charge. Etant donné que le R-1234yf n'est apparu sur le marché neuf des équipements qu'en 2016 et que les taux d'émission des véhicules sont considérés bas, de 8 % par an, la charge réelle des premiers millésimes mis sur le marché n'atteint pas encore le niveau seuil de charge à partir duquel il est supposé qu'une maintenance avec recharge est réalisée (hypothèse : seuil à 60 % de la charge nominale). Ce qui explique que le calcul ne fasse pas apparaître de R-1234yf en maintenance. Ce point est à améliorer.

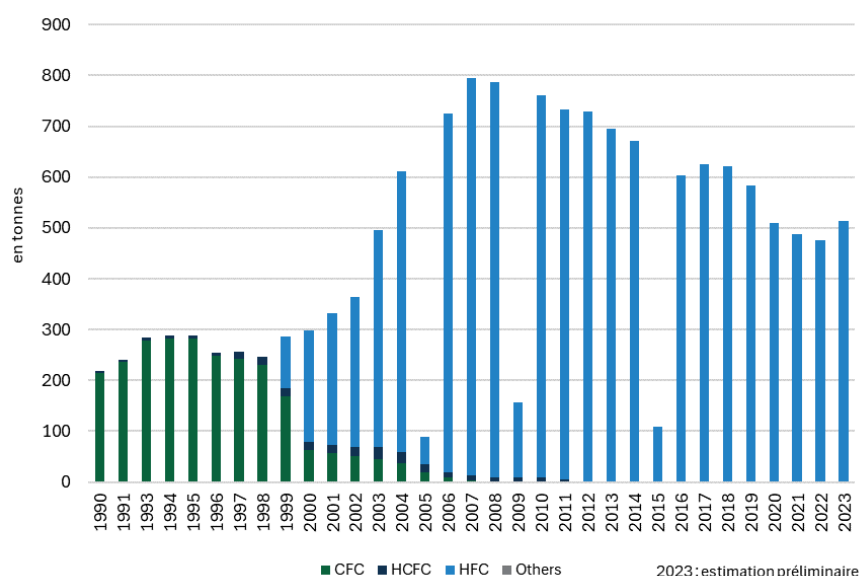


Figure 109 - Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur de la climatisation automobile

Tableau 104 – Quantités pour la maintenance 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	472
R-407C	3,9
Total HFC	476
Total général	476

### 10.3.2.3. Besoin pour le retrofit

On ne considère pas de retrofit sur les systèmes de climatisation mobile.

## 10.3.3. Emissions

### 10.3.3.1. Emissions totales

Les émissions du secteur de la climatisation mobile sont en décroissance depuis 2014, le parc étant renouvelé avec des véhicules aux taux d'émissions fugitifs de plus en plus bas. Elles sont estimées à 1 600 tonnes en 2022. Désormais, 35% des émissions du secteur sont des émissions de R-1234yf.

Les émissions sont constituées en grande partie des émissions fugitives de la climatisation automobile (73 %) et dans une moindre mesure des émissions en fin de vie (26 %) depuis que la part des véhicules exportée est prise en compte dans le calcul.

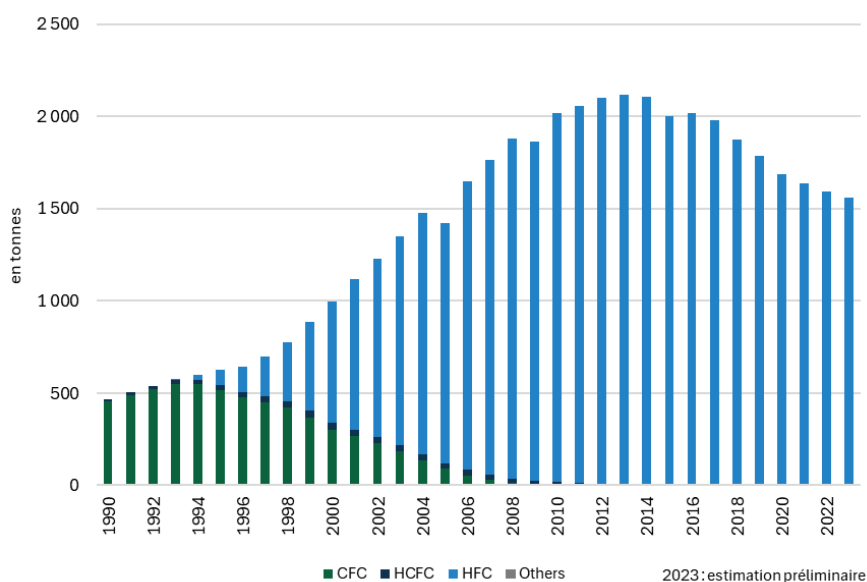


Tableau 105 – Emissions totales 2022

Fluide frigorigène	2022 (en t)
R-134a	1 017
R-32	0,9
R-407C	10
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	1,8
Total HFC hors HFO	1 030
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	562
Total HFC	1 591
Total général	1 591

Figure 110 - Emissions totales du secteur de la climatisation mobile

### 10.3.3.2. Emissions totales en CO<sub>2</sub> équivalent

La progression du R-1234yf sur le parc automobile impacte très significativement les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes du secteur, en baisse de plus de 10% par an depuis 2018. Les émissions de R-134a représentent la quasi-totalité des émissions en 2022.

La transition du R-134a au R-1234yf a permis de réduire de moitié par rapport à 2016 le niveau annuel des émissions en CO<sub>2</sub> équivalent du secteur, elles devraient être de l'ordre de 1,2 million de tonnes en 2023.



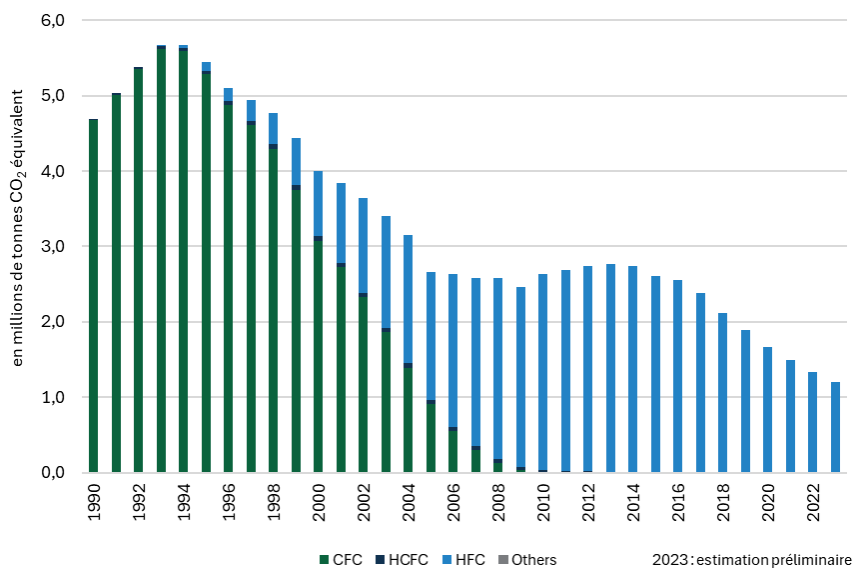


Tableau 106 – Emissions totales en CO<sub>2</sub>e 2022

Fluide frigorigène	2022 (en ktCO <sub>2</sub> e)
R-134a	1 322
R-32	0,6
R-407C	16
R-513A - R-513B - R-450A - R-456A (PRG~600)	1,0
Total HFC hors HFO	1 340
HFO (R-1234yf - R-1234ze - R-1233zd)	0,6
Total HFC	1 341
Total général	1 341

Figure 111 Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes de la climatisation automobile (millions de tonnes)



# Annexes

# 11.1. PRG donnés par le 4<sup>ème</sup> & 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC (AR4 – AR5)

Tableau 107 – PRG des fluides frigorigènes pris en compte dans le calcul

REFRIGERENT	PRG4	PRG5
R-11	4 750	4 660
R-12	10 900	10 200
R-1233zd	5	5
R-1234yf	4	1
R-1234ze	7	1
R-125	3 500	3 170
R-134a	1 430	1 300
R-143a	4 470	4 800
R-152a	124	138
R-22	1 810	1 760
R-290	3	3
R-32	675	677
R-401A	975	951
R-404A	3 922	3 953
R-407A	2 107	1 923
R-407C	1 774	1 624
R-407F	1 825	1 674
R-408A	3 152	3 257
R-410A	2 088	1 924
R-417A	2 346	2 127
R-422A	3 143	2 847

REFRIGERENT	PRG4	PRG5
R-422D	2 729	2 473
R-427A	2 138	2 024
R-448A	1 387	1 273
R-449A	1 397	1 282
R-450A	605	547
R-507	3 985	3 985
R-513A	631	573
R-513B	596	540
R-600a	3	3
R-717	0	0
R-744	1	1
R-513A	631	573
R-513B	596	540
R-600a	3	3
R-717	0	0
R-744	1	1

# 11.2. Emissions déclarées pour le secteur 2F1

Cette annexe présente les résultats des émissions de HFC pour les secteurs du froid et de la climatisation (2F1) à la Commission Européenne et à la CNUCCC. Ces déclarations officielles sont décomposées en fluides primaires et réalisées au « périmètre Kyoto » soit en France métropole et Territoires d’outre-mer soumis à la réglementation européenne (anciennement « DOM »).

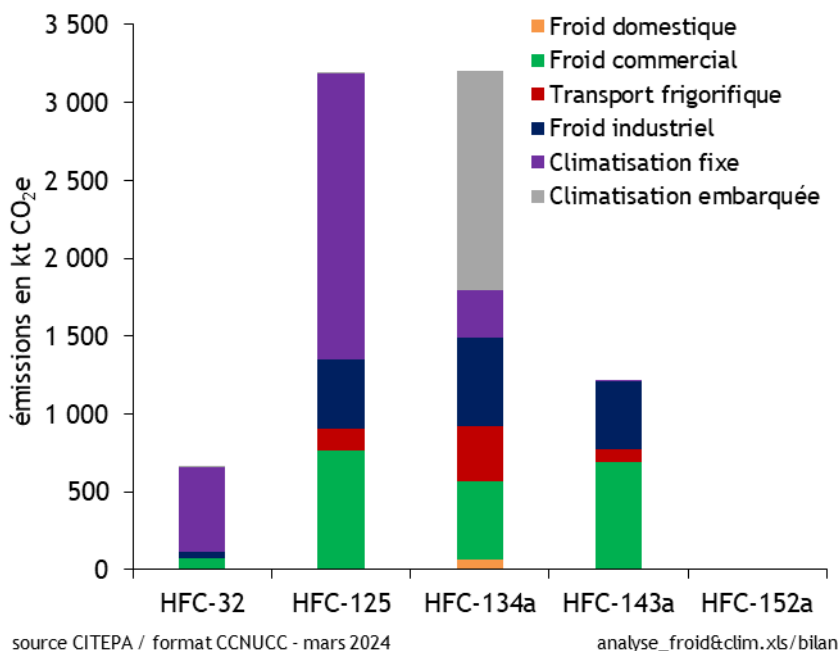
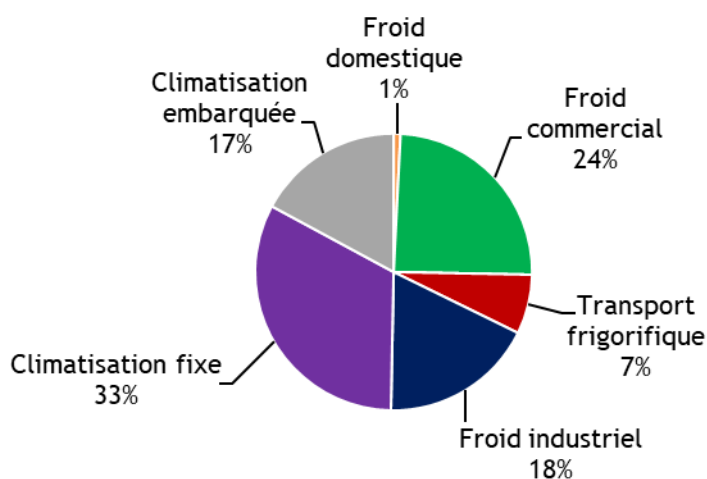


Figure 112 - Distribution des émissions de HFC en CO<sub>2</sub>e du CRF 2F1 en 2022 (périmètre Kyoto)



source CITEPA / format CCNUCC - mars 2024

analyse\_froid&clim.xls/bilan

Figure 113 - Contribution des secteurs aux émissions de HFC en CO<sub>2</sub>e de la catégorie CRF 2F1 en 2022 (périmètre Kyoto)

## 11.3. Acronymes et abréviations

### A

AR4 Assessment Report 4 (4ème rapport du GIEC)

AR5 Assessment Report 5 (5ème rapport du GIEC)

### C

CCNUCC Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique

CE Commission Européenne

CFC ChloroFluoroCarbures

### G

GES Gaz à effet de serre

GIEC Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (pour IPCC en anglais : Intergovernmental Panel on Climate Change)

GF Gaz fluorés

### H

HC HydroCarbures

HCFC HydroChloroFluoroCarbures

HFC HydroFluoroCarbures

HFO HydroFluoroOléfines (HFC à bas PRG)

### P

PRG Potentiel de Réchauffement Global (pour GWP en anglais, Global Warming Potential)

### U

UE Union Européenne

UTCATF Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Forêt

# 11.4. Table des figures

Figure 1 - Les gaz à effet de serre .....	7
Figure 2 – Tables CRF (Common Reporting Format), mode de déclaration des émissions de HFC auprès de la CNUCC .....	8
Figure 3 - Principes de la méthode de calcul des émissions de fluides frigorigènes .....	13
Figure 4 – Exemple d’une courbe de durée de vie pour un équipement de durée de vie moyenne de 15 ans .....	14
Figure 5 – Exemple d’une courbe de durée de vie pour un équipement de durée de vie moyenne de 25 ans .....	14
Figure 6 - Répartition des émissions de GES en 2022 (Métropole & territoires d’Outre-mer compris dans l’Europe) .	18
Figure 7 - Répartition sectorielle des gaz fluorés en 2022 (Métropole) .....	18
Figure 8 - Répartition des émissions de GES en CO <sub>2</sub> équivalent en France (Métropole & territoires d’Outre-mer compris dans l’Europe). Source : Citepa, données Secten 2024. ....	18
Figure 9 - Evolution des émissions de gaz fluorés (HFC, PFC, SF <sub>6</sub> , NF <sub>3</sub> ) en France de 1990 à 2022, (France métropole et territoires d’Outre-mer inclus dans l’UE). Source : Citepa, rapport CNUCC 2024 .....	19
Figure 10 - Evolution de la banque totale de fluides frigorigènes en France métropole .....	20
Figure 11 - Répartition sectorielle de la banque de HFC (en tonnes) en France métropole en 2022.....	20
Figure 12 - Répartition sectorielle de la banque équivalente CO <sub>2</sub> de HFC en France métropole en 2022 .....	20
Figure 13 - Evolution des émissions de fluides frigorigènes en tonnes en France métropole (1990-2023).....	21
Figure 14 - Répartition sectorielle des émissions de HFC (en tonnes) en France métropole en 2022.....	21
Figure 15 - Evolution, en tonnes de CO <sub>2</sub> équivalent (AR5), des émissions de fluides frigorigènes en France métropole .....	23
Figure 16 - Répartition sectorielle des émissions CO <sub>2</sub> équivalentes (AR5) de HFC en France métropole en 2022 .....	23
Figure 17 - Evolution des parts sectorielles des émissions CO <sub>2</sub> équivalentes (AR5) de fluides frigorigènes .....	24
Figure 18 - Evolution des parts sectorielles des émissions CO <sub>2</sub> équivalentes (AR4) de fluides frigorigènes .....	24
Figure 19 - Evolution, en tonnes de CO <sub>2</sub> équivalent (AR4), des émissions de fluides frigorigènes en France métropole .....	25
Figure 20 - Répartition sectorielle des émissions CO <sub>2</sub> équivalentes (AR4) de HFC en France métropole en 2022 .....	25
Figure 21 Banque de fluide dans le secteur du froid domestique .....	25
Figure 22 - Demande totale en fluides frigorigènes pour la France métropole .....	26
Figure 23 - Besoin en fluides frigorigènes pour la production d’équipements préchargés en France métropole .....	27
Figure 24 - Besoin en fluides frigorigènes pour la charge d’équipements sur site .....	27
Figure 25 Banque de fluide dans le secteur du froid domestique .....	28
Figure 26 - Evolution du besoin estimé pour la maintenance des installations sur le parc d’équipements en France .....	28
Figure 27 - Evolution du besoin estimé pour le retrofit des installations en France.....	28
Figure 28 - Comparaison de la demande totale calculée en HFC aux marchés déclarés au SNEFCCA.....	29
Figure 29 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-410A.....	30
Figure 30 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-407C .....	30
Figure 31 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-134a .....	30
Figure 32 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-404A.....	30
Figure 33 Comparaison des données sur la récupération en France métropole .....	31
Figure 34 Part des réfrigérants utilisés sur le marché des réfrigérateurs domestiques .....	35
Figure 35 Banque de fluide dans le secteur du froid domestique .....	37
Figure 36 Banque de fluide dans le secteur du froid domestique .....	37
Figure 37 Demande en fluides frigorigènes pour la production dans le secteur du froid domestique.....	38
Figure 38 Emissions totales du froid domestique .....	39
Figure 39 Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes du froid domestique (millions de tonnes) .....	39
Figure 40 Ratios de charge surfacique en supermarchés et hypermarchés .....	43
Figure 41 Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les nouvelles installations des hypermarchés.....	44
Figure 42 Evolution des fluides frigorigènes utilisés en supermarchés.....	45
Figure 43 Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les petits commerces (groupes de condensation).....	45
Figure 44 Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les petits commerces (groupes hermétiques).....	46
Figure 45 Taux d’émission à la maintenance - Froid commercial.....	48

Figure 46 Efficacité de récupération en fin de vie des équipements dans le secteur du froid commercial .....	48
Figure 47 Banque de fluide dans le secteur du froid commercial .....	49
Figure 48 Quantités nécessaires à la production d'équipements en France dans le secteur du froid commercial ....	50
Figure 49 Besoin en fluides frigorigènes pour la charge sur site des équipements neufs pour le secteur du froid commercial.....	51
Figure 50 Besoin en fluides frigorigènes pour la maintenance du parc d'installations dans le secteur du froid commercial.....	52
Figure 51 Besoin en fluides frigorigènes pour le retrofit d'installations dans le secteur du froid commercial .....	52
Figure 52 Emissions totales du froid commercial .....	53
Figure 53 Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes du froid commercial (millions de tonnes) .....	54
Figure 54 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes poulie courroie.....	59
Figure 55 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes semi-remorques .....	60
Figure 56 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés dans les conteneurs frigorifiques (transport maritime).....	60
Figure 57 - Taux d'émissions à la maintenance – transports frigorifiques .....	62
Figure 58 - Banque de fluide dans le secteur du transport frigorifique .....	63
Figure 59 - Quantités nécessaires à la production dans le secteur du transport frigorifique.....	64
Figure 60 - Quantités nécessaires à la charge des équipements sur site pour le secteur du transport frigorifique.....	64
Figure 61 - Besoin pour la maintenance dans le secteur du transport frigorifique .....	65
Figure 62 - Emissions totales du transport frigorifique .....	66
Figure 63 - Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes du transport frigorifique (millions de tonnes) .....	66
Figure 64 Ratio de charge équivalent – Exemple de l'industrie laitière .....	71
Figure 65 Evolution des réfrigérants utilisés dans les installations neuves de l'industrie de la viande .....	72
Figure 66 - Taux d'émission à la maintenance - Froid industriel.....	74
Figure 67 - Banque de fluide dans le secteur du froid industriel .....	76
Figure 68 - Besoin en fluides frigorigènes pour les installations neuves du froid industriel.....	76
Figure 69 - Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur du froid industriel .....	77
Figure 70 - Besoin pour le retrofit dans le secteur du froid industriel .....	78
Figure 71 - Emissions totales du froid industriel .....	78
Figure 72 - Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes du froid industriel (millions de tonnes) .....	79
Figure 73 - Evolution des fluides frigorigènes utilisés par gamme de chillers .....	84
Figure 74 - Facteur d'émission à la charge des chillers (en %) .....	85
Figure 75 Facteur d'émission pendant la durée de vie – chillers (en %).....	86
Figure 76 Taux d'émission à la maintenance – Chillers.....	86
Figure 77 Facteurs d'émission en fin de vie des chillers (en %) .....	87
Figure 78 - Banque de fluide dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau .....	87
Figure 79 Quantités nécessaires à la production des groupes refroidisseurs à eau (GRE) en France métropole.....	88
Figure 80 Besoin pour la maintenance dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau (GRE).....	89
Figure 81 Besoin pour le retrofit dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau (GRE).....	89
Figure 82 Emissions totales du secteur des groupes refroidisseurs à eau (GRE).....	90
Figure 83 Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes des groupes refroidisseurs à eau (GRE) (millions de tonnes) .....	91
Figure 84 Evolution de la charge des systèmes splits centralisés .....	97
Figure 85 - Facteur d'émission à la charge (en %) des équipements de climatisation à air.....	99
Figure 86 - Facteur d'émission pendant la durée de vie – PAC air/air et climatisation fixe (en %) .....	100
Figure 87 - Taux d'émissions à la maintenance des équipements de climatisation à air de type split.....	100
Figure 88 - Efficacité de récupération en fin de vie (en %) des équipements de la climatisation et PAC à air.....	102
Figure 89 - Banque de fluide du secteur de la climatisation à air et PAC air/air .....	102
Figure 90 - Répartition sectorielle de la banque 2022 de la climatisation à air et PAC air/air .....	103
Figure 91 - Quantités nécessaires à la charge des équipements de la climatisation fixe.....	103
Figure 92 - Quantités nécessaires à la production dans le secteur de la climatisation et PAC air/air fixe .....	104
Figure 93 - Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur de la climatisation et PAC air/air fixe.....	104
Figure 94 - Quantités nécessaires à le retrofit dans le secteur de la climatisation et PAC air/air fixe .....	105
Figure 95 - Emissions totales du secteur de la climatisation et PAC air/air fixe .....	106
Figure 96 - Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes de la climatisation et PAC air/air fixe (millions de tonnes).....	107

Figure 97 - Répartition sectorielle des émissions CO <sub>2</sub> équivalentes de la climatisation & PAC à air en 2022 .....	107
Figure 98 - Facteur d'émission fugitif – pompes à chaleurs réversibles (en %).....	111
Figure 99 - Banque de fluide dans le secteur des pompes à chaleur résidentielles.....	112
Figure 100 Quantités requises à la production dans le secteur des pompes à chaleur réversibles.....	113
Figure 101 Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur des PAC.....	113
Figure 102 Emissions totales du secteur des pompes à chaleur réversibles .....	114
Figure 103 Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes des pompes à chaleur réversibles (millions de tonnes).....	115
Figure 104 Evolution du taux de climatisation automobile en France métropole (en %) .....	118
Figure 105 Facteur d'émission fugitif des véhicules (en %) en moyenne sur la flotte de véhicules .....	123
Figure 106 Facteurs d'émission à la maintenance des véhicules (en %) .....	124
Figure 107 - Banque de fluide dans le secteur de la climatisation automobile .....	126
Figure 108 - Quantités nécessaires à la production dans le secteur de la climatisation mobile .....	127
Figure 109 - Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur de la climatisation automobile .....	127
Figure 110 - Emissions totales du secteur de la climatisation mobile.....	128
Figure 111 Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes de la climatisation automobile (millions de tonnes) .....	129
Figure 112 - Distribution des émissions de HFC en CO <sub>2</sub> e du CRF 2F1 en 2022 (périmètre Kyoto) .....	132
Figure 113 - Contribution des secteurs aux émissions de HFC en CO <sub>2</sub> e de la catégorie CRF 2F1 en 2022 (périmètre Kyoto) .....	132



# 11.5. Table des tableaux

Tableau 1 – Evolution des PRG des principaux CFC, HCFC et HFC utilisés en réfrigération et climatisation [Ref 5] ...	10
Tableau 2 – Structure de la base de données des secteurs du froid et de la climatisation .....	11
Tableau 3 – Données d’activité nécessaires par application et par an pour le calcul des émissions de réfrigérants...	15
Tableau 4 – Banque de fluide 2022 .....	20
Tableau 5 – Emissions 2022 .....	21
Tableau 6 – Emissions 2022 (AR5) .....	23
Tableau 7 – Emissions 2022 (AR4) .....	25
Tableau 8 – Banque de fluide 2022 .....	25
Tableau 9 – Demande 2022.....	26
Tableau 10 – Production 2022 .....	27
Tableau 11 – Charge 2022.....	27
Tableau 12 – Banque de fluide 2022 .....	28
Tableau 13 – Besoin maintenance 2022 .....	28
Tableau 14 – Besoin retrofit 2022.....	28
Tableau 15 – Marchés d’équipements du secteur de froid domestique (nombre d’unités) .....	34
Tableau 16 – Estimation des productions d’équipements du secteur de froid domestique .....	34
Tableau 17 – Hypothèses de charges nominales des équipements de froid domestiques .....	34
Tableau 18 – Facteur d’émission à la charge des équipements de froid domestique.....	36
Tableau 19 – Facteur d’émission fugitif des équipements de froid domestique .....	36
Tableau 20 – Facteur d’émission de fin de vie des équipements de froid domestique .....	37
Tableau 21 – Banque de fluide 2022 .....	37
Tableau 22 – Banque de fluide 2022 .....	37
Tableau 23 – Production 2022 .....	38
Tableau 24 – Emissions totales 2022 .....	39
Tableau 25 – Emissions totales en CO <sub>2</sub> e 2022 .....	39
Tableau 26 – Catégories de magasin prises en compte dans les équipements des petits commerces .....	41
Tableau 27 – Modes de maintenance des équipements de froid commercial.....	42
Tableau 28 – Parcs de magasins .....	43
Tableau 29 – Charges moyennes en super et hypermarchés (kg/m <sup>2</sup> ) .....	43
Tableau 30 – Charges moyennes des équipements par type de petits commerces (kg).....	44
Tableau 31 – hypothèses de facteurs d’émission à la charge des équipements de froid commercial.....	46
Tableau 32 – Facteur d’émission fugitif des équipements de froid commercial .....	47
Tableau 33 – Hypothèses de facteurs d’émission fin de vie – secteur du froid commercial .....	49
Tableau 34 – Banque de fluide 2022 .....	49
Tableau 35 – Production 2022 .....	50
Tableau 36 – Charges 2022 .....	51
Tableau 37 – Quantités pour la maintenance 2022.....	52
Tableau 38 – Quantités pour le retrofit 2022 .....	52
Tableau 39 – Emissions totales 2022 .....	53
Tableau 40 – Emissions totales en CO <sub>2</sub> e 2022 .....	54
Tableau 41 – prise en compte de la maintenance dans la méthode de calcul pour le transport frigorifique.....	56
Tableau 42 – Marchés des groupes frigorifiques pour le transport routier.....	57
Tableau 43 – Productions estimées des groupes frigorifiques pour le transport routier .....	58
Tableau 44 – Evolution des niveaux de charge nominale des équipements frigorifiques du transport routier (en kg) ..	58
Tableau 45 – charges nominales des équipements frigorifiques du transport maritime (kg).....	58
Tableau 46 – Facteurs d’émissions à la charge pour le transport frigorifique .....	61
Tableau 47 – Facteurs d’émissions fugitives pour les applications du transport frigorifique .....	61
Tableau 48 – Facteurs d’émission en fin de vie des équipements du transport frigorifique.....	62
Tableau 49 – Banque de fluide 2022 .....	63
Tableau 50 – Production 2022 .....	64

Tableau 51 – Charges sur site 2022.....	64
Tableau 52 – Quantités pour la maintenance 2022.....	65
Tableau 53 – Emissions totales 2022 .....	66
Tableau 54 – Emissions totales en CO <sub>2</sub> e 2022 .....	66
Tableau 55 – Répartition des surfaces d’entrepôts frigorifiques en France – Insee 2012 .....	70
Tableau 56 – Ratios frigorifiques caractéristiques par application.....	71
Tableau 57 – Facteur d’émission à la charge des installations de froid industriel.....	73
Tableau 58 – Facteurs d’émissions fugitives par application du froid industriel .....	73
Tableau 59 – Facteurs d’émissions en fin de vie des équipements du froid industriel.....	75
Tableau 60 – Banque de fluide 2022 .....	76
Tableau 61 – Charge sur site 2022 .....	76
Tableau 62 – Quantités pour la maintenance 2022.....	77
Tableau 63 – Besoin retrofit 2022.....	78
Tableau 64 – Emissions totales 2022 .....	78
Tableau 65 – Emissions totales en CO <sub>2</sub> e 2022 .....	79
Tableau 66 - Rythme de maintenance des Chillers .....	81
Tableau 67 - durée de vie moyenne des chillers .....	82
Tableau 68 – Ratios de charge par gamme de chillers en 2022 .....	83
Tableau 69 – Fluides frigorigènes utilisés sur le marché des chillers en 2022 .....	84
Tableau 70 – Banque de fluide 2022 .....	87
Tableau 71 – Production 2022 .....	88
Tableau 72 – Quantités pour la maintenance 2022.....	89
Tableau 73 – Besoin retrofit 2022.....	89
Tableau 74 – Emissions totales 2022 .....	90
Tableau 75 – Emissions totales en CO <sub>2</sub> e 2022 .....	91
Tableau 76 - modes de charge des équipements de climatisation à air .....	94
Tableau 77 - Modes de maintenance des équipements de climatisation à air .....	94
Tableau 78 - Durées de vie moyenne des équipements de climatisation à air .....	95
Tableau 79 – hypothèses de charge nominale constante pour certains équipements de climatisation à air.....	96
Tableau 80 – charges nominales 2022 des équipements de climatisation à air .....	97
Tableau 81 – Fluides frigorigènes utilisés sur les marchés neufs des équipements de climatisation à air en 2022 ....	98
Tableau 82 – Banque de fluide 2022 .....	102
Tableau 83 – Besoin pour la charge 2022.....	103
Tableau 84 – Production 2022 .....	104
Tableau 85 – Quantités pour la maintenance 2022.....	104
Tableau 86 – Emissions totales 2022 .....	106
Tableau 87 – Emissions totales en CO <sub>2</sub> e 2022 .....	107
Tableau 88 – charges nominales des PAC en 2022 .....	110
Tableau 89 – Fluides frigorigènes utilisés sur le marché neuf des PAC en 2022 .....	110
Tableau 90 – Banque de fluide 2022 .....	112
Tableau 91 – Besoin production 2022 .....	113
Tableau 92 – Quantités pour la maintenance 2022.....	113
Tableau 93 – Emissions totales 2022 .....	114
Tableau 94 – Emissions totales en CO <sub>2</sub> e 2022 .....	115
Tableau 95 – hypothèses concernant les conditions de maintenance des systèmes de climatisation automobile..	117
Tableau 96 – Durées de vie moyennes par sous-secteur de la climatisation automobile .....	118
Tableau 97 – charges nominales des PAC en 2022 .....	119
Tableau 98 – Facteurs d’émissions à la charge des systèmes de climatisations automobiles.....	121
Tableau 99 – Facteurs d’émissions fugitifs des systèmes de climatisations automobiles .....	122
Tableau 100 – Données GIEC sur les taux d’émission fugitifs en climatisation automobile.....	122
Tableau 101 – taux d’émission en fin de vie des véhicules automobiles.....	124
Tableau 102 – Banque de fluide 2022 .....	126
Tableau 103 – Besoin production 2022 .....	127

Tableau 104 – Quantités pour la maintenance 2022 .....	127
Tableau 105 – Emissions totales 2022 .....	128
Tableau 106 – Emissions totales en CO <sub>2</sub> e 2022 .....	129
Tableau 107 – PRG des fluides frigorigènes pris en compte dans le calcul .....	131

# 11.6. Références bibliographiques

Ref 1 – Rapport d’inventaire d’émissions de fluides frigorigènes pour la France métropole. Résultats 2020 et estimation provisoire 2021. Citepa – AFCE. Juin 2022. [Rapport AFCE – Inventaire des émissions de fluides frigorigènes – AFCE – Alliance Froid Climatisation Environnement](#)

Ref 2 - Lignes directrices du GIEC 2006 & Raffinements 2019 (Chapter 7: Emissions of Fluorinated Substitutes for Ozone Depleting Substances)

Ref 3 - Thèse Sabine Saba, MINES-ParisTech, 2009 Global inventories and direct emissions estimation of greenhouse gases of the refrigeration systems

Ref 4 - RTOC 2018 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee

Ref 5 – Synthèse des PRG données par les 2<sup>nd</sup>, 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC  
[https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29\\_1.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf)

Ref 6 - Gifam (Groupement des marques d’appareils pour la maison).  
<https://www.gifam.fr/accueil/gem/refrigerateur/#chiffres-clc>

Ref 7 - Centre Efficacité énergétique des Systèmes de l’Ecole des Mines de Paris – Inventaire annuel des émissions des fluides frigorigènes en France jusqu'en 2016

Ref 8 - WHIRLPOOL - Communication interne

Ref 9 - Revue spécialisée Entreprendre - "Cave à vin : EuroCave leader mondial... et 100 % made in France" - 29/10/2014

Ref 10 - Eurocave - Communication interne

Ref 11 - Enquête terrain Citepa - fluide frigorigène équipements domestiques

Ref 12 - Lignes directrices du GIEC 2006 – Volume 3 – Chapitre 7 – Tableaux 7.9

Ref 13 - ADEME - Rapports annuels Equipement Electriques et Electroniques

Ref 14 - Nielsen - Retour sur 40 ans de distribution française

Ref 15 - INSEE - Les points de vente du commerce de détail 1982 à 1992

Ref 16 - INSEE - Base de données : évolution du commerce 1992 - 2004

Ref 17 - INSEE - Base de données : hyper super 2004 à 2009

Ref 18 - INSEE - Enquête d'établissement dans le commerce 1980

Ref 19 - ACOSS - Les dénombremments annuels selon la NAF 732

Ref 20 - LSA - Communication de Dominique Amar pour le Citepa.

Ref 21 - Perifem - Communication interne

Ref 22 - European Partnership for Energy and the Environment - Communication interne

Ref 23 - RTOC 1998 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee

Ref 24 - Lignes directrices du GIEC 1996 - Volume 3 - Chapitre 2.17

Ref 25 - Mines ParisTech - La F-GasII et son impact sur les émissions de fluides frigorigènes en France à l'Horizon 2035 - S. Barrault, M. NEMER

Ref 26 - Fédération Française de Carrosserie (FFC) - Communication interne

Ref 27 - Container Handbook

Ref 28 - Petit Forestier - Communication interne

Ref 29 - RTOC 2002 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee

Ref 30 - Annuaire du Syndicat National des patinoires,  
<https://www.syndicatdespatinoires.com/annuaire/>

Ref 31 - FAO (Food and Agriculture Organization of the united Nations), statistics Division,  
<http://www.fao.org/faostat/fr/#home>

Ref 32 - Informations d'experts - Daikin et Denis Clodic

Ref 33 - Uniclimate - extractions annuelles de données internes

Ref 34 - AFPAC - La Pompe à Chaleur : De nos ambitions 2030 à nos perspectives 2050 - Mars 2018

Ref 35 - CCFA - Rapports annuels Analyse statistiques

Ref 36 - PSA - Communication interne

Ref 37 - Renault - Communication interne

Ref 38 - Scania - Communication interne

Ref 39 - Iveco - Communication interne

Ref 40 - CGDD - Chiffres clés du transport - Edition 2019

Ref 41 - RATP - Communication interne

Ref 42 - Base Behr Hella Service - Quantité de remplissage d'huile et réfrigérant VL/VUL/PL

Ref 43 - NRF - Airconditioning Filling Chart - R134a/R1234yf

Ref 44 - RTOC 2014 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee

Ref 45 - RTOC 1998 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee

Ref 46 - Renault - Communication interne

Ref 47 - RTOC 2010 - Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Committee

Ref 48 - ADEME - Rapports annuels Automobile (VHU)

Ref 49 - Rapport d'inventaire AFCE / Citepa, 2022. Inventaire des émissions de fluides frigorigènes pour la France métropole. Résultats 2020 et estimation provisoire 2021.

Ref 50 – Entretien avec M.Doucet SYNEG (Union des fabricants d'équipements et d'ustensiles pour la restauration et les arts culinaires), Avril 2023 et Mai 2024.

Ref 51 – Interview Marie-Line Moutel-Hornung, groupe Serap, novembre 2022.

Ref 52 – Communications de Jean-Michel Carré, Lennox, pour le Citepa.

Ref 53 – Interview de Laurent Guegan, ADC3R, Juin 2024.

Ref 54 – Communication du Gifam pour le Citepa, Émilie PIN, Responsable Statistiques et Etudes, Novembre 2023, sur la base de données GfK Market Intelligence.



Le Citepa est une association qui guide les acteurs de la transition écologique en France et dans le monde.

Elle évalue l'impact des activités humaines sur le climat et la pollution atmosphérique. Elle produit des données de référence et développe des solutions pour favoriser la réduction des émissions, l'amélioration de la qualité de l'air et l'adaptation au changement climatique.

Notre équipe pluridisciplinaire participe à la construction d'un monde durable.



Crédits photo : @Citepa  
/ Peter Gunar  
/ FluoroTech

publié en 07 2024.