



# Rapport Fluides frigorigènes

## Septembre 2026

INVENTAIRE DES FLUIDES FRIGORIGENES POUR  
LA FRANCE HEXAGONALE

RESULTATS 2024 ET ESTIMATION PROVISOIRE  
2025



Promouvoir  
une attitude  
responsable



| RÉDACTION           |                    |                                                                       |
|---------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                     | Prénom, nom        | Fonction au sein du Citepa                                            |
| Coordinateur        | Stéphanie Barrault | Directrice de la division Services transversaux & Experte gaz fluorés |
| Rédacteur principal | Ariane Druart      | Responsable Traitement de données                                     |

| VÉRIFICATION |                    |                                                                       |
|--------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|              | Nom                | Fonction au sein du Citepa                                            |
| Validation   | Stéphanie Barrault | Directrice de la division Services transversaux & Experte gaz fluorés |

Pour citer ce document :

Citepa/AFCE, 2026. Inventaire des fluides frigorigènes pour la France hexagonale. Résultats 2024 et estimation provisoire 2025

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 | 2720



17, rue de l'Amiral  
Hamelin 75016 Paris

Pour obtenir des éléments contenus dans  
ce rapport :

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

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



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 .....                                                        | 4  |
| 1. Résultats globaux 2024 – France hexagonale .....                 | 5  |
| 2. Applications domestiques.....                                    | 24 |
| 3. Froid commercial.....                                            | 31 |
| 4. Transports frigorifiques .....                                   | 41 |
| 5. Froid industriel .....                                           | 49 |
| 6. Groupes refroidisseurs à eau (GRE).....                          | 59 |
| 7. Climatisation / Chauffage - Air/Air.....                         | 67 |
| 8. Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau,<br>Géothermie..... | 76 |
| 9. Climatisation embarquée / climatisation<br>automobile .....      | 83 |
| 10. Synthèse des résultats .....                                    | 90 |
| 11. Annexes .....                                                   | 98 |

# Résumé

Le rapport Fluides frigorigènes de l'AFCE présente le bilan des émissions, des banques, de la demande, de la récupération, par grand secteur du froid et de la climatisation. Il se base sur l'inventaire annuel des émissions de gaz à effet de serre réalisé par le Citepa, dans le cadre des obligations de rapportage de la France auprès de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

Chaque année, le Citepa réalise pour l'AFCE un rapport d'analyse des émissions et de l'utilisation des fluides frigorigènes pour l'ensemble de la filière du froid et de la climatisation/ chauffage. L'édition 2026 adopte une nouvelle structure qui permet d'aller directement à l'essentiel des hypothèses et des résultats du secteur. Le premier chapitre consiste en une analyse globale des résultats de la filière froid/ climatisation/ chauffage/ pompes à chaleur, il est suivi de chapitres sectoriels. Les chapitres sectoriels présentent les hypothèses, données d'activités et facteurs d'émission, ainsi que les principaux résultats, sous forme graphique. Comme dans l'édition 2025, Les résultats détaillés par fluide frigorigène, par an et par secteur sont regroupés dans un chapitre annexe, enrichi de graphiques de comparaison permettant une vision d'ensemble. La méthodologie générale de calcul est également présentée en annexe.

Les analyses présentées dans ce rapport reposent sur les calculs réalisés par le Citepa pour l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre de la France, dans le cadre de ses engagements au titre du Protocole de Kyoto et l'Accord de Paris. Conformément aux obligations internationales, les émissions de HFC sont déclarées avec l'ensemble des gaz à effet de serre à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) ainsi qu'à la Commission européenne. Dans le cadre de l'analyse menée pour l'AFCE, le bilan couvre l'ensemble des fluides frigorigènes, CFC, HCFC, HFC, HFO et fluides frigorigènes non fluorés, sur la période 1990 – 2024. Une première estimation des résultats pour l'année 2025 est également présentée ; ces résultats sont provisoires et susceptibles d'être révisés.



# Résultats globaux 2024 – France hexagonale

# 1.1 Les émissions de gaz fluorés parmi les émissions de gaz à effet de serre

Les HFC représentent une faible part émissions de gaz à effet de serre en France. En effet, en 2024, les émissions de HFC en équivalent CO<sub>2</sub> ne représentent que 2,3 % du total national (Figure 1). La réfrigération et la climatisation concernent 84 % des émissions de gaz fluorés, la répartition sectorielle des 16% restants étant détaillée .

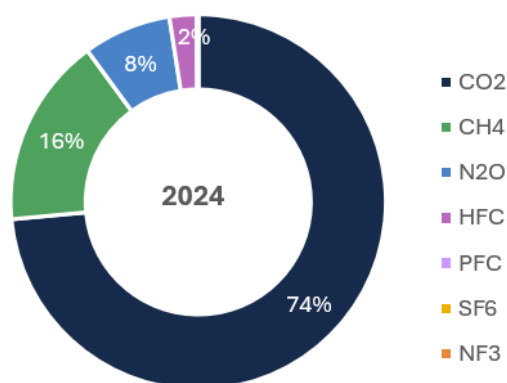
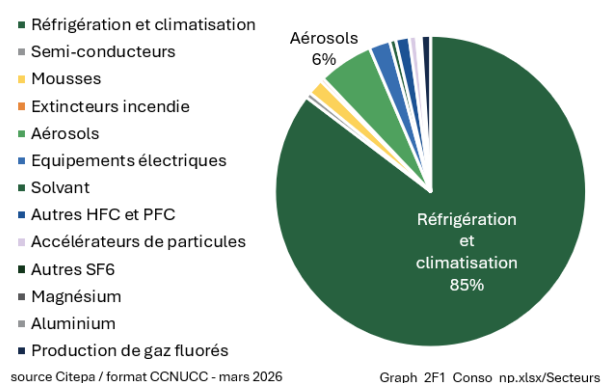
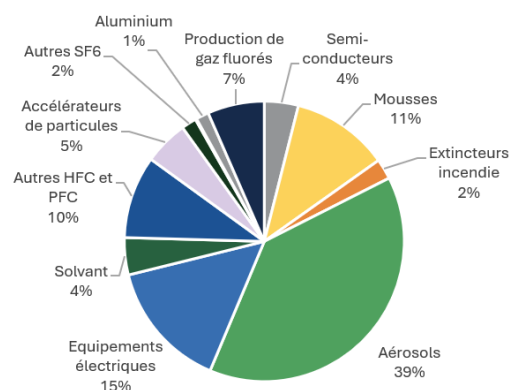


Figure 1 - Répartition des émissions de GES (France hexagonale & territoires d’Outre-mer inclus dans l’Union européenne).



source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

Graph\_2F1\_Conso\_np.xlsx/Secteurs



source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

Graph\_2F1\_Conso\_np.xlsx/Secteurs

Figure 2 - Répartition sectorielle des gaz fluorés en 2024 (France hexagonale)

Figure 3 - Répartition sectorielle hors réfrigération et climatisation des gaz fluorés en 2024 (France hexagonale)

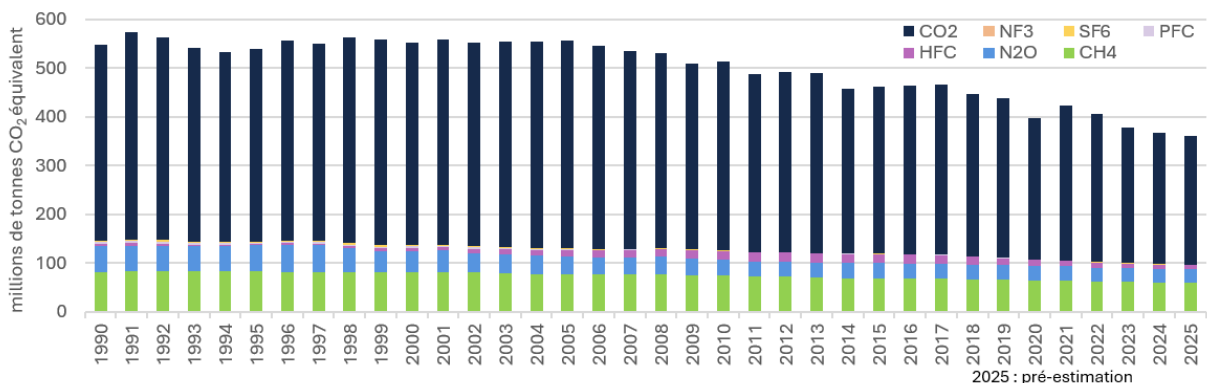


Figure 4 - Répartition des émissions de GES en CO<sub>2</sub> équivalent en France hexagonale & territoires d'Outre-mer inclus dans l'Union européenne. Source : Citepa, données Secten 2026.

D'après la Figure 4, les émissions de HFC diminuent depuis plusieurs années mais la répartition sectorielle de ces émissions change au cours du temps. Comme le montre la Figure 5, récemment la part des aérosols a baissé, en conséquence de l'arrêt d'utilisation du R-134a depuis 2018 dans les aérosols, alors que celle du secteur du froid et de la climatisation augmente fortement ces dernières années.

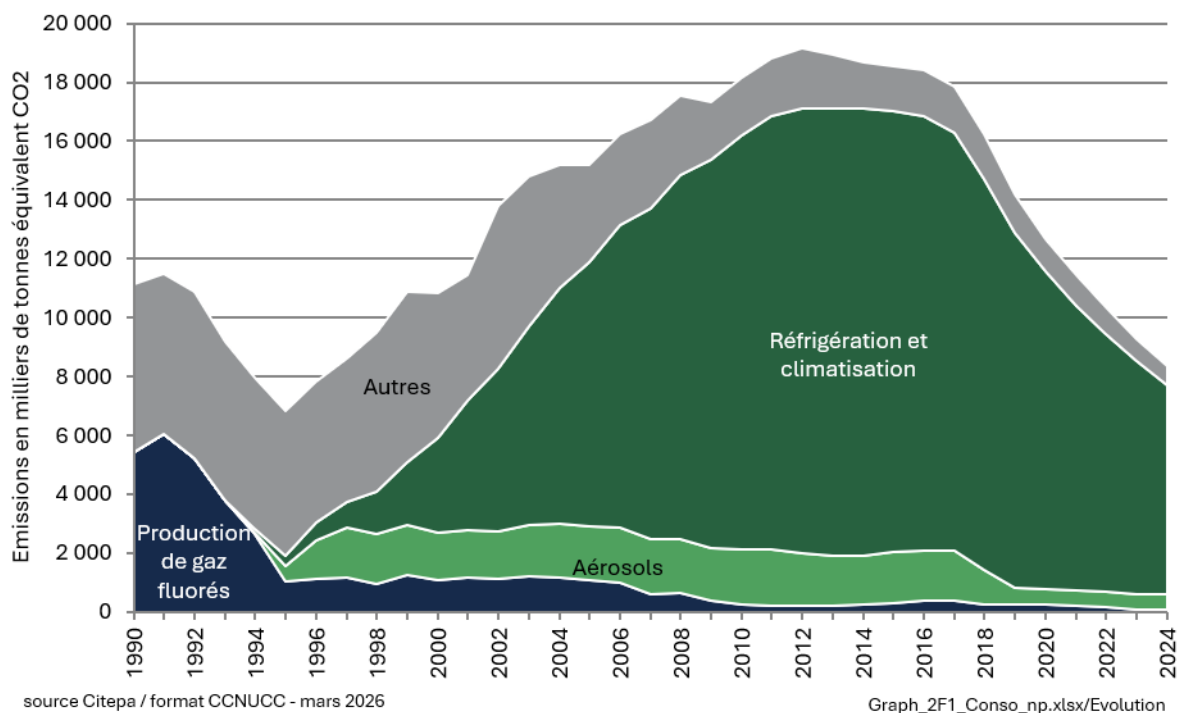


Figure 5 - Evolution des émissions de gaz fluorés (HFC, PFC, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>) en France de 1990 à 2024, (France hexagonale). Source : Citepa, rapport CNUCC 2026

Ainsi, les gaz fluorés représentent une petite partie des émissions de gaz à effet de serre en France. Les HFC dominent largement les émissions de gaz fluorés (94% en 2024) et les secteurs du froid et de la climatisation en sont les principaux utilisateurs. Ce rapport se limite à ces secteurs mais couvre l'ensemble des fluides frigorigènes : CFC, HCFC, HFC (incluant les HFO) ainsi que les fluides frigorigènes non fluorés (HC, R-744/ CO<sub>2</sub> et R-717/ NH<sub>3</sub>).

## 1.2 Banque

La banque représente les quantités de fluides frigorigènes contenues dans l'ensemble des équipements installés en France. Celle-ci impacte fortement les émissions puisque c'est elle qui émet, de façon fugitive. Elle 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 hexagonale** est en croissance régulière, avec une accélération depuis 2018, principalement portée par l'augmentation des banques des secteurs de la climatisation/chauffage air/air (environ +5% par an en moyenne entre 2018 et 2024) et des climatisation/chauffage air/eau ou eau/eau (+11,8% en moyenne entre 2021 et 2023, +4% sur 2023-2024). On observe une forte croissance dans le secteur des refroidisseurs à eau (+21,5% ces 3 dernières années) qui est à confirmer, les dernières communications d'Uniclimate étant marquée d'une plus grande incertitude pour ce secteur, le panel de déclarants s'étant fortement réduit. Le niveau de la banque est de **69 784 tonnes en 2024** dont 14% de fluides frigorigènes non fluorés (voir Tableau 42 en annexe). La croissance de la banque est de 3,8% entre 2023 et 2024. Pour 2025, les premières estimations indiquent une hausse de 2,3 % par rapport à 2024, qui devra être confirmée lors du prochain exercice d'inventaire.

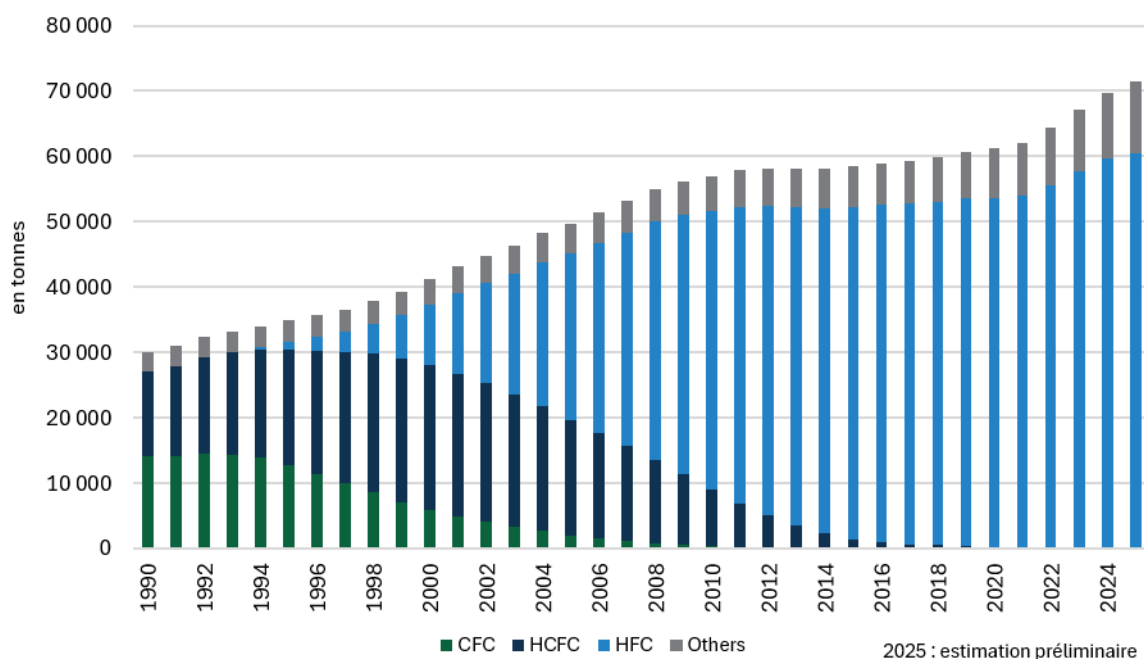
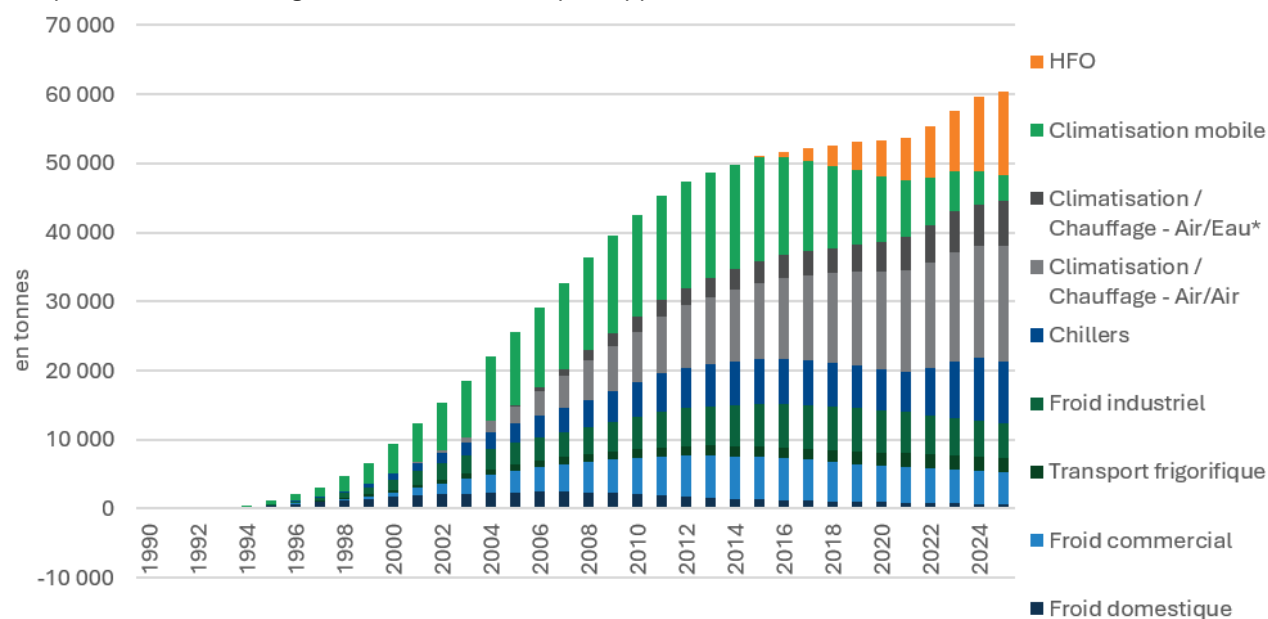


Figure 6 - Evolution de la banque totale de fluides frigorigènes en France hexagonale

Parmi les fluides les plus utilisés en 2024, la banque de R-134a est en décroissance depuis 2015 mais reste toujours élevée représentant encore 16% de la banque totale de fluides frigorigènes en France. Cette diminution, plus marquée ces dernières années (-10% en moyenne sur la période 2021-2024), est due à la réglementation concernant la climatisation automobile. La banque du R-410A est également en décroissance depuis 2023 (-4,8% entre 2023 et 2024) et représente 22% de la banque totale. Le R-410A, banque majoritaire en 2024, est utilisé presque exclusivement par la climatisation fixe, dont 63% dans le secteur de climatisation/ chauffage air/air, 24% dans le secteur Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie, et 13% dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau. Parallèlement, l'utilisation des HFO et du R-32 progresse dans ces secteurs. Ils représentent respectivement 15,4% et 16,5% de la

banque en 2024 et ont augmenté de 22% et 29% par rapport à 2023.



\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

2025 : estimation préliminaire

AFCE - 2026

Figure 7 - Evolution de la banque de HFC par secteur en France hexagonale

**Note :** Dans la Figure 7 ainsi que dans toutes les figures suivantes présentant les résultats relatifs aux seuls HFCs, les HFOs sont distingués en orange. Bien qu'ils fassent partie de la famille des HFCs, ils ne sont pas déclarés à la CCNUCC et constituent ainsi une famille à part, avec une tendance très différente de celle des autres HFCs.

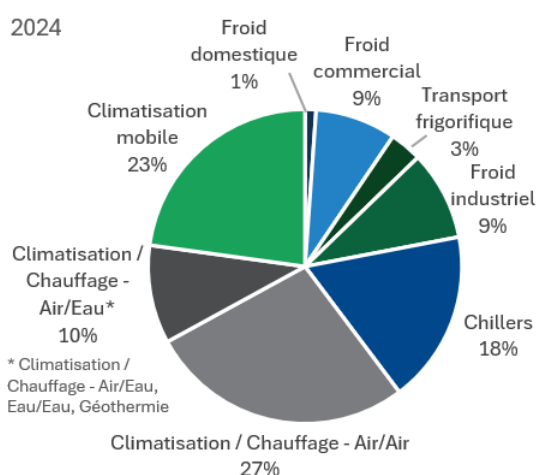


Figure 8 - Répartition sectorielle de la banque de HFC (en tonnes) en France hexagonale

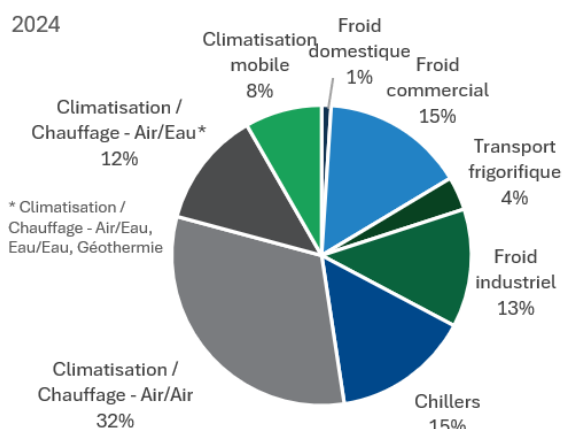


Figure 9 - Répartition sectorielle de la banque équivalente CO<sub>2</sub> de HFC en France hexagonale

Au total des secteurs, en 2024, la banque de HFC, représente près de **59 580 tonnes**, dont 10 780 tonnes de HFO ; soit environ 73 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> équivalentes.

**Près de la moitié de la banque CO<sub>2</sub> équivalente concerne les secteurs de la climatisation fixe** (climatisation chauffage air/air (32 %) + climatisation chauffage air/eau (12 %) + 1/3 environ des chillers

(5 %)). L'utilisation de fluides frigorigènes à plus faible PRG (R-32, HC, HFO) progresse au fur et à mesure que le parc d'équipements se renouvelle. Cependant, les banques de ce secteur demeurent les plus importantes en CO<sub>2</sub> équivalent en 2024, en raison de la durée de vie des équipements et de la présence encore majoritaire du R-410A.

En froid commercial, à la suite de l'enquête réalisée l'an dernier, les hypothèses d'utilisation du R-404A et de retrofit des installations ont été corrigées. L'estimation de la banque résiduelle de R-404A est ainsi revue à la hausse : en prenant en compte les nouvelles hypothèses, le froid commercial représente désormais 15 % de la banque CO<sub>2</sub> équivalente de HFC et la banque résiduelle de R-404A est estimée à environ 1 870 tonnes, soit 7 380 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> en 2024.

La banque en de la **climatisation automobile** ne représente plus que **8,3 % de la banque CO<sub>2</sub> équivalente** (Figure 9) contre 23 % de la banque totale en tonnes, grâce au renouvellement progressif de la flotte de véhicules climatisés vers du R-1234yf (PRG = 1).

La banque résiduelle de HCFC est liée au transport maritime, qui est traité au niveau international.

## 1.3 Emissions de fluides frigorigènes

### 1.3.1 Emissions totales en tonnes

**Les émissions totales de fluides frigorigènes** de la France hexagonale incluent les émissions à toutes les étapes de la vie des équipements : à la charge, lors du fonctionnement de l'équipement ainsi que lors de son démantèlement en fin de vie. Le niveau des émissions totales en 2024 est estimé à **5 688 tonnes** (voir Tableau 48 en annexe), en légère diminution de 0,9 % par rapport à 2023. Les émissions de HFC suivent quasiment la même tendance avec une baisse de 1,4 % entre 2023 et 2024. Cette pente devrait se poursuivre en 2025. Les émissions de fluides frigorigènes sont en décroissance, grâce à l'amélioration des pratiques, la formation des opérateurs, 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'accroissement de la récupération des fluides frigorigènes et ainsi à la réduction des émissions.

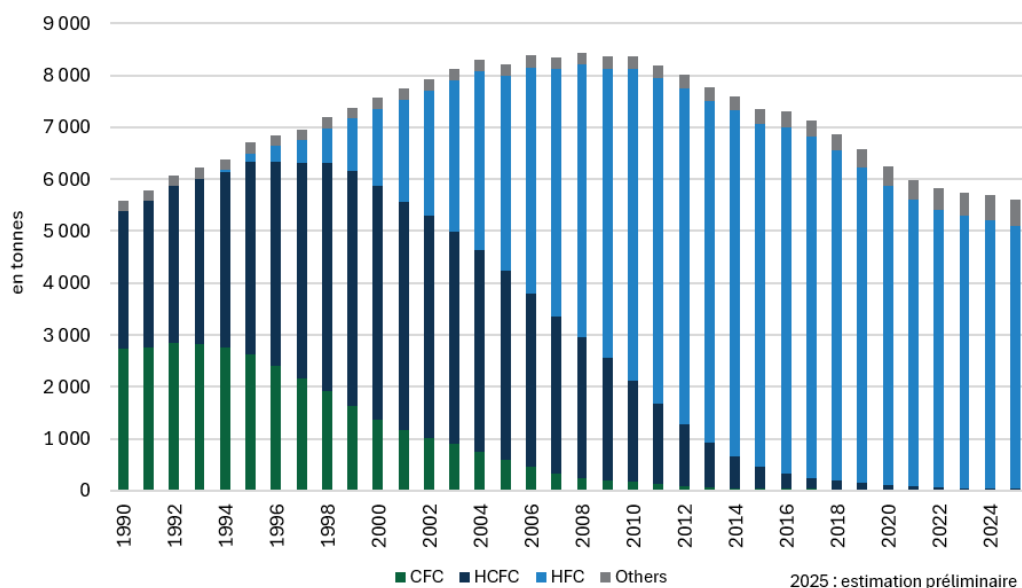
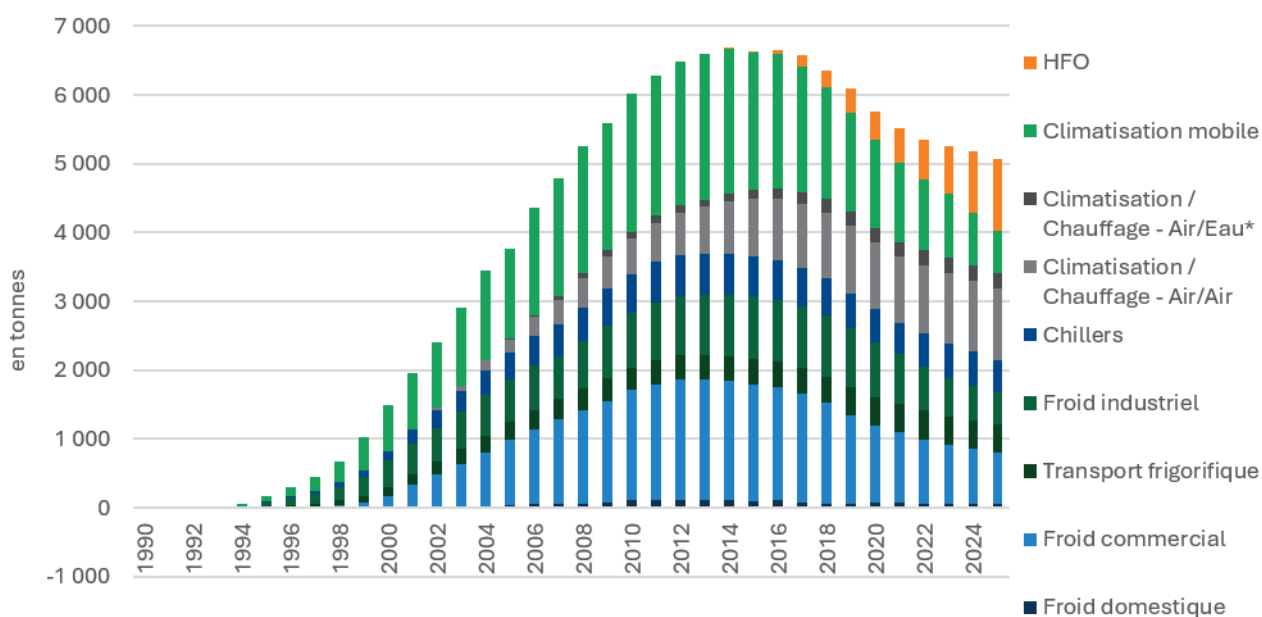


Figure 10 - Evolution des émissions de fluides frigorigènes en France hexagonale



\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

2025 : estimation préliminaire

AFCE - 2026

Figure 11 - Evolution des émissions de HFC par secteur en France hexagonale

Les émissions (voir Tableau 48 en annexe) sont majoritairement constituées du R-134a (26 %), du R-410A (17 %) et des HFO (15 %). Les émissions de R-404A représentent 8 % du total du fait de la réduction des taux de fuites et de la conversion d'une partie du parc des installations.

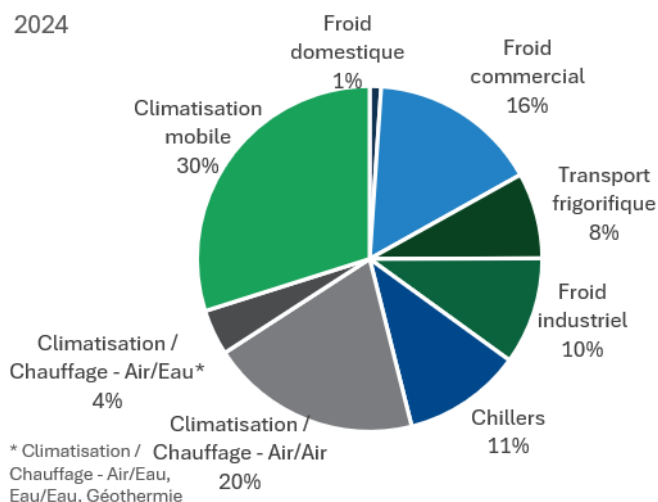


Figure 12 - Répartition sectorielle des émissions de HFC (en tonnes) en France hexagonale

### 1.3.2 Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes

Conformément aux exigences de la CCNUCC dans le cadre de la mise en œuvre de l'Accord de Paris, les émissions en CO<sub>2</sub> équivalent doivent être calculées, depuis l'inventaire 2021, en tenant compte des PRG donnés par le **5<sup>ème</sup> rapport du GIEC (AR5)**.

En France hexagonale, les émissions de fluides frigorigènes sont estimées à environ **7,3 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent** (AR5) dont 7,1 millions de HFC en 2024 (voir Tableau 49 en annexe). Ces émissions, en CO<sub>2</sub> équivalent, suivent une **pente décroissante d'environ 10 % par an depuis 2018**, (Figure 13). Celle-ci devrait se poursuivre dans les années à venir. Cette décroissance s'explique selon plusieurs facteurs et, en particulier :

- Le renouvellement du parc automobile, dont les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes ont ainsi baissé de plus de 10 % par an depuis 2018 avec une intensification à 17 % entre 2023 et 2024 avec la montée progressive de l'utilisation du R-1234yf (PRG = 1) à la place du R-134a (PRG = 1 300) ;
- L'interdiction, depuis 2020, de l'usage des HFC de PRG supérieur à 2 500 pour la maintenance des installations de réfrigération, ce qui a conduit au renouvellement ou du retrofit d'installations de réfrigération utilisant du R-404A (PRG = 3 921) au profit d'installations utilisant des HFC avec un PRG inférieur à 1 500 ; Cependant, la banque de R-404A reste encore significative en froid commercial.
- L'introduction progressive du R-32 (PRG = 675) à la place du R-410A (PRG = 1 924), 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.

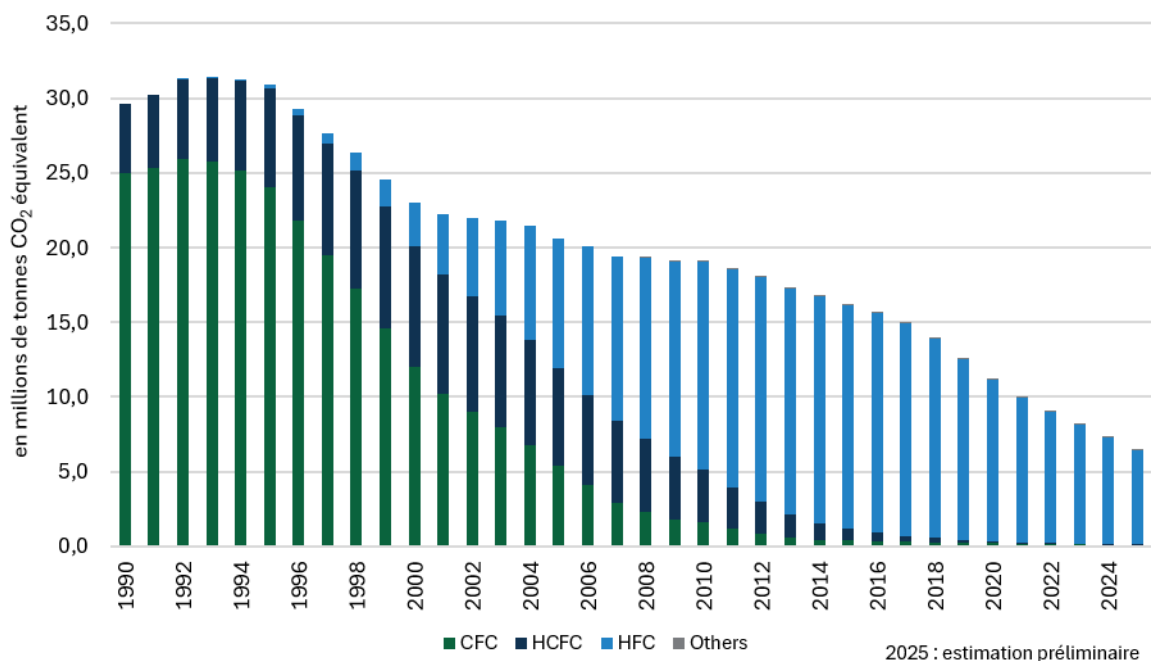


Figure 13 - Evolution, en tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent (AR5), des émissions de fluides frigorigènes en France hexagonale

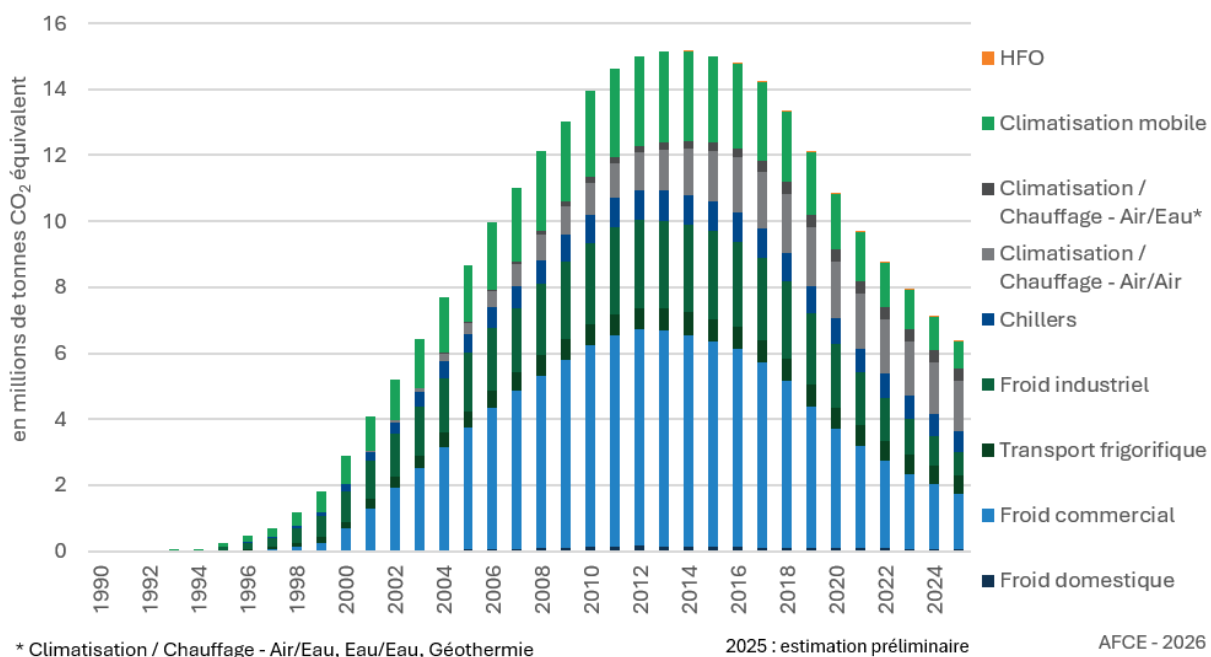


Figure 14 - Evolution, en tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent (AR5), des émissions de HFC par secteur en France hexagonale

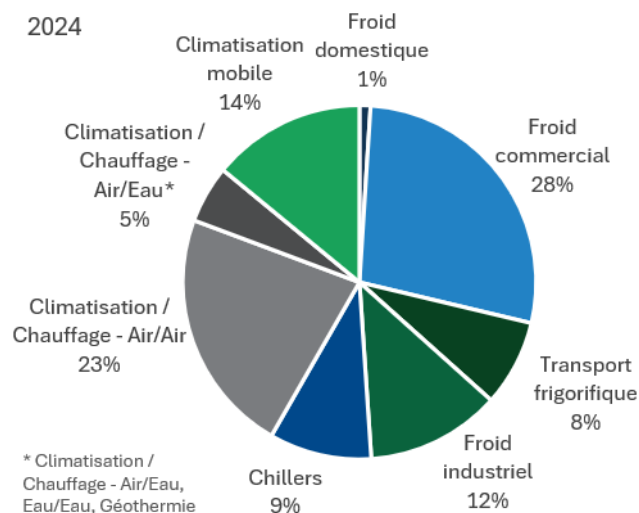


Figure 15 - Répartition sectorielle des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes (AR5) de HFC en France hexagonale

A la suite des retours d'enquête, les hypothèses du **froid commercial** ont été modifiées et la part des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes est estimée à 28 % en 2024 – soit 30 % supérieure à l'estimation de l'édition précédente. La part des émissions CO<sub>2</sub> du froid industriel (12%) est plus faible grâce à l'usage répandu de l'ammoniac. Cependant, les secteurs du froid commercial et du froid industriel ont vu baisser significativement leurs émissions, de 15% en moyenne par an sur la période 2019-2024, avec l'amélioration de la récupération et un usage tout de même réduit du R-404A.

Les émissions de la **climatisation fixe** représentent environ un tiers des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes de HFC en 2024 (climatisation/chauffage air/air, air/eau et eau/eau, et 1/3 des chillers (Figure 15)).

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 14% (Figure 15) des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes de HFC de la France hexagonale.

## 1.4 Demande

### La demande totale

La demande totale est constituée par 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. Cette demande totale 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.

EN 2024, la demande totale en fluides frigorigènes est évaluée à 7 704 tonnes, dont 6 669 tonnes de HFC comprenant 1 742 tonnes de HFO (voir Tableau 45 en annexe). Les HFO sont désormais les fluides frigorigènes les plus demandés avec 23 % du total, suivi par le R-32 avec 17 %, et le R-134a avec 11 %. La part des fluides frigorigènes non fluorés représente 13 % de la demande totale en 2024 (environ 1 000 tonnes).

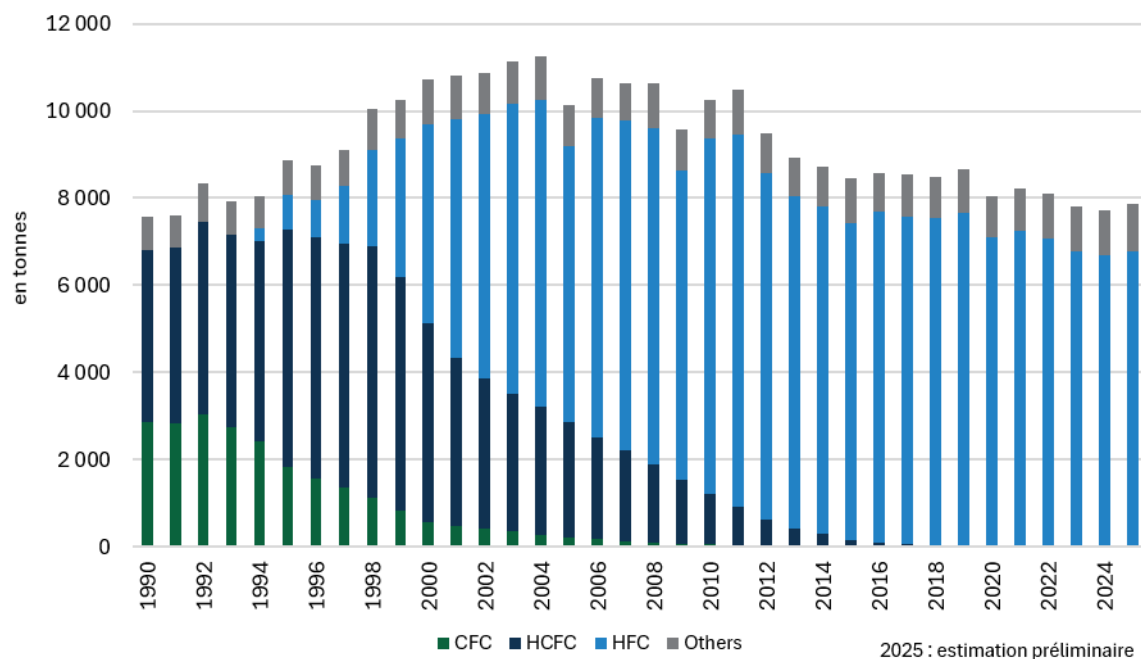
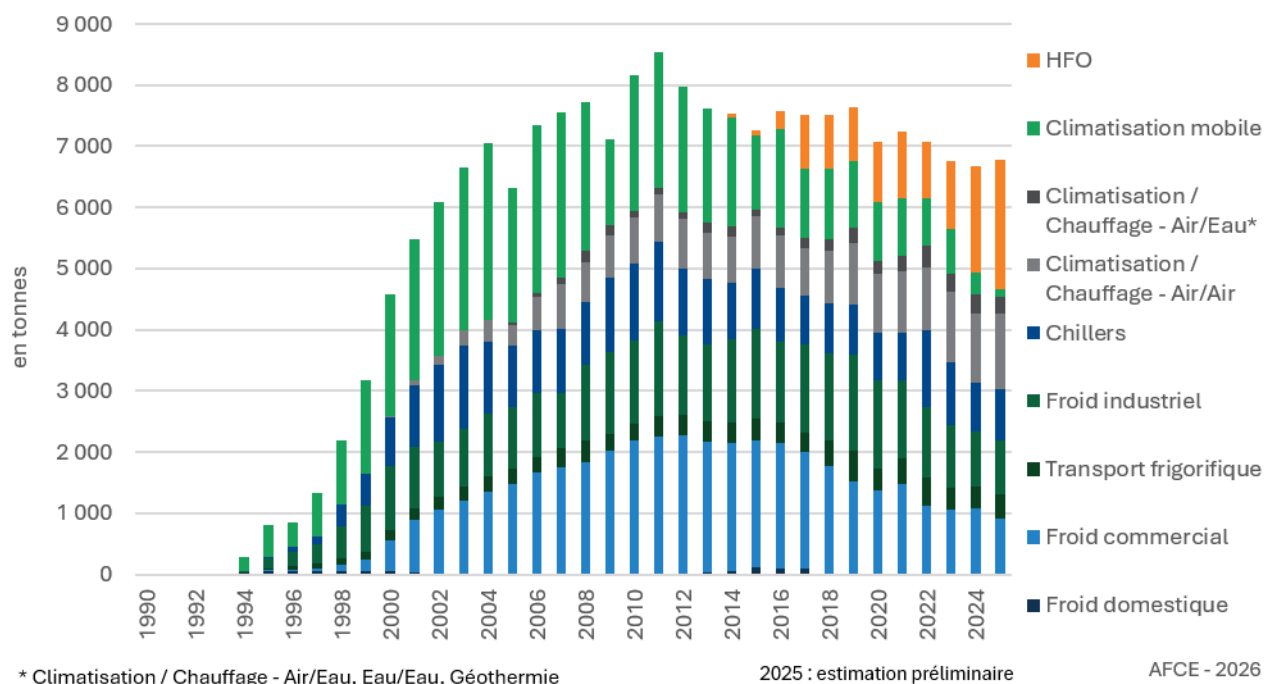


Figure 16 - Demande totale en fluides frigorigènes pour la France hexagonale



\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

2025 : estimation préliminaire

AFCE - 2026

Figure 17 - Demande totale en HFC par secteur pour la France hexagonale

D'après la Figure 17, la demande en HFO est en forte croissance et a augmenté de 57% entre 2023 et 2024. La demande totale en HFC à fort PRG est en forte diminution grâce aux retrofits, aux renouvellements d'installations ainsi qu'à la baisse des niveaux d'émissions. En 2024, la demande en R-410A baisse de 16 % par rapport à 2023, celle en R-404A (régénéré) de 21 % et celle de R-407C de plus de 50 %. Les équipements résiduels utilisant encore des CFC/HCFC sont pris en compte : la demande correspond à un besoin estimé par le calcul pour la maintenance de ces équipements. 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.

## Demande pour les équipements neufs

La demande pour les équipements neufs est constituée par :

- le besoin pour les **équipements** préchargés **produits** en France (Figure 18 ; Tableau 44 en annexe). Une forte incertitude est associée à l'estimation de ce besoin, s'agissant souvent de données confidentielles difficiles à obtenir ;
- le besoin pour la **charge** sur site (Tableau 43 en annexe) des équipements installés en France (Figure 20).

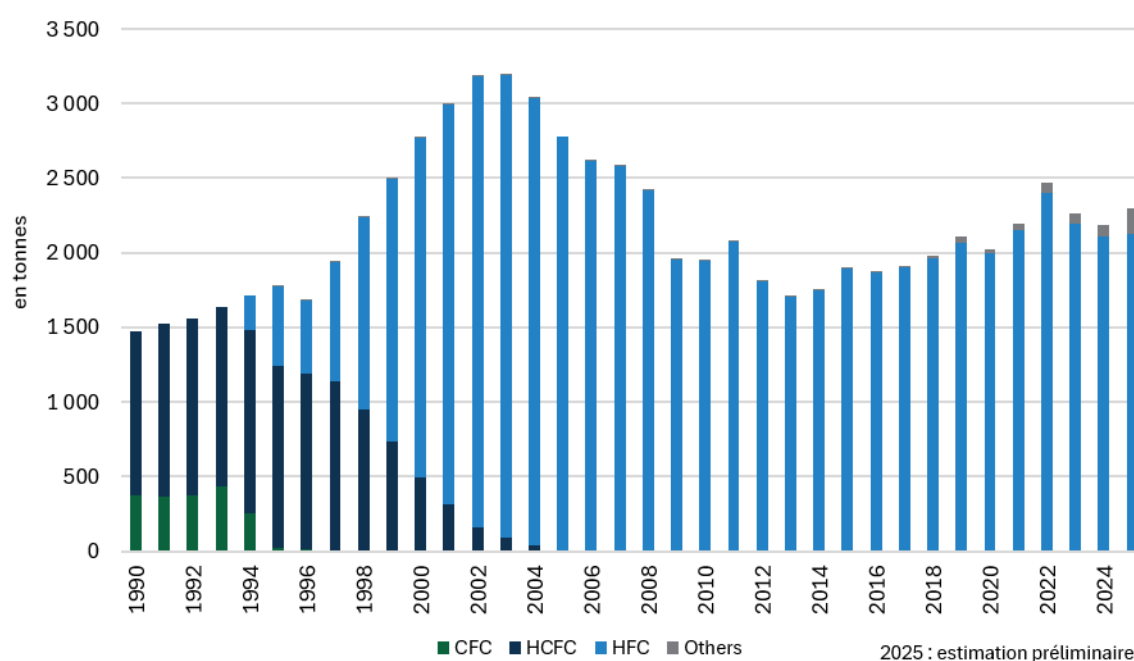


Figure 18 - Demande en fluides frigorigènes pour la production d'équipements préchargés en France hexagonale

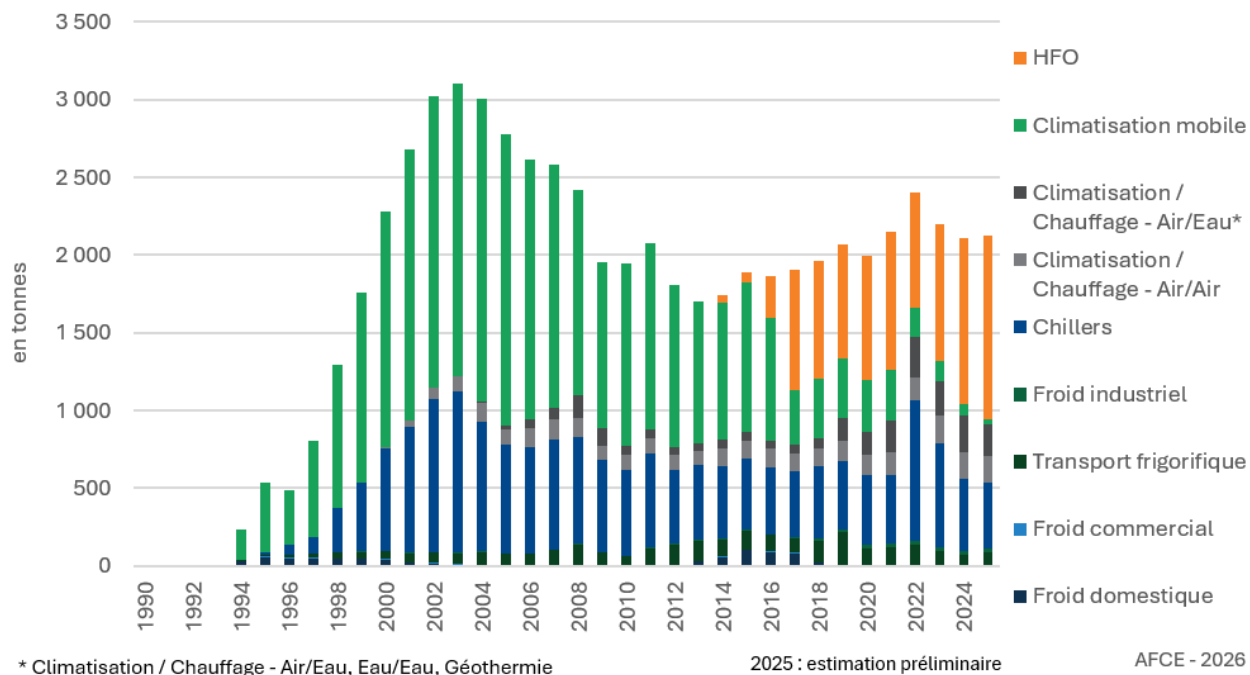


Figure 19 - Demande HFC par secteur pour la production d'équipements préchargés en France hexagonale

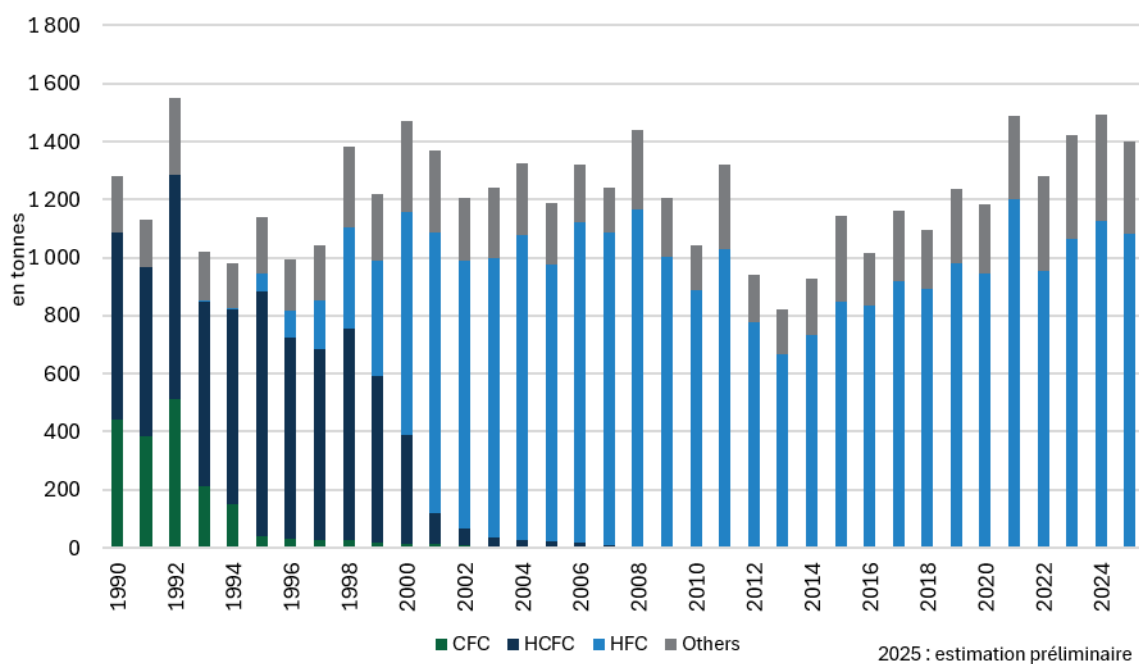


Figure 20 - Demande en fluides frigorigènes pour la charge d'équipements sur site

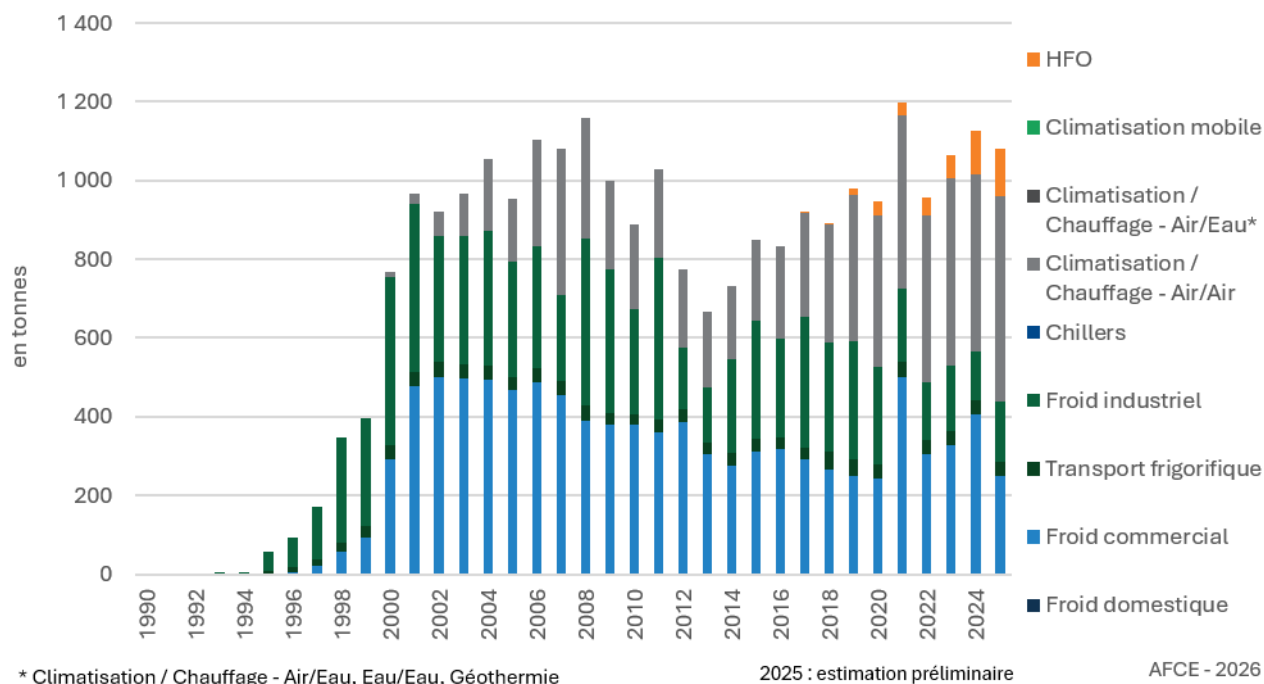


Figure 21 - Demande en HFC par secteur pour la charge d'équipements sur site

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 sur la Figure 20. La demande totale de ces fluides pour la charge a augmenté de 5% sur la période 2023-2024.

### Demande pour la maintenance et le retrofit du parc d'installations

La demande pour la maintenance des installations (Tableau 46 en annexe) est en nette décroissance depuis 2018 (Figure 22) grâce à l'amélioration de la récupération et des taux d'émissions.

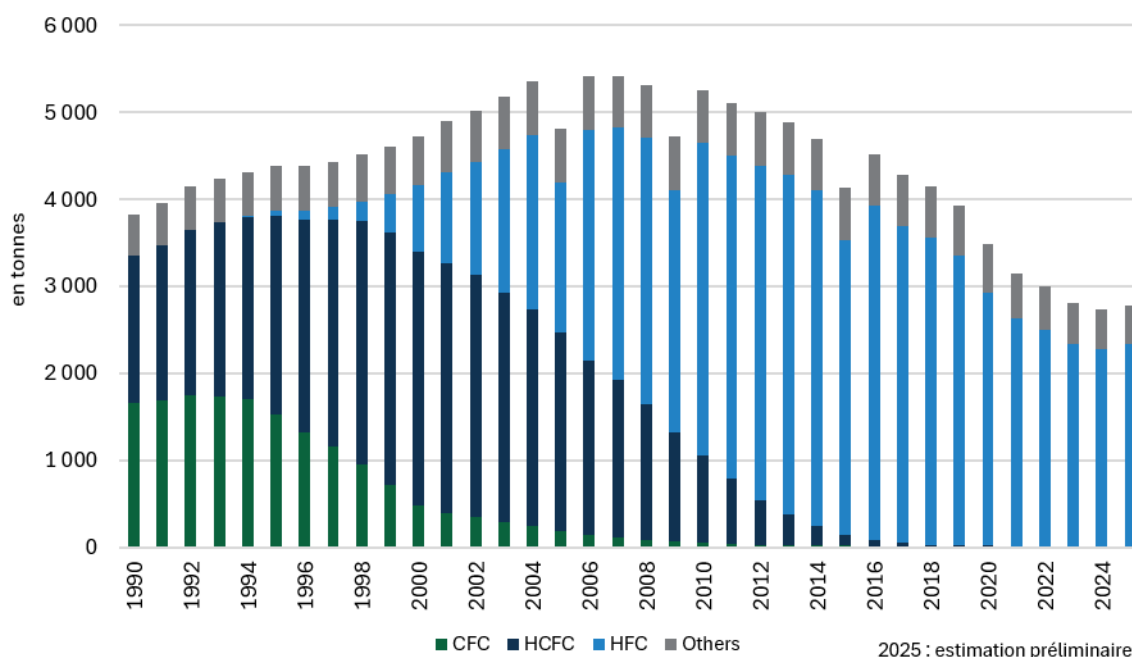


Figure 22 - Evolution de la demande estimée pour la maintenance des installations sur le parc d'équipements en France

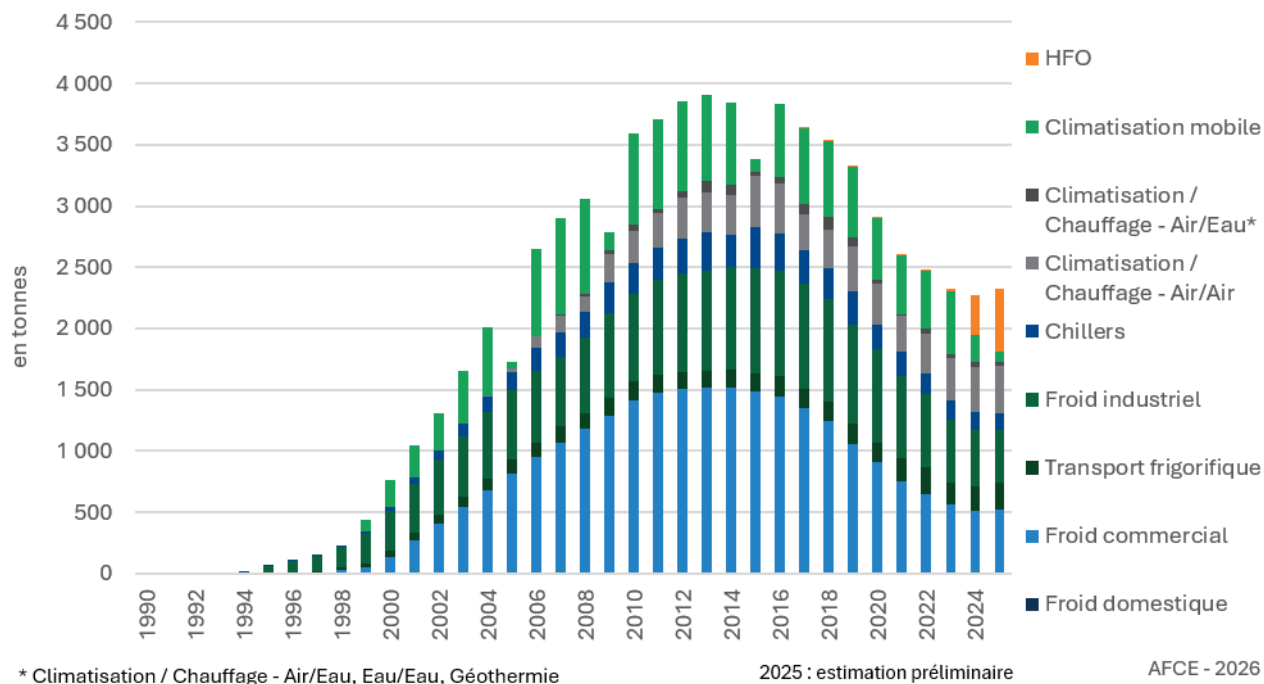


Figure 23 - Evolution de la demande estimée en HFC pour la maintenance des installations sur le parc d'équipements en France

Le besoin pour le retrofit (Tableau 47), est irrégulier, assez faible et inégal selon les secteurs. Sur les dernières années, il concerne essentiellement le retrofit des installations de froid commercial et industriel au R-404A.

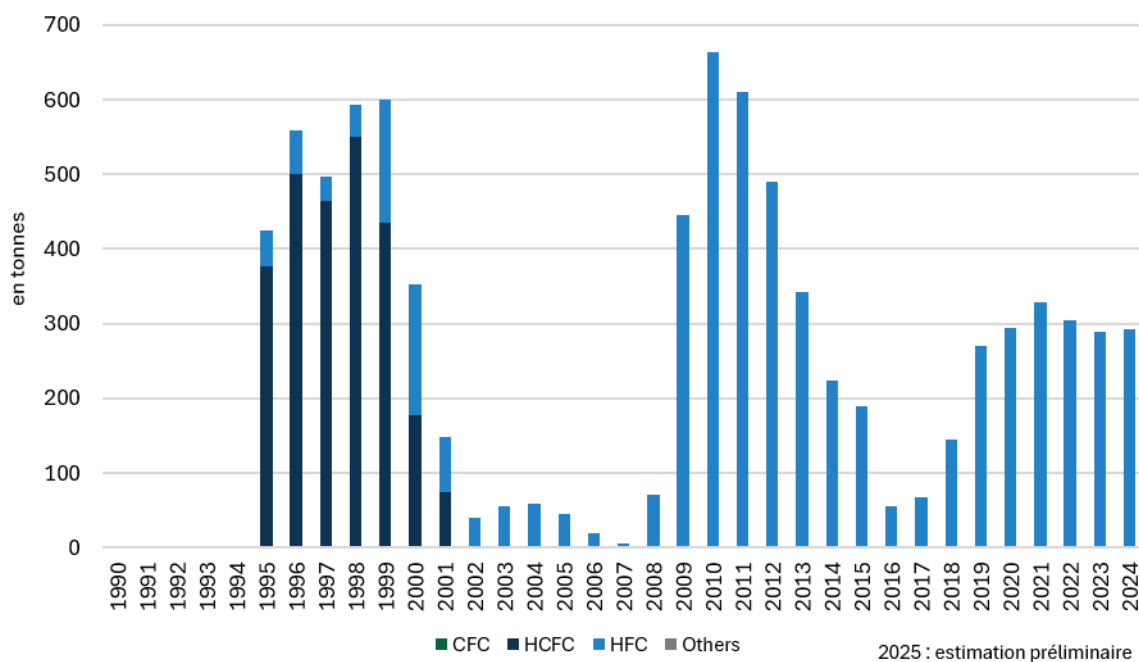


Figure 24 - Evolution de la demande estimée pour le retrofit des installations en France

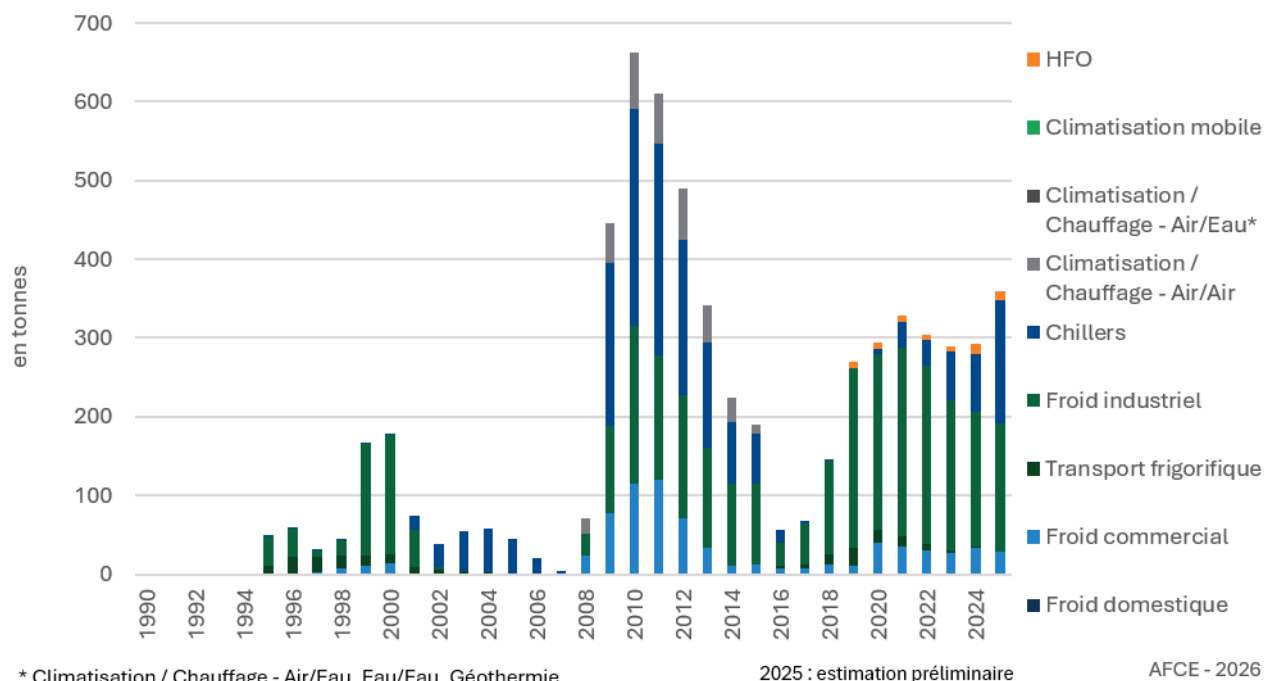


Figure 25 - Evolution de la demande estimée en HFC par secteur pour le retrofit des installations en France

Historiquement, 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 comptent pour environ la moitié chacun.

**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.

## Vérification de cohérence

### 1.4.1 Comparaison du marché déclaré et de la demande calculée

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 26 présente l'évolution des marchés déclarés au SNEFCCA et la demande totale reconstituée par le calcul Citepa.

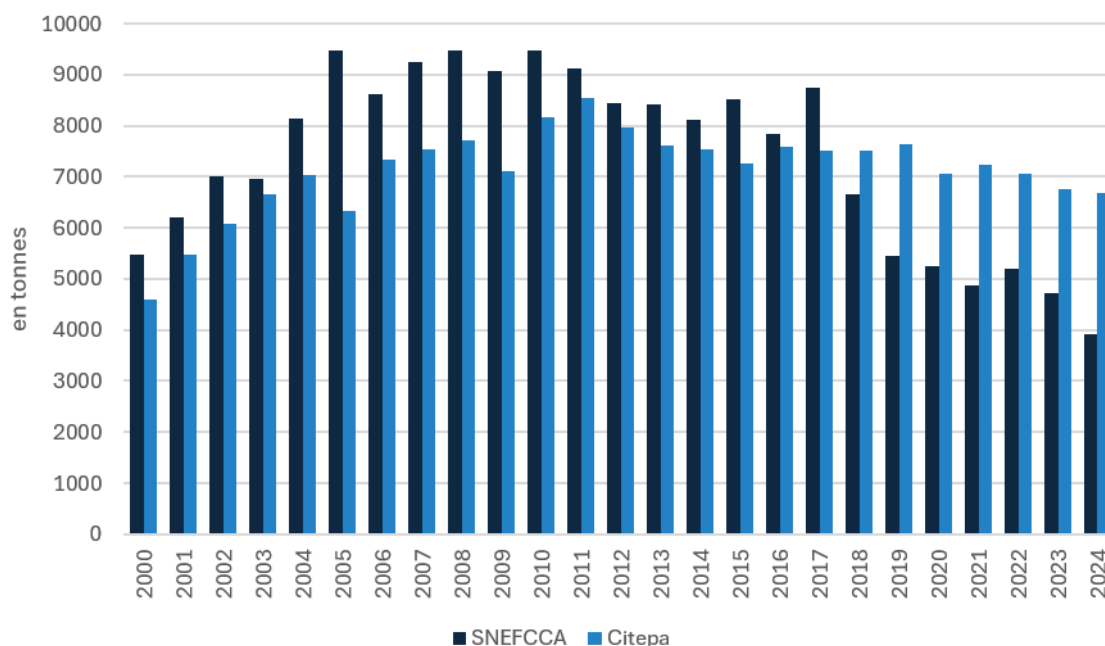


Figure 26 - Comparaison de la demande totale calculée en HFC aux marchés déclarés au SNEFCCA

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 satisfait, 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.

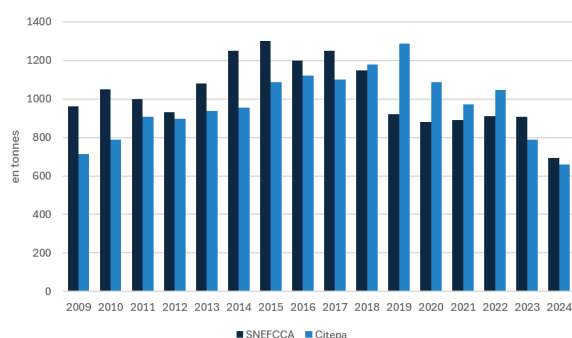


Figure 27 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-410A

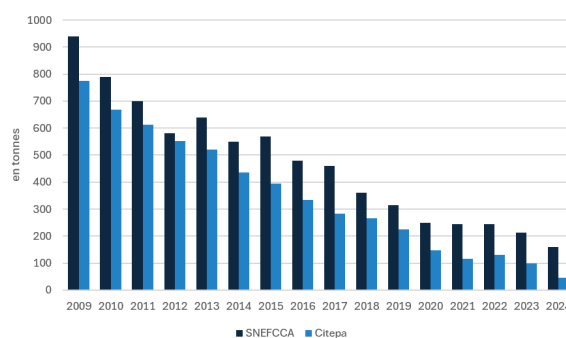


Figure 28 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-407C

Le R-410A et le R-407C sont les HFC les plus utilisés en climatisation. Les secteurs de la climatisation / chauffage à air, des pompes à chaleur réversibles et des chillers sont globalement bien estimés grâce à une bonne collaboration de la 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 (figures ci-dessus) tendent à montrer que l'ensemble des hypothèses est cohérent. Les écarts peuvent s'expliquer en partie par un manque de représentativité du panel Uniclimate, qui tend à s'accroître dans le secteur des chillers depuis 2023. Par ailleurs, les productions d'équipements sont, pour la plupart, estimées et contribuent à l'écart observé dans les comparaisons marchés/demandes.

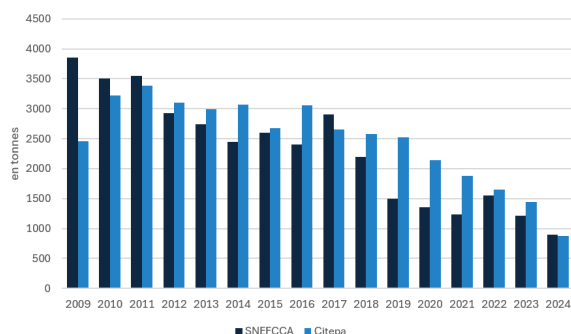


Figure 29 Comparaison de la demande calculée du marché déclaré de R-134a

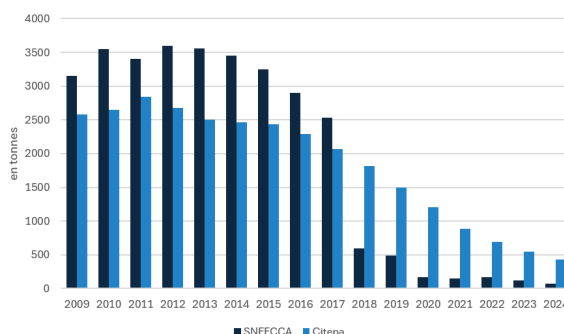


Figure 30 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-404a

Le marché de R-134a est globalement bien estimé, excepté sur la période 2019-2021 où l'écart avec le marché déclaré est plus marqué. Une analyse entre les secteurs est en cours pour expliquer cet écart.

A la suite de l'enquête de terrain menée depuis la précédente édition de l'inventaire, les hypothèses de réduction de l'utilisation du R-404a dans les installations neuves sur les 10 dernières années ont été revues, ainsi que le rythme de retrofit qui était trop optimiste. La banque calculée est désormais plus cohérente avec les retours du terrain, mais conduit à une estimation du besoin pour la maintenance qui n'est pas reflétée par les marchés déclarés et présente des écarts significatifs depuis 2018. Il est probable que la demande en R-404a soit en partie satisfaite par du fluide recyclé sur site et du marché illégal. En effet, depuis la mise en vigueur du règlement F-Gas (UE) 2024/573, le marché de fluide illégal est en croissance en Europe (Ref 55).

Avant 2017, l'écart observé entre la demande de R-404a et le marché déclaré pourrait être liée à l'incertitude sur le parc des petits commerces, au rythme de transition R-22/R-404a ou à une sous-estimation des facteurs d'émission, bien qu'ils soient déjà élevés.

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

La Figure 31 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 foncé, les quantités cumulées de CFC, HCFC, HFC retournées aux distributeurs pour régénération ou destruction (données SNEFCCA) ;

- En bleu clair, 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 ;

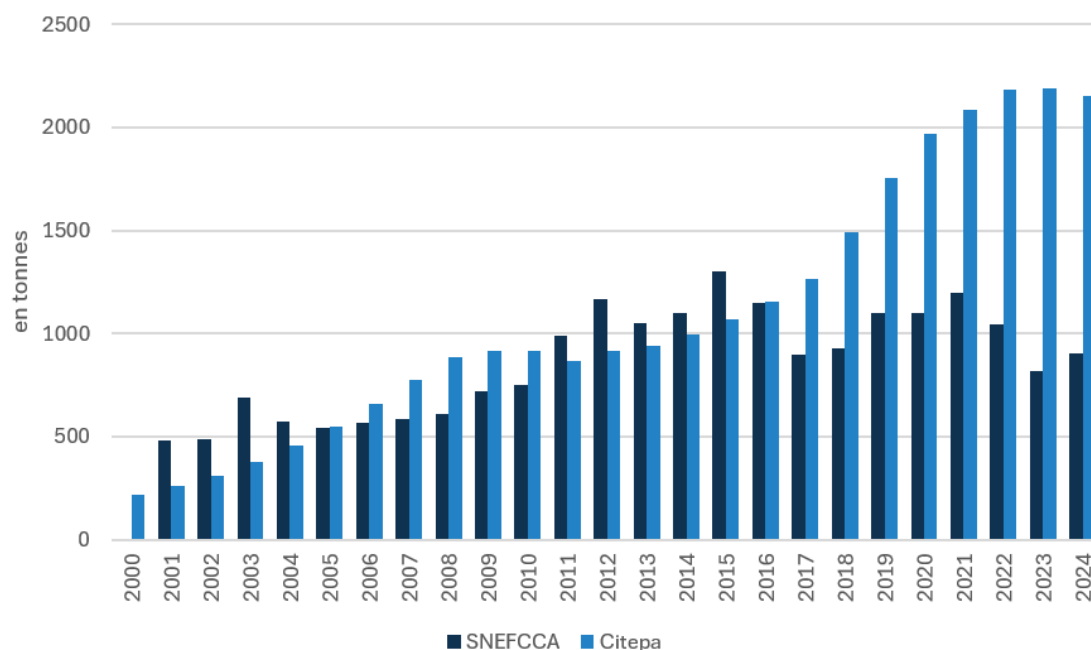


Figure 31 Comparaison des données sur la récupération en France hexagonale

La comparaison fait apparaître un écart très significatif à partir de 2017 entre les données déclarées et les quantités récupérées estimées par le calcul. Il s'explique en partie par le fait qu'une part des quantités récupérées par les opérateurs n'est pas retournée aux distributeurs mais directement recyclée. L'écart s'accroît au cours des dernières années, sous l'effet de la hausse du prix des HFC à fort PRG et des tensions sur la disponibilité de certains fluides, consécutives à la mise en œuvre du *phase-down*.



# Applications domestiques

## 2.1 L'essentiel des hypothèses

### Description du secteur

Le secteur des applications domestiques contient quatre sous-secteurs qui sont présentés le tableau ci-dessous.

Tableau 1 – Sous-secteurs des applications domestiques

| SECTEUR          | SOUS-SECTEUR                  |
|------------------|-------------------------------|
| Froid domestique | Réfrigérateurs                |
|                  | Congélateurs                  |
|                  | Sèche-linges thermodynamiques |
|                  | Caves à vin                   |

- Réfrigérateurs : tous les types de réfrigérateurs sont pris en compte : table-top, simple porte, combiné, double porte, américain.
- Congélateurs : tous les types de congélateurs sont pris en compte : armoire, coffre, « table-top ».
- Sèche-linges thermodynamiques : nouvelle technologie depuis le début des années 2010, qui fait appel à une pompe à chaleur afin de sécher les vêtements.
- Caves à vin : caves de vieillissement, caves de mise en température, caves combinées ou multi-températures.

Tableau 2 - Caractéristiques fixes des sous-secteurs du froid domestique

| Sous-secteur                  | Mode de charge de l'équipement neuf | Complément de charge à l'installation | Seuil de charge déclenchant une opération de maintenance |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Réfrigérateurs                | d'usine                             | non                                   | Pas de maintenance                                       |
| Congélateurs                  | d'usine                             | non                                   | Pas de maintenance                                       |
| Sèche-linges thermodynamiques | d'usine                             | non                                   | Pas de maintenance                                       |
| Caves à vin                   | d'usine                             | non                                   | Pas de maintenance                                       |

Sources : données fabricants [7], avis d'expert.

### Données d'activité

Les données d'activité s'appuient sur les publications du Gifam (Groupement interprofessionnel des fabricants d'appareils d'équipement ménager) et les communications de fabricants.

Tableau 3 - Hypothèses des sous-secteurs du froid domestique

| Froid domestique en 2024      | Durée de vie | Marché d'équipements (nombre d'unités) | Ratio de charge (kg/kW) | Puissance moyenne (kW) | Parts fluides utilisés (%) |
|-------------------------------|--------------|----------------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| Congélateurs                  | 15 ans       | 547 465                                | 0,0                     | 202                    | R-600a 100%                |
| Caves à vin                   | 15 ans       | 200 616                                | 0,1                     | 1,0                    | R-600a 100%                |
| Sèche-linges thermodynamiques | 10 ans       | 482 772                                | 0,3                     | 1,0                    | R-290 90%;<br>R-450A 10%   |
| Réfrigérateurs                | 15 ans       | 2 581 038                              | 0,0                     | 256                    | R-600a 100%                |

Sources : données fabricants [7][8][10][11], Gifam [6]

### Facteurs d'émission

Une tendance à la réduction des facteurs d'émission à la charge a été estimée au cours du temps afin de traduire l'amélioration des pratiques. La production en France étant désormais très faible, ces facteurs d'émissions ont peu d'impact sur le calcul des émissions de ce secteur. Les appareils de froid domestique sont étanches, le circuit frigorifique étant entièrement soudé, il n'est pas considéré d'opérations de maintenance. Les émissions fugitives sont estimées à partir de la fréquence de défaillance des équipements. Les facteurs d'émission pour l'année 2024 sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4 – Facteurs d'émission des équipements de froid domestique

| Froid domestique en 2024 (en %) | Charge | Fugitif | Maintenance | Fin de vie |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|------------|
| Congélateurs                    | 0,2%   | 0,01%   | -           | 59%        |
| Caves à vin                     | 0,6%   | 0,01%   | -           | 59%        |
| Sèches-linge thermodynamiques   | 0,1%   | 0,01%   | -           | 59%        |
| Réfrigérateurs                  | 0,2%   | 0,01%   | -           | 59%        |

Sources : données fabricants, lignes directrices du Giec [12], Ademe [13]

## 2.2 Principaux résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats 2024 de la banque, de la demande et des émissions par fluide frigorigène pour le secteur du froid domestique.

Tableau 5 – Synthèse des résultats des équipements de froid domestique

| Froid domestique en 2024           | PRG   | Banque (tonnes) | Marché (tonnes) | Emissions (tonnes) | Emissions (ktCO <sub>2</sub> e) |
|------------------------------------|-------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------------------|
| R-134a                             | 1 300 | 510             | 0,06            | 55                 | 72                              |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A | ~600  | 168             | 0,02            | 0,13               | 0,07                            |
| Total HFC hors HFO                 |       | 678             | 0,08            | 55                 | 72                              |
| Total HFC (HFO inclus)             |       | 678             | 0,08            | 55                 | 72                              |
| R-290                              | 3     | 515             | 0,06            | 0,29               | 0,00                            |
| R-600a                             | 3     | 2 883           | 2,27            | 91                 | 0,27                            |
| Total non-fluorés                  |       | 3 398           | 2,33            | 91                 | 0,27                            |
| <b>Total général</b>               |       | <b>4 076</b>    | <b>2,41</b>     | <b>146</b>         | <b>72</b>                       |

## 2.3 Résultats détaillés

### 2.3.1 Banque

Le parc des appareils de froid domestique s'est renouvelé progressivement et l'utilisation des hydrocarbures (R-600a essentiellement) augmente considérablement et domine la banque depuis 2013 comparée à celle d'autres types de fluides frigorigènes et notamment du R-134a. La baisse des quantités à la banque entre 2000 et 2014 vient du ratio de charge de ces appareils plus faible que ceux fonctionnant au R-12 ou R-134a. La croissance des marches, à partir de 2015, de réfrigérateurs, de sèche-linges et de caves à vins réfrigérées fait repartir à la hausse les quantités à la banque du secteur du froid domestique. La banque totale de fluides frigorigènes du froid domestique est estimée à environ 4 076 tonnes en 2024, le R-600a dominant avec 71 % de celle-ci (résultats 2024 en annexe : Tableau 42 – Quantités de fluides frigorigènes - BANQUE par secteur).

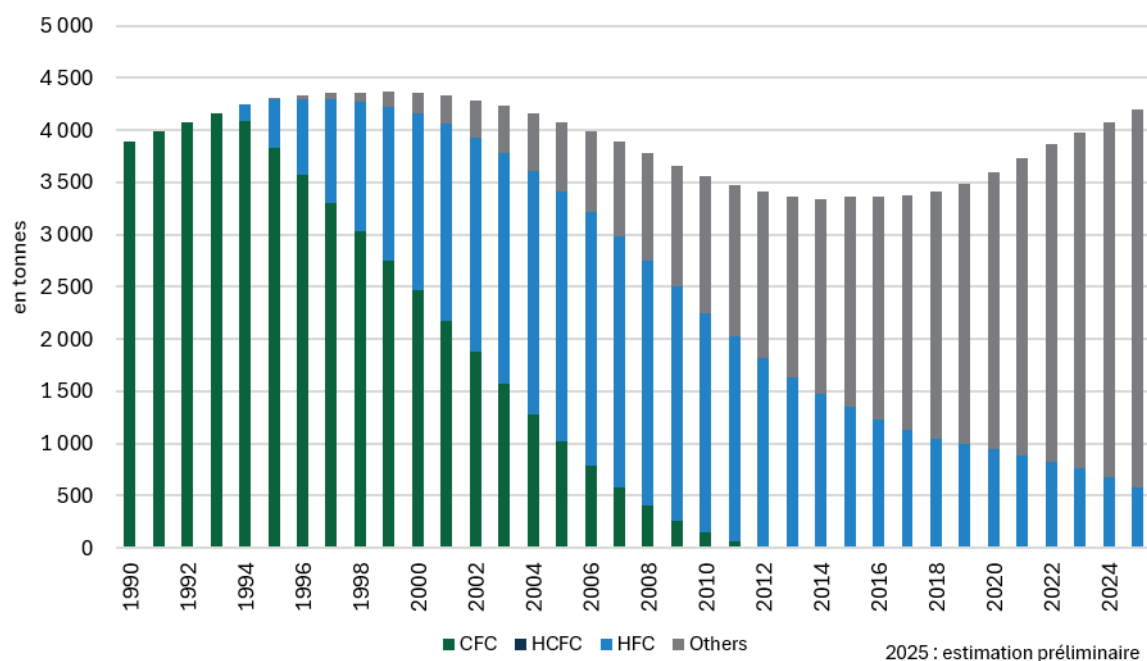


Figure 32 Banque de fluide dans le secteur du froid domestique

### 2.3.2 Demande

La demande pour les applications de froid domestique est liée à la production (Tableau 44 en annexe) 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, le besoin est lié à la production de sèche-linges thermodynamiques fabriqués en France et utilisant uniquement du R-134a durant cette période. Depuis 2019, les quantités correspondent à la production, assez faible, des caves à vin au R-600a.

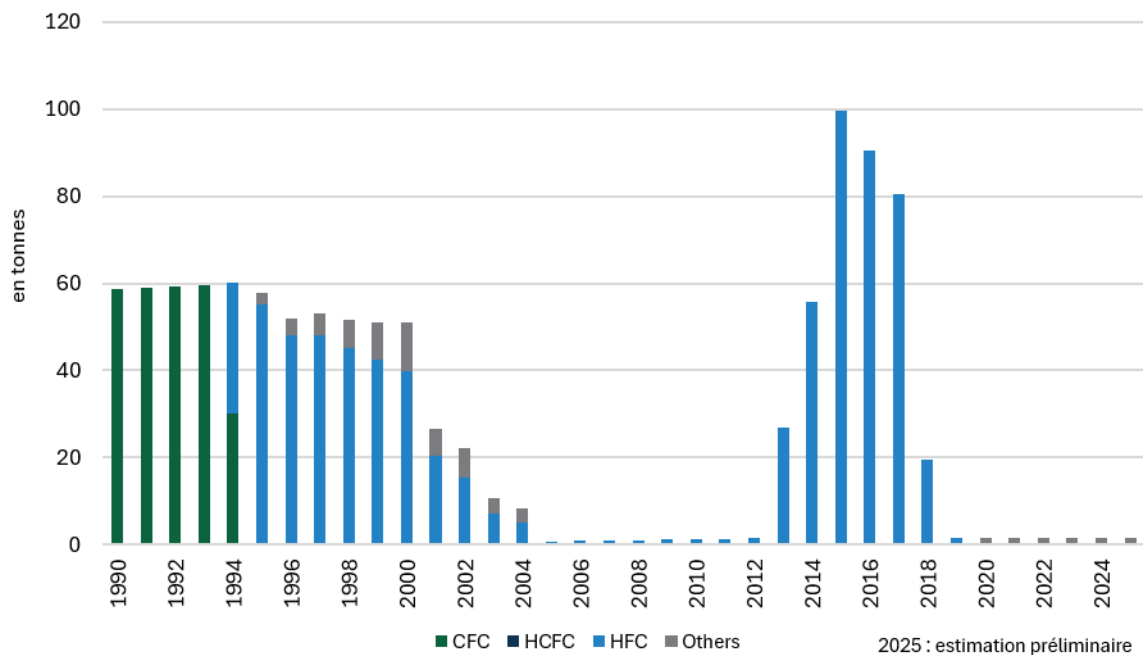


Figure 33 Demande en fluides frigorigènes pour la production dans le secteur du froid domestique

## 2.3.3 Emissions

### Emissions totales en tonnes

Les émissions totales du froid domestique viennent essentiellement des émissions de fin de vie des équipements, les systèmes étant hermétiques, le reste provenant de la très faible production des appareils en France en 2024. Elles sont assez limitées et de l'ordre de 146 tonnes en 2024 (Tableau 48 en annexe), étant donnée l'efficacité croissante de la filière DEEE. La part des HFC diminue depuis plusieurs années pour atteindre 38% en 2024 et devrait se poursuivre les prochaines années.

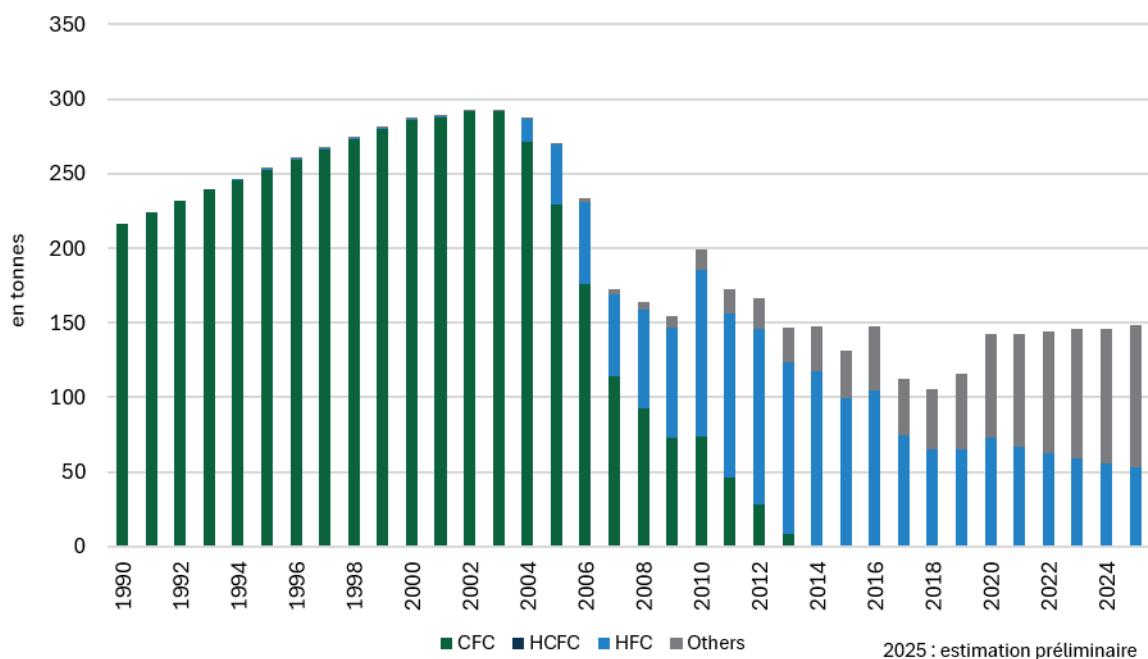


Figure 34 Emissions totales du froid domestique en tonnes

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

Les émissions croissent jusqu'en 2002 où elles atteignent leur pic à environ 3 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>. L'arrêt de la production des équipements de froid domestique en France dans les années 2000 permet une forte réduction des émissions. Elles ne représentent plus que 72 000 tonnes de CO<sub>2</sub> en 2024 (Tableau 49 en annexe) et sont amenées à décroître encore, les équipements parvenant en fin de vie contenant désormais principalement du R-600a (Figure 35).

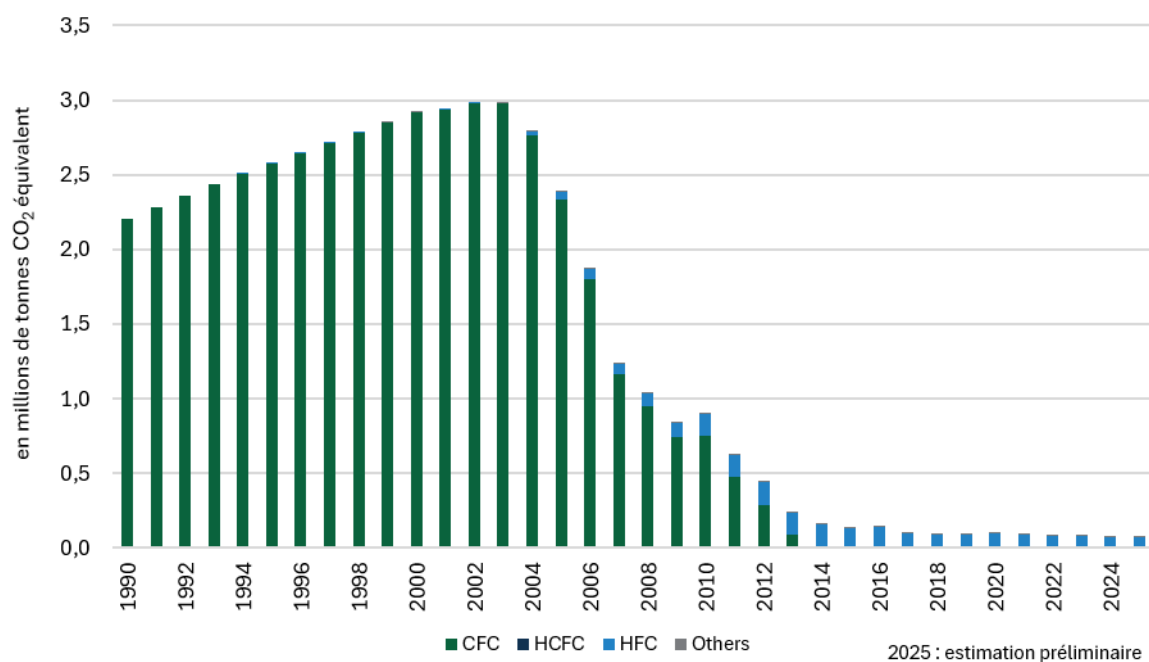


Figure 35 Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes du froid domestique (millions de tonnes)

# 3

## Froid commercial

## 3.1 L'essentiel des hypothèses

### Description du secteur

Le secteur du froid commercial est composé de 4 sous-secteurs définis selon leur taille de surface de vente et, pour les petits commerces, du type d'équipement. Les sous-secteurs sont donnés dans le Tableau 6, le Tableau 7 précise les magasins pris en compte par sous-secteur.

Tableau 6 – Sous-secteurs du froid commercial

| SECTEUR          | SOUS-SECTEUR                              |
|------------------|-------------------------------------------|
| Froid commercial | Supermarchés                              |
|                  | Hypermarchés                              |
|                  | Petits commerces : groupes à condensation |
|                  | Petits commerces : groupes hermétiques    |

Tableau 7 – Catégories de magasin prises en compte dans les équipements des petits commerces

| CATEGORIE | SUPERETTES                                 | PETITS COMMERCE<br>SPECIALISES                                                                                                                                          | DRIVES          | DISTRIBUTEURS<br>AUTOMATIQUES               |
|-----------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------|
| Magasins  | Maxidiscomptes,<br>Supérettes,<br>Surgelés | Alimentations générales,<br>Bars, Hôtels,<br>Restaurants,<br>Boulangeries pâtisseries,<br>Boucheries charcuteries,<br>Poissonneries,<br>Primeurs,<br>Stations-services, | Magasins drives | Distributeurs<br>automatiques<br>réfrigérés |

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

Tableau 8 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs du froid commercial

| Sous-secteur                               | Mode de charge à la fabrication | Complément de charge à l'installation | Maintenance : charge sur site (seuil) |
|--------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Hypermarchés                               | sur site                        | non                                   | 1/an                                  |
| Petits-commerces : groupes de condensation | sur site                        | non                                   | 70%                                   |
| Petits-commerces : groupes hermétiques     | usine                           | non                                   | pas de maintenance                    |
| Supermarchés                               | sur site                        | non                                   | 1/an                                  |

## Données d'entrée

Les données nécessaires à l'estimation des quantités installées de fluides frigorigènes sont l'évolution 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 incluent un renouvellement des installations tous les 15 ans et sont estimées à partir de ratios de charge surfacique (kg/m<sup>2</sup>). Ceux-ci sont fondés sur des enquêtes de terrain certaines années. Une courbe de tendance décroissante liée à l'introduction des systèmes indirects et cascades est prise en compte.

Tableau 9 – Hypothèses du secteur du froid commercial

| Froid commercial en 2024                   | Durée de vie | Nouvelles surfaces de ventes (incluant le renouvellement) | Ratio de charge (kg/kW) | Charge moyenne (kg) | Parts fluides utilisés (%)                                                            |
|--------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Hypermarchés                               | 15 ans       | 934 930                                                   | 0,08                    |                     | R-744 75%;<br>R-448A 10%;<br>R-290 5%;<br>R-450A 5%;<br>R-454C 5%                     |
| Petits-commerces : groupes de condensation | 15 ans       | 14 358                                                    |                         | 30,9                | R-744 25%;<br>R-448A 25%;<br>R-449A 25%;<br>R-455A 10%;<br>R-1234yf 10%;<br>R-407A 5% |
| Petits-commerces : groupes hermétiques     | 15 ans       | 30 108                                                    |                         | 0,7                 | R-290 35%;<br>R-744 26%;<br>R-600a 20%;<br>R-1234yf 15%;<br>R-454C 4%                 |
| Supermarchés                               | 15 ans       | 562 715                                                   | 0,11                    |                     | R-744 60%;<br>R-449A 18%;<br>R-448A 15%;<br>R-455A 5%;<br>R-290 2%                    |

Sources : données fabricants [7], RTOC [23], LSA [20], Perifem [21], Syneg [50], lignes directrices Giec [12]

## Facteurs d'émission

À 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 ou sur site). Des courbes d'évolution sont utilisées pour prendre en compte l'amélioration des pratiques dans l'évolution des facteurs d'émission fugitifs, à la maintenance et en fin de vie.

Tableau 10 – Facteurs d'émission des équipements de froid commercial

| Froid commercial en 2024 (en %)            | Charge | Fugitif | Maintenance | Fin de vie |
|--------------------------------------------|--------|---------|-------------|------------|
| Hypermarchés                               | 1,9%   | 20,0%   | 1,9%        | 5%         |
| Petits-commerces : groupes de condensation | 1,9%   | 12,6%   | 1,9%        | 46%        |
| Petits-commerces : groupes hermétiques     | 2,3%   | 1,0%    | -           | 66%        |
| Supermarchés                               | 1,9%   | 16,0%   | 2,0%        | 6%         |

Sources : lignes directrices du Giec [12](24), données fabricants, ministère de l'Environnement

## 3.2 Principaux résultats

Le tableau suivant donne les résultats 2024 de la banque, de la demande et des émissions par fluide frigorigène pour le secteur du froid commercial.

Tableau 11 – Synthèse des résultats des équipements de froid commercial

| Froid commercial en 2024           | PRG                     | Banque (tonnes) | Marché (tonnes) | Emissions (tonnes) | Emissions (ktCO <sub>2</sub> e) |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------------------|
| R-134a                             | 1 300                   | 871             | 121             | 141                | 184                             |
| R-404A - R507                      | ~3 950                  | 1 871           | 316             | 348                | 1 370                           |
| R-407A                             | 1 923                   | 396             | 44              | 56                 | 107                             |
| R-407C                             | 1 624                   | 2,00            | 0,43            | 0,39               | 0,63                            |
| R-407F                             | 1 674                   | 88              | 17              | 15                 | 26                              |
| R-410A                             | 1 924                   | 6,60            | 1,46            | 1,31               | 2,52                            |
| R-417A - R-422A<br>R-422D - R427A  | 2 000<br><PRG<<br>3 000 | 5,79            | 0,59            | 1,18               | 2,51                            |
| R-448A - R-449A                    | ~1 300                  | 1 412           | 490             | 210                | 268                             |
| R-454C - R-455A                    | ~150                    | 171             | 88              | 26                 | 3,74                            |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A | ~600                    | 35              | 13              | 7,30               | 3,99                            |
| Total HFC hors HFO                 |                         | 4 858           | 1 091           | 805                | 1 968                           |
| HFO : R-1234yf, R-1234ze, R-1233zd | 1<PRG<5                 | 115             | 67              | 14                 | 0,01                            |
| Total HFC (HFO inclus)             |                         | 4 973           | 1 158           | 820                | 1 968                           |
| R-290                              | 3                       | 115             | 16              | 8,87               | 0,03                            |
| R-600a                             | 3                       | 42              | 0,96            | 0,59               | 0,00                            |
| R-717                              | 0                       | 5,71            | 1,34            | 0,39               | -                               |
| R-744                              | 1                       | 1 020           | 395             | 174                | 0,17                            |
| Total non-fluorés                  |                         | 1 183           | 413             | 184                | 0,20                            |
| <b>Total général</b>               |                         | <b>6 156</b>    | <b>1 571</b>    | <b>1 003</b>       | <b>1 968</b>                    |

## 3.3 Résultats détaillés

### 3.3.1 Banque

La banque de froid commercial est plutôt stable fait d'une faible évolution du parc de magasins et d'une tendance à la réduction des charges des installations. Elle est évaluée à 6 156 tonnes en 2024 (Tableau 42 en annexe). La banque des fluides frigorigènes non fluorés (R-744 en majorité) prend de l'ampleur ces dernières années et représente désormais 19 % de la banque avec une croissance de 22 % par rapport à 2023.

A la suite des corrections sur les hypothèses d'utilisation du R-404A dans les nouvelles installations ces dernières années et de la réévaluation du rythme de retrofit de la banque de R-404A, elle représente encore environ un tiers de la banque du froid commercial. Sa baisse annuelle reste significative (-17% entre 2023 et 2024). Les banques cumulées de R-448A et R-449A représentent désormais 23% de banque totale.

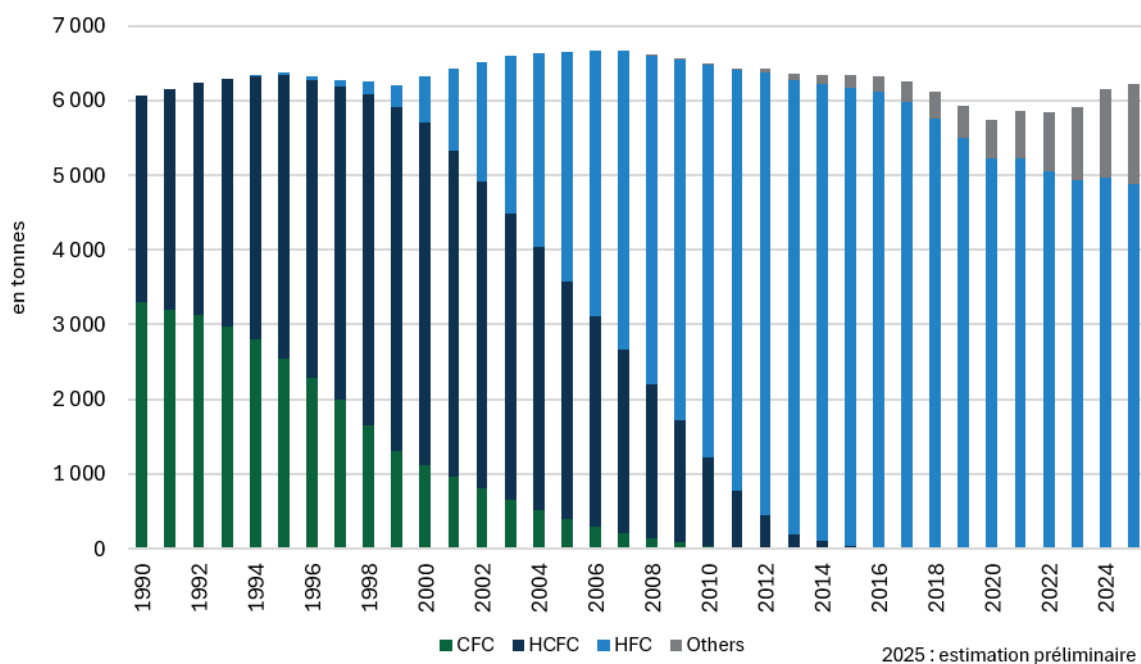


Figure 36 Banque de fluide dans le secteur du froid commercial

### 3.3.2 Demande

#### Demande totale

La demande totale tient compte des besoins pour la production, la charge des équipements neufs et pour la maintenance du parc. La demande est estimée à 1 571 tonnes en 2024 et augmente de 9 % par rapport à 2023. Les HFC représentent la moitié des mises sur le marché pour le froid commercial : le R-448A/R-449A pour 31% et le R-404A pour 20%. Les gaz non-fluorés (R-744 principalement) remplacent peu à peu les HFC et représentent environ un quart de la demande aujourd'hui (Tableau 45 en annexe).

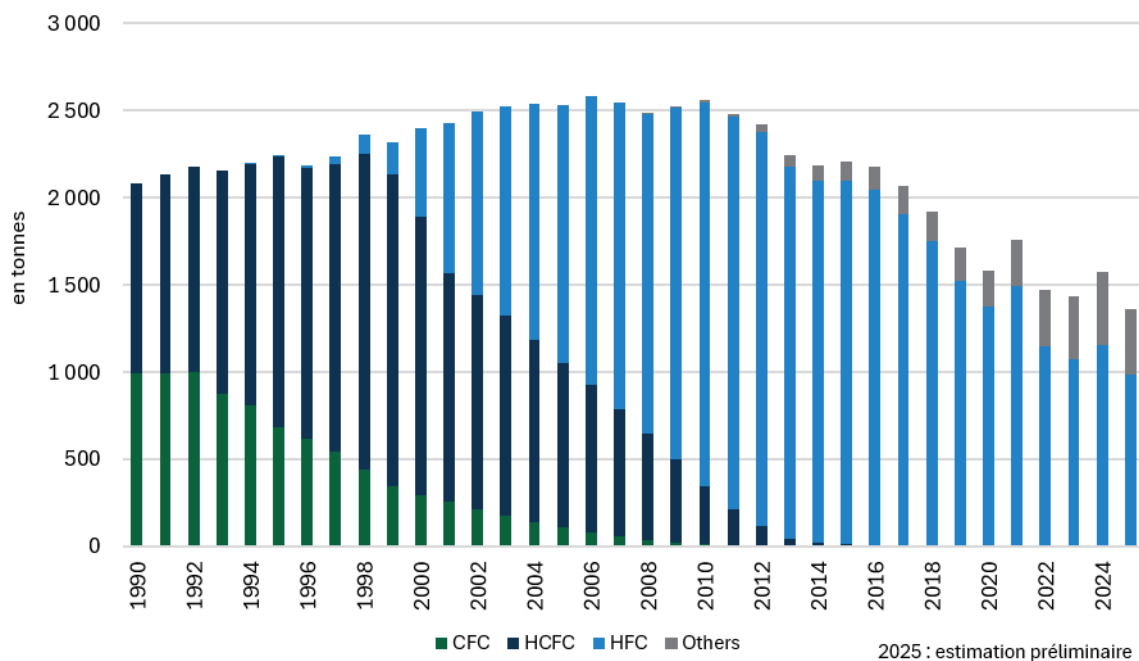


Figure 37 Quantités totales mises sur le marché en France dans le secteur du froid commercial

### Demande pour les équipements neufs

La demande pour les équipements est principalement constituée des mises en service de nouvelles installations. Le besoin pour la production des groupes hermétiques est marqué d'une forte incertitude mais reste marginal.

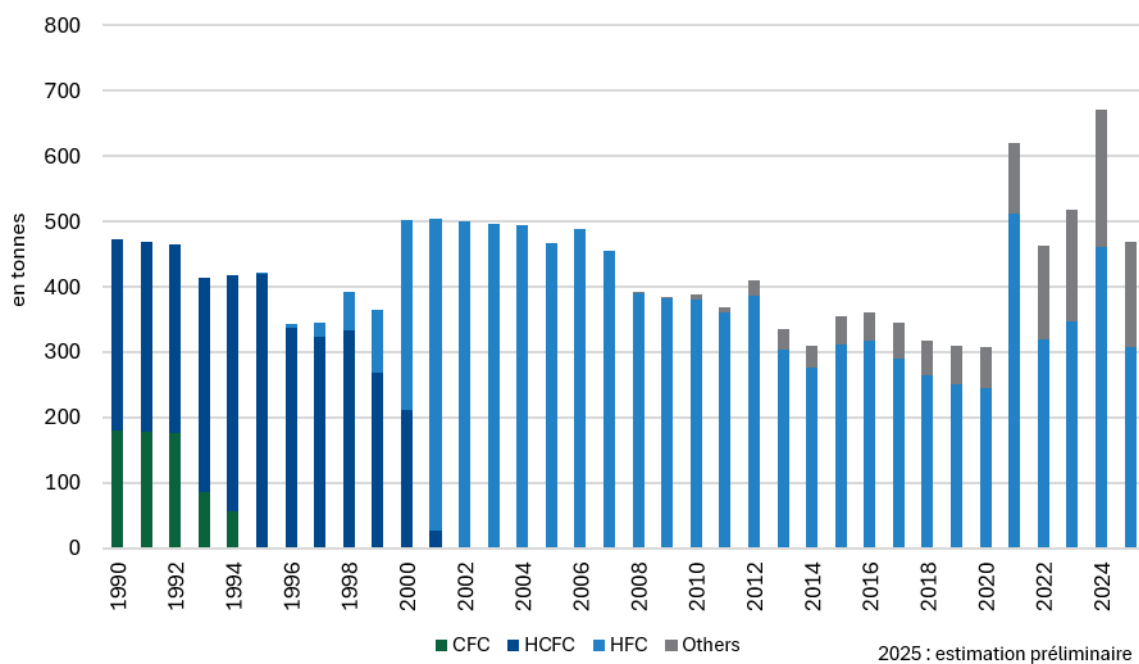


Figure 38 Demande en fluides frigorigènes pour la charge sur site des équipements neufs pour le secteur du froid commercial

La tendance à la baisse de la demande pour les équipements neufs, jusqu'en 2020 (Figure 38) est due à la tendance à la réduction des charges induite par l'augmentation du nombre d'installations indirectes ou cascade. Depuis 2021, la tendance est inversée du fait d'un grand nombre de renouvellements d'installations avant la fin de leur durée de vie. En 2024, ce besoin est estimé à environ 672 tonnes dont les deux tiers sont constitués de HFC (principalement R-448A/R-449A) et le reste de fluides non fluorés (R-744 essentiellement) (Tableau 43 en annexe).

Plus des deux tiers de la demande pour la production d'équipements de froid commercial en France est constituée de fluides non fluorés et un quart de HFO. Ceci vient du fait de la part croissante des hydrocarbures dans les groupes équipant les petits commerces (Tableau 44 en annexe). Ces chiffres sont à prendre avec précaution car les données de production sont marquées d'une forte incertitude.

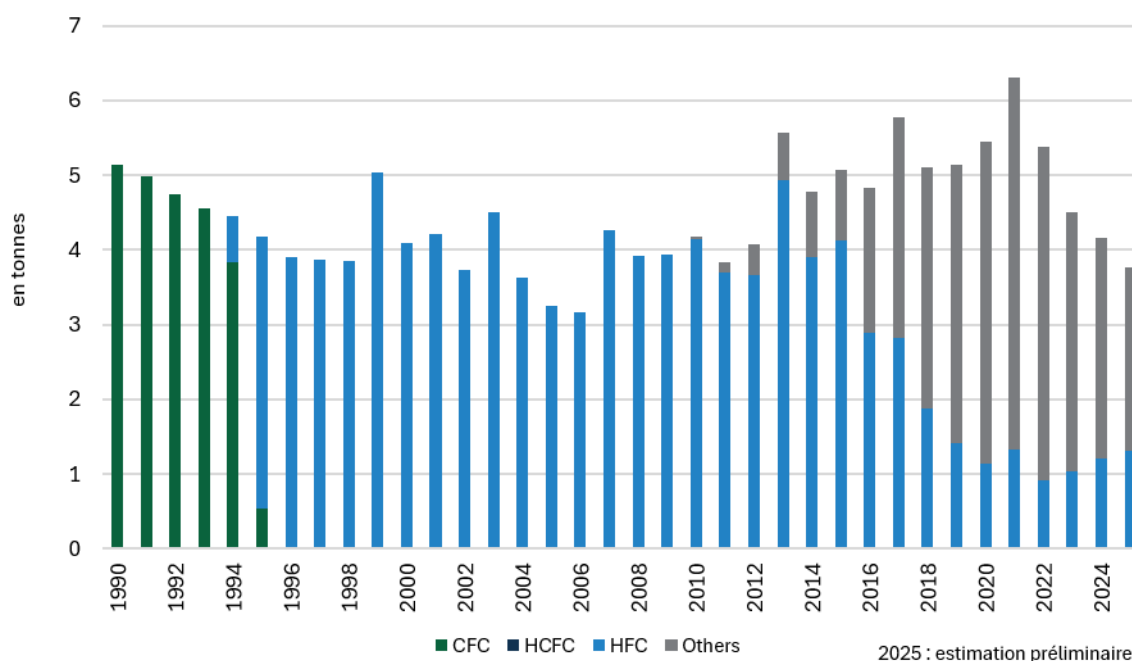


Figure 39 Quantités nécessaires à la production d'équipements en France dans le secteur du froid commercial

### Demande pour la maintenance

Le besoin pour la maintenance des installations est estimé à 656 tonnes en 2024 (Tableau 46 en annexe). Il est constitué pour près de 80% de HFC dont un peu plus de la moitié de R-404A, 21% de R-134a et 17% de R-448A/R-449A. La part de gaz non fluorés augmente de 2 % entre 2023 et 2024 et représente 22 % du besoin total pour la maintenance. Une baisse significative des quantités nécessaires à la maintenance est observée depuis 2016-2017 dans le secteur du froid commercial (-57% pour la période 2016-2024) ; elles est liée à l'amélioration de pratiques, la certification des opérateurs, la généralisation de systèmes de détection de fuites mais aussi au contexte de pénurie et d'augmentation des prix des HFC à fort PRG qui a incité à une meilleure surveillance des fuites et des quantités récupérées.

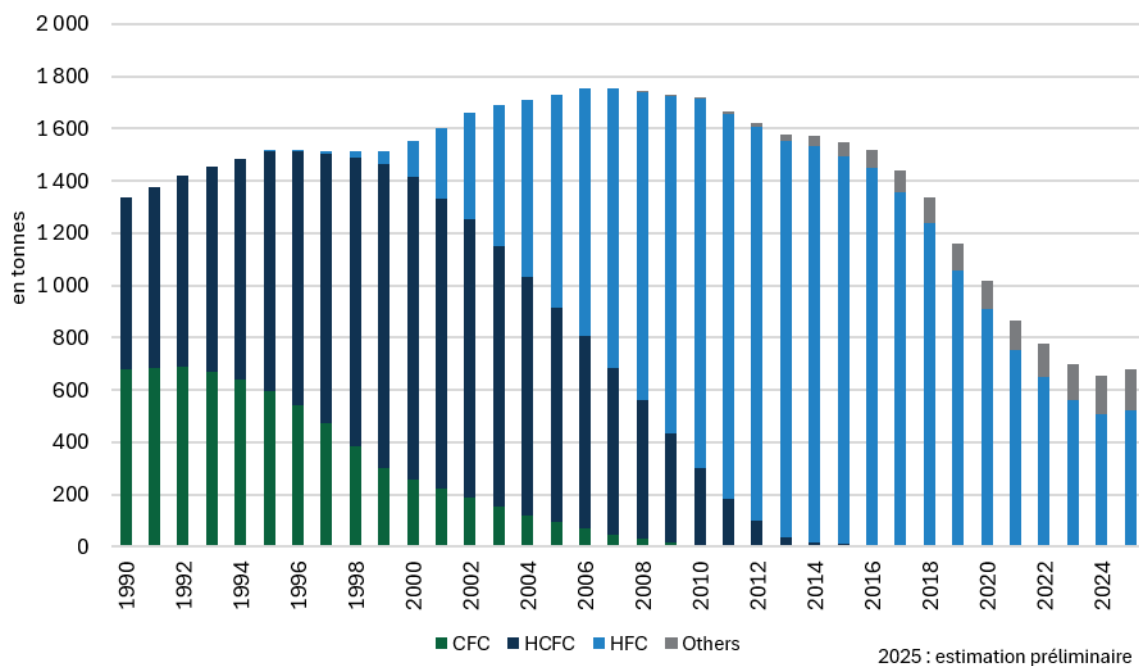


Figure 40 Demande en fluides frigorigènes pour la maintenance du parc d'installations dans le secteur du froid commercial

### Demande pour le retrofit

Le besoin pour le retrofit est estimé à 34 tonnes, il s'agit essentiellement conversions d'installations au R-404A vers du R-448A et R-449A (Tableau 47 en annexe).

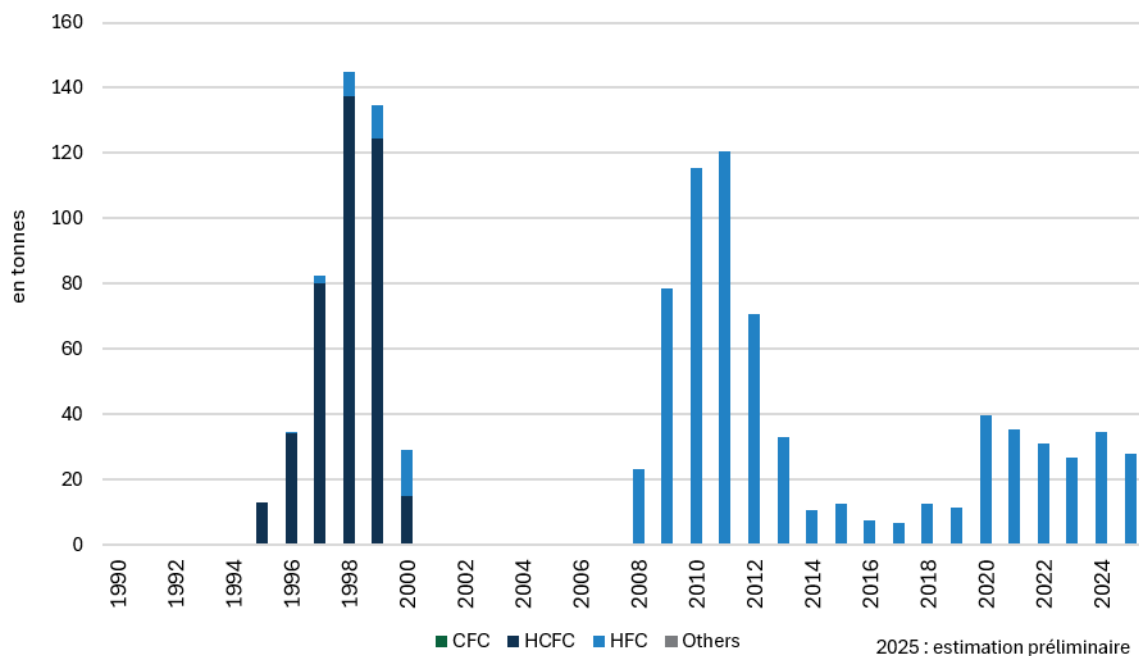


Figure 41 Demande en fluides frigorigènes pour le retrofit d'installations dans le secteur du froid commercial

### 3.3.3 Emissions

#### Emissions totales en tonnes

On constate une diminution des émissions du secteur depuis les années 2010 (Figure 42), baisse plus marquée depuis 2018, 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.

En 2024, les émissions totales de l'ensemble du secteur du froid commercial sont estimées à un peu plus de 1 000 tonnes de fluides frigorigènes (Tableau 48 en annexe). Les groupes à condensation dans les petits commerces contribuent à la moitié de ces émissions en tonnes et le cumul des supermarchés et hypermarchés pratiquement l'autre moitié en 2024. Dans le premier cas, les émissions se produisent en fin de vie, dans le second cas, il s'agit d'émissions fugitives d'installations de forte charge installée.

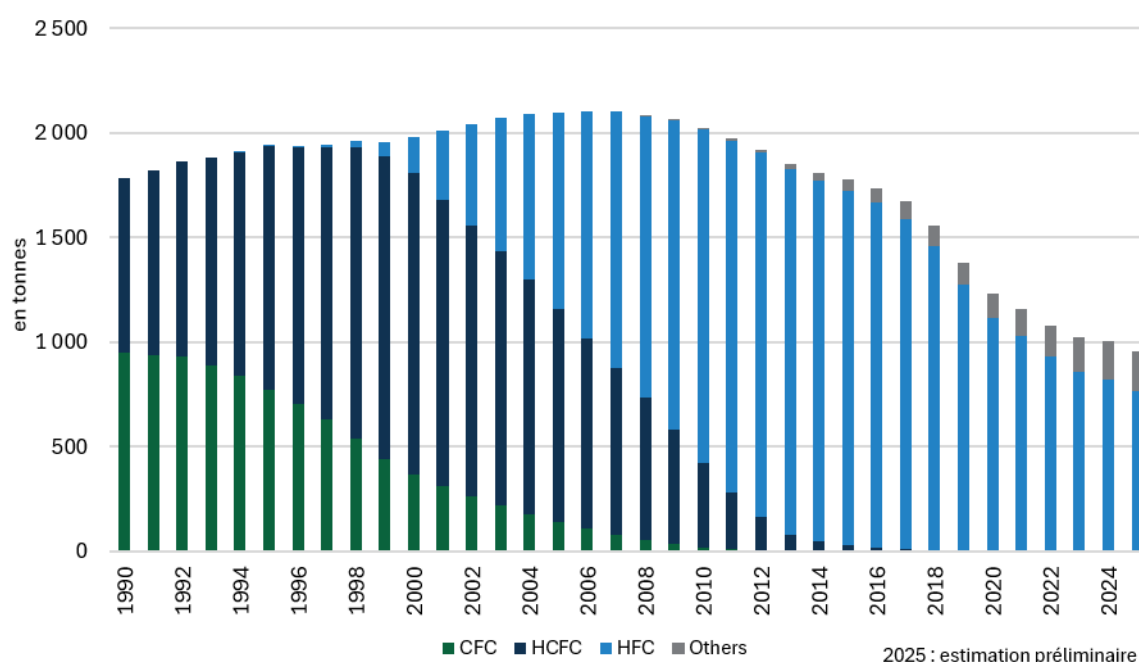


Figure 42 Emissions totales du froid commercial

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

Les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes du froid commercial baissent de façon drastique depuis 2012 avec une accélération ces dernières années de l'ordre 15 % en moyenne par an depuis 2019 (Figure 43). En 2024, 70% de ces émissions sont du R-404A (PRG = 3943) qui est amené à être remplacé progressivement par des fluides plus faibles en PRG.

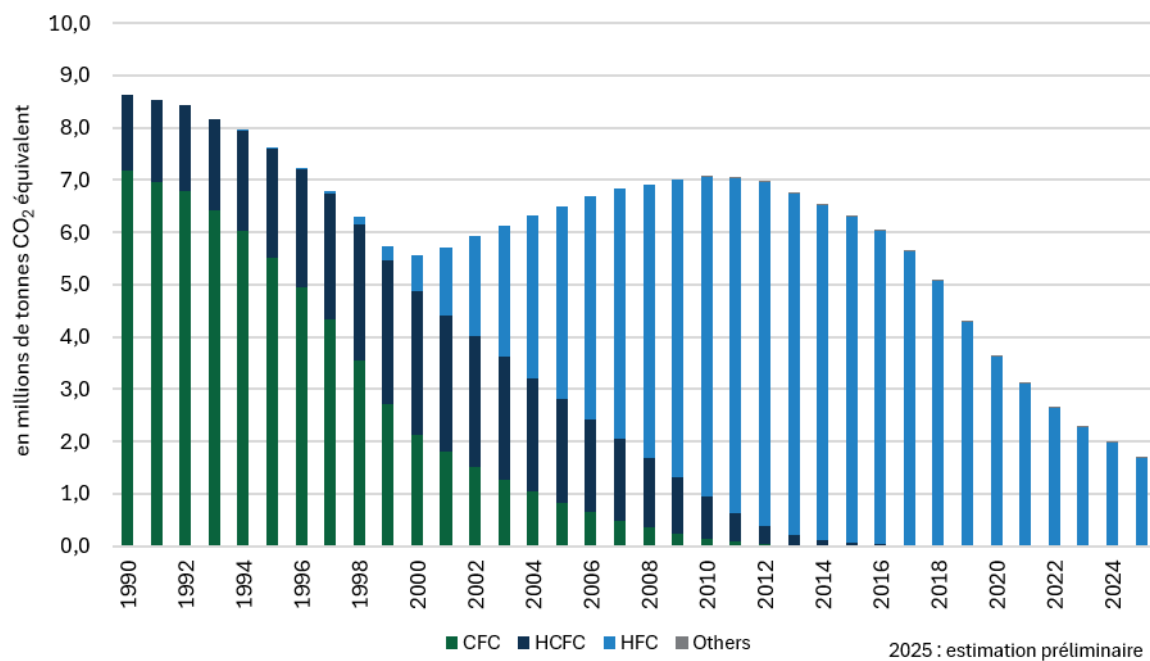


Figure 43 Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes du froid commercial (millions de tonnes)

# 4

## Transports frigorifiques

## 4.1 L'essentiel des hypothèses

### Description du secteur

Le secteur du transport frigorifique comprend 4 sous-secteurs.

Tableau 12 – Sous-secteurs du transport frigorifique

| SECTEUR                | SOUS-SECTEUR                       |
|------------------------|------------------------------------|
| Transport frigorifique | Semi-remorques                     |
|                        | Utilitaires (VUL)                  |
|                        | Conteneurs frigorifiques autonomes |
|                        | Navires réfrigérés                 |

Les semi-remorques sont des véhicules équipés de groupes frigorifiques autonomes de type « moteur thermique »), tandis que les utilitaires sont des véhicules équipés de groupes de type « poulie-courroie » accouplés au moteur. Les navires réfrigérés correspondent aux cales réfrigérées ou « reefers », c'est-à-dire les navires équipés de leurs propres systèmes de production frigorifique. Enfin, les conteneurs frigorifiques autonomes sont indépendants du mode de transport et sont véhiculés par train, camion ou bateau (porte-conteneurs).

Tableau 13 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs du transport frigorifique

| Sous-secteur                       | Mode de charge à la fabrication | Complément de charge à l'installation | Maintenance : charge sur site (seuil) |
|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Navires réfrigérés                 | sur site                        | non                                   | 70%                                   |
| Conteneurs frigorifiques autonomes | d'usine                         | non                                   | 80%                                   |
| Semi-remorques réfrigérés          | d'usine                         | non                                   | 70%                                   |
| Utilitaires réfrigérés             | sur site                        | non                                   | 70%                                   |

Source : rapports frigorigènes [7]

### Données d'activité

La Fédération française de carrosserie (FFC) communique régulièrement au Citepa une estimation du marché national par catégorie de véhicule frigorifique. 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]. Le tableau suivant récapitule les hypothèses pour l'année 2024 par sous-secteur :

Tableau 14 – Hypothèses du secteur du transport frigorifique

| Transport frigorifique en 2024     | Durée de vie | Marché d'équipements (nombre d'unités) | Charge moyenne (kg) | Parts fluides utilisés (%)                                                                     |
|------------------------------------|--------------|----------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Navires réfrigérés                 | 30 ans       | 0                                      | 1 000               | R-717 100%                                                                                     |
| Conteneurs frigorifiques autonomes | 15 ans       | 22 500                                 | 4,6                 | R-744 38%;<br>R-513A 24%;<br>R-513B 16%;<br>R-717 8%;<br>R-456A 5%;<br>R-134a 5%;<br>R-452A 5% |
| Semi-remorques réfrigérés          | 10 ans       | 5 546                                  | 6,5                 | R-452A 97%;<br>R-134a 1%; R-744 1%; R-450A 1%                                                  |
| Utilitaires réfrigérés             | 10 ans       | 5 765                                  | 2,0                 | R-452A 89.5%;<br>R-134a 9.5%;<br>R-744 0.5%;<br>R-450A 0.5%                                    |

Sources : données fabricants [7][8], le Petit Forestier [28], FFC (Fédération française de carrosserie) [26], Container handbook [27], Marine traffic, [Reefer Containers Market Share & Trends](#), EPEE (European partnership for energy and the environment) [22], Cemafruid, RTOC [23][29]

### Facteurs d'émissions

Les facteurs d'émissions sont supposés décroître selon une courbe en S afin de prendre en compte l'amélioration continue des pratiques. Le tableau suivant rapporte les facteurs d'émission utilisés pour l'année 2024.

Tableau 15 – Facteurs d'émission des équipements du transport frigorifique

| Transport frigorifique en 2024 (en %) | Charge | Fugitif | Maintenance | Fin de vie |
|---------------------------------------|--------|---------|-------------|------------|
| Navires réfrigérés                    | 1,0%   | 15%     | 5,0%        | 61%        |
| Conteneurs frigorifiques autonomes    | 1,0%   | 20%     | 5,0%        | 53%        |
| Semi-remorques réfrigérés             | 1,0%   | 11%     | 2,5%        | 30%        |
| Utilitaires réfrigérés                | 1,0%   | 17%     | 3,0%        | 30%        |

Sources : lignes directrices du Giec [12][24], le Petit Forestier [28]

## 4.2 Principaux résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats 2024, par fluide de la banque, de la demande et des émissions pour le secteur du transport frigorifique.

Tableau 16 – Synthèse des résultats des équipements du transport frigorifique

| Transport frigorifique en 2024     | PRG    | Banque (tonnes) | Marché (tonnes) | Emissions (tonnes) | Emissions (ktCO <sub>2</sub> e) |
|------------------------------------|--------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------------------|
| R-12                               | 10 200 | 26              | 0,7191          | 9,5909             | 98                              |
| Total CFC                          |        | 26              | 0,7191          | 9,5909             | 98                              |
| R-22                               | 1 760  | 78              | 6,4704          | 26                 | 46                              |
| Total HCFC                         |        | 78              | 6,4704          | 26                 | 46                              |
| R-134a                             | 1 300  | 944             | 134             | 224                | 291                             |
| R-404A - R507                      | ~3 950 | 54              | 12              | 19                 | 74                              |
| R-410A                             | 1 924  | 2,96            | 0,51            | 0,64               | 1,23                            |
| R-452A                             | 1 945  | 469             | 96              | 71                 | 137                             |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A | ~600   | 499             | 104             | 102                | 57                              |
| Total HFC hors HFO                 |        | 1 969           | 347             | 416                | 561                             |
| Total HFC (HFO inclus)             |        | 1 969           | 347             | 416                | 561                             |
| R-717                              | 0      | 25              | 10              | 1,67               | -                               |
| R-744                              | 1      | 261             | 70              | 54                 | 0,05                            |
| Total non-fluorés                  |        | 285             | 81              | 56                 | 0,05                            |
| <b>Total général</b>               |        | <b>2 359</b>    | <b>435</b>      | <b>507</b>         | <b>705</b>                      |

## 4.3 Résultats détaillés

### 4.3.1 Banque

La banque du transport frigorifique, en croissance quasi-constante est évaluée à 2 359 tonnes en 2024 (Tableau 42 en annexe). Elle est répartie à 75 % dans les conteneurs réfrigérés et à 15 % dans les systèmes autonomes équipant les camions frigorifiques. Elle est stable et augmente de 1% entre 2023 et 2024. La flotte des conteneurs frigorifiques croît de 3 à 5 % par an sur les dix dernières années.

En 2024, la banque du transport frigorifique est composée à 83 % de HFC, dont la moitié est du R-134a (très utilisé historiquement dans les conteneurs frigorifiques) et l'autre moitié se partage essentiellement entre le R-452A, qui a remplacé le R-404A et les R-513A/R-513B. Le R-404A, historiquement très utilisé en transport frigorifique routier voit sa banque réduite à 2% de la banque du transport frigorifique selon les hypothèses prises de conversions des équipements vers du R-452A. Les fluides non-fluorés représentent 12 % de la banque en 2024 et leur utilisation a augmenté de 20 % entre 2023 et 2024.

Pour l'ensemble des gammes de produits/véhicule (semi-remorque / porteur / VUL), la grande majorité utilise toujours du R452A : 91% R-452A / 8% R-134a / 2% autres pour les semi-remorques, pour la gamme VUL, 68% R-452A / 10% R-134a / 22% R-404A.

Récemment, 3 constructeurs ont annoncé l'arrivée du R-454A en option de remplacement du R-452A pour 2026-2027. Cela ne sera pas un remplacement complet, mais plutôt progressif en fonction des évolutions de prix et disponibilité du R452A.

On peut citer également des initiatives en fluide naturel, comme le CO<sub>2</sub> mais pour des volumes très faibles :

- 0,5 % de la banque sur porteur et semi-remorque en 2024,
- 0,3 % sur VUL

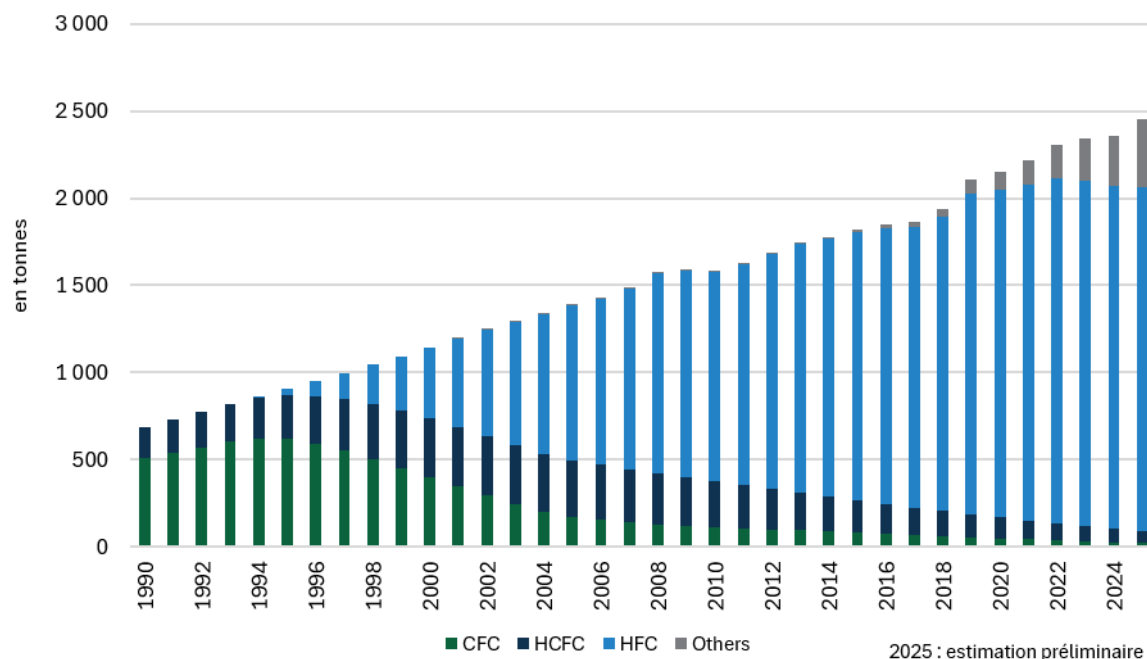


Figure 44 - Banque de fluide dans le secteur du transport frigorifique

## 4.3.2 Demande

### Demande pour les équipements neufs

Le besoin en fluides frigorigènes pour les équipements neufs est évalué aux alentours de 150 tonnes en 2024. Les fluides frigorigènes non-fluorés sont de plus en plus utilisés (particulièrement le R-744) et représentent environ un tiers des fluides pour les besoins en équipements neufs. Les deux autres tiers sont essentiellement partagés à quasiment parts égales entre le R-513A/B (31%), le 452A (33%). Le R-134a n'équivaut plus qu'à 4% de la demande pour les équipements neufs en 2024. Les trois quarts de la demande sont liés à la production d'équipements (Tableau 44 en annexe), 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 avec un facteur d'émission bas.

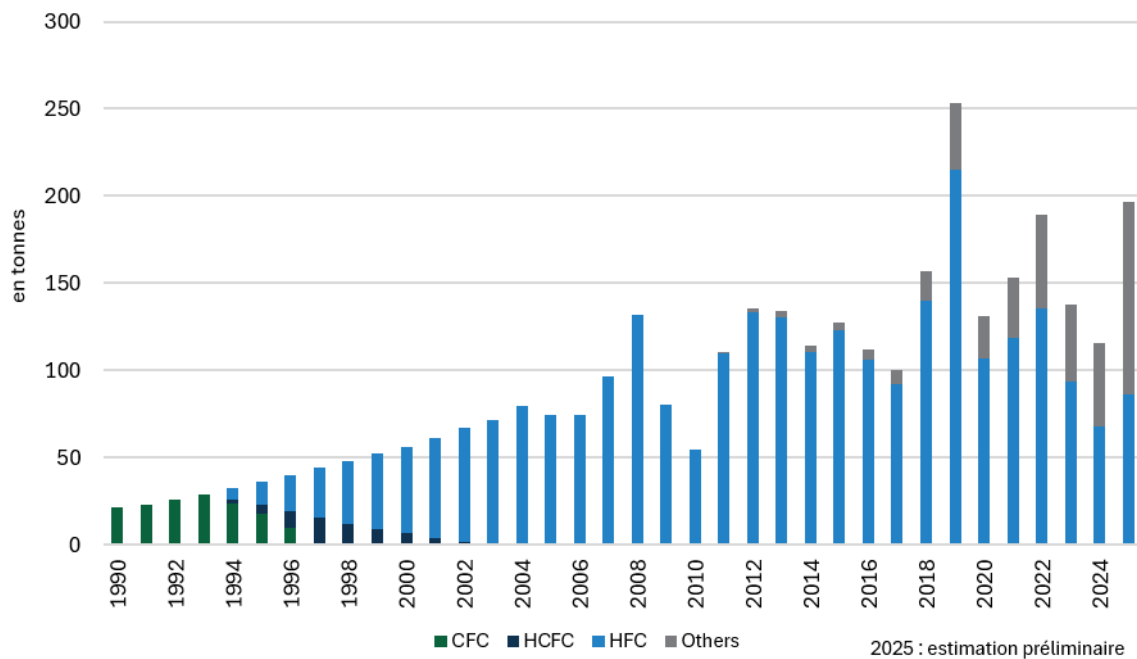


Figure 45 - Quantités nécessaires à la production dans le secteur du transport frigorifique

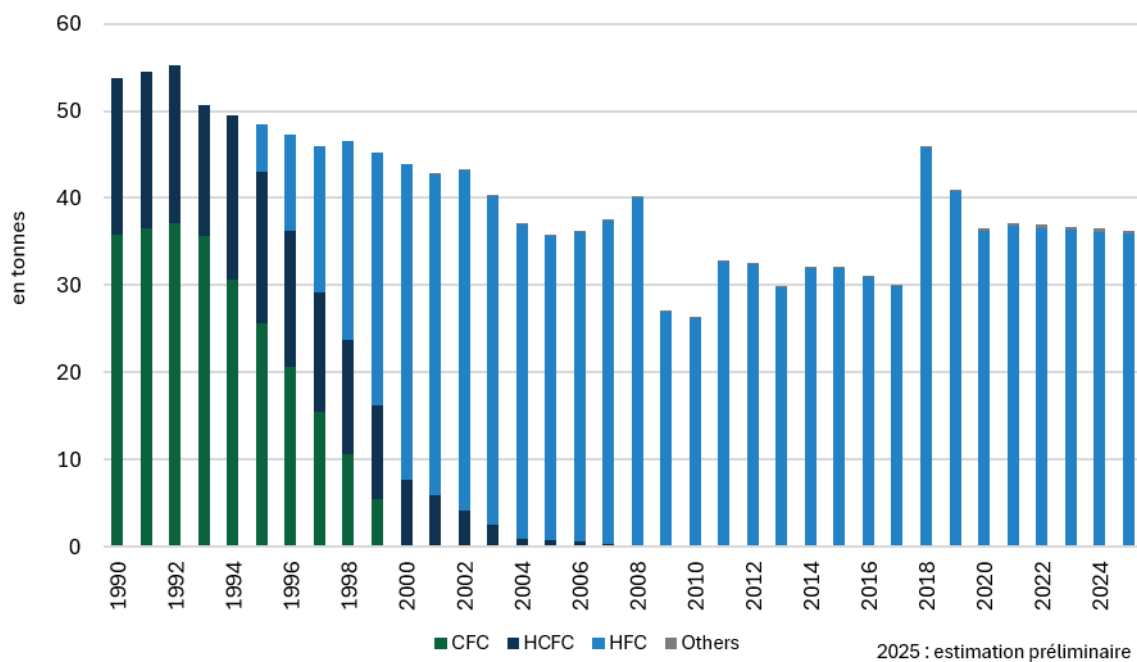


Figure 46 - Quantités nécessaires à la charge des équipements sur site pour le secteur du transport frigorifique

### Demande pour la maintenance

Le besoin pour la maintenance est plutôt stable dans les années 2000 à 2020 mais en croissance depuis 2020. Ce besoin est estimé à 225 tonnes pour l'année 2024 (Tableau 46 en annexe) pour l'ensemble du secteur du transport frigorifique. Près de la moitié concerne encore le R-134a, 20% les R-513A/R-513B, 14% le R-452A et 10% les fluides frigorigènes non-fluorés.

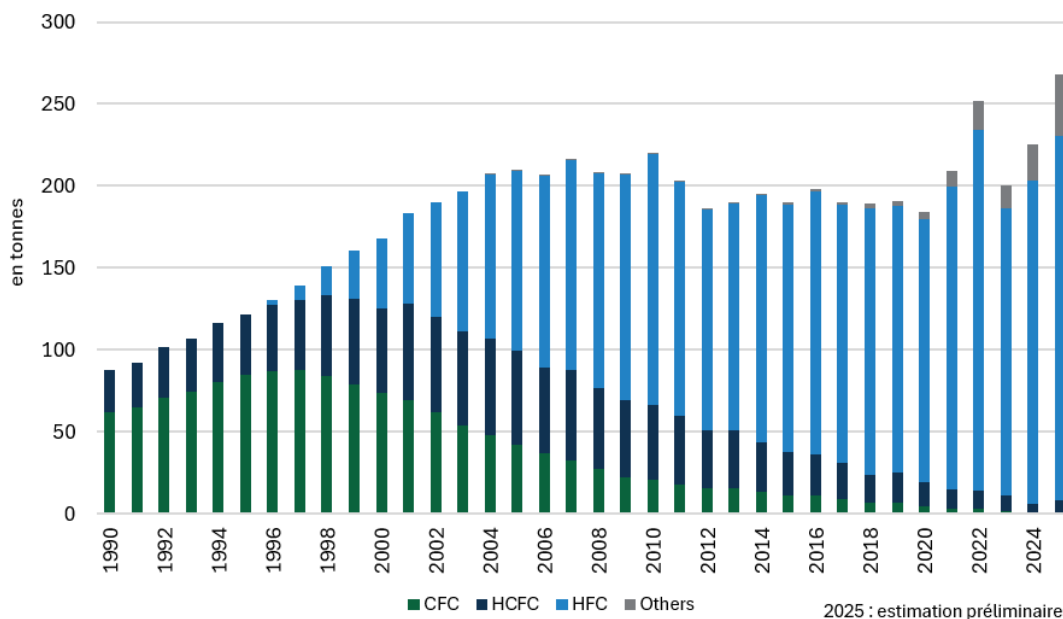


Figure 47 - Demande pour la maintenance dans le secteur du transport frigorifique

### 4.3.3 Emissions

#### Emissions totales en tonnes

Les émissions totales pour le secteur du transport frigorifique sont assez stables depuis 2018. Leur niveau atteint 507 tonnes en 2024 (Tableau 48 en annexe) dont 78 % proviennent du transport maritime. Les HFC constituent plus de 80 % des émissions dont plus de la moitié de R-134a. La part des émissions de ce dernier diminue d'environ 5 % par an en moyenne depuis 2018, progressivement remplacé par du R-513A/R-513B et du R-744 principalement.

Contrairement à la banque qui est en augmentation régulière, on constate une relative stabilité des émissions du secteur (Figure 48), en lien avec la baisse des taux d'émission fugitifs des équipements.

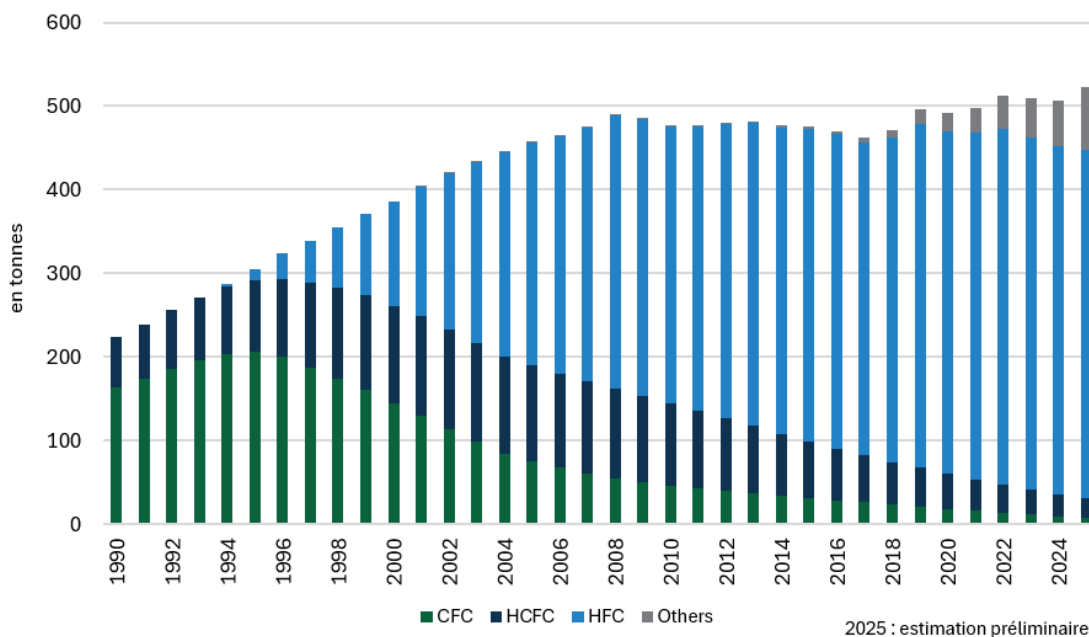


Figure 48 - Emissions totales du transport frigorifique

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

Les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes de ce secteur sont dominées par le transport maritime, qui a eu un fort usage des CFC. Les durées de vie des navires étant élevées et ce secteur étant traité au niveau international, il en résulte une banque résiduelle de CFC et d'HCFC et un transport maritime qui représente toujours 75% des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes du secteur.

Aujourd'hui, les émissions du transport frigorifique ont fortement baissé et représentent seulement 705 milliers de tonnes de CO<sub>2</sub> (Tableau 49 en annexe) résultant de l'introduction de nouveaux réfrigérants à plus faible PRG et à la baisse des taux d'émissions fugitives (Figure 49). Les émissions du transport routier frigorifié représente environ 167 000 tonnes de CO<sub>2</sub>.

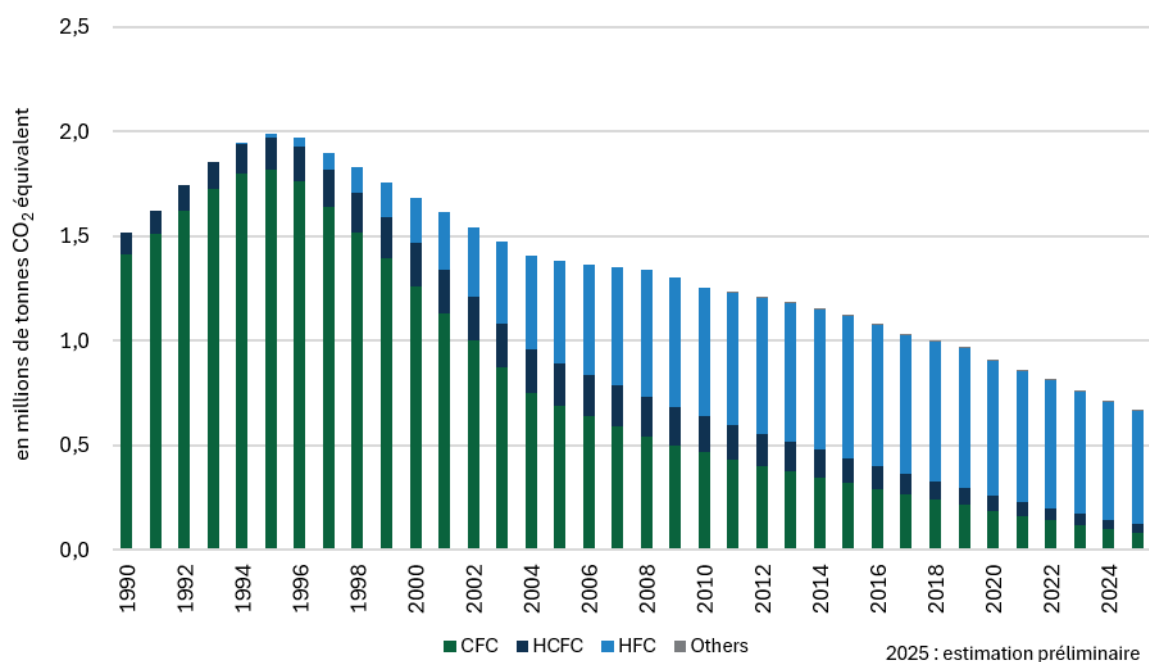


Figure 49 - Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes du transport frigorifique (millions de tonnes)

# 5

## Froid industriel

# 5.1 L'essentiel des hypothèses

## Description du secteur

Le secteur du froid industriel est partagé en 9 sous-secteurs selon le tableau ci-dessous.

Tableau 17 – Sous-secteurs du froid industriel

| SECTEUR          | SOUS-SECTEUR                                                                                                                                                                                                    |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Froid industriel | Secteurs de l'agroalimentaire :                                                                                                                                                                                 |
|                  | <ul style="list-style-type: none"><li>• viande</li><li>• lait</li><li>• autres industries agroalimentaires (dont brasserie et industrie du vin)</li><li>• entrepôts réfrigérés</li><li>• Tanks à lait</li></ul> |
|                  | Procédés industriels                                                                                                                                                                                            |
|                  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Industrie chimique</li><li>• Industrie pharmaceutique</li><li>• Production du caoutchouc</li></ul>                                                                      |
|                  | Patinoires                                                                                                                                                                                                      |

**Note :** 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 et ainsi vérifier l'exhaustivité des procédés à prendre en compte, en particulier sur les applications des procédés industriels (chimie, pharmacie).

Tableau 18 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs du froid industriel

| Sous-secteur                               | Mode de charge initiale | Complément de charge à l'installation | Maintenance : charge sur site |
|--------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Tous les sous-secteurs du froid industriel | sur site                | non                                   | 1/an                          |

## 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 selon le type de production. 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.

Tableau 19 – Hypothèses du secteur du froid industriel

| Froid industriel en 2024           | Durée de vie | Nouveaux besoins en puissance frigorifique (kW) | Ratio de charge (kg/kW) | Charge moyenne (kg) | Parts fluides utilisés (%)                                                                                     |
|------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Industries de la viande            | 20 ans       | 17 069                                          | 1,8                     |                     | R-717 50%;<br>R-744 10%;<br>R-1234ze 10%;<br>R-449A 10%;<br>R-448A 10%;<br>R-134a 5%;<br>R-455A 5%             |
| Entrepôts frigorifiques            | 20 ans       | 100 703                                         | 0,9                     |                     | R-717 65%;<br>R-744 10%;<br>R-1234ze 10%;<br>R-513A 5%;<br>R-449A 3%;<br>R-448A 3%;<br>R-455A 2%;<br>R-134a 2% |
| Industries du lait                 | 20 ans       | 27 496                                          | 0,9                     |                     | R-717 85%;<br>R-1234ze 6%;<br>R-744 5%;<br>R-449A 2%;<br>R-448A 2%                                             |
| Patinoires                         | 20 ans       | 19                                              | 0,9                     |                     | R-744 25%;<br>R-134a 20%;<br>R-513A 20%;<br>R-717 15%;<br>R-448A 10%;<br>R-449A 10%                            |
| Industries chimiques               | 20 ans       | 26 408                                          | 3,7                     |                     | R-1234yf 35%;<br>R-513A 35%;<br>R-134a 15%;<br>R-717 5%;<br>R-448A 5%;<br>R-455A 5%                            |
| Industries pharmaceutiques         | 20 ans       | 6 704                                           | 5,5                     |                     | R-513A 60%;<br>R-717 30%;<br>R-134a 10%                                                                        |
| Industries du caoutchouc           | 20 ans       | 1 112                                           | 5,5                     |                     | R-134a 35%;<br>R-1234yf 30%;<br>R-513A 30%;<br>R-717 5%                                                        |
| Autres industries agroalimentaires | 20 ans       | 20 636                                          | 1,8                     |                     | R-717 60%;<br>R-1234ze 10%;<br>R-449A 10%;<br>R-448A 10%;<br>R-134a 7%;<br>R-744 3%                            |
| Tanks à lait                       | 20 ans       | 4 142                                           |                         | 11                  | R-449A 95%;<br>R-455A 5%                                                                                       |

Sources : données fabricants [7], FAO (Food and agriculture organization of the United Nations) [31], groupe Serap [51]

### Facteurs d'émissions

Les facteurs d'émissions sont supposés suivre une décroissance selon une courbe en S afin de prendre en compte l'amélioration des pratiques.

Tableau 20 – Facteurs d’émission des équipements du froid industriel

| Froid industriel en 2024 (en %)    | Charge | Fugitif | Maintenance | Fin de vie |
|------------------------------------|--------|---------|-------------|------------|
| Industries de la viande            | 1,0%   | 6%      | 1,9%        | 5%         |
| Entrepôts frigorifiques            | 1,0%   | 9%      | 1,9%        | 7%         |
| Industries du lait                 | 1,0%   | 6%      | 1,9%        | 5%         |
| Patinoires                         | 3,0%   | 7%      | 2,0%        | 18%        |
| Industries chimiques               | 1,0%   | 10%     | 1,8%        | 5%         |
| Industries pharmaceutiques         | 1,0%   | 9%      | 1,9%        | 5%         |
| Industries du caoutchouc           | 2,5%   | 14%     | 1,9%        | 5%         |
| Autres industries agroalimentaires | 1,0%   | 9%      | 1,9%        | 5%         |
| Tanks à lait                       | 3,0%   | 7%      | 1,9%        | 38%        |

Sources : données fabricants [7], lignes directrices du Giec [12]

## 5.2 Principaux résultats

Cette partie présente les **résultats du froid industriel hors chillers**. Ces derniers sont présentés de façon indépendante, dans le chapitre suivant. Dans le rapportage de l’inventaire, l’hypothèse appliquée est que deux tiers des émissions des chillers peuvent être attribués au froid industriel, le tiers restant étant regroupé avec les émissions du secteur climatisation.

Le tableau suivant présente des résultats du secteur du froid industriel en 2024.

Tableau 21 – Synthèse des résultats des équipements du froid industriel

| Froid industriel en 2024           | PRG                     | Banque (tonnes) | Marché (tonnes) | Emissions (tonnes) | Emissions (ktCO <sub>2</sub> e) |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------------------|
| R-11                               | 4 660                   | 3,75            | 0,38            | 0,37               | 3,41                            |
| R-12                               | 10 200                  | -               | -               | 0,0433             | 0,44                            |
| Total CFC                          |                         | 3,7496          | 0,3823          | 0,4091             | 3,8511                          |
| R-22                               | 1 760                   | -               | -               | 0,6150             | 1,08                            |
| Total HCFC                         |                         | -               | -               | 0,6150             | 1,0825                          |
| R-134a                             | 1 300                   | 1 934           | 236             | 188                | 244                             |
| R-404A - R507                      | ~3 950                  | 1 109           | 104             | 103                | 407                             |
| R-407A                             | 1 923                   | 71              | 6,91            | 6,44               | 12                              |
| R-407F                             | 1 674                   | 127             | 19              | 10                 | 17                              |
| R-417A - R-422A<br>R-422D - R427A  | 2 000<br><PRG<<br>3 000 | 108             | 10              | 12                 | 27                              |
| R-448A - R-449A                    | ~1 300                  | 1 093           | 243             | 94                 | 120                             |
| R-454C - R-455A                    | ~150                    | 36              | 21              | 3,62               | 0,53                            |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A | ~600                    | 804             | 263             | 83                 | 47                              |
| Total HFC hors HFO                 |                         | 5 281           | 904             | 500                | 875                             |
| HFO : R-1234yf, R-1234ze, R-1233zd | 1<PRG<5                 | 199             | 83              | 19                 | 0,02                            |
| Total HFC (HFO inclus)             |                         | 5 481           | 987             | 519                | 875                             |
| R-717                              | 0                       | 3 442           | 470             | 95                 | -                               |
| R-744                              | 1                       | 153             | 37              | 14                 | 0,01                            |
| Total non-fluorés                  |                         | 3 594           | 507             | 109                | 0,01                            |
| <b>Total général</b>               |                         | <b>9 079</b>    | <b>1 494</b>    | <b>628</b>         | <b>880</b>                      |

## 5.3 Résultats détaillés

### 5.3.1 Banque

En 2024, la banque du froid industriel est estimée à 9 079 tonnes (Tableau 42 en annexe), principalement constituée de HFC (60%), bien que le secteur agroalimentaire soit fortement utilisateur d'ammoniac (38% de la banque en 2024). Parmi les HFC, le R-134a domine avec plus d'un tiers de la banque en HFC suivi par le R-404A et le cumul R448A/R449A constituant environ 20% chacun. La banque décroît légèrement depuis 2018 de 2% par an en moyenne. Près de la moitié de la banque du froid industriel en 2024 est constituée par l'industrie agroalimentaire, suivie de l'industrie chimique (27%) et des entrepôts (17 %).

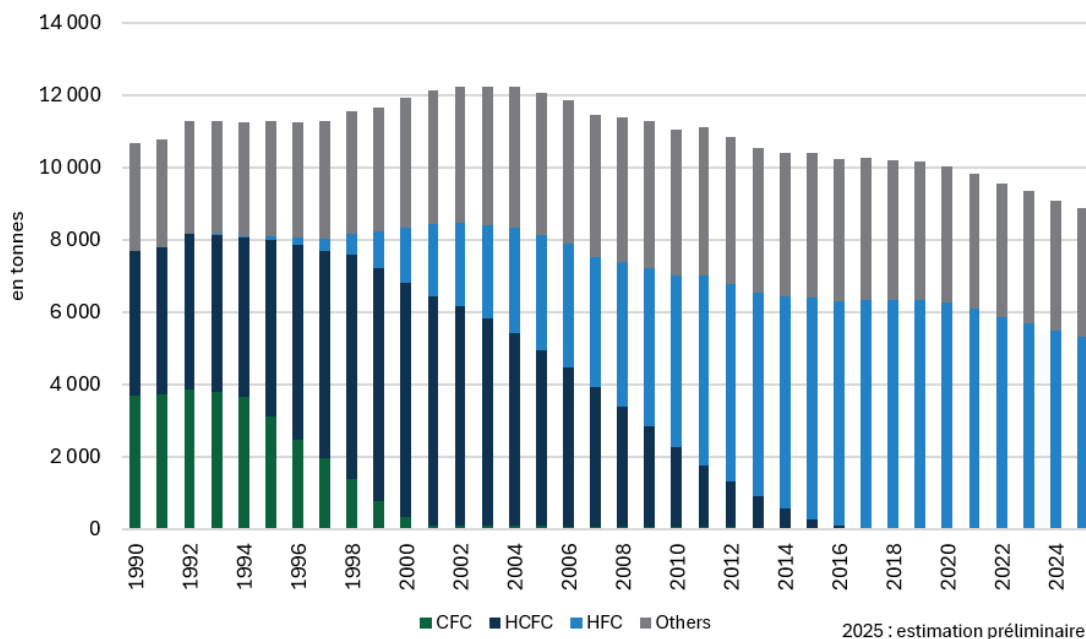


Figure 50 - Banque de fluide dans le secteur du froid industriel

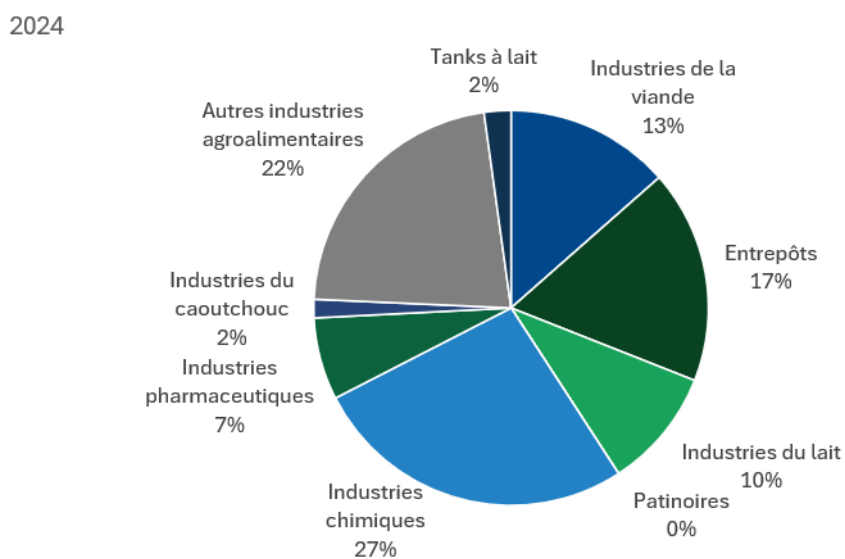


Figure 51 - Répartition sectorielle de la banque du froid industriel

## 5.3.2 Demande

### Demande pour les équipements neufs

Toutes les nouvelles installations du secteur du froid industriel sont chargées sur site. La demande pour ces dernières est estimée à 333 tonnes en 2024 (Tableau 43 en annexe). Elle est dominée en par l'ammoniac (41%), principalement utilisé en industrie agroalimentaire et entrepôts réfrigérés. La part du R-134a diminue fortement au profit des fluides frigorigènes plus bas PRG tel que le 513A (19% du besoin en 2024) ou les HFO (16%), principalement utilisés dans les procédés industriels.

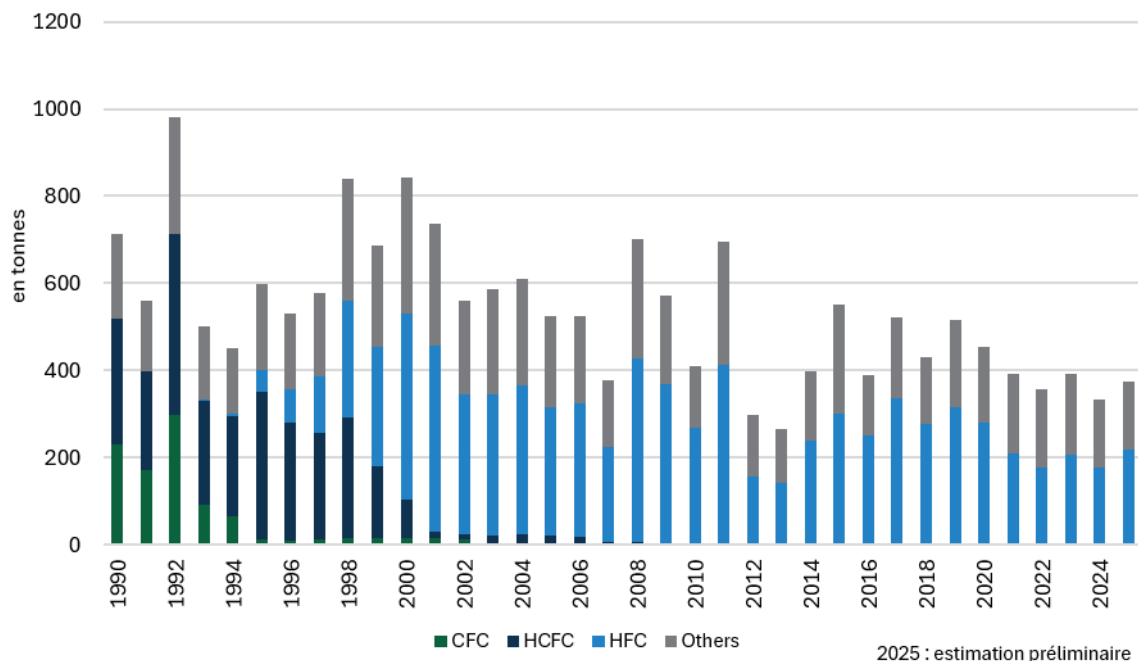


Figure 52 - Demande en fluides frigorigènes pour les installations neuves du froid industriel

### Demande pour la maintenance

La Figure 53, ci-après, dessine une belle tendance à la baisse du besoin des quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur du froid industriel depuis 2004, qui s'accroît ces dernières années. Cette tendance est liée à celle de la banque, à la réduction des taux d'émissions et à un usage croissant de l'ammoniac, les taux d'émission de ces installations étant beaucoup plus bas. Les fluides utilisés pour la maintenance en 2024 sont à 63 % des HFC, soit 485 tonnes (Tableau 46 en annexe). Le R-134a couvre environ un quart de la demande totale. Les quantités utilisées en ammoniac sont estimées à 273 tonnes (35% du total en 2024). Le besoin total pour la maintenance en 2024 est estimé à 771 tonnes.

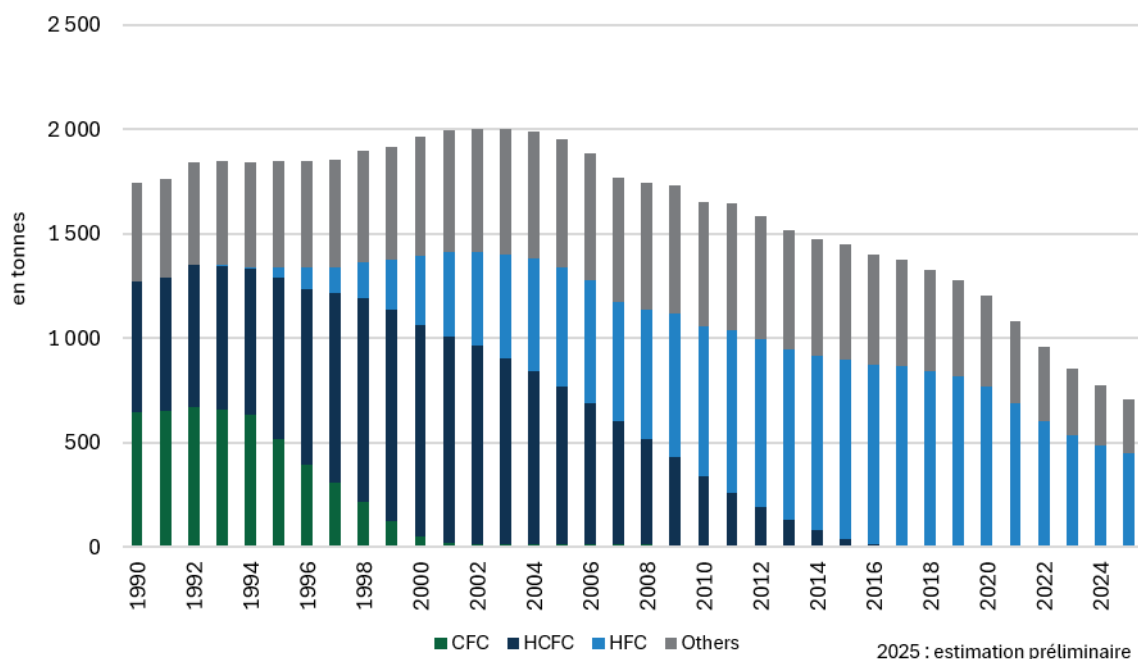


Figure 53 - Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur du froid industriel

### Demande pour le retrofit

L'échéance de 2020 concernant l'interdiction d'usage des HFC de PRG supérieur à 2500 pour la maintenance des installations de réfrigération a conduit à la mise en place de retrofits d'installations depuis 2018. La demande pour le retrofit est évaluée à 171 tonnes de HFC en 2024 (Tableau 47 en annexe), principalement en R-448A/449A (48 %) et en R-513B (50 %).

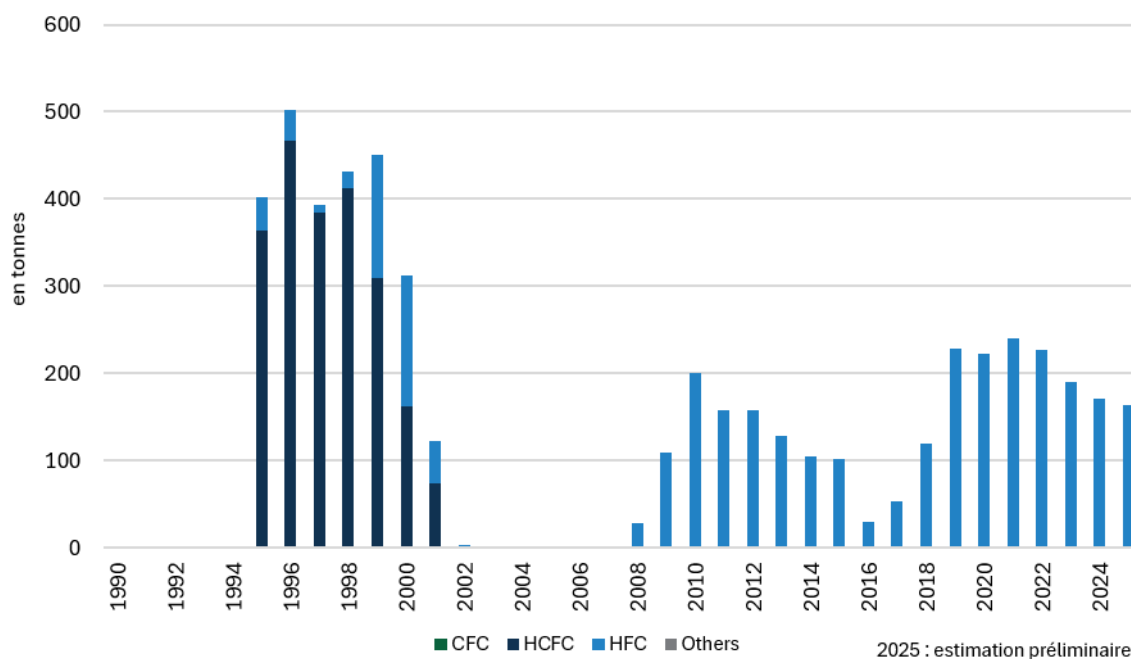


Figure 54 - Demande pour le retrofit dans le secteur du froid industriel

## 5.3.3 Emissions

### Emissions totales en tonnes

Depuis les années 2000, les émissions du secteur froid industriel diminuent régulièrement, avec une baisse de 9% entre 2023 et 2024. Les émissions totales du secteur sont estimées à 628 tonnes en 2024 (Tableau 48 en annexe), essentiellement constituées des émissions fugitives du parc des installations, la récupération en fin de vie étant efficace, une large part des installations étant classées pour l'environnement (ICPE). Le R-134a et le R-404A contribuent à eux seuls à presque la moitié des émissions en 2024. 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.

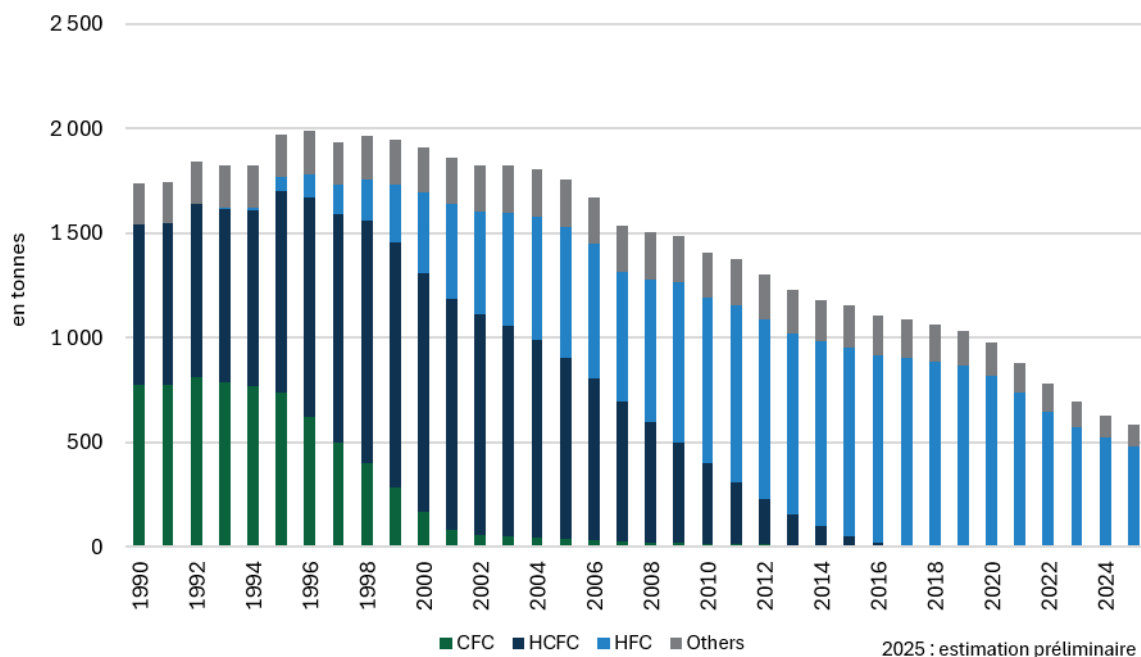


Figure 55 - Emissions totales du froid industriel

### 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 (Figure 56), les émissions de fluides frigorigènes du froid industriel représentent moins de 1 million de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2024 (Tableau 49 en annexe). Ce résultat vient de la tendance décroissante de la banque, sa forte proportion d'ammoniac et la baisse des taux d'émission. La pente 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. Alors que les émissions en tonnes du R-134a et le R-404A comptent pour environ la moitié, ces fluides frigorigènes contribuent à près des trois quarts des émissions en équivalent CO<sub>2</sub>.

D'un point de vue sectoriel, l'agroalimentaire est le plus contributeur aux émissions CO<sub>2</sub> équivalentes du froid industriel en 2024 avec 41 % dont 12 % pour l'industrie de la viande, 4% pour l'industrie du lait et 25% pour les autres industries agroalimentaires. L'industrie chimique participe aux émissions à hauteur de 36 % et les entrepôts à 12 %.

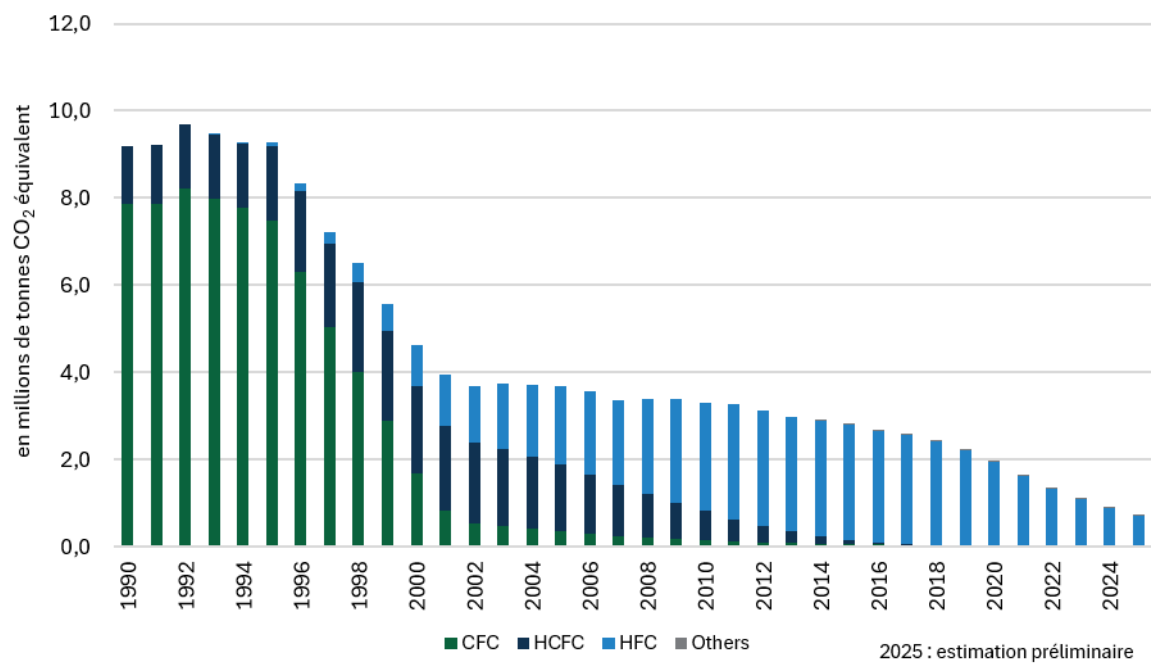


Figure 56 - Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes du froid industriel (millions de tonnes)

# 6

## Groupes refroidisseurs à eau (GRE)

# 6.1 L'essentiel des hypothèses

## Description du secteur

Ce secteur est décomposé en quatre types de groupes refroidisseurs à eau (ou chillers), 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 divisés en trois sous-groupes en fonction de la puissance.

Tableau 22 – Sous-secteurs des groupes refroidisseurs à eau

| SECTEUR                      | SOUS-SECTEUR                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Groupes refroidisseurs à eau | <ul style="list-style-type: none"><li>• Groupes à compresseur centrifuge</li></ul> Groupes compresseurs volumétriques : <ul style="list-style-type: none"><li>• forte puissance (&gt; 350 kW)</li><li>• moyenne puissance (50 à 350 kW)</li><li>• faible puissance (&lt; 50 kW)</li></ul> |

Les groupes refroidisseurs à eau, chargés d'usines, font partie des équipements dits préchargés. Il est supposé que ces équipements 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 23 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs des chillers

| Sous-secteur                      | Mode de charge à la fabrication | Complément de charge à l'installation | Maintenance : charge sur site (seuil) |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Groupes compresseurs à centrifuge | d'usine ou sur site             | non                                   | 95%                                   |
| Chillers P < 50 kW                | d'usine                         | non                                   | 90%                                   |
| Chillers 50 < P < 350 kW          | d'usine                         | non                                   | 90%                                   |
| Chillers P > 350 kW               | d'usine                         | non                                   | 90%                                   |

Source : données fabricants [32]

## Données d'activité

Jusqu'en 2021, le syndicat Uniclimate [33] disposait de données détaillées de marchés par fine gamme de puissance pour les chillers ainsi que des informations sur les fluides frigorigènes utilisés, qu'il communiquait au Citepa de façon agrégée et confidentielle, toujours selon les mêmes gammes de puissance. A partir de 2022, faute d'un nombre suffisant de déclarants, les informations ont été restructurées puis n'ont pu être transmises cette année. Une enquête est en cours auprès des fabricants.

Les productions annuelles par gamme de puissance en France ne sont pas collectées par une fédération. Des ratios entre productions d'équipements et marchés sont établis et appliqués sur les années manquantes. Ces données sont marquées d'une forte incertitude mais n'impactent, en termes d'émissions, que les émissions à la charge.

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.

Tableau 24 – Hypothèses du secteur des chillers

| Groupes refroidisseurs à eau en 2024 | Durée de vie | Marché d'équipements (nombre d'unités) | Ratio de charge (kg/kW) | Puissance moyenne (kW) | Parts fluides utilisés (%)                              |
|--------------------------------------|--------------|----------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------|
| Groupes compresseurs à centrifuge    | 25 ans       | 50                                     | 0,30                    | 2 000                  | R-1233zd 55%;<br>R-1234ze 40%;<br>R-513A 5%             |
| Chillers P < 50 kW                   | 15 ans       | 1 061                                  | 0,25                    | 29                     | R-32 50%;<br>R-1234ze 30%;<br>R-454C 10%;<br>R-455A 10% |
| Chillers 50 < P < 350 kW             | 15 ans       | 550                                    | 0,17                    | 350                    | R-32 60%;<br>R-1234ze 25%;<br>R-454B 10%;<br>R-410A 5%  |
| Chillers P > 350 kW                  | 20 ans       | 5 094                                  | 0,18                    | 2 191                  | R-32 55%;<br>R-1234ze 39%;<br>R-454B 5%;<br>R-466A 1%   |

Sources : données fabricants [7], Uniclimate [33], RTOC [44]

## Facteurs d'émission

Les facteurs d'émission sont supposés évoluer selon une courbe en S. Celle-ci a été construite de façon à prendre en compte l'amélioration continue des pratiques.

Tableau 25 – Facteurs d'émission des équipements des chillers

| Groupes refroidisseurs à eau en 2024 (en %) | Charge | Fugitif | Maintenance | Fin de vie |
|---------------------------------------------|--------|---------|-------------|------------|
| Groupes compresseurs à centrifuge           | 1,5%   | 3,5%    | 2,0%        | 5%         |
| Chillers P < 50 kW                          | 1,5%   | 3,9%    | 2,0%        | 16%        |
| Chillers 50 < P < 350 kW                    | 1,5%   | 5,0%    | 2,0%        | 16%        |
| Chillers P > 350 kW                         | 1,5%   | 3,9%    | 1,7%        | 16%        |

Sources : données fabricants [7], lignes directrices du Giec [12]

## 6.2 Principaux résultats

Les résultats 2024 de la banque, des marchés et des émissions par fluides frigorigènes du secteur des groupes refroidisseurs à eau sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 26 – Synthèse des résultats des chillers

| Groupes refroidisseurs à eau en 2024 | PRG                     | Banque (tonnes) | Marché (tonnes) | Emissions (tonnes) | Emissions (ktCO <sub>2</sub> e) |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------------------|
| R-11                                 | 4 660                   | 0,06            | -               | 0,01               | 0,12                            |
| R-12                                 | 10 200                  | -               | -               | 0,0388             | 0,40                            |
| Total CFC                            |                         | 0,0624          | -               | 0,0521             | 0,5194                          |
| R-22                                 | 1 760                   | -               | -               | 0,7554             | 1,33                            |
| Total HCFC                           |                         | -               | -               | 0,7554             | 1,3295                          |
| R-134a                               | 1 300                   | 1 888           | 56              | 124                | 162                             |
| R-32                                 | 677                     | 3 461           | 478             | 146                | 99                              |
| R-407C                               | 1 624                   | 1 188           | 39              | 103                | 167                             |
| R-407F                               | 1 674                   | 0,85            | 0,01            | 0,01               | 0,01                            |
| R-410A                               | 1 924                   | 1 931           | 69              | 109                | 210                             |
| R-417A - R-422A<br>R-422D - R-427A   | 2 000<br><PRG<<br>3 000 | 90              | 1,52            | 8,99               | 20                              |
| R-454B                               | 467                     | 107             | 46              | 5,07               | 2,37                            |
| R-454C - R-455A                      | ~150                    | 1,61            | 2,58            | 0,11               | 0,02                            |
| R-466A                               | 697                     | 168             | 8,57            | 6,78               | 4,72                            |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A   | ~600                    | 208             | 92              | 3,18               | 1,81                            |
| Total HFC hors HFO                   |                         | 9 043           | 793             | 506                | 666                             |
| HFO : R-1234yf, R-1234ze, R-1233zd   | 1<PRG<5                 | 1 528           | 512             | 68                 | 0,09                            |
| Total HFC (HFO inclus)               |                         | 10 571          | 1 305           | 575                | 666                             |
| <b>Total général</b>                 |                         | <b>10 571</b>   | <b>1 305</b>    | <b>575</b>         | <b>668</b>                      |

## 6.3 Résultats détaillés

### 6.3.1 Banque

Après une tendance à la décroissance des années 2000 à 2021 liée à la décroissance des marchés de chillers et de celle des ratios de charge (kg/kW), la tendance observée les années suivantes ne semble pas cohérente avec l'historique. L'estimation est notamment impactée par la restructuration des données d'activité transmise par Uniclimate pour 2022-2023 et par l'estimation tendancielle de 2024-2025. **La tendance n'étant pas cohérente avec l'historique, ces résultats sont à prendre avec précaution, ils sont en cours de révision. Une enquête est en cours auprès des fabricants.**

En l'état des hypothèses, en 2024, la banque du secteur des GRE est estimée à 10 571 tonnes (Tableau 42

en annexe), en progression de près de 20% comparée à 2023. Un tiers de la banque en 2024 est composée de R-32 (33%), un autre tiers de R-134a et de R-410A (18% chacun). Le R407-C ne compte plus que pour 11% de la banque et la part des HFO est de 14%. La banque de HFC à fort PRG reste présente du fait des durées de vie élevées des installations.

D'un point de vue sectoriel, les chillers volumétriques de puissance supérieure à 350 kW contiennent 80% de la banque des GRE, avec leur charge moyenne élevée et leur parc.

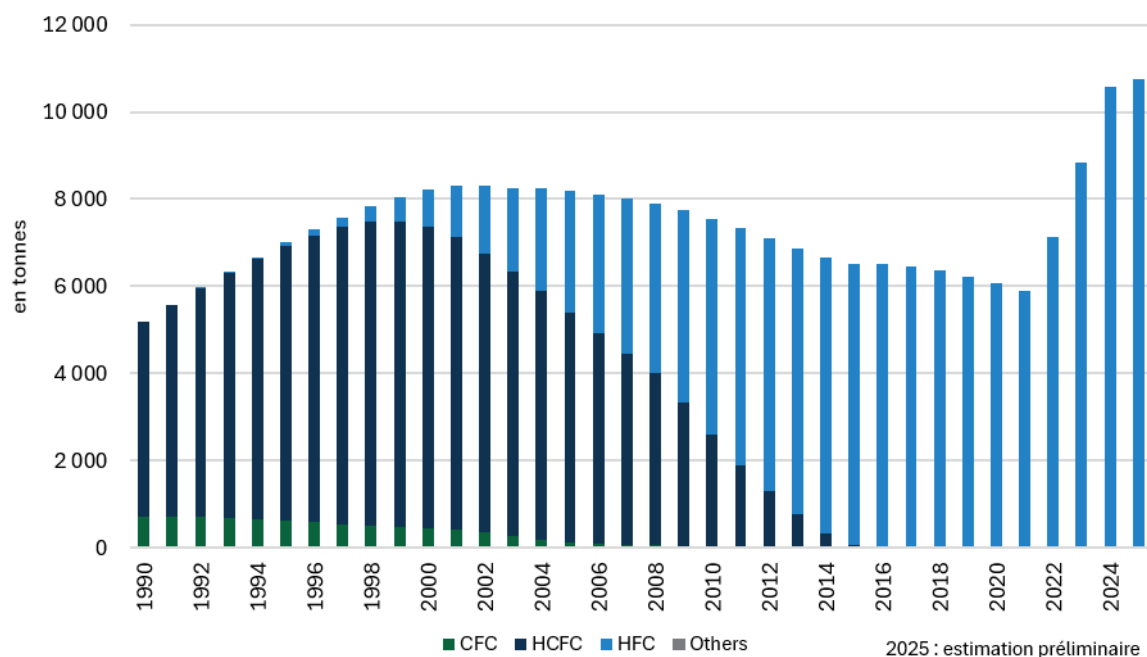


Figure 57 - Banque de fluide dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau

## 6.3.2 Demande

### Demande pour les équipements neufs

La chute de la demande pour les équipements neufs des années 2000 à 2019 vient de la baisse de la production de chillers de petite et moyenne puissance en France, les productions étant estimées selon un ratio par rapport aux marchés d'équipements, elles suivent la même tendance. La production repart à la hausse en 2020-2021. Le pic de production en 2022 est à confirmer, il est obtenu à la suite de la restructuration des gammes de puissance donnée par Uniclimate.

La demande en fluides frigorigènes pour la production des groupes refroidisseurs à eau en 2024 est dominée par le R-32 et les HFO, avec respectivement 46 % et 48 % des parts. Elle est estimée à 896 tonnes en 2024 (Tableau 44 en annexe). Du fait de leur charge, ce sont les chillers volumétriques de puissance supérieure à 350 kW qui correspondent à la majorité de la demande pour les équipements neufs (80%).

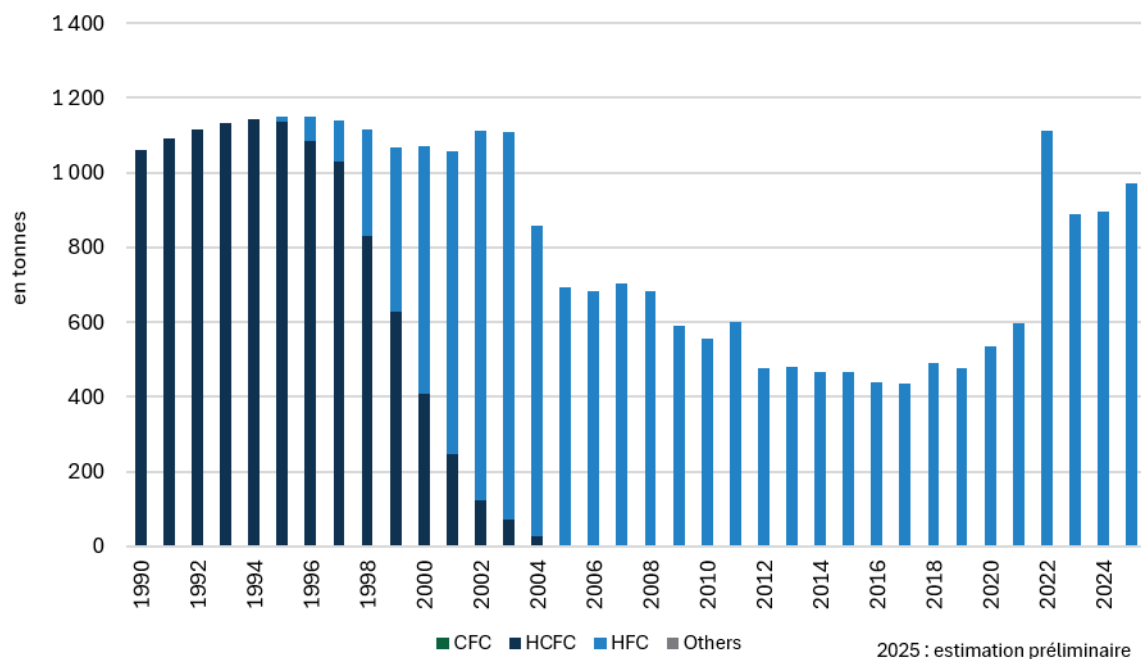


Figure 58 Quantités nécessaires à la production des groupes refroidisseurs à eau (GRE) en France hexagonale.

### Demande pour la maintenance

On observe une nette décroissance des quantités nécessaires à la maintenance des chillers, de façon plus significative ces dernières années, en raison de la baisse des taux d'émissions (Tableau 46 en annexe). Trois fluides frigorigènes sont principalement utilisés pour la maintenance en 2024 : le R-134a (32%), le R-407C (22%) et le R-410A (37%). Le besoin pour la maintenance est estimé à 154 tonnes en 2024.

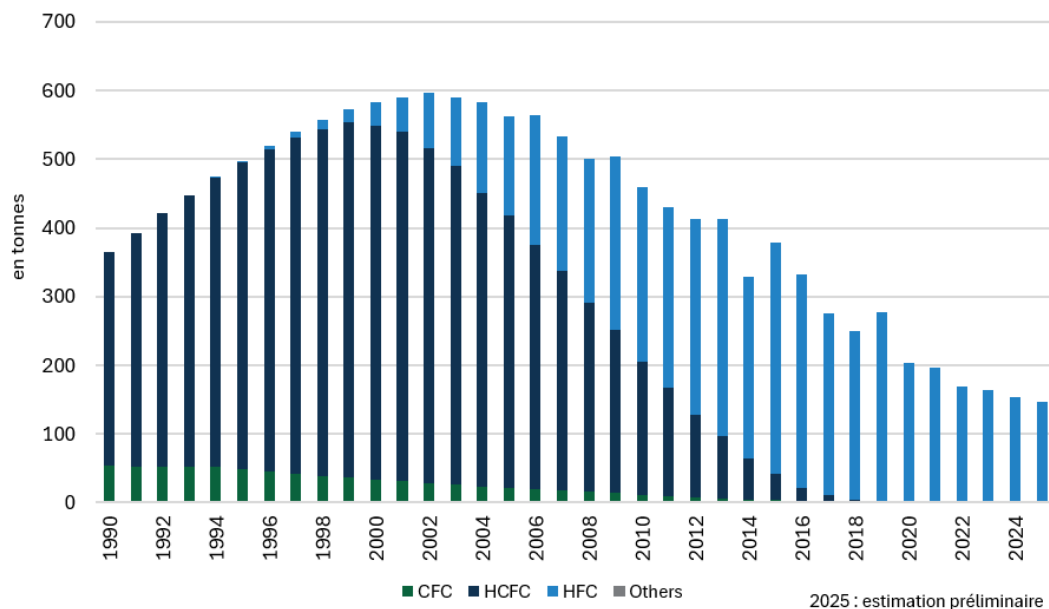


Figure 59 Demande pour la maintenance dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau (GRE)

## Demande 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 HFC à plus faible PRG (R-513A et R-450A), le rythme est considéré faible (2 % en 2024, 5 % en 2025) et reste à confirmer. Le besoin pour le retrofit en 2024 est estimé à 85 tonnes (Tableau 47 en annexe).

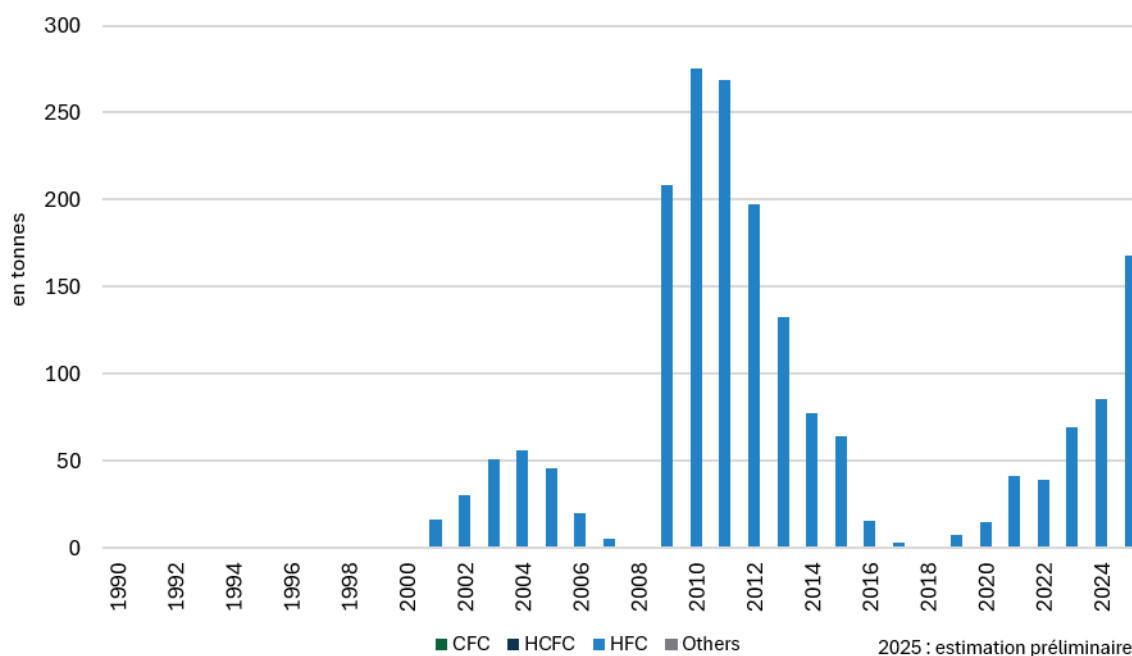


Figure 60 Demande pour le retrofit dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau (GRE)

## 6.3.3 Emissions

### Emissions totales en tonnes

Les émissions sont estimées à 575 tonnes en 2024 (Tableau 48 en annexe), dont une large majorité sont des émissions fugitives (88 %). Un quart de ces émissions proviennent du R-32, les HFO participent à hauteur de 12%. Le secteur des chillers de forte puissance, à l'image de la banque, domine les émissions à 78%.

La réduction régulière des émissions du secteur des chillers des années 2000 à 2021 s'explique par la forte diminution des taux d'émissions des installations neuves, l'amélioration des filières de fin de vie et le renouvellement progressif du parc vers des installations à plus faible charge. Les émissions repartent légèrement à la hausse depuis 2022 du fait de l'accroissement de la banque. Ce point reste à confirmer étant donné une incohérence observée dans l'allure de la banque qui pourrait être liée à la nouvelle structuration des données communiquées par Uniclimate ou à un manque de représentativité de celles-ci.

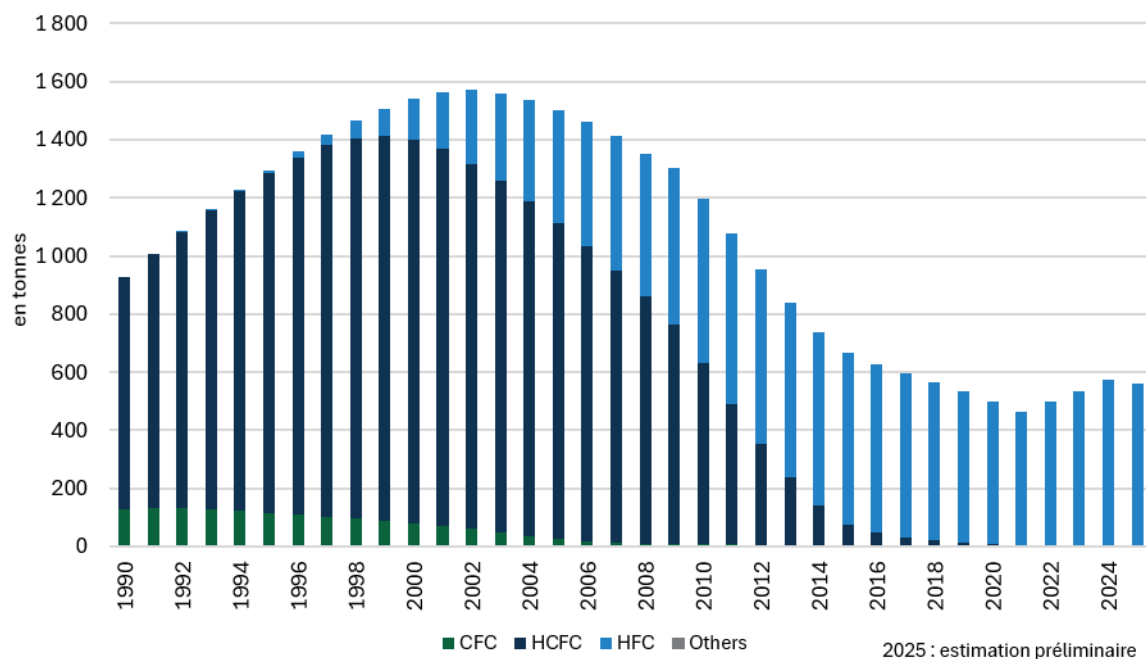


Figure 61 Emissions totales du secteur des groupes refroidisseurs à eau (GRE)

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

Les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes du secteur des GRE ont entamé une décroissance depuis le début des années 2000 pour atteindre 668 000 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> en 2024 (Tableau 49 en annexe). Aujourd'hui les émissions sont encore dominées par le R-410A (31%) suivi du R-134a (24%) et du R-407C (25%). Alors que le R-32 prédomine les émissions en tonnes, il ne contribue plus qu'à 15% des émissions en équivalent CO<sub>2</sub>. A l'instar de la banque, ce sont les chillers de forte puissance qui participent à la majorité des émissions en équivalent CO<sub>2</sub> (73%). Ceci s'explique par le fait que les fluides utilisés dans le secteur des chillers ont des PRG relativement proches. On observe une réduction de 6% entre 2023 et 2024. Celle-ci sera à confirmer à la suite de la révision des hypothèses 2022-2025.

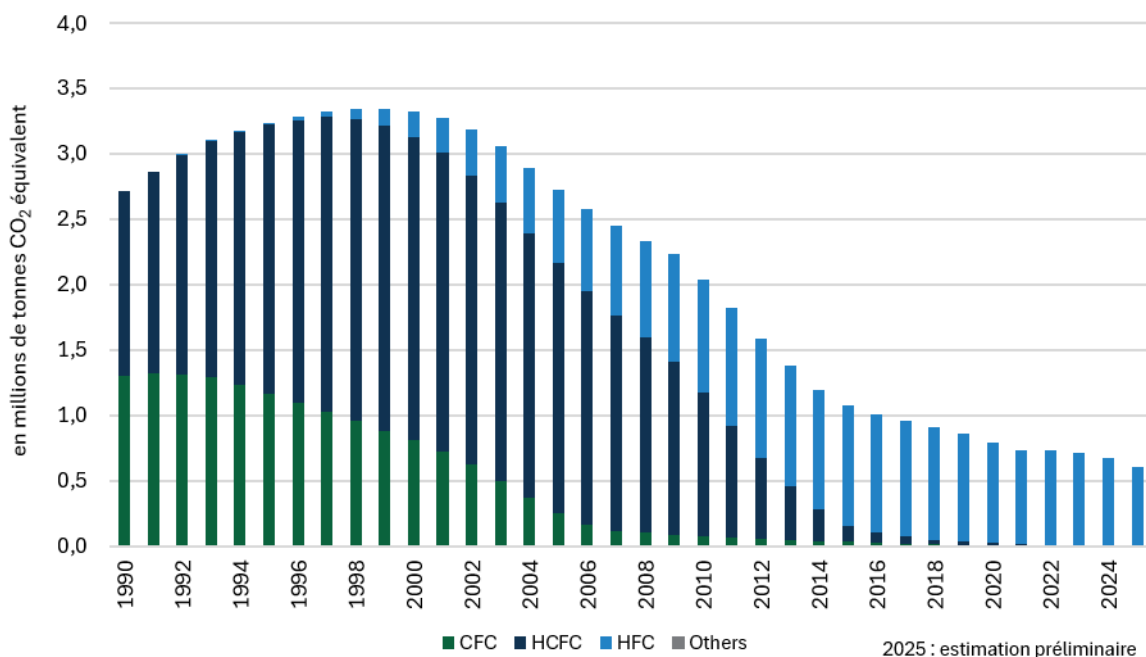


Figure 62 Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes des groupes refroidisseurs à eau (GRE) (millions de tonnes)



# Climatisation / Chauffage - Air/Air

# 7.1 L'essentiel des hypothèses

## Description du secteur

Ce secteur, composé de 9 sous-secteurs, est pris en compte selon la structuration adoptée par la fédération de professionnels Uniclimate, qui communique chaque année au Citepa les statistiques des marchés d'équipements. Les applications prises en compte sont précisées au tableau suivant.

Tableau 27 - Sous-secteurs de la Climatisation / Chauffage - Air/air

| SECTEUR                             | SOUS-SECTEUR                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Climatisation / Chauffage - Air/Air | Climatiseur mobile<br>Climatiseur fenêtre (ou window)<br>PAC air/air Mono-split<br>PAC air/air Multi-split<br>Systèmes splits centralisés<br>PAC air/air DRV (Débit de réfrigérant variable)<br>Roof top<br>Armoires verticales (ou consoles) ;<br>Armoire spéciale (ou cabinet) |

Les équipements de climatisation air/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, peuvent nécessiter 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 28 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs de la Climatisation / Chauffage - Air/air

| Sous-secteur                | Mode de charge à la fabrication | Complément de charge à l'installation | Maintenance : charge sur site (seuil) |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| PAC air/air Mono splits     | d'usine                         | non                                   | 90%                                   |
| PAC air/air Multi-splits    | d'usine                         | 50%                                   | 90%                                   |
| Systèmes splits centralisés | d'usine                         | 30%                                   | 90%                                   |
| Roof-top                    | d'usine                         | non                                   | 80%                                   |
| PAC air/air DRV             | d'usine                         | 80%                                   | 80%                                   |
| Mobiles                     | d'usine                         | non                                   | Pas de maintenance                    |
| Windows                     | d'usine                         | non                                   | 70%                                   |
| Consoles                    | sur site                        | non                                   | 70%                                   |
| Armoires spéciales          | sur site                        | non                                   | 70%                                   |

Sources : données fabricants [7], avis d'expert.

## Données d'activité

Tableau 29 – Hypothèses secteur climatisation / chauffage - air/air

| Climatisation / Chauffage - Air/Air en 2024 | Durée de vie | Marché d'équipements (nombre d'unités) | Charge moyenne (kg) | Parts fluides utilisés (%)                          |
|---------------------------------------------|--------------|----------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------|
| PAC air/air Mono splits                     | 15 ans       | 529 013                                | 1,2                 | R-32 94%;<br>R-1234yf 3%;<br>R-290 2%;<br>R-410A 1% |
| PAC air/air Multi-splits                    | 15 ans       | 289 161                                | 1,7                 | R-32 99%;<br>R-410A 1%                              |
| Systèmes splits centralisés                 | 15 ans       | 4 097                                  | 4,9                 | R-32 70%;<br>R-410A 30%                             |
| Roof-top                                    | 15 ans       | 2 256                                  | 15,3                | R-32 70%;<br>R-450A 20%;<br>R-410A 10%              |
| PAC air/air DRV                             | 15 ans       | 36 615                                 | 6,5                 | R-410A 93%;<br>R-32 7%                              |
| Mobiles                                     | 10 ans       | 447 139                                | 0,5                 | R-290 100%                                          |
| Windows                                     | 10 ans       | 417                                    | 0,6                 | R-290 80%;<br>R-32 20%                              |
| Consoles                                    | 15 ans       | 0                                      | 2,8                 | R-32 84.5%;<br>R-410A 15.5%                         |
| Armoires spéciales                          | 15 ans       | 0                                      | 18,0                | R-410A 50%;<br>R-32 50%                             |

Sources : Fabricants [7], RTOC [44], Uniclimate [33], Lennox [52], Gifam [54]

## Facteurs d'émission

Les facteurs d'émissions sont supposés décroître selon une courbe en S afin de prendre en compte l'amélioration continue des pratiques. Le tableau suivant rapporte les facteurs d'émission utilisés pour l'année 2024.

Tableau 30 – Facteurs d'émission des équipements de climatisation / chauffage - air/air

| Climatisation / Chauffage - Air/Air en 2024 (%) | Charge | Fugitif | Maintenance | Fin de vie |
|-------------------------------------------------|--------|---------|-------------|------------|
| PAC air/air Mono splits                         | 1,5%   | 3,2%    | 5,0%        | 35,3%      |
| PAC air/air Multi-splits                        | 2,5%   | 4,9%    | 3,0%        | 34,0%      |
| Systèmes splits centralisés                     | 2,5%   | 4,9%    | 2,0%        | 15,5%      |
| Roof-top                                        | 1,5%   | 4,9%    | 2,0%        | 13,5%      |
| PAC air/air DRV                                 | 1,5%   | 4,9%    | 2,0%        | 15,5%      |
| Mobiles                                         | 1,5%   | 2,0%    | 2,0%        | 51,3%      |
| Windows                                         | 1,5%   | 2,0%    | 2,0%        | 51,0%      |
| Consoles                                        | 2,5%   | 4,9%    | 2,0%        | 35,3%      |
| Armoires spéciales                              | 2,5%   | 4,9%    | 2,0%        | 35,3%      |

Sources : installateurs [7], lignes directrices du Giec [12], DEEE [13]

## 7.2 Principaux résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats par fluide de la banque, de la demande, de la maintenance et des émissions pour le secteur de la climatisation air/air en 2024.

Tableau 31 – synthèse des résultats des équipements de climatisation / chauffage - air/air

| Climatisation /<br>Chauffage - Air/Air en<br>2024 | PRG                     | Banque<br>(tonnes) | Marché<br>(tonnes) | Emissions<br>(tonnes) | Emissions<br>(ktCO <sub>2</sub> e) |
|---------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------------|
| R-12                                              | 10 200                  | 0,0004             | -                  | 0,0001                | 0,00                               |
| Total CFC                                         |                         | 0,0004             | -                  | 0,0001                | 0,0012                             |
| R-22                                              | 1 760                   | 0,0004             | -                  | 0,0001                | 0,00                               |
| Total HCFC                                        |                         | 0,0004             | -                  | 0,0001                | 0,0002                             |
| R-134a                                            | 1 300                   | 7,80               | 0,42               | 1,19                  | 1,55                               |
| R-32                                              | 677                     | 6 415              | 627                | 292                   | 198                                |
| R-407C                                            | 1 624                   | 227                | 2,71               | 38                    | 61                                 |
| R-407F                                            | 1 674                   | -                  | -                  | -                     | -                                  |
| R-410A                                            | 1 924                   | 9 580              | 488                | 688                   | 1 324                              |
| R-417A - R-422A<br>R-422D - R-427A                | 2 000<br><PRG<<br>3 000 | 14                 | -                  | 2,72                  | 6,01                               |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A                | ~600                    | 15                 | 20                 | 1,08                  | 0,59                               |
| Total HFC hors HFO                                |                         | 16 260             | 1 138              | 1 023                 | 1 591                              |
| HFO : R-1234yf, R-<br>1234ze, R-1233zd            | 1<PRG<5                 | 19                 | 1,42               | 0,62                  | 0,00                               |
| Total HFC (HFO<br>inclus)                         |                         | 16 278             | 1 140              | 1 023                 | 1 591                              |
| R-290                                             | 3                       | 1 395              | 0,95               | 34                    | 0,10                               |
| Total non-fluorés                                 |                         | 1 395              | 0,95               | 34                    | 0,10                               |
| <b>Total général</b>                              |                         | <b>17 673</b>      | <b>1 141</b>       | <b>1 057</b>          | <b>1 591</b>                       |

## 7.3 Résultats détaillés

### 7.3.1 Banque

La banque des équipements de climatisation air/air et des PAC air/air est en croissance régulière, de 4 à 6 % par an depuis les années 2010, du fait de la croissance des marchés de ces équipements. En 2024, elle s'élève à presque 17 700 tonnes (Tableau 42) et est constituée en majorité de R-410A (54%) et R-32 (36%). La part des hydrocarbures, de l'ordre de 8 % en 2024, s'accroît timidement chaque année. Elle 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.

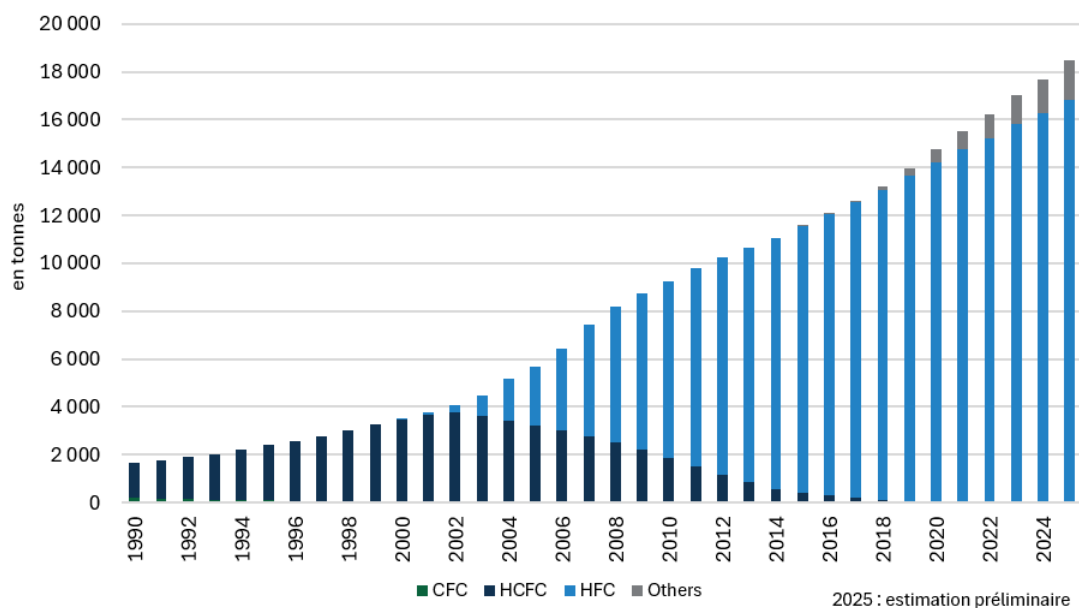


Figure 63 - Banque de fluide du secteur de la climatisation air/air

D'après le diagramme circulaire suivant, les secteurs dominants la banque sont ceux des équipements de type mono-splits (43%) et des multi-splits (26%), les mobiles ne représentant que 11% de celle-ci.

2024

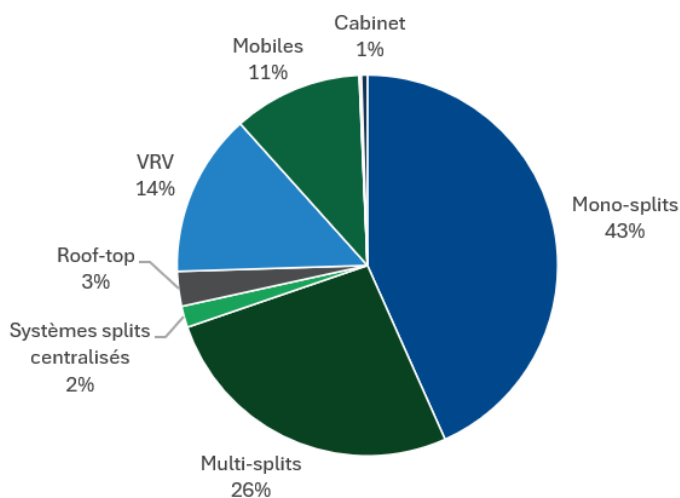


Figure 64 - Répartition sectorielle de la banque de la climatisation air/air

## 7.3.2 Demande

### Demande pour les équipements neufs

Les équipements de climatisation fixe et PAC air/air chargés sur site utilisent principalement le R-32 et le R-410A. Il est estimé que 451 tonnes ont été utilisées en 2024 (Tableau 43).

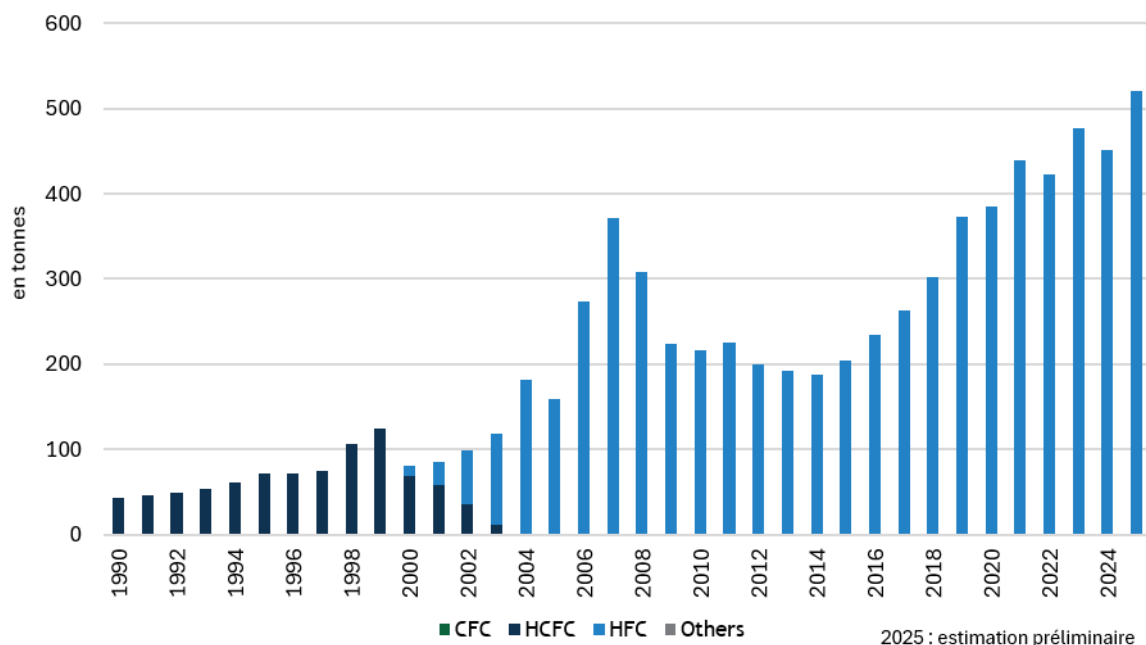


Figure 65 - Quantités nécessaires à la charge des équipements de la climatisation air/air

Le R-32 est le principal fluide utilisé pour la production des équipements de climatisation et PAC air/air en France avec 150 tonnes en 2024 sur 177 tonnes au total, soit une part de 85 % (Tableau 44).

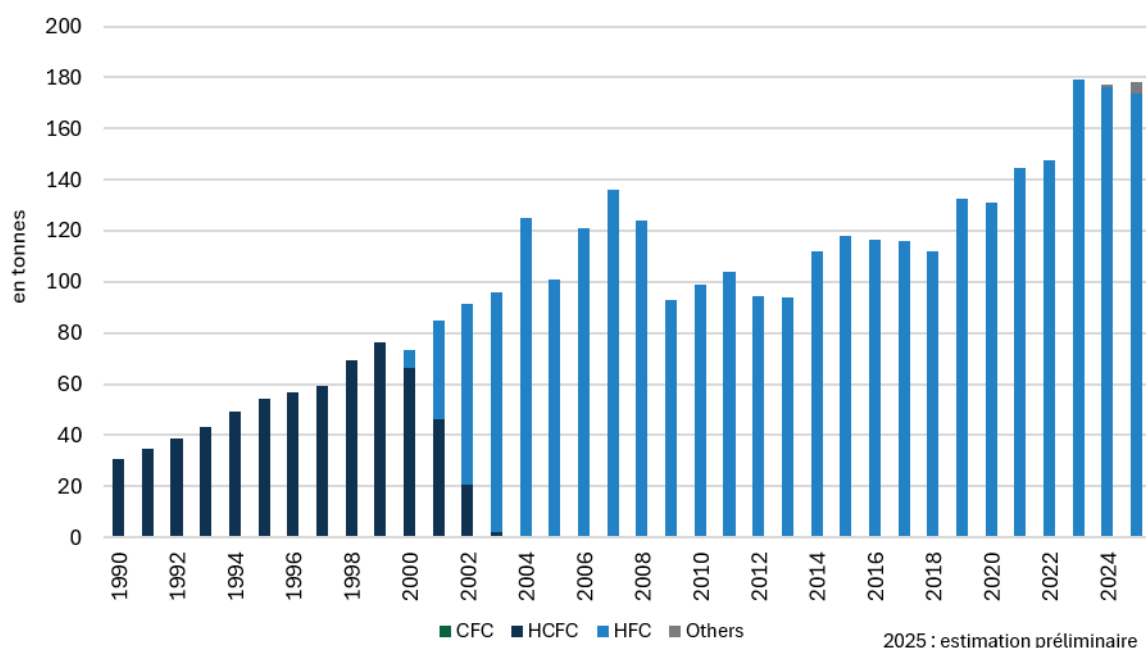


Figure 66 - Quantités nécessaires à la production dans le secteur de la climatisation air/air

### Demande pour la maintenance

Les quantités nécessaires pour la maintenance des installations sont estimées à 340 tonnes de fluides frigorigènes en 2024 en France hexagonale (Tableau 46). En cohérence avec la banque, le principal fluide est le R-410A (65%). Le R-32 est progressivement utilisé et représente quasiment tout le reste des quantités en 2024.

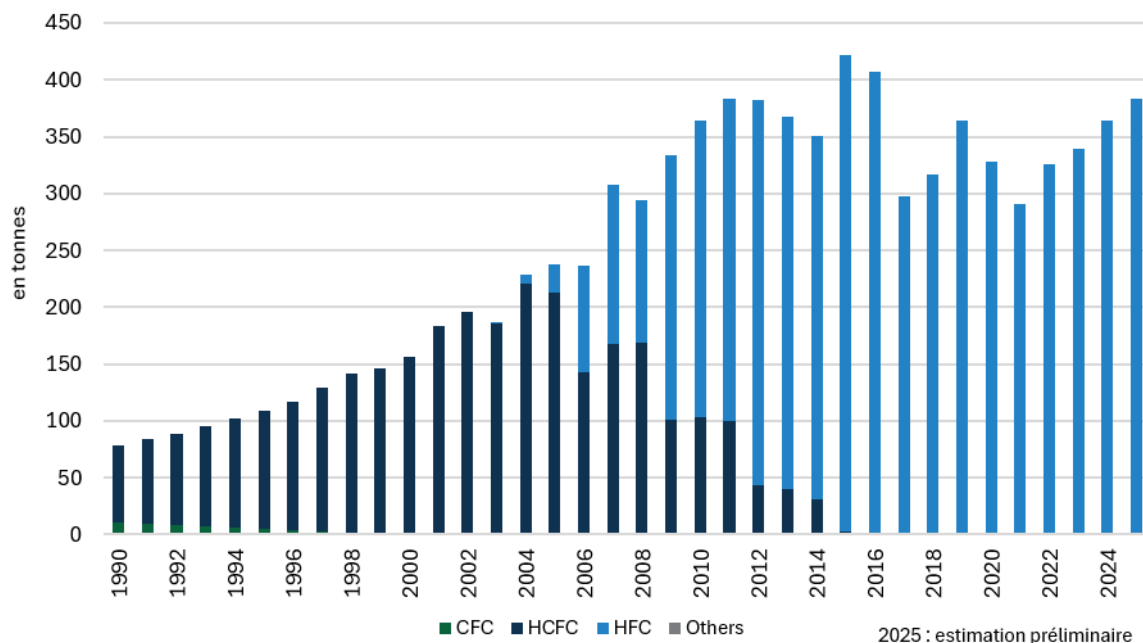


Figure 67 - Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur de la climatisation air/air

### Demande pour le retrofit

Les quantités présentées Figure 68 concernent les retrofits des installations au R-22 vers des mélanges de remplacement dans les années 2010. Il n'y a actuellement pas de retrofit d'installation au R-410A.

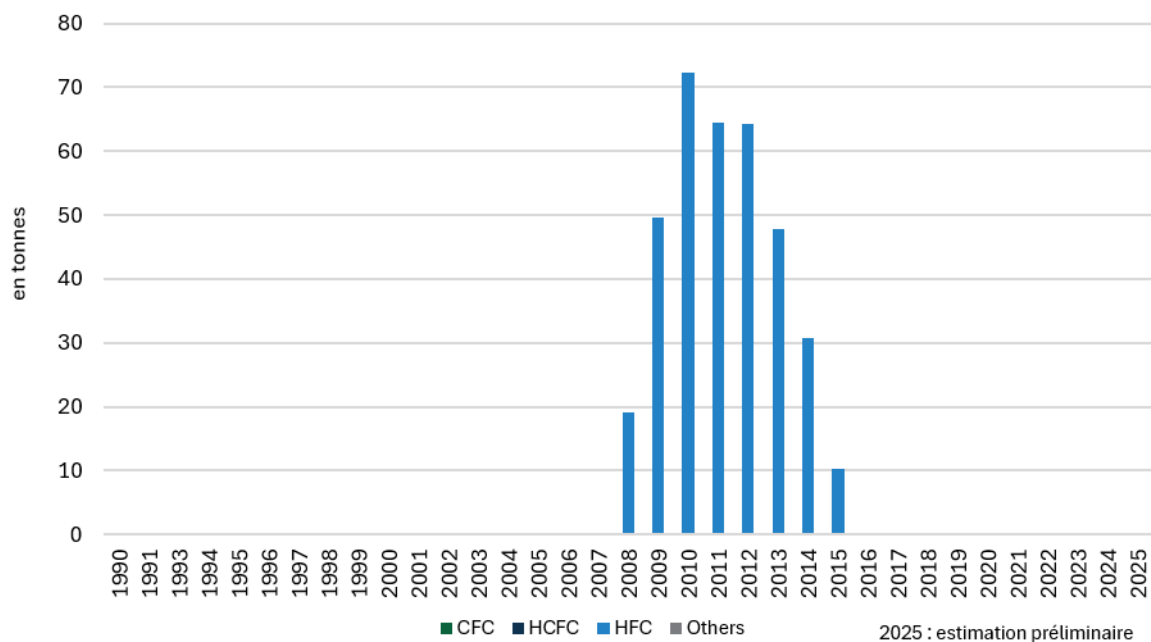


Figure 68 - Quantités nécessaires à le retrofit dans le secteur de la climatisation air/air

### 7.3.3 Emissions

#### Emissions totales en tonnes

Après une période de stabilité entre les années 2016 et 2021, les émissions totales du secteur de la climatisation et PAC air/air sont en légère hausse depuis 2022 (+4% sur la période 2022-2024), en conséquence de l'augmentation du nombre d'équipements arrivant en fin de vie. Les émissions s'élèvent à 1 057 tonnes en 2024 (Tableau 48), provenant en majorité du R-410A (65%), puis du R-32 (28%). Quasiment les trois quarts des émissions de la climatisation et PAC air/air fixe sont des émissions fugitives (73%). Environ un quart des émissions concerne la fin de vie, du fait, notamment, des équipements de climatisation et chauffage domestiques dont la filière de récupération est à améliorer, avec une efficacité de récupération à confirmer en fonction des données de la filière DEEE.

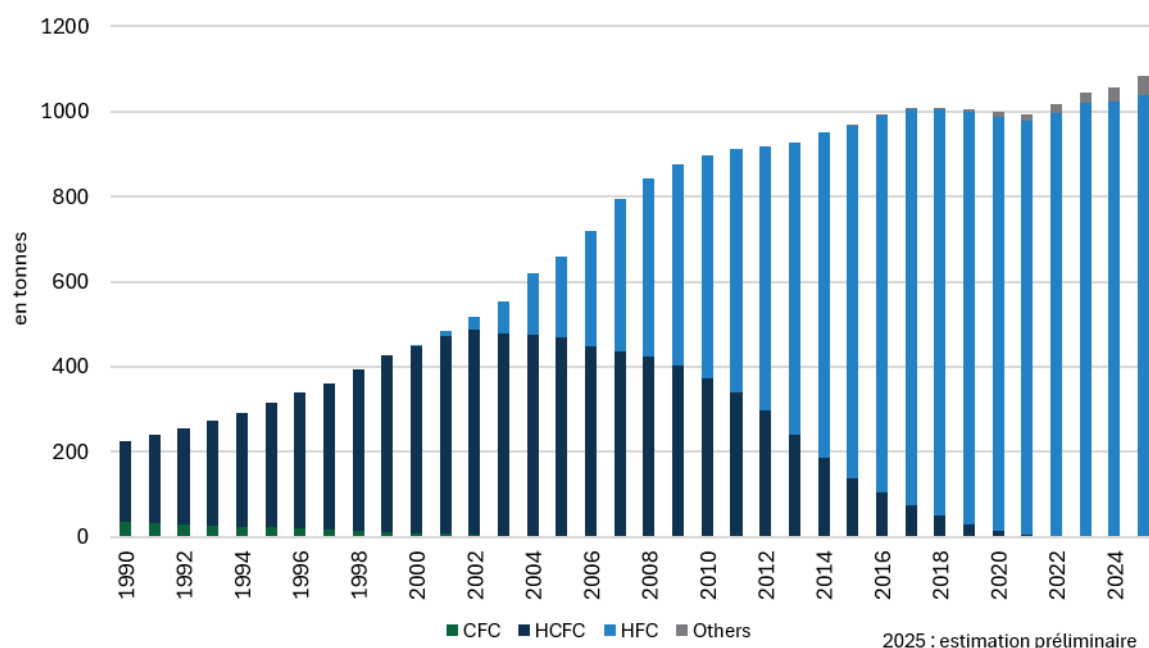


Figure 69 - Emissions totales du secteur de la climatisation air/air

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

En 2024, les émissions en équivalent CO<sub>2</sub> du secteur de la climatisation et PAC air/air sont estimées à 1,6 millions de tonnes (Tableau 49). Celles-ci étaient en constante augmentation jusqu'à atteindre un pic en 2017. Depuis 2018, grâce à l'introduction progressive de fluides à plus faibles PRG (R-32 et hydrocarbures), les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes sont en baisse (Figure 69). Elles restent encore majoritairement dues au R-410A dont le PRG est de 1 924, selon le 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC, et contribue à hauteur de 83 % aux émissions en 2024.

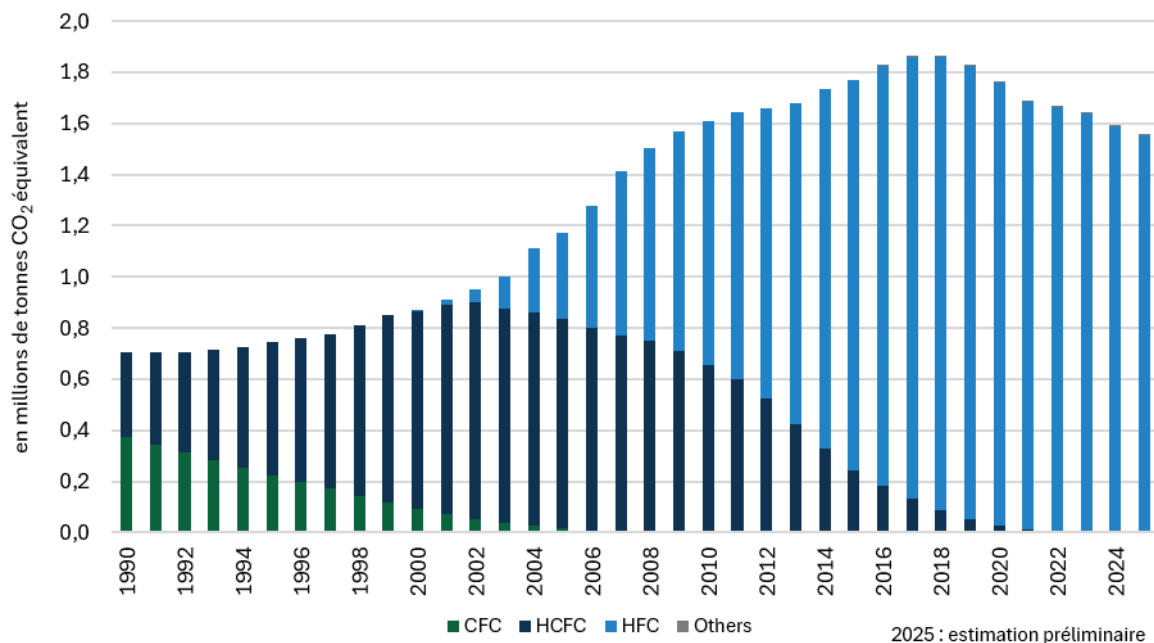


Figure 70 - Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes de la climatisation air/air (millions de tonnes)

Du point de vue sectoriel, la répartition des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes ressemble à celle de la banque car les taux d'émissions des différents équipements sont assez proches et les PRG des fluides frigorigènes utilisés en climatisation et PAC air/air de même ordre (excepté pour les climatiseurs mobiles). Les mono-splits et multi-splits contribuent à plus des deux tiers des émissions.

2024

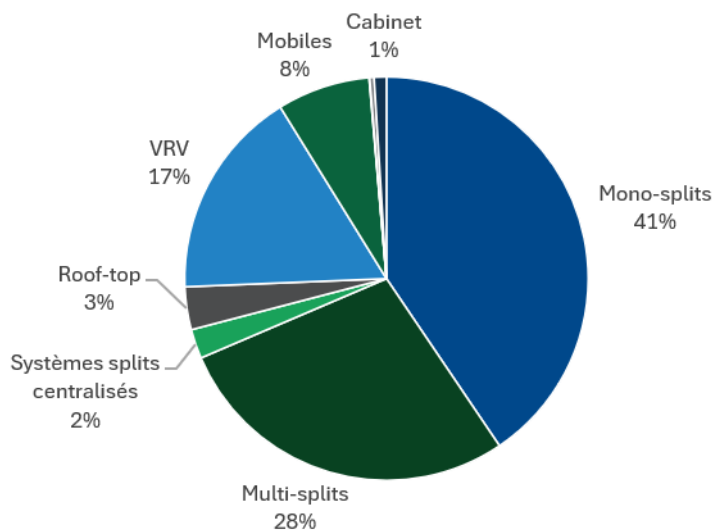
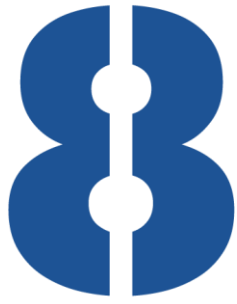


Figure 71 - Répartition sectorielle des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes de la climatisation air/air



# Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

# 8.1 L'essentiel des hypothèses

## Description du secteur

Le secteur de la Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie prend en compte quatre applications.

Tableau 32 - Sous-secteurs de la Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

| SECTEUR                                                  | SOUS-SECTEUR                           |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie | PAC Air/eau                            |
|                                                          | PAC Eau/eau                            |
|                                                          | PAC géothermiques (Sol/sol ou Sol/eau) |
|                                                          | Chauffe-eaux thermodynamiques (CET)    |

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

Tableau 33 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs de la Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

| Sous-secteur                        | Mode de charge à la fabrication | Complément de charge à l'installation | Maintenance : charge sur site (seuil) |
|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| PAC Air/eau                         | d'usine                         | non                                   | 90%                                   |
| PAC eau/eau                         | d'usine                         | non                                   | 90%                                   |
| PAC géothermiques                   | d'usine                         | non                                   | 90%                                   |
| Chauffe-eaux thermodynamiques (CET) | d'usine                         | non                                   | 90%                                   |

Source : données fabricants [7]

## Données d'activité

Les statistiques de marchés proviennent d'Uniclimate pour les différentes gammes de puissance et de données de fabricants.

Tableau 34 – Hypothèses secteur climatisation / chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

| Climatisation / chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie en 2024 | Durée de vie | Marché d'équipements (nombre d'unités) | Ratio de charge (kg/kW) | Parts fluides utilisés (%)                                          |
|------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| PAC Air/eau                                                      | 15 ans       | 182 648                                | 2,3                     | R-32 73%;<br>R-410A 20%;<br>R-290 6%;<br>R-450A 1%                  |
| PAC eau/eau                                                      | 15 ans       | 2 424                                  | 2,5                     | R-410A 53%;<br>R-407C 27%;<br>R-32 13%;<br>R-290 5%;<br>R-1234ze 2% |

| Climatisation / chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie en 2024 | Durée de vie | Marché d'équipements (nombre d'unités) | Ratio de charge (kg/kW) | Parts fluides utilisés (%)                                                        |
|------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| PAC géothermiques                                                | 15 ans       | 317                                    | 15,0                    | R-410A 40%;<br>R-407C 30%;<br>R-32 15%;<br>R-290 5%;<br>R-450A 5%;<br>R-1234ze 5% |
| Chauffe-eaux thermodynamiques                                    | 15 ans       | 187 984                                | 0,5                     | R-290 55%;<br>R-32 20%;<br>R-513A 20%;<br>R-134a 5%                               |

Sources : données fabricants [7], Uniclimate [33]

### Facteurs d'émissions

De façon générale, les mêmes hypothèses de facteurs d'émission que pour les équipements de climatisation / chauffage - air/air sont prises en compte. 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).

Tableau 35 – Facteurs d'émission des équipements de climatisation / chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

| Climatisation / chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie en 2024 (en %) | Charge | Fugitif | Maintenance | Fin de vie |
|-------------------------------------------------------------------------|--------|---------|-------------|------------|
| PAC Air/eau                                                             | 1,5%   | 2,0%    | 1,9%        | 35%        |
| PAC eau/eau                                                             | 1,5%   | 2,0%    | 2,0%        | 42%        |
| PAC géothermiques                                                       | 1,5%   | 5,0%    | 2,0%        | 42%        |
| Chauffe-eaux thermodynamiques                                           | 1,5%   | 0,01%   | 2,0%        | 42%        |

Sources : installateurs [7], lignes directrices du Giec [12], DEEE [13]

## 8.2 Principaux résultats

Les principaux résultats du secteur de climatisation / chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie pour 2024 sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 36 – Synthèse des résultats des équipements de climatisation / chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

| Climatisation /<br>Chauffage - Air/Eau,<br>Eau/Eau, Géothermie<br>en 2024 | PRG     | Banque<br>(tonnes) | Marché<br>(tonnes) | Emissions<br>(tonnes) | Emissions<br>(ktCO <sub>2</sub> e) |
|---------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------------|
| R-134a                                                                    | 1 300   | 464                | 0,56               | 4,79                  | 6,23                               |
| R-32                                                                      | 677     | 1 608              | 199                | 34                    | 23                                 |
| R-404A - R507                                                             | ~3 950  | 18                 | 0,46               | 1,43                  | 5,63                               |
| R-407C                                                                    | 1 624   | 274                | 3,87               | 31                    | 51                                 |
| R-410A                                                                    | 1 924   | 3 616              | 99                 | 150                   | 288                                |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A                                        | ~600    | 30                 | 4,92               | 0,19                  | 0,10                               |
| Total HFC hors HFO                                                        |         | 6 010              | 309                | 221                   | 373                                |
| HFO : R-1234yf, R-<br>1234ze, R-1233zd                                    | 1<PRG<5 | 20                 | 0,04               | 0,03                  | 0,00                               |
| Total HFC (HFO<br>inclus)                                                 |         | 6 030              | 309                | 221                   | 373                                |
| R-290                                                                     | 3       | 227                | 24                 | 3,12                  | 0,01                               |
| R-744                                                                     | 1       | 14                 | -                  | 0,03                  | 0,00                               |
| Total non-fluorés                                                         |         | 241                | 24                 | 3,16                  | 0,01                               |
| <b>Total général</b>                                                      |         | <b>6 272</b>       | <b>332</b>         | <b>224</b>            | <b>373</b>                         |

## 8.3 Résultats détaillés

### 8.3.1 Banque

En constante augmentation depuis les années 2000, la banque des pompes à chaleur résidentielles est estimée à 6 272 tonnes en 2024 (Tableau 42 en annexe). Elle représente désormais 9% de la banque totale de fluides frigorigènes en France. Elle est constituée, pour plus de la moitié, de R-410A (58%), de 26 % de R-32, les non-fluorés ne comptent que pour 4%, la progression des PAC au propane étant relativement lente du fait des barrières réglementaires.

Ce secteur est dominé par les PAC air/eau qui représentent 82% de la banque en 2024.

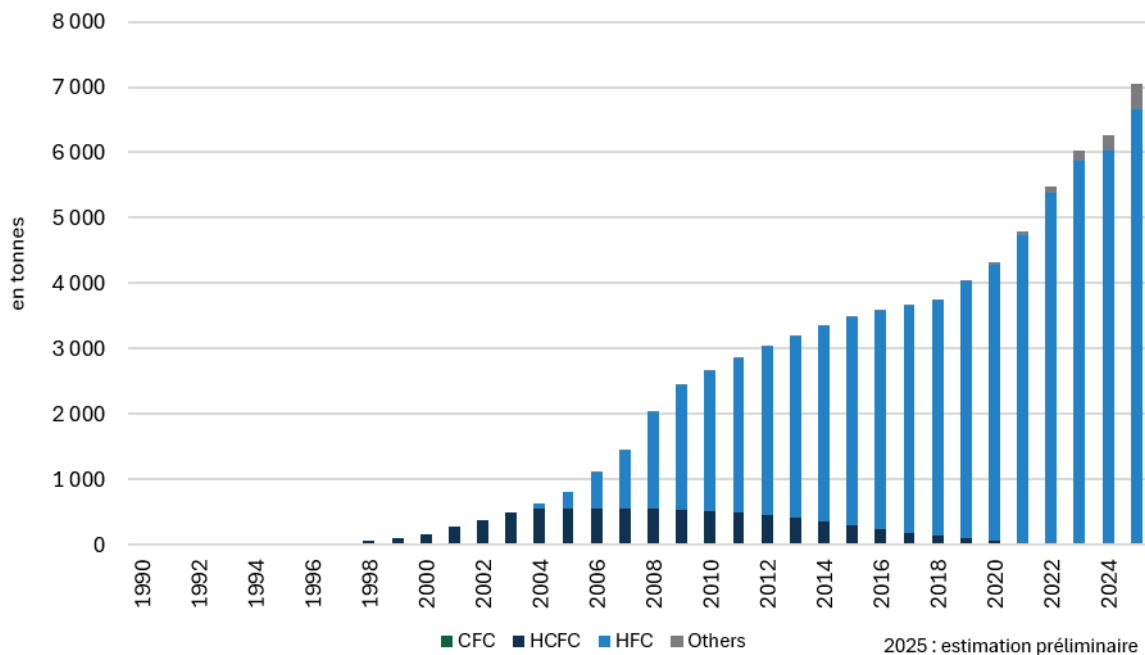


Figure 72 - Banque de fluide dans le secteur de la climatisation / chauffage air/eau, eau/eau, géothermie

## 8.3.2 Demande

### Demande pour les équipements neufs

La demande pour les équipements neufs concerne seulement la production en France, les PAC étant chargées d'usine. Après une stagnation dans les années 2010, le besoin pour la production est parti à la hausse avec un pic en 2021. L'augmentation est de 4% entre 2023 et 2024. La demande est estimée à 251 tonnes en 2024 (Tableau 44 en annexe) et est très majoritairement constituée de HFC (92% en 2024), dont le R-32 (69% de la demande) et le R-410A (21%).

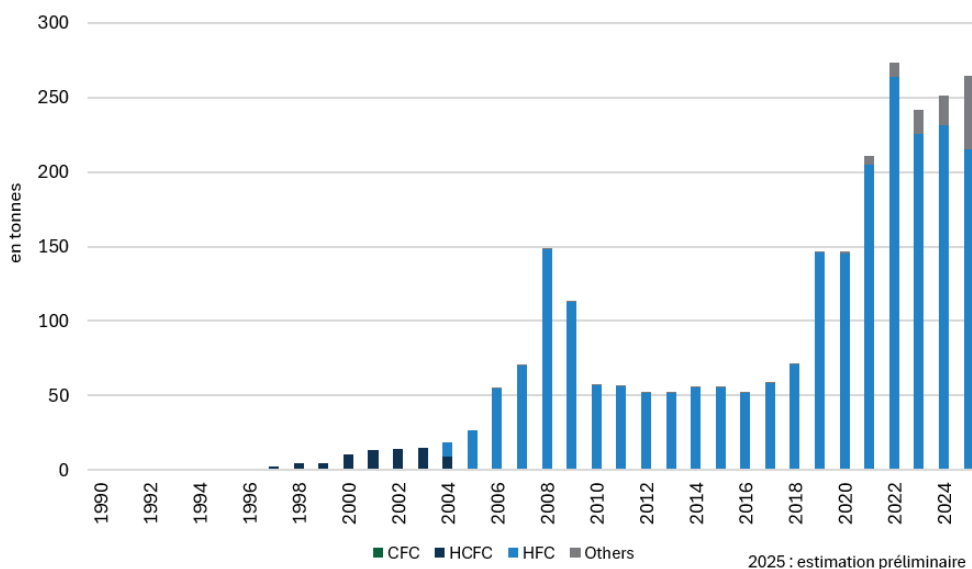


Figure 73 Quantités requises à la production dans le secteur de la climatisation / chauffage air/eau, eau/eau, géothermie

### Demande pour la maintenance

Le besoin de maintenance est faible dans ce secteur, les taux d'émission des équipements étant faibles. Le besoin pour la maintenance est estimé à seulement 37 tonnes en 2024 (Tableau 46 en annexe).

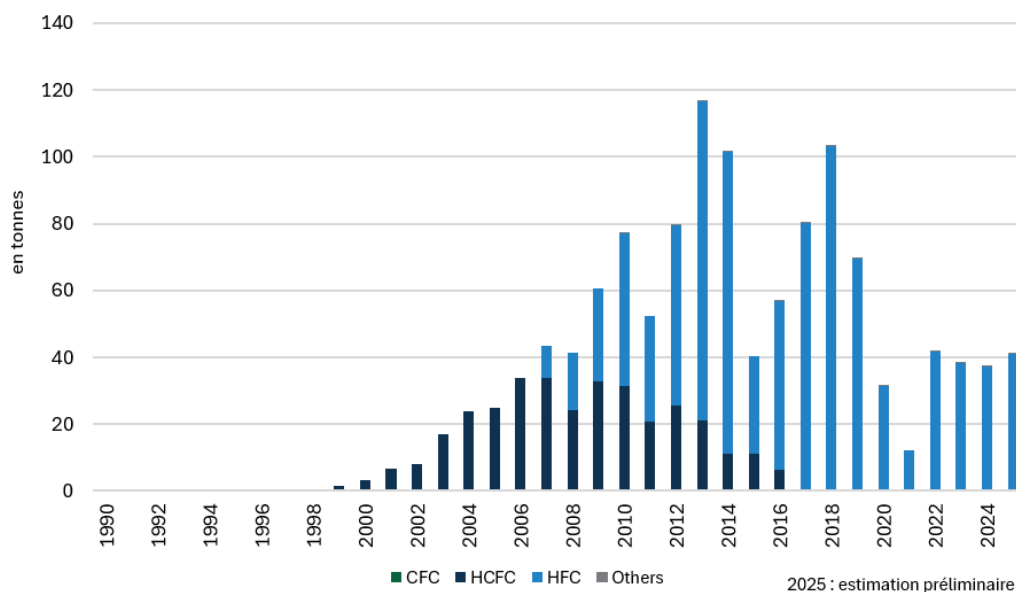


Figure 74 Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur climatisation / chauffage air/eau, eau/eau, géothermie

### Demande pour le retrofit

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

## 8.3.3 Emissions

### Emissions totales en tonnes

Avec une durée de vie moyenne de 15 ans, le nombre d'équipements parvenant en fin de vie commence à être significatif. En 2024, 42% des émissions sont liées à la fin de vie des équipements et 56% aux émissions fugitives. Les émissions totales du secteur sont estimées à 224 tonnes en 2024 (Tableau 48 en annexe) dont un peu plus des deux tiers est du R-410A (67%).

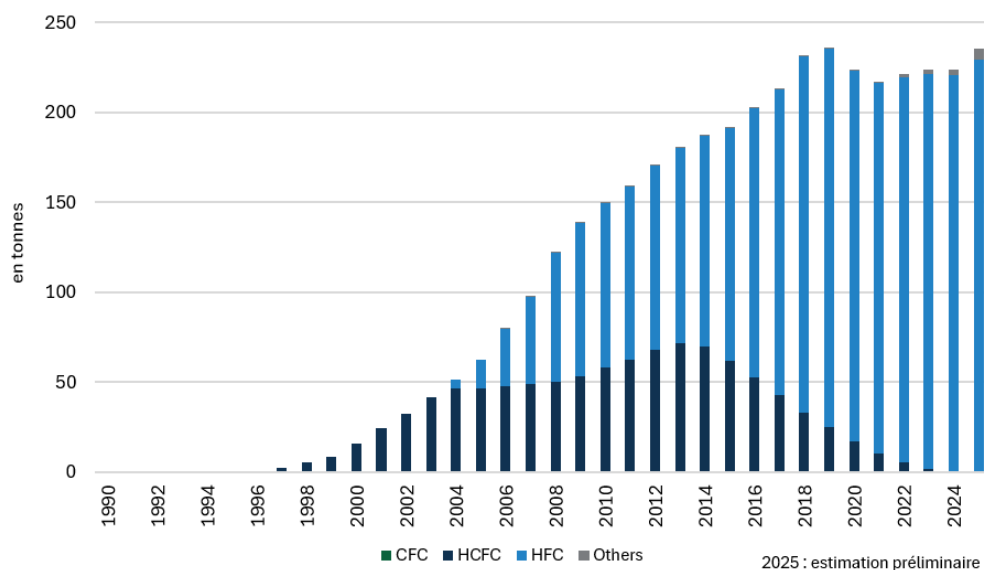


Figure 75 Emissions totales du secteur de la climatisation / chauffage air/eau, eau/eau, géothermie

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

L'impact du secteur des PAC sur les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes est faible comparé aux autres secteurs. Il est de seulement 373 000 tonnes en 2024 (Tableau 49 en annexe), les parcs d'équipements arrivant en fin de vie étant encore peu nombreux et les charges nominales étant faibles.

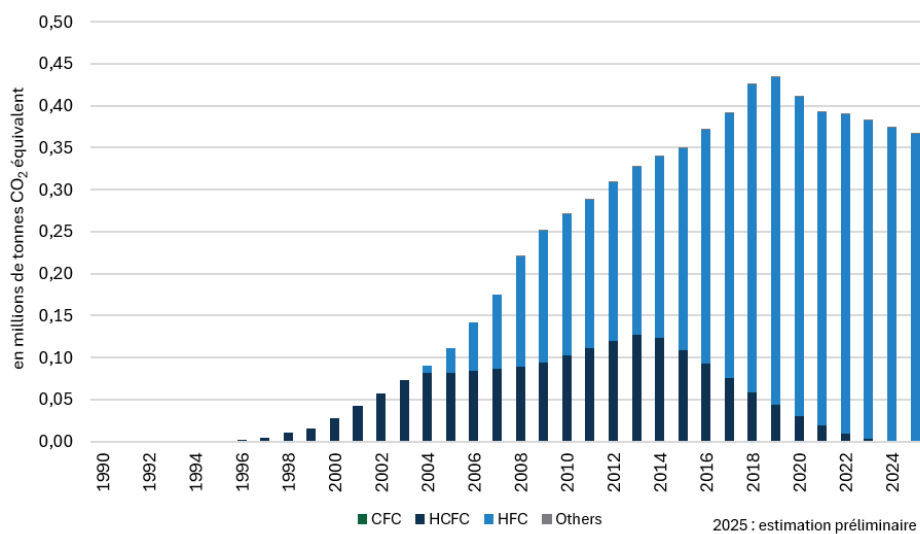


Figure 76 Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes du secteur de la climatisation / chauffage air/eau, eau/eau, géothermie (millions de tonnes)

# 9

## Climatisation embarquée / climatisation automobile

# 9.1 L'essentiel des hypothèses

## Description du secteur

Le secteur de la climatisation embarquée se divise en 4 sous-secteurs (cf. tableau ci-dessous), déterminés par les technologies utilisées et les modes de transport.

Tableau 37 - Sous-secteurs de la climatisation embarquée

| SECTEUR                  | SOUS-SECTEUR                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Climatisation automobile | <ul style="list-style-type: none"><li>• Climatisation automobile : véhicules particuliers (VP) et utilitaires légers (VUL), jusqu'à 5 t</li><li>• Véhicules industriels : camions de plus de 5 t</li><li>• Cars et bus</li><li>• Transport ferroviaire : trains/TGV, tramways, RER et métros</li></ul> |

Le système de climatisation des véhicules industriels est proche de celui de la climatisation automobile car seule la cabine du conducteur est climatisée et avec une technologie identique. Celui des cars et bus présente des systèmes de climatisation différents, plus puissants, où tout le véhicule est rafraîchi. Enfin, celui du transport ferroviaire est constitué de technologies spécifiques, avec des climatisations dans les cabines de conduites et d'autres pour les segments voyageurs. Les sous-secteurs tramways, métros et RER constituent une part minoritaire du parc ferroviaire.

Tableau 38 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs de la climatisation embarquée

| Sous-secteur             | Mode de charge à la fabrication | Complément de charge à l'installation | Maintenance : charge sur site (seuil) |
|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Bus et cars              | d'usine                         | non                                   | 60%                                   |
| Véhicules industriels    | d'usine                         | non                                   | 60%                                   |
| Climatisation automobile | d'usine                         | non                                   | 60%                                   |
| Transport ferroviaire    | d'usine                         | non                                   | 50%                                   |

Sources : données fabricants [7]

## Données d'activité

Les hypothèses des données d'activité sont issues de fabricants et de diverses organisations spécialistes du transport, comme le CCFA (Comité des constructeurs français d'automobiles) ou la RATP par exemple.

Tableau 39 – Hypothèses secteur climatisation embarquée

| Climatisation embarquée en 2024 | Durée de vie | Marché d'équipements (nombre d'unités) | Charge moyenne (kg) | Parts fluides utilisés (%)               |
|---------------------------------|--------------|----------------------------------------|---------------------|------------------------------------------|
| Bus et cars                     | 15 ans       | 5 100                                  | 9,7                 | R-1234yf 80%;<br>R-134a 20%              |
| Véhicules industriels           | 12 ans       | 48 983                                 | 0,9                 | R-134a 54.5%;<br>R-1234yf 45.5%          |
| Climatisation automobile        | 12 ans       | 2 100 124                              | 0,5                 | R-1234yf 100%                            |
| Transport ferroviaire           | 15 ans       | 3 130                                  | 14,6                | R-1234yf 55%;<br>R-450A 35%;<br>R-32 10% |

Sources : données fabricants [7][39][46], CCFA (Comité des constructeurs français d'automobiles) [35], RATP [41], SNCF, équipementiers [42][43], RTOC [44]

### Facteurs d'émissions

Les facteurs d'émissions sont supposés décroître selon une courbe en S afin de prendre en compte l'amélioration continue des pratiques. Le tableau suivant récapitule les facteurs d'émission utilisés pour l'année 2024.

Tableau 40 – Facteurs d'émission des équipements de la climatisation embarquée

| Climatisation embarquée en 2024 (en %) | Charge | Fugitif | Maintenance | Fin de vie |
|----------------------------------------|--------|---------|-------------|------------|
| Bus et cars                            | 0,1%   | 9,9%    | 2,2%        | 36%        |
| Véhicules industriels                  | 0,2%   | 7,0%    | 2,4%        | 89%        |
| Climatisation automobile               | 0,2%   | 7,9%    | 1,0%        | 44%        |
| Transport ferroviaire                  | 1,0%   | 4,9%    | 1,0%        | 12%        |

Sources : données fabricants [7], Lignes directrices du Giec [12], CCFA (Comité des constructeurs français d'automobiles) [35], Ademe [48], SNCF

## 9.2 Principaux résultats

Les résultats 2024 par fluide de la banque, le marché et les émissions pour le secteur de la climatisation embarquée sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 41 – synthèse des résultats des équipements de la climatisation embarquée

| Climatisation embarquée en 2024    | PRG     | Banque (tonnes) | Marché (tonnes) | Emissions (tonnes) | Emissions (ktCO <sub>2</sub> e) |
|------------------------------------|---------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------------------|
| R-134a                             | 1 300   | 4 476           | 321             | 755                | 981                             |
| R-32                               | 677     | 25              | 5,32            | 1,33               | 0,90                            |
| R-407C                             | 1 624   | 135             | -               | 8,26               | 13                              |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A | ~600    | 66              | 19              | 3,51               | 1,92                            |
| Total HFC hors HFO                 |         | 4 702           | 345             | 768                | 997                             |
| HFO : R-1234yf, R-1234ze, R-1233zd | 1<PRG<5 | 8 897           | 1 079           | 778                | 0,78                            |
| Total HFC (HFO inclus)             |         | 13 598          | 1 424           | 1 546              | 998                             |
| <b>Total général</b>               |         | <b>13 598</b>   | <b>1 424</b>    | <b>1 546</b>       | <b>998</b>                      |

## 9.3 Résultats détaillés

### 9.3.1 Banque

La banque de la climatisation embarquée est en diminution, la croissance du parc étant compensée par la réduction des charges moyennes des véhicules. Elle est estimée à 13 598 tonnes en 2024, constituée exclusivement de HFC, la banque de CFC étant éliminée depuis 2006. Les HFO (R-1234yf) représentent désormais les deux tiers de la banque et remplacent progressivement le R-134a dans la flotte de véhicules climatisés (Tableau 42 en annexe). La climatisation automobile représente aujourd'hui 88% de la banque de la climatisation embarquée.

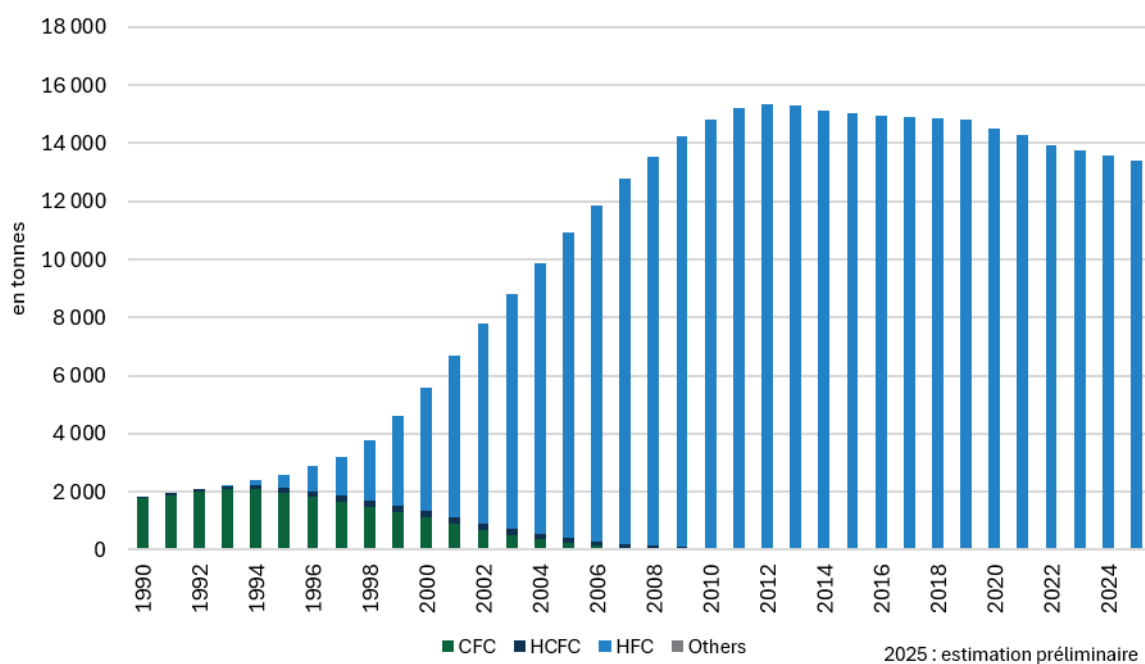


Figure 77 - Banque de fluide dans le secteur de la climatisation embarquée

## 9.3.2 Demande

### Demande pour les équipements neufs

La demande pour les équipements neufs en 2024, est estimée à 716 tonnes dont 89 % de R-1234yf remplaçant progressivement le R-134a, même dans les véhicules destinés à l'exportation (Tableau 44 en annexe).

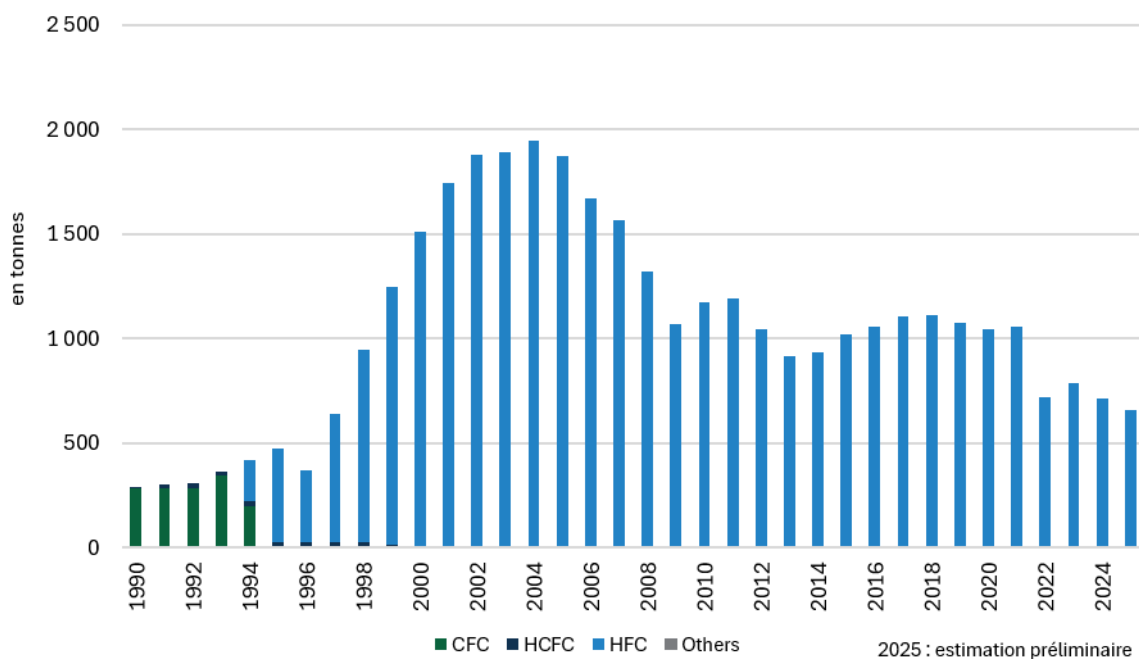


Figure 78 - Quantités nécessaires à la production dans le secteur de la climatisation embarquée

### Demande pour la maintenance

En 2024, le besoin évalué pour la maintenance dans le secteur de la climatisation automobile est de 522 tonnes (Tableau 46 en annexe). Comme pour la climatisation air/air, le besoin estimé pour la maintenance est irrégulier car évalué en fonction de l'atteinte d'un seuil de charge. Pour la première fois en 2024, selon les hypothèses du modèle, il est constaté une utilisation du R-1234yf pour la maintenance.

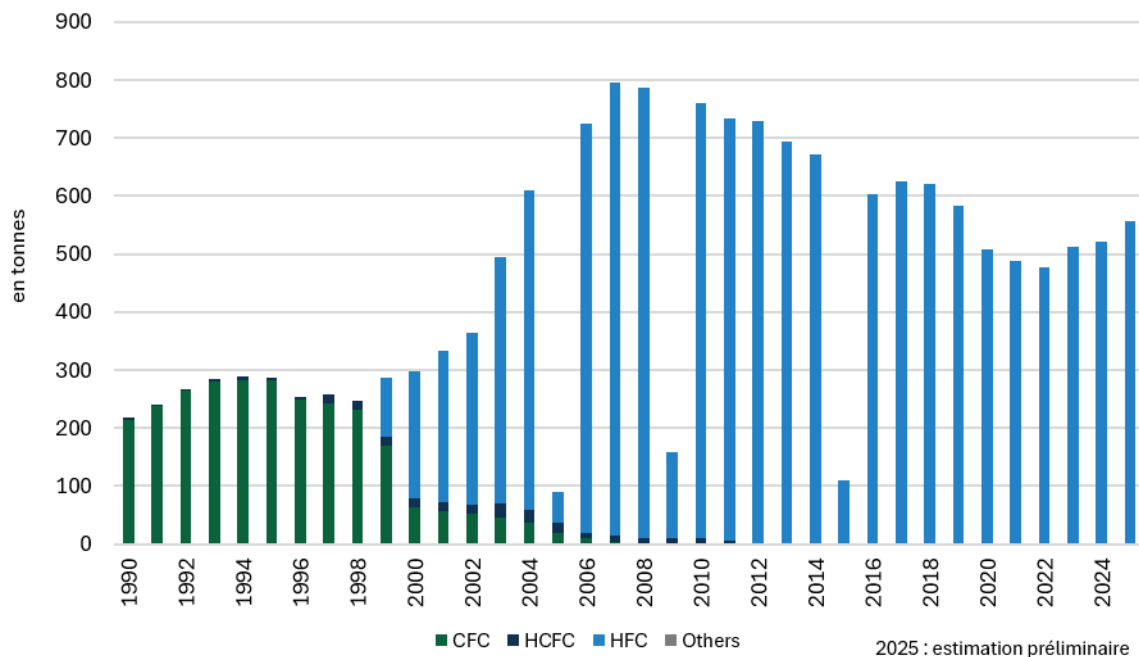


Figure 79 - Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur de la climatisation embarquée

### Demande pour le retrofit

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

## 9.3.3 Emissions

### Emissions totales en tonnes

À l'image de la banque, les émissions du secteur de la climatisation embarquée ont augmenté jusqu'en 2013 puis ont amorcé une décroissance. Le parc renouvelé contient des véhicules aux taux d'émissions fugitifs de plus en plus bas. Elles sont estimées à 1 546 tonnes en 2024 (Tableau 48 en annexe). Le R-1234yf et le R-134a contribuent à presque parts égales aux émissions du secteur.

73% des émissions sont constituées des émissions fugitives de la climatisation automobile et dans une moindre mesure des émissions en fin de vie (26%). En effet, même si la filière de fin de vie est encore peu efficace, une partie des véhicules en fin de vie sont exportés et d'autres atteignent leur fin de vie avec un système de climatisation peu entretenu, parfois vide.

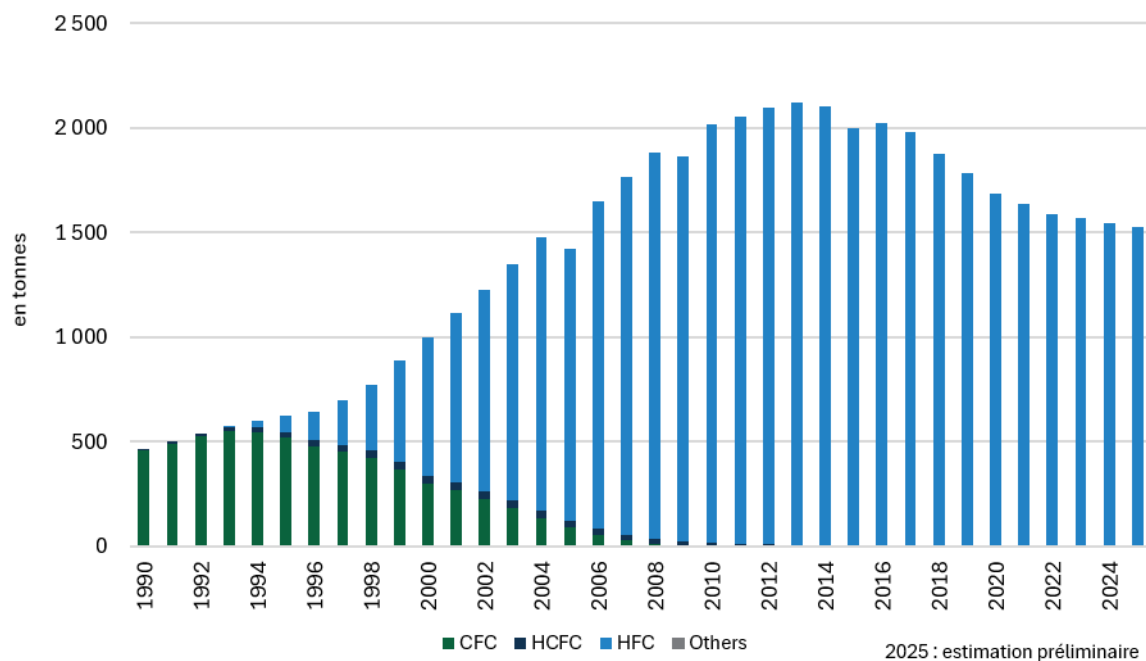


Figure 80 - Emissions totales du secteur de la climatisation embarquée

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

Après avoir culminé en 1993 à près de 6 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>, du fait de l'utilisation du R-12 dans les systèmes de climatisation automobile et de charges élevées, les émissions sont réduites à moins d'un million de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2024.

Avec la progression du R-1234yf sur le parc automobile, les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes du secteur sont en baisse de plus de 10% par an et de 17% entre 2023 et 2024 (Tableau 49 en annexe).

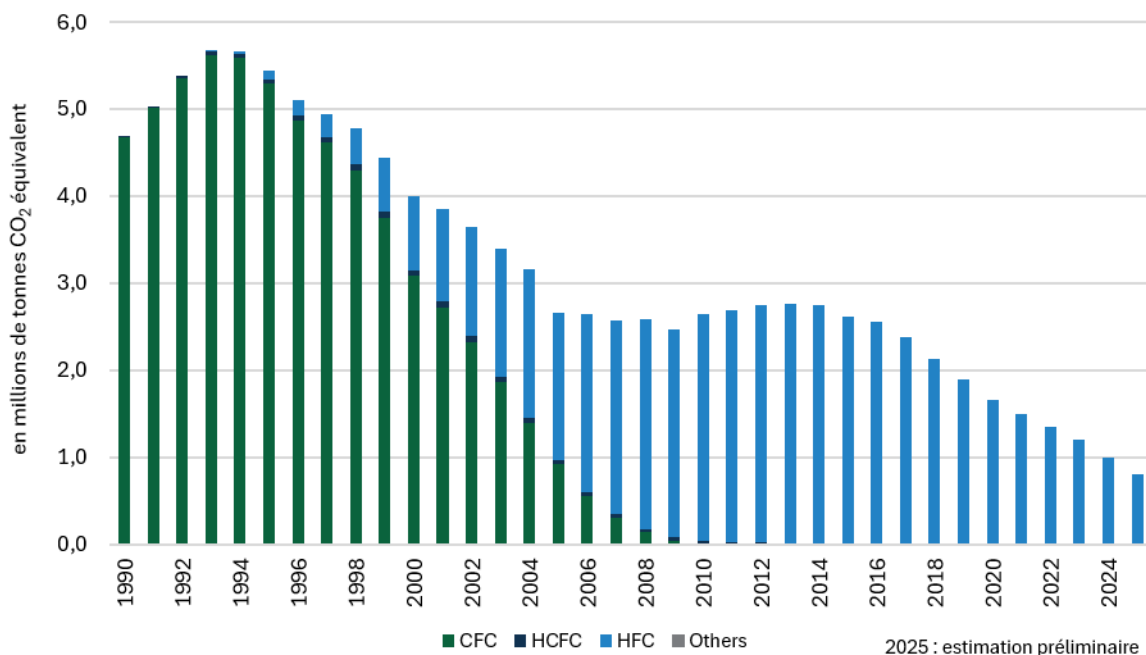


Figure 81 Emissions CO<sub>2</sub> équivalentes de la climatisation embarquée (millions de tonnes)

# 10

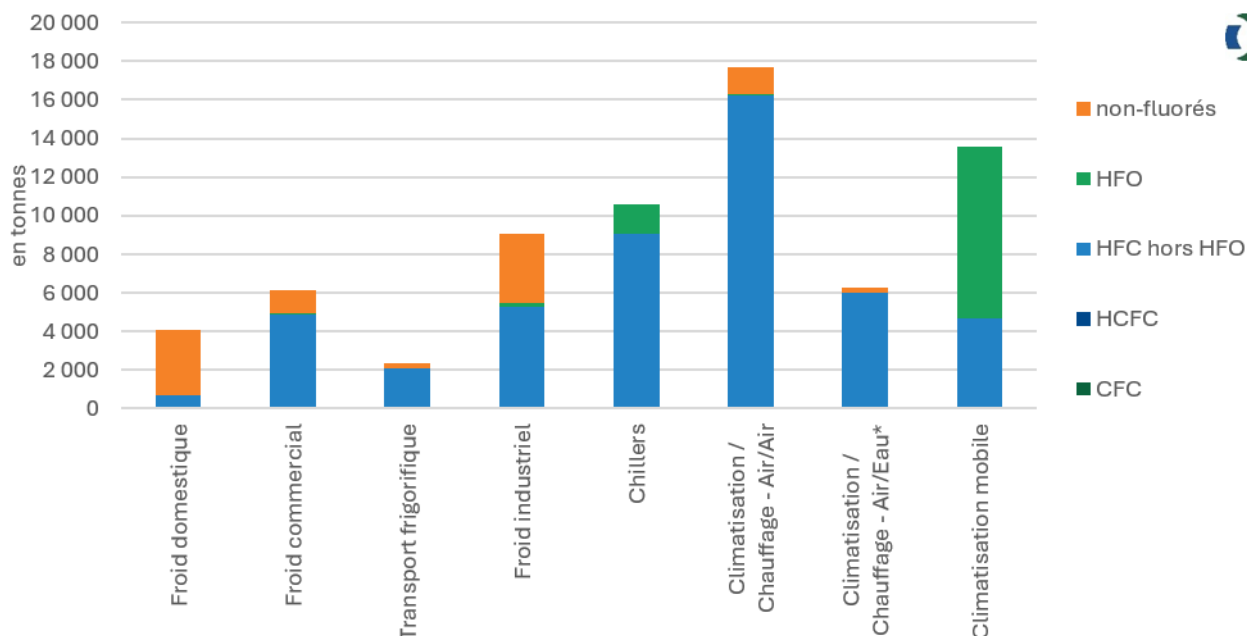
## Synthèse des résultats

# Résultats 2024

Tableau 42 – Quantités de fluides frigorigènes - BANQUE par secteur

| Banque en 2024 (tonnes)            | PRG                     | Froid domestique | Froid commercial | Transport frigorifique | Froid industriel | Chillers      | Climatisation / Chauffage - Air/Air | Climatisation / Chauffage - Air/Eau* | Climatisation mobile | Total         |
|------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------|---------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------|
| R-11                               | 4 660                   | -                | -                | -                      | 3,75             | 0,06          | -                                   | -                                    | -                    | 3,8           |
| R-12                               | 10 200                  | -                | -                | 26                     | -                | -             | 0,0004                              | -                                    | -                    | 26            |
| Total CFC                          |                         | -                | -                | 26                     | 3,75             | 0,06          | 0,0004                              | -                                    | -                    | 30            |
| R-22                               | 1 760                   | -                | -                | 78                     | -                | -             | 0,0004                              | -                                    | -                    | 78            |
| Total HCFC                         |                         | -                | -                | 78                     | -                | -             | 0,0004                              | -                                    | -                    | 78            |
| R-134a                             | 1 300                   | 510              | 871              | 944                    | 1 934            | 1 888         | 7,80                                | 464                                  | 4 476                | 11 095        |
| R-32                               | 677                     | -                | -                | -                      | -                | 3 461         | 6 415                               | 1 608                                | 25                   | 11 509        |
| R-404A - R507                      | ~3 950                  | -                | 1 871            | 54                     | 1 109            | -             | -                                   | 18                                   | -                    | 3 052         |
| R-407A                             | 1 923                   | -                | 396              | -                      | 71               | -             | -                                   | -                                    | -                    | 467           |
| R-407C                             | 1 624                   | -                | 2,00             | -                      | -                | 1 188         | 227                                 | 274                                  | 135                  | 1 825         |
| R-407F                             | 1 674                   | -                | 88               | -                      | 127              | 0,85          | -                                   | -                                    | -                    | 216           |
| R-410A                             | 1 924                   | -                | 6,60             | 2,96                   | -                | 1 931         | 9 580                               | 3 616                                | -                    | 15 137        |
| R-417A - R-422A<br>R-422D - R427A  | 2 000<br><PRG<<br>3 000 | -                | 5,79             | -                      | 108              | 90            | 14                                  | -                                    | -                    | 219           |
| R-448A - R-449A                    | ~1 300                  | -                | 1 412            | -                      | 1 093            | -             | -                                   | -                                    | -                    | 2 505         |
| R-452A                             | 1 945                   | -                | -                | 469                    | -                | -             | -                                   | -                                    | -                    | 469           |
| R-454B                             | 467                     | -                | -                | -                      | -                | 107           | -                                   | -                                    | -                    | 107           |
| R-454C - R-455A                    | ~150                    | -                | 171              | -                      | 36               | 1,61          | -                                   | -                                    | -                    | 209           |
| R-466A                             | 697                     | -                | -                | -                      | -                | 168           | -                                   | -                                    | -                    | 168           |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A | ~600                    | 168              | 35               | 499                    | 804              | 208           | 15                                  | 30                                   | 66                   | 1 825         |
| Total HFC hors HFO                 |                         | 678              | 4 858            | 1 969                  | 5 281            | 9 043         | 16 260                              | 6 010                                | 4 702                | 48 801        |
| HFO : R-1234yf, R-1234ze, R-1233zd | 1<PRG<5                 | -                | 115              | -                      | 199              | 1 528         | 19                                  | 20                                   | 8 897                | 10 778        |
| Total HFC (HFO inclus)             |                         | 678              | 4 973            | 1 969                  | 5 481            | 10 571        | 16 278                              | 6 030                                | 13 598               | 59 579        |
| R-290                              | 3                       | 515              | 115              | -                      | -                | -             | 1 395                               | 227                                  | -                    | 2 252         |
| R-600a                             | 3                       | 2 883            | 42               | -                      | -                | -             | -                                   | -                                    | -                    | 2 925         |
| R-717                              | 0                       | -                | 5,71             | 25                     | 3 442            | -             | -                                   | -                                    | -                    | 3 472         |
| R-744                              | 1                       | -                | 1 020            | 261                    | 153              | -             | -                                   | 14                                   | -                    | 1 448         |
| Total non-fluorés                  |                         | 3 398            | 1 183            | 285                    | 3 594            | -             | 1 395                               | 241                                  | -                    | 10 097        |
| <b>Total général</b>               |                         | <b>4 076</b>     | <b>6 156</b>     | <b>2 359</b>           | <b>9 079</b>     | <b>10 571</b> | <b>17 673</b>                       | <b>6 272</b>                         | <b>13 598</b>        | <b>69 784</b> |

\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie



\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

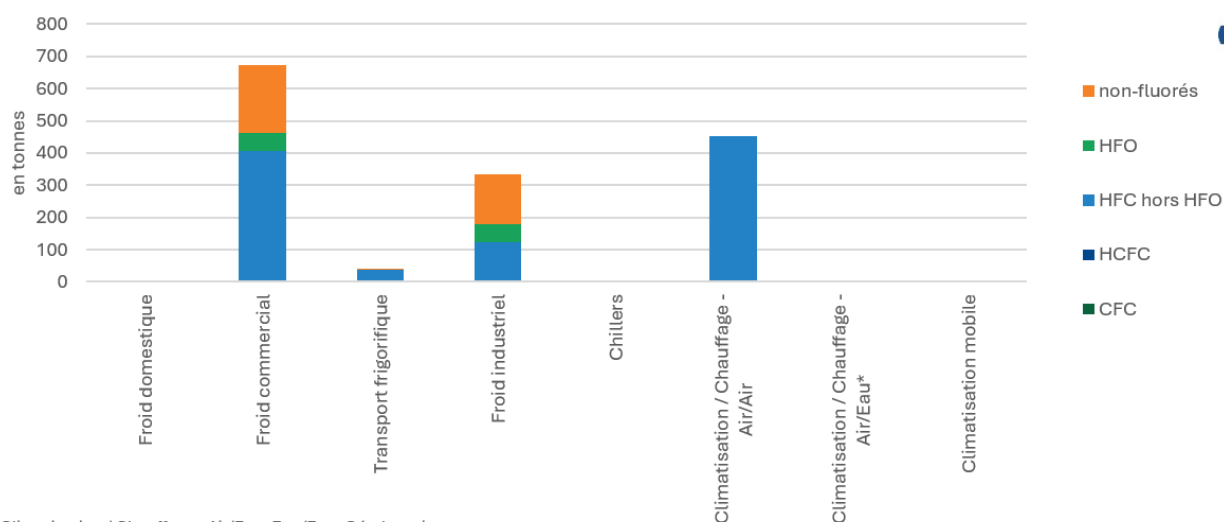
AFCE - 2026

Figure 82 – Quantités par type de fluide frigorigène - BANQUE par secteur

Tableau 43 – Quantités de fluides frigorigènes - CHARGE SUR SITE par secteur

| Quantités à la charge en 2024 (tonnes) | PRG     | Froid domestique | Froid commercial | Transport frigorifique | Froid industriel | Chillers | Climatisation / Chauffage - Air/Air | Climatisation / Chauffage - Air/Eau* | Climatisation mobile | Total        |
|----------------------------------------|---------|------------------|------------------|------------------------|------------------|----------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------|
| R-134a                                 | 1 300   | -                | -                | 0,36                   | 27               | -        | -                                   | -                                    | -                    | 27           |
| R-32                                   | 677     | -                | -                | -                      | -                | -        | 270                                 | -                                    | -                    | 270          |
| R-407A                                 | 1 923   | -                | 28               | -                      | -                | -        | -                                   | -                                    | -                    | 28           |
| R-410A                                 | 1 924   | -                | -                | -                      | -                | -        | 181                                 | -                                    | -                    | 181          |
| R-448A - R-449A                        | ~1 300  | -                | 310              | -                      | 25               | -        | -                                   | -                                    | -                    | 335          |
| R-452A                                 | 1 945   | -                | -                | 35                     | -                | -        | -                                   | -                                    | -                    | 35           |
| R-454C - R-455A                        | ~150    | -                | 63               | -                      | 8,37             | -        | -                                   | -                                    | -                    | 72           |
| R-513A - R-513B                        | -       | -                | -                | -                      | -                | -        | -                                   | -                                    | -                    | -            |
| R-450A - R-456A                        | ~600    | -                | 3,70             | 0,36                   | 63               | -        | -                                   | -                                    | -                    | 68           |
| Total HFC hors HFO                     |         | -                | 405              | 36                     | 124              | -        | 451                                 | -                                    | -                    | 1 016        |
| HFO : R-1234yf, R-1234ze, R-1233zd     | 1<PRG<5 | -                | 56               | -                      | 54               | -        | -                                   | -                                    | -                    | 111          |
| Total HFC (HFO inclus)                 |         | -                | 461              | 36                     | 178              | -        | 451                                 | -                                    | -                    | 1 127        |
| R-290                                  | 3       | -                | 4,93             | -                      | -                | -        | -                                   | -                                    | -                    | 4,93         |
| R-717                                  | 0       | -                | -                | -                      | 136              | -        | -                                   | -                                    | -                    | 136          |
| R-744                                  | 1       | -                | 205              | 0,36                   | 19               | -        | -                                   | -                                    | -                    | 225          |
| Total non-fluorés                      |         | -                | 210              | 0,36                   | 155              | -        | -                                   | -                                    | -                    | 365          |
| <b>Total général</b>                   |         | -                | <b>672</b>       | <b>36</b>              | <b>333</b>       | -        | <b>451</b>                          | -                                    | -                    | <b>1 492</b> |

\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie



\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

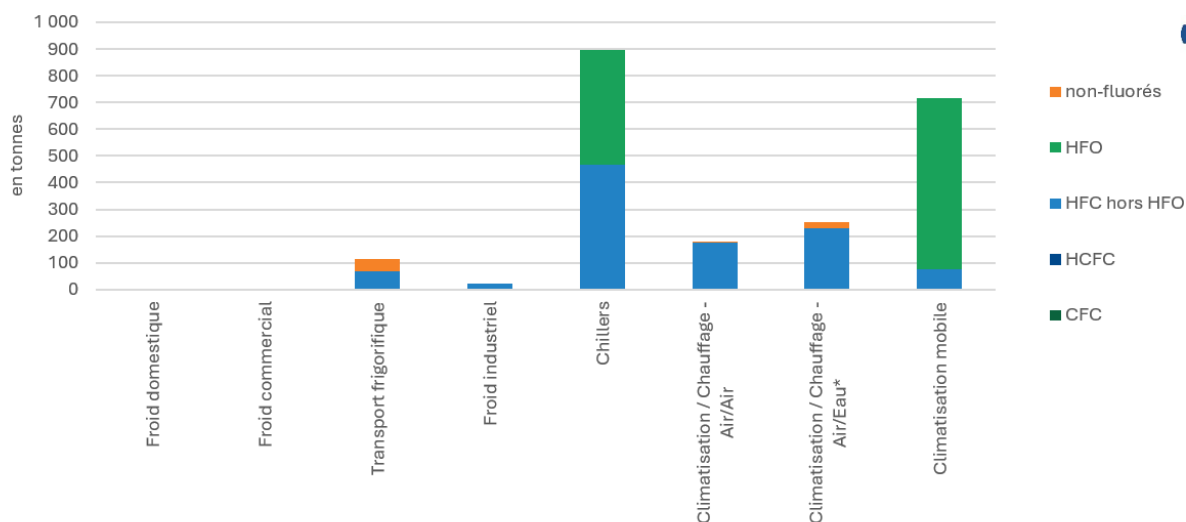
AFCE - 2026

Figure 83 – Quantités par type de fluide frigorigène - CHARGE SUR SITE par secteur

Tableau 44 – Quantités de fluides frigorigènes - PRODUCTION par secteur

| Quantités à la production en 2024 (tonnes) | PRG     | Froid domestique | Froid commercial | Transport frigorifique | Froid industriel | Chillers   | Climatisation / Chauffage - Air/Air | Climatisation / Chauffage - Air/Eau* | Climatisation mobile | Total        |
|--------------------------------------------|---------|------------------|------------------|------------------------|------------------|------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------|
| R-134a                                     | 1 300   | -                | -                | 6,28                   | -                | -          | -                                   | 0,41                                 | 56                   | 62           |
| R-32                                       | 677     | -                | -                | -                      | -                | 408        | 150                                 | 173                                  | 4,62                 | 737          |
| R-407C                                     | 1 624   | -                | -                | -                      | -                | -          | -                                   | 0,30                                 | -                    | 0,3          |
| R-410A                                     | 1 924   | -                | -                | -                      | -                | 2,99       | 8,11                                | 53                                   | -                    | 64           |
| R-448A - R-449A                            | ~1 300  | -                | -                | -                      | 23               | -          | -                                   | -                                    | -                    | 23           |
| R-452A                                     | 1 945   | -                | -                | 15                     | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 15           |
| R-454B                                     | 467     | -                | -                | -                      | -                | 40         | -                                   | -                                    | -                    | 40           |
| R-454C - R-455A                            | ~150    | -                | 0,17             | -                      | 1,21             | 2,24       | -                                   | -                                    | -                    | 3,62         |
| R-466A                                     | 697     | -                | -                | -                      | -                | 7,46       | -                                   | -                                    | -                    | 7,5          |
| R-513A - R-513B                            | -       | -                | -                | -                      | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | -            |
| R-450A - R-456A                            | ~600    | -                | -                | 46                     | -                | 6,29       | 17                                  | 4,28                                 | 16                   | 90           |
| Total HFC hors HFO                         |         | -                | 0,17             | 68                     | 24               | 467        | 175                                 | 231                                  | 76                   | 1 042        |
| HFO : R-1234yf, R-1234ze, R-1233zd         | 1<PRG<5 | -                | 1,04             | -                      | -                | 429        | 1,24                                | 0,03                                 | 639                  | 1 070        |
| Total HFC (HFO inclus)                     |         | -                | 1,21             | 68                     | 24               | 896        | 176                                 | 231                                  | 716                  | 2 112        |
| R-290                                      | 3       | -                | 1,04             | -                      | -                | -          | 0,82                                | 20                                   | -                    | 22           |
| R-600a                                     | 3       | 1,69             | 0,83             | -                      | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 2,5          |
| R-717                                      | 0       | -                | -                | 8,36                   | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 8,4          |
| R-744                                      | 1       | -                | 1,08             | 40                     | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 41           |
| Total non-fluorés                          |         | 1,69             | 2,95             | 48                     | -                | -          | 0,82                                | 20                                   | -                    | 74           |
| <b>Total général</b>                       |         | <b>1,69</b>      | <b>4,16</b>      | <b>116</b>             | <b>24</b>        | <b>896</b> | <b>177</b>                          | <b>251</b>                           | <b>716</b>           | <b>2 186</b> |

\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie



\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

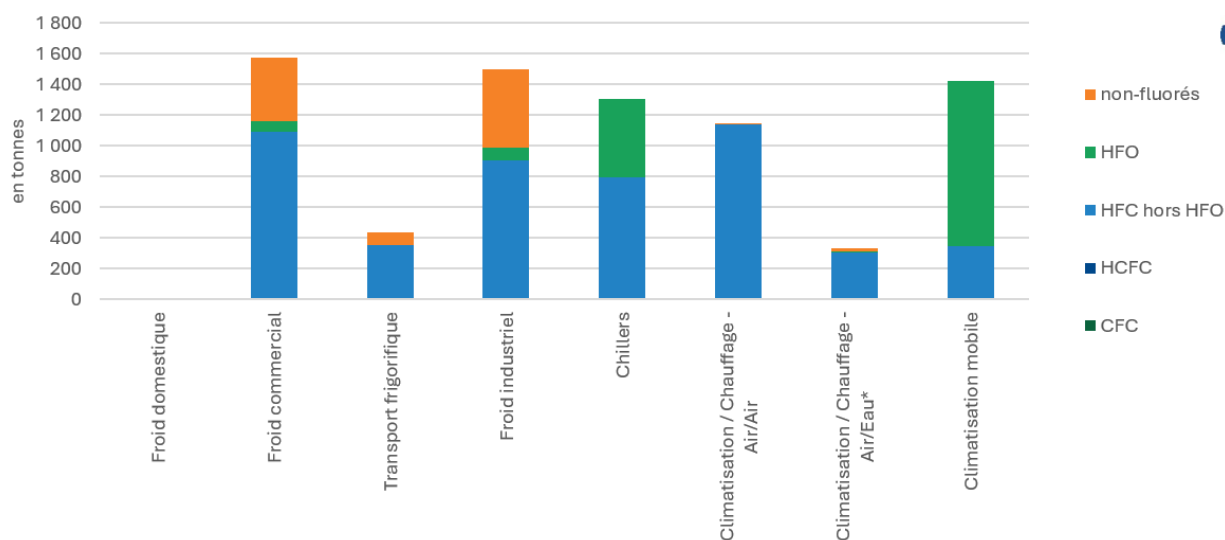
AFCE - 2026

Figure 84 – Quantités par type de fluide frigorigène - PRODUCTION par secteur

Tableau 45 – Quantités totales de fluides frigorigènes mises sur le marché par secteur

| Quantités totales mises sur le marché en 2024 (tonnes) | PRG                     | Froid domestique | Froid commercial | Transport frigorifique | Froid industriel | Chillers     | Climatisation / Chauffage - Air/Air | Climatisation / Chauffage - Air/Eau* | Climatisation mobile | Total        |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------|--------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------|
| R-11                                                   | 4 660                   | -                | -                | -                      | 0,38             | -            | -                                   | -                                    | -                    | 0,4          |
| R-12                                                   | 10 200                  | -                | -                | 0,72                   | -                | -            | -                                   | -                                    | -                    | 0,72         |
| Total CFC                                              |                         | -                | -                | 0,72                   | 0,38             | -            | -                                   | -                                    | -                    | 1,10         |
| R-22                                                   | 1 760                   | -                | -                | 6,47                   | -                | -            | -                                   | -                                    | -                    | 6,47         |
| Total HCFC                                             |                         | -                | -                | 6,47                   | -                | -            | -                                   | -                                    | -                    | 6,47         |
| R-134a                                                 | 1 300                   | 0,06             | 121              | 134                    | 236              | 56           | 0,42                                | 0,56                                 | 321                  | 870          |
| R-32                                                   | 677                     | -                | -                | -                      | -                | 478          | 627                                 | 199                                  | 5,32                 | 1 310        |
| R-404A - R507                                          | ~3 950                  | -                | 316              | 12                     | 104              | -            | -                                   | 0,46                                 | -                    | 432          |
| R-407A                                                 | 1 923                   | -                | 44               | -                      | 6,91             | -            | -                                   | -                                    | -                    | 51           |
| R-407C                                                 | 1 624                   | -                | 0,43             | -                      | -                | 39           | 2,71                                | 3,87                                 | -                    | 46           |
| R-407F                                                 | 1 674                   | -                | 17               | -                      | 19               | 0,01         | -                                   | -                                    | -                    | 36           |
| R-410A                                                 | 1 924                   | -                | 1,46             | 0,51                   | -                | 69           | 488                                 | 99                                   | -                    | 659          |
| R-417A - R-422A<br>R-422D - R427A                      | 2 000<br><PRG<<br>3 000 | -                | 0,59             | -                      | 10               | 1,52         | -                                   | -                                    | -                    | 13           |
| R-448A - R-449A                                        | ~1 300                  | -                | 490              | -                      | 243              | -            | -                                   | -                                    | -                    | 733          |
| R-452A                                                 | 1 945                   | -                | -                | 96                     | -                | -            | -                                   | -                                    | -                    | 96           |
| R-454B                                                 | 467                     | -                | -                | -                      | -                | 46           | -                                   | -                                    | -                    | 46           |
| R-454C - R-455A                                        | ~150                    | -                | 88               | -                      | 21               | 2,58         | -                                   | -                                    | -                    | 112          |
| R-466A                                                 | 697                     | -                | -                | -                      | -                | 8,57         | -                                   | -                                    | -                    | 8,6          |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A                     | ~600                    | 0,02             | 13               | 104                    | 263              | 92           | 20                                  | 4,92                                 | 19                   | 514          |
| Total HFC hors HFO                                     |                         | 0,08             | 1 091            | 347                    | 904              | 793          | 1 138                               | 309                                  | 345                  | 4 927        |
| HFO : R-1234yf, R-1234ze, R-1233zd                     | 1<PRG<5                 | -                | 67               | -                      | 83               | 512          | 1,42                                | 0,04                                 | 1 079                | 1 742        |
| Total HFC (HFO inclus)                                 |                         | 0,08             | 1 158            | 347                    | 987              | 1 305        | 1 140                               | 309                                  | 1 424                | 6 669        |
| R-290                                                  | 3                       | 0,06             | 16               | -                      | -                | -            | 0,95                                | 24                                   | -                    | 40           |
| R-600a                                                 | 3                       | 2,27             | 0,96             | -                      | -                | -            | -                                   | -                                    | -                    | 3,23         |
| R-717                                                  | 0                       | -                | 1,34             | 10                     | 470              | -            | -                                   | -                                    | -                    | 481          |
| R-744                                                  | 1                       | -                | 395              | 70                     | 37               | -            | -                                   | -                                    | -                    | 503          |
| Total non-fluorés                                      |                         | 2,33             | 413              | 81                     | 507              | -            | 0,95                                | 24                                   | -                    | 1 027        |
| <b>Total général</b>                                   |                         | <b>2,41</b>      | <b>1 571</b>     | <b>435</b>             | <b>1 494</b>     | <b>1 305</b> | <b>1 141</b>                        | <b>332</b>                           | <b>1 424</b>         | <b>7 704</b> |

\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie



\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

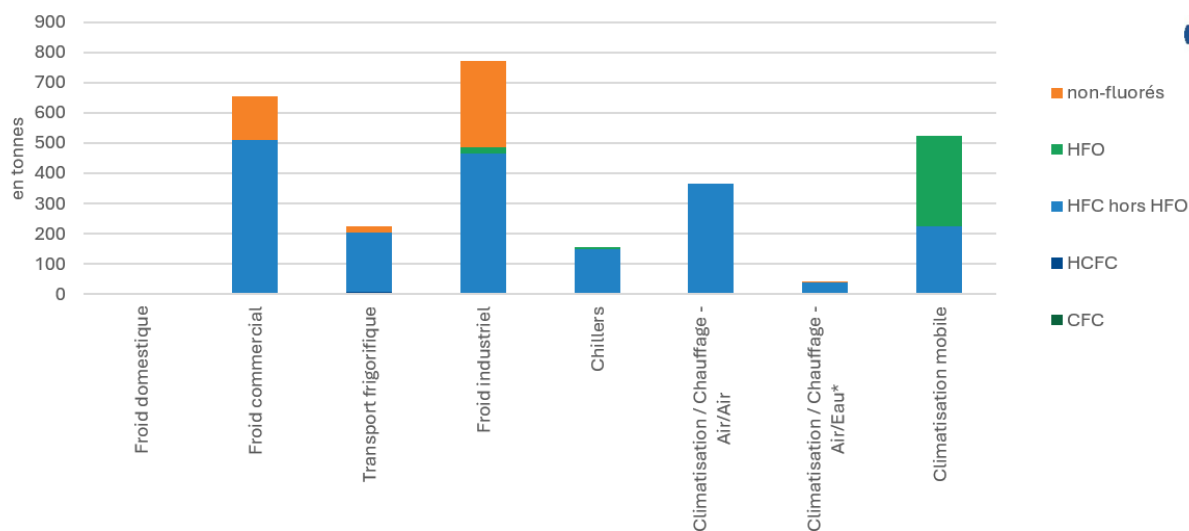
AFCE - 2026

Figure 85 – Quantités totales mises sur le marché par type de fluide frigorigène par secteur

Tableau 46 – Demande en fluides frigorigènes pour la maintenance par secteur

| Quantités totales pour la maintenance en 2024 (tonnes) | PRG                     | Froid domestique | Froid commercial | Transport frigorifique | Froid industriel | Chillers   | Climatisation / Chauffage - Air/Air | Climatisation / Chauffage - Air/Eau* | Climatisation mobile | Total        |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------|------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------|
| R-11                                                   | 4 660                   | -                | -                | -                      | 0,33             | -          | -                                   | -                                    | -                    | 0,3          |
| R-12                                                   | 10 200                  | -                | -                | 0,63                   | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 0,63         |
| Total CFC                                              |                         | -                | -                | 0,63                   | 0,33             | -          | -                                   | -                                    | -                    | 0,96         |
| R-22                                                   | 1 760                   | -                | -                | 5,63                   | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 5,63         |
| Total HCFC                                             |                         | -                | -                | 5,63                   | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 5,63         |
| R-134a                                                 | 1 300                   | 0,05             | 105              | 110                    | 179              | 49         | 0,37                                | 0,07                                 | 223                  | 667          |
| R-32                                                   | 677                     | -                | -                | -                      | -                | 7,39       | 126                                 | 0,01                                 | -                    | 133          |
| R-404A - R507                                          | ~3 950                  | -                | 274              | 10                     | 91               | -          | -                                   | 0,40                                 | -                    | 376          |
| R-407A                                                 | 1 923                   | -                | 10               | -                      | 6,01             | -          | -                                   | -                                    | -                    | 16           |
| R-407C                                                 | 1 624                   | -                | 0,37             | -                      | -                | 34         | 2,35                                | 3,07                                 | -                    | 40           |
| R-407F                                                 | 1 674                   | -                | 15               | -                      | 10               | 0,01       | -                                   | -                                    | -                    | 25           |
| R-410A                                                 | 1 924                   | -                | 1,27             | 0,45                   | -                | 57         | 236                                 | 34                                   | -                    | 328          |
| R-417A - R-422A<br>R-422D - R427A                      | 2 000<br><PRG<<br>3 000 | -                | 0,51             | -                      | 9,10             | 1,32       | -                                   | -                                    | -                    | 11           |
| R-448A - R-449A                                        | ~1 300                  | -                | 87               | -                      | 90               | -          | -                                   | -                                    | -                    | 176          |
| R-452A                                                 | 1 945                   | -                | -                | 32                     | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 32           |
| R-454C - R-455A                                        | ~150                    | -                | 8,15             | -                      | 3,29             | -          | -                                   | -                                    | -                    | 11           |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A                     | ~600                    | 0,02             | 7,18             | 44                     | 79               | 0,50       | -                                   | -                                    | -                    | 130          |
| Total HFC hors HFO                                     |                         | 0,07             | 509              | 197                    | 467              | 150        | 364                                 | 37                                   | 223                  | 1 947        |
| HFO : R-1234yf, R-1234ze, R-1233zd                     | 1<PRG<5                 | -                | 0,61             | -                      | 18               | 4,24       | -                                   | -                                    | 299                  | 322          |
| Total HFC (HFO inclus)                                 |                         | 0,07             | 510              | 197                    | 485              | 154        | 364                                 | 37                                   | 522                  | 2 269        |
| R-290                                                  | 3                       | 0,05             | 7,54             | -                      | -                | -          | -                                   | 0,20                                 | -                    | 7,79         |
| R-600a                                                 | 3                       | 0,29             | -                | -                      | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 0,29         |
| R-717                                                  | 0                       | -                | 1,16             | 0,57                   | 273              | -          | -                                   | -                                    | -                    | 275          |
| R-744                                                  | 1                       | -                | 137              | 21                     | 13               | -          | -                                   | -                                    | -                    | 172          |
| Total non-fluorés                                      |                         | 0,34             | 146              | 22                     | 286              | -          | -                                   | 0,20                                 | -                    | 454          |
| <b>Total général</b>                                   |                         | <b>0,41</b>      | <b>656</b>       | <b>225</b>             | <b>771</b>       | <b>154</b> | <b>364</b>                          | <b>37</b>                            | <b>522</b>           | <b>2 730</b> |

\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie



\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

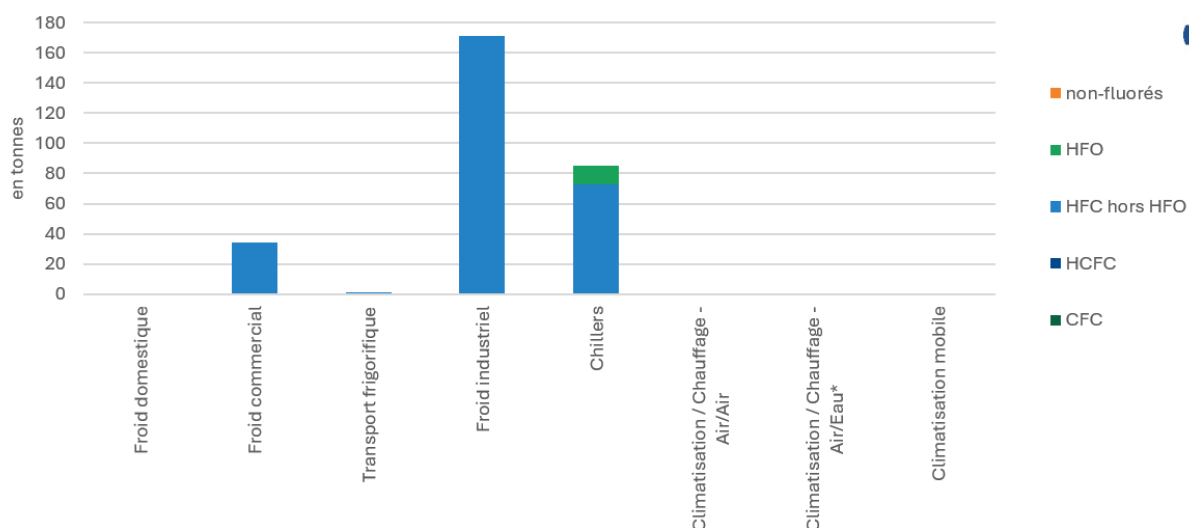
AFCE - 2026

Figure 86 – Demande pour la maintenance par type de fluide frigorigène par secteur

Tableau 47 – Demande en fluides frigorigènes pour le retrofit par secteur

| Quantités totales pour le retrofit en 2024 (tonnes) | PRG     | Froid domestique | Froid commercial | Transport frigorifique | Froid industriel | Chillers | Climatisation / Chauffage - Air/Air | Climatisation / Chauffage - Air/Eau* | Climatisation mobile | Total |
|-----------------------------------------------------|---------|------------------|------------------|------------------------|------------------|----------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|-------|
| R-407F                                              | 1 674   | -                | -                | -                      | 6,06             | -        | -                                   | -                                    | -                    | 6,1   |
| R-448A - R-449A                                     | ~1 300  | -                | 30               | -                      | 73               | -        | -                                   | -                                    | -                    | 103   |
| R-452A                                              | 1 945   | -                | -                | 1,24                   | -                | -        | -                                   | -                                    | -                    | 1,24  |
| R-454C - R-455A                                     | ~150    | -                | 4,74             | -                      | 5,67             | -        | -                                   | -                                    | -                    | 10    |
| R-513A - R-513B                                     |         |                  |                  |                        |                  |          |                                     |                                      |                      |       |
| R-450A - R-456A                                     | ~600    | -                | -                | -                      | 86               | 73       | -                                   | -                                    | -                    | 159   |
| Total HFC hors HFO                                  |         | -                | 34               | 1,24                   | 171              | 73       | -                                   | -                                    | -                    | 280   |
| HFO : R-1234yf, R-1234ze, R-1233zd                  | 1<PRG<5 | -                | -                | -                      | -                | 12       | -                                   | -                                    | -                    | 12    |
| Total HFC (HFO inclus)                              |         | -                | 34               | 1,24                   | 171              | 85       | -                                   | -                                    | -                    | 292   |
| <b>Total général</b>                                |         | -                | 34               | 1,24                   | 171              | 85       | -                                   | -                                    | -                    | 292   |

\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie



\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

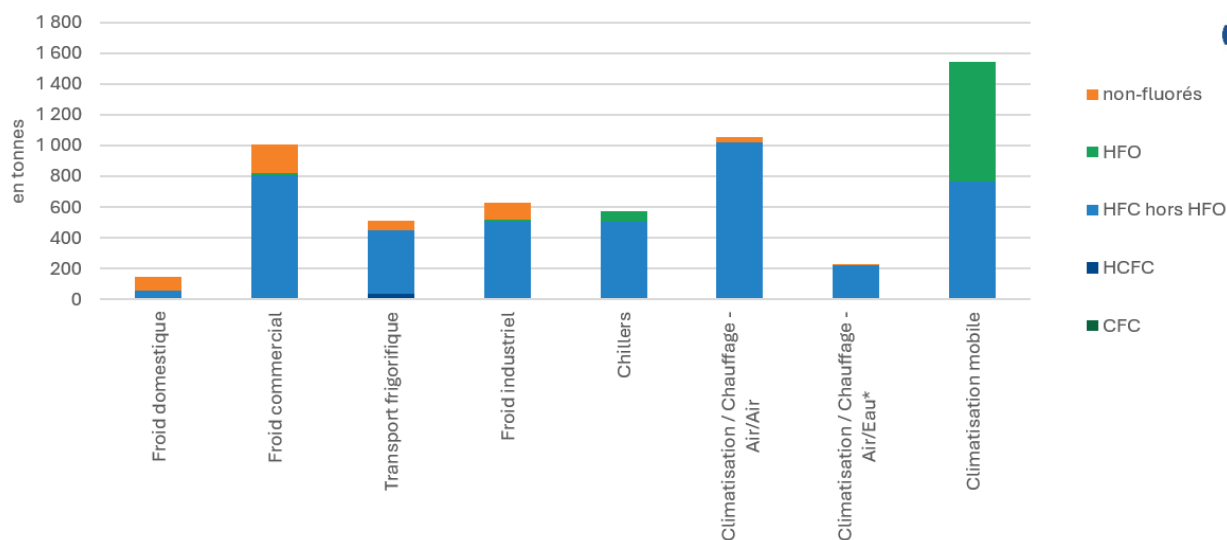
AFCE - 2026

Figure 87 – Demande pour le retrofit par type de fluide frigorigène par secteur

Tableau 48 – EMISSIONS TOTALES de fluides frigorigènes par secteur en tonnes

| Emissions totales en 2024 (tonnes) | PRG                     | Froid domestique | Froid commercial | Transport frigorifique | Froid industriel | Chillers   | Climatisation / Chauffage - Air/Air | Climatisation / Chauffage - Air/Eau* | Climatisation mobile | Total        |
|------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------|------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------|
| R-11                               | 4 660                   | -                | -                | -                      | 0,37             | 0,01       | -                                   | -                                    | -                    | 0,4          |
| R-12                               | 10 200                  | -                | -                | 9,59                   | 0,04             | 0,04       | 0,0001                              | -                                    | -                    | 9,67         |
| Total CFC                          |                         | -                | -                | 9,59                   | 0,41             | 0,05       | 0,0001                              | -                                    | -                    | 10           |
| R-22                               | 1 760                   | -                | -                | 26                     | 0,62             | 0,755      | 0,0001                              | -                                    | -                    | 27           |
| Total HCFC                         |                         | -                | -                | 26                     | 0,62             | 0,755      | 0,0001                              | -                                    | -                    | 27           |
| R-134a                             | 1 300                   | 55               | 141              | 224                    | 188              | 124        | 1,19                                | 4,79                                 | 755                  | 1 493        |
| R-32                               | 677                     | -                | -                | -                      | -                | 146        | 292                                 | 34                                   | 1,33                 | 473          |
| R-404A - R507                      | ~3 950                  | -                | 348              | 19                     | 103              | -          | -                                   | 1,43                                 | -                    | 471          |
| R-407A                             | 1 923                   | -                | 56               | -                      | 6,44             | -          | -                                   | -                                    | -                    | 62           |
| R-407C                             | 1 624                   | -                | 0,39             | -                      | -                | 103        | 38                                  | 31                                   | 8,26                 | 180          |
| R-407F                             | 1 674                   | -                | 15               | -                      | 10               | 0,01       | -                                   | -                                    | -                    | 26           |
| R-410A                             | 1 924                   | -                | 1,31             | 0,64                   | -                | 109        | 688                                 | 150                                  | -                    | 949          |
| R-417A - R-422A<br>R-422D - R427A  | 2 000<br><PRG<<br>3 000 | -                | 1,18             | -                      | 12               | 8,99       | 2,72                                | -                                    | -                    | 24           |
| R-448A - R-449A                    | ~1 300                  | -                | 210              | -                      | 94               | -          | -                                   | -                                    | -                    | 304          |
| R-452A                             | 1 945                   | -                | -                | 71                     | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 71           |
| R-454B                             | 467                     | -                | -                | -                      | -                | 5,07       | -                                   | -                                    | -                    | 5,07         |
| R-454C - R-455A                    | ~150                    | -                | 26               | -                      | 3,62             | 0,11       | -                                   | -                                    | -                    | 29           |
| R-466A                             | 697                     | -                | -                | -                      | -                | 6,78       | -                                   | -                                    | -                    | 6,8          |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A | ~600                    | 0,13             | 7,30             | 102                    | 83               | 3,18       | 1,08                                | 0,19                                 | 3,51                 | 200          |
| Total HFC hors HFO                 |                         | 55               | 805              | 416                    | 500              | 506        | 1 023                               | 221                                  | 768                  | 4 294        |
| HFO : R-1234yf, R-1234ze, R-1233zd | 1<PRG<5                 | -                | 14               | -                      | 19               | 68         | 0,62                                | 0,03                                 | 778                  | 881          |
| Total HFC (HFO inclus)             |                         | 55               | 820              | 416                    | 519              | 575        | 1 023                               | 221                                  | 1 546                | 5 175        |
| R-290                              | 3                       | 0,29             | 8,87             | -                      | -                | -          | 34                                  | 3,12                                 | -                    | 46           |
| R-600a                             | 3                       | 91               | 0,59             | -                      | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 91           |
| R-717                              | 0                       | -                | 0,39             | 1,67                   | 95               | -          | -                                   | -                                    | -                    | 97           |
| R-744                              | 1                       | -                | 174              | 54                     | 14               | -          | -                                   | 0,03                                 | -                    | 241          |
| Total non-fluorés                  |                         | 91               | 184              | 56                     | 109              | -          | 34                                  | 3,16                                 | -                    | 476          |
| <b>Total général</b>               |                         | <b>146</b>       | <b>1 003</b>     | <b>507</b>             | <b>628</b>       | <b>575</b> | <b>1 057</b>                        | <b>224</b>                           | <b>1 546</b>         | <b>5 688</b> |

\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie



\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

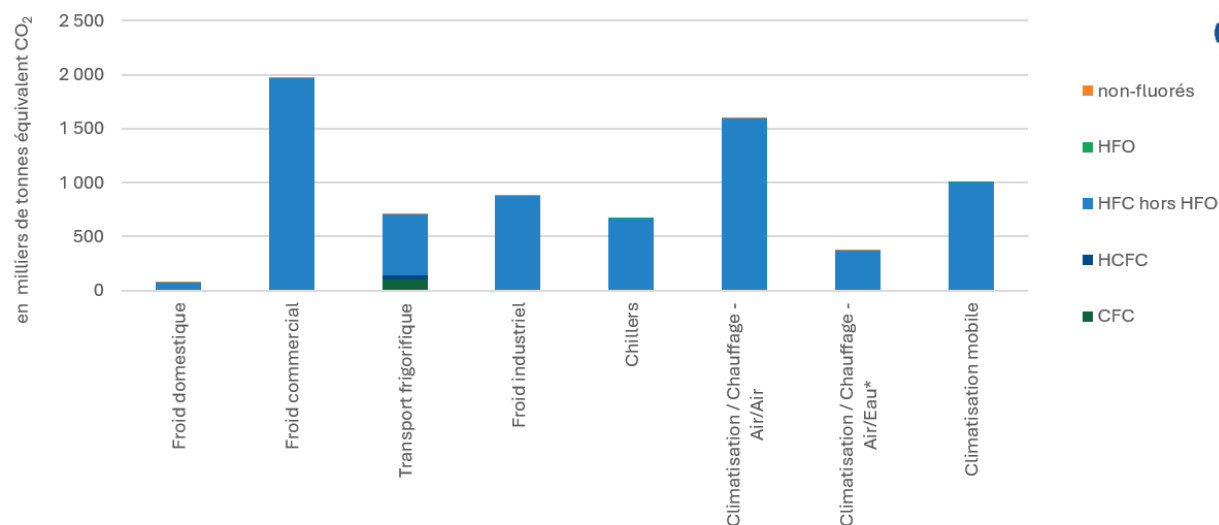
AFCE - 2026

Figure 88 – EMISSIONS TOTALES par type de fluide frigorigène par secteur en tonnes

Tableau 49 – EMISSIONS TOTALES de fluides frigorigènes par secteur en EQUIVALENT CO<sub>2</sub>

| Emissions totales en 2024 (ktCO <sub>2</sub> e) | PRG                     | Froid domestique | Froid commercial | Transport frigorifique | Froid industriel | Chillers   | Climatisation / Chauffage - Air/Air | Climatisation / Chauffage - Air/Eau* | Climatisation mobile | Total        |
|-------------------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------|------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------|
| R-11                                            | 4 660                   | -                | -                | -                      | 3,41             | 0,12       | -                                   | -                                    | -                    | 3,5          |
| R-12                                            | 10 200                  | -                | -                | 98                     | 0,44             | 0,40       | 0,00                                | -                                    | -                    | 99           |
| Total CFC                                       |                         | -                | -                | 98                     | 3,85             | 0,52       | 0,0012                              | -                                    | -                    | 102          |
| R-22                                            | 1 760                   | -                | -                | 46                     | 1,08             | 1,33       | 0,00                                | -                                    | -                    | 48           |
| Total HCFC                                      |                         | -                | -                | 46                     | 1,08             | 1,330      | 0,0002                              | -                                    | -                    | 48           |
| R-134a                                          | 1 300                   | 72               | 184              | 291                    | 244              | 162        | 1,55                                | 6,23                                 | 981                  | 1 941        |
| R-32                                            | 677                     | -                | -                | -                      | -                | 99         | 198                                 | 23                                   | 0,90                 | 320          |
| R-404A - R507                                   | ~3 950                  | -                | 1 370            | 74                     | 407              | -          | -                                   | 5,63                                 | -                    | 1 857        |
| R-407A                                          | 1 923                   | -                | 107              | -                      | 12               | -          | -                                   | -                                    | -                    | 119          |
| R-407C                                          | 1 624                   | -                | 0,63             | -                      | -                | 167        | 61                                  | 51                                   | 13                   | 293          |
| R-407F                                          | 1 674                   | -                | 26               | -                      | 17               | 0,01       | -                                   | -                                    | -                    | 43           |
| R-410A                                          | 1 924                   | -                | 2,52             | 1,23                   | -                | 210        | 1 324                               | 288                                  | -                    | 1 825        |
| R-417A - R-422A<br>R-422D - R427A               | 2 000<br><PRG<<br>3 000 | -                | 2,51             | -                      | 27               | 20         | 6,01                                | -                                    | -                    | 55           |
| R-448A - R-449A                                 | ~1 300                  | -                | 268              | -                      | 120              | -          | -                                   | -                                    | -                    | 388          |
| R-452A                                          | 1 945                   | -                | -                | 137                    | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 137          |
| R-454B                                          | 467                     | -                | -                | -                      | -                | 2,37       | -                                   | -                                    | -                    | 2,37         |
| R-454C - R-455A                                 | ~150                    | -                | 3,74             | -                      | 0,53             | 0,02       | -                                   | -                                    | -                    | 4,28         |
| R-466A                                          | 697                     | -                | -                | -                      | -                | 4,72       | -                                   | -                                    | -                    | 4,7          |
| R-513A - R-513B<br>R-450A - R-456A              | ~600                    | 0,07             | 3,99             | 57                     | 47               | 1,81       | 0,59                                | 0,10                                 | 1,92                 | 113          |
| Total HFC hors HFO                              |                         | 72               | 1 968            | 561                    | 875              | 666        | 1 591                               | 373                                  | 997                  | 7 104        |
| HFO : R-1234yf, R-1234ze, R-1233zd              | 1<PRG<5                 | -                | 0,01             | -                      | 0,02             | 0,09       | 0,00                                | 0,00                                 | 0,78                 | -            |
| Total HFC (HFO inclus)                          |                         | 72               | 1 968            | 561                    | 875              | 666        | 1 591                               | 373                                  | 998                  | 7 105        |
| R-290                                           | 3                       | 0,00             | 0,03             | -                      | -                | -          | 0,10                                | 0,01                                 | -                    | 0,14         |
| R-600a                                          | 3                       | 0,27             | 0,00             | -                      | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | 0,27         |
| R-717                                           | 0                       | -                | -                | -                      | -                | -          | -                                   | -                                    | -                    | -            |
| R-744                                           | 1                       | -                | 0,17             | 0,05                   | 0,01             | -          | -                                   | 0,00                                 | -                    | 0,24         |
| Total non-fluorés                               |                         | 0,27             | 0,20             | 0,05                   | 0,01             | -          | 0,10                                | 0,01                                 | -                    | 0,65         |
| <b>Total général</b>                            |                         | <b>72</b>        | <b>1 968</b>     | <b>705</b>             | <b>880</b>       | <b>668</b> | <b>1 591</b>                        | <b>373</b>                           | <b>998</b>           | <b>7 256</b> |

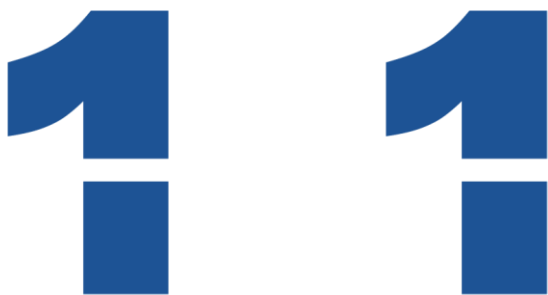
\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie



\* Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie

AFCE - 2026

Figure 89 – EMISSIONS TOTALES par type de fluide frigorigène par secteur en EQUIVALENT CO<sub>2</sub>



# Annexes

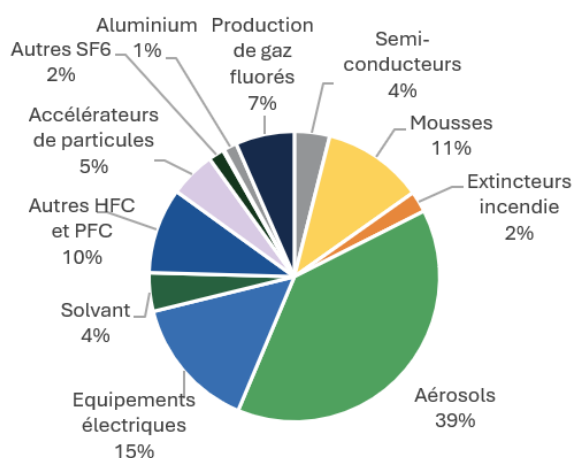
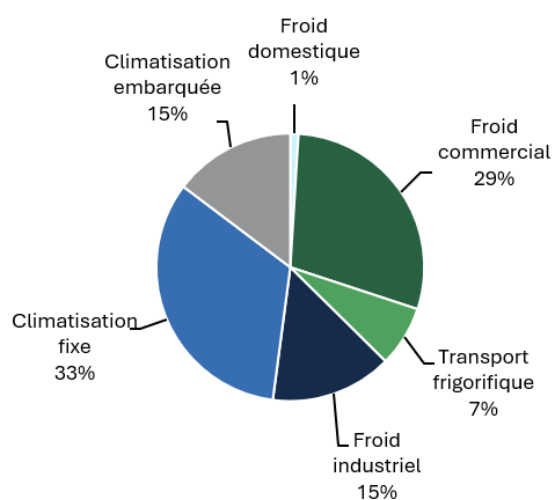
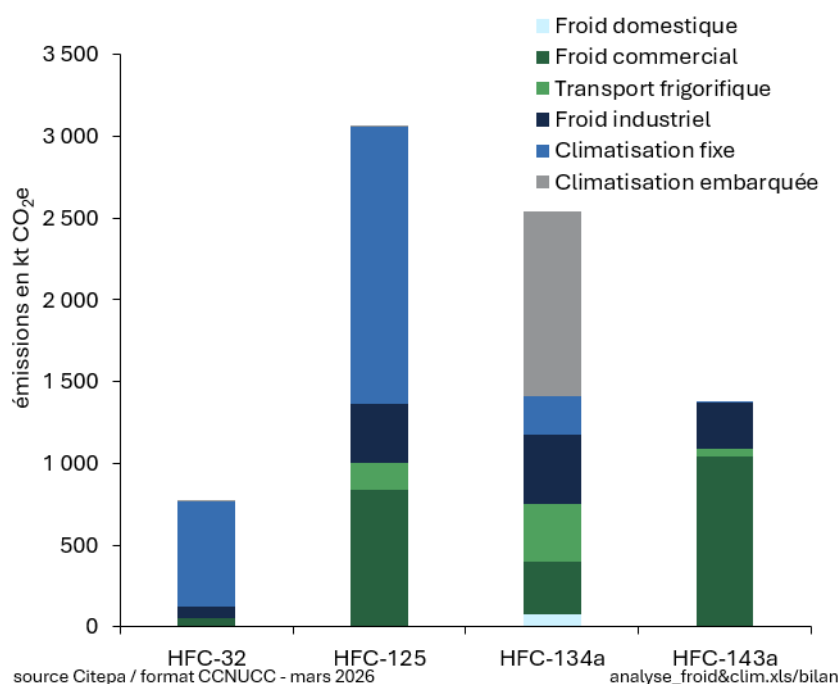
# 11.1 PRG donnés par le 4ème & 5ème rapport du GIEC (AR4 – AR5)

Tableau 50 – PRG des fluides frigorigènes pris en compte dans le calcul

| REFRIGERANT | PRG4   | PRG5   | REFRIGERANT | PRG4  | PRG5  |
|-------------|--------|--------|-------------|-------|-------|
| R-11        | 4 750  | 4 660  | R-422D      | 2 729 | 2 473 |
| R-12        | 10 900 | 10 200 | R-427A      | 2 138 | 2 024 |
| R-1233zd    | 5      | 5      | R-448A      | 1 387 | 1 273 |
| R-1234yf    | 4      | 1      | R-449A      | 1 397 | 1 282 |
| R-1234ze    | 7      | 1      | R-450A      | 605   | 547   |
| R-125       | 3 500  | 3 170  | R-452A      | 2 141 | 1 945 |
| R-134a      | 1 430  | 1 300  | R-454B      | 466   | 467   |
| R-143a      | 4 470  | 4 800  | R-454C      | 148   | 146   |
| R-152a      | 124    | 138    | R-455A      | 148   | 146   |
| R-22        | 1 810  | 1 760  | R-456A      | 687   | 626   |
| R-290       | 3      | 3      | R-466A      | 735   | 697   |
| R-32        | 675    | 677    | R-507       | 3 985 | 3 985 |
| R-401A      | 1 183  | 1 130  | R-513A      | 631   | 573   |
| R-404A      | 3 922  | 3 943  | R-513B      | 596   | 540   |
| R-407A      | 2 107  | 1 923  | R-600a      | 3     | 3     |
| R-407C      | 1 774  | 1 624  | R-717       | 0     | 0     |
| R-407F      | 1 825  | 1 674  | R-744       | 1     | 1     |
| R-408A      | 3 152  | 3 257  |             |       |       |
| R-410A      | 2 088  | 1 924  |             |       |       |
| R-417A      | 2 346  | 2 127  |             |       |       |
| R-422A      | 3 143  | 2 847  |             |       |       |

## 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 France UE » soit en France hexagonale et Territoires d'outre-mer soumis à la réglementation européenne.



source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

analyse\_froid&clim.xls/bilan

source Citepa / format CCNUCC - mars 2026

Graph\_2F1\_Conso\_np.xlsx/S

# 11.3 Méthodologie

Cette annexe rappelle le contexte de ce rapport et les grands principes méthodologiques. Pour plus de détails sur les approches et évolution des hypothèses sectorielles, se reporter aux précédentes éditions de ce rapport.

## 11.3.1 Introduction

### 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 ( $\text{CO}_2$ ), méthane ( $\text{CH}_4$ ), protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), les deux familles de substances halogénées, à savoir les hydrofluorocarbures (HFC) et perfluorocarbures (PFC), l'hexafluorure de soufre ( $\text{SF}_6$ ) ainsi que le trifluorure d'azote ( $\text{NF}_3$ ). Dans le cadre de la France, les périmètres couverts sont la Hexagonale et l'ensemble des territoires d'Outre-mer pour la CCNUCC ; la Hexagonale et les territoires d'Outre-mer inclus dans l'Union Européenne (UE) pour le Protocole de Kyoto.

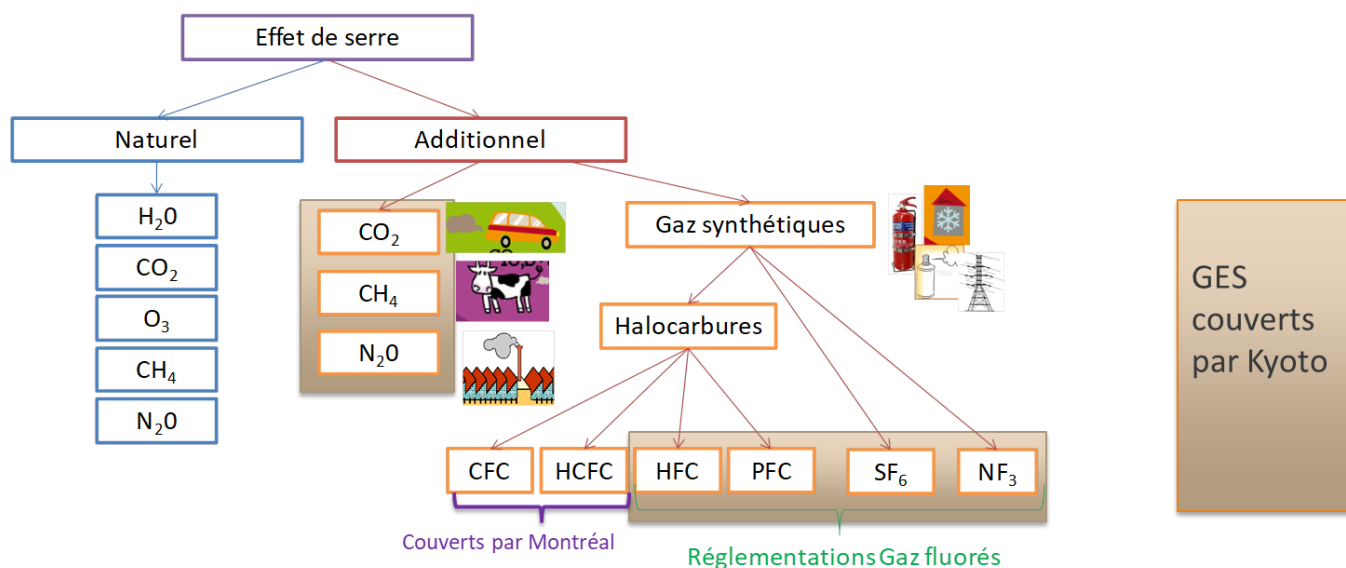


Figure 90 - Les gaz à effet de serre

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 91 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                                   |                                                          |                                             |                                                    |                                             |                                         |                        |                         |                          |             |               |                         |    |     |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------|---------------|-------------------------|----|-----|
| GREENHOUSE GAS SOURCE<br>AND SINK CATEGORIES | Gas (please specify)<br><br><i>One row per substance</i> | ACTIVITY DATA                               |                                                    |                                             | IMPLIED EMISSION FACTORS <sup>(1)</sup> |                        |                         | EMISSIONS <sup>(2)</sup> |             |               |                         |    |     |
|                                              |                                                          | Amount                                      |                                                    |                                             | Product<br>manufacturing<br>factor      | Product life<br>factor | Disposal loss<br>factor | From<br>manufacturing    | From stocks | From disposal | Recovery <sup>(3)</sup> |    |     |
|                                              |                                                          | Filled into new<br>manufactured<br>products | In operating<br>systems (average<br>annual stocks) | Remaining in products<br>at decommissioning |                                         |                        |                         |                          |             |               |                         |    |     |
|                                              |                                                          | (t)                                         | (t)                                                | (t)                                         |                                         |                        |                         |                          |             |               |                         | %  | (t) |
|                                              |                                                          | F. Product uses as substitutes for ODS      |                                                    |                                             |                                         |                        |                         |                          |             |               |                         |    |     |
| 1. Refrigeration and airconditioning         |                                                          |                                             |                                                    |                                             |                                         |                        |                         |                          |             |               |                         |    |     |
| Commercial refrigeration                     |                                                          |                                             |                                                    |                                             |                                         |                        |                         |                          |             |               |                         |    |     |
| HFC-32                                       | HFC-32                                                   | NO                                          | IE                                                 | NO                                          | NO                                      | IE                     | NO                      | NO                       | IE          | NO            | NO                      | NO |     |
| HFC-125                                      | HFC-125                                                  | NO                                          | IE                                                 | NO                                          | NO                                      | IE                     | NO                      | NO                       | IE          | NO            | NO                      | NO |     |
| HFC-134a                                     | HFC-134a                                                 | NO                                          | IE                                                 | NO                                          | NO                                      | IE                     | NO                      | NO                       | IE          | NO            | NO                      | NO |     |
| HFC-143a                                     | HFC-143a                                                 | NO                                          | IE                                                 | NO                                          | NO                                      | IE                     | NO                      | NO                       | IE          | NO            | NO                      | NO |     |
| C3F8                                         | C3F8                                                     | NO                                          | IE                                                 | NO                                          | NO                                      | IE                     | NO                      | NO                       | IE          | NO            | NO                      | NO |     |
| Domestic refrigeration                       |                                                          |                                             |                                                    |                                             |                                         |                        |                         |                          |             |               |                         |    |     |
| HFC-134a                                     | HFC-134a                                                 | NO                                          | 1,28                                               | NO                                          | NO                                      | 0,30                   | NO                      | NO                       | 0,00        | NO            | NO                      | NO |     |
| Industrial refrigeration                     |                                                          |                                             |                                                    |                                             |                                         |                        |                         |                          |             |               |                         |    |     |
| Transport refrigeration                      |                                                          |                                             |                                                    |                                             |                                         |                        |                         |                          |             |               |                         |    |     |
| Mobile air-conditioning                      |                                                          |                                             |                                                    |                                             |                                         |                        |                         |                          |             |               |                         |    |     |
| HFC-134a                                     | HFC-134a                                                 | NO                                          | 16,33                                              | NO                                          | NO                                      | 8,33                   | NO                      | NO                       | 1,36        | NO            | NO                      | NO |     |
| Stationary air-conditioning                  |                                                          |                                             |                                                    |                                             |                                         |                        |                         |                          |             |               |                         |    |     |
| HFC-32                                       | HFC-32                                                   | NO                                          | 0,57                                               | NO                                          | NO                                      | 100,00                 | NO                      | NO                       | 0,57        | NO            | NO                      | NO |     |
| HFC-125                                      | HFC-125                                                  | NO                                          | 0,62                                               | NO                                          | NO                                      | 100,00                 | NO                      | NO                       | 0,62        | NO            | NO                      | NO |     |
| HFC-134a                                     | HFC-134a                                                 | NO                                          | 0,34                                               | NO                                          | NO                                      | 100,00                 | NO                      | NO                       | 0,34        | NO            | NO                      | NO |     |
| HFC-143a                                     | HFC-143a                                                 | NO                                          | 0,09                                               | NO                                          | NO                                      | 100,00                 | NO                      | NO                       | 0,09        | NO            | NO                      | NO |     |
| C3F8                                         | C3F8                                                     | NO                                          | NO                                                 | NO                                          | NO                                      | NO                     | NO                      | NO                       | NO          | NO            | NO                      | NO |     |

Figure 91 – 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.

## 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. Chaque année, le rapport présente donc les résultats du calcul d'inventaire de 1990 à l'année n-1, n étant l'année d'édition du rapport, par famille de fluide frigorigène (CFC, HCFC, HFC, autres fluides non fluorés) et par fluide pour l'année n-2, les résultats de l'année n-1 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.

Le rapport comporte les éléments sur :

- l'approche utilisée pour le calcul des émissions de fluides frigorigènes,
- 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 l'année n-2 ; l'estimation provisoire pour l'année n-1, 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 (par exemple, les calculs 2023 ont été réalisés en 2024 et soumis puis validés en avril 2025).

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 hexagonale. 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.

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

| SUBSTANCE                                     | FORMULE<br>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.

## 11.3.2 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 61). De nouveaux sous-secteurs peuvent être pris en compte, dans un souci d'amélioration ou d'exhaustivité (décomposition de certains sous-secteurs ou ajouts).

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

| SECTEUR                      | SOUS-SECTEUR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Froid domestique             | Réfrigérateurs<br>Congélateurs<br>Sèche-linges thermodynamiques<br>Caves à vin                                                                                                                                                                                                                                              |
| Froid commercial             | Supermarchés<br>Hypermarchés<br>Petits commerces :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>équipements frigorifiques utilisant des groupes de condensation (chambre froide, par exemple)</li> <li>équipements utilisant des groupes hermétiques (armoire réfrigérée par exemple) et distributeurs automatiques</li> </ul> |
| Transport frigorifique       | Semi-remorques<br>Utilitaires<br>Conteneurs frigorifiques autonomes<br>Navires réfrigérés                                                                                                                                                                                                                                   |
| Froid industriel             | Agroalimentaire :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>viande</li> <li>lait</li> <li>brasserie et industrie du vin</li> <li>autres industries agroalimentaires</li> <li>entrepôts réfrigérés</li> </ul> Procédés chimiques<br>Procédés pharmaceutiques<br>Production caoutchouc<br>Patinoires<br>Tanks à lait          |
| Groupes refroidisseurs à eau | À compresseur centrifuge<br>De forte puissance (> 350 kW)<br>De moyenne puissance (50 à 350 kW)                                                                                                                                                                                                                             |

| SECTEUR                                                  | SOUS-SECTEUR                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                          | De faible puissance (< 50 kW)                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Climatisation / Chauffage - Air/Air                      | Climatiseur mobile ;<br>Climatiseur fenêtre (ou window)<br>PAC air/air Mono-split<br>PAC air/air Multi-split<br>Systèmes splits centralisés<br>PAC air/air DRV (Débit Réfrigérant Variable) ou VRV en anglais<br>Roof top<br>Armoires verticales (ou consoles) ;<br>Armoire spéciale (ou cabinet) |
| Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie | PAC Air/eau<br>PAC Eau/eau<br>PAC géothermiques (Sol/sol ou Sol/eau)<br>Chauffe-eaux thermodynamiques (CET)                                                                                                                                                                                       |
| Climatisation automobile                                 | Climatisation automobile (jusqu'à 5 t)<br>Véhicules industriels (camions de plus de 5 t)<br>Cars et bus<br>Transport ferroviaire (trains/TGV, tramways, RER et métros)                                                                                                                            |

## 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 ( $E_{\text{charge}}$ ) ;
- 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 ( $E_{\text{durée de vie}}$ ) ;
- des émissions de fin de vie, lors de la mise au rebut de l'équipement ( $E_{\text{fin de vie}}$ ) ;

- des émissions liées à la gestion des conteneurs de fluides frigorigènes, notamment aux talons de charge résiduels ( $E_{\text{conteneurs}}$ ).

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

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.

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

La Figure 92 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.

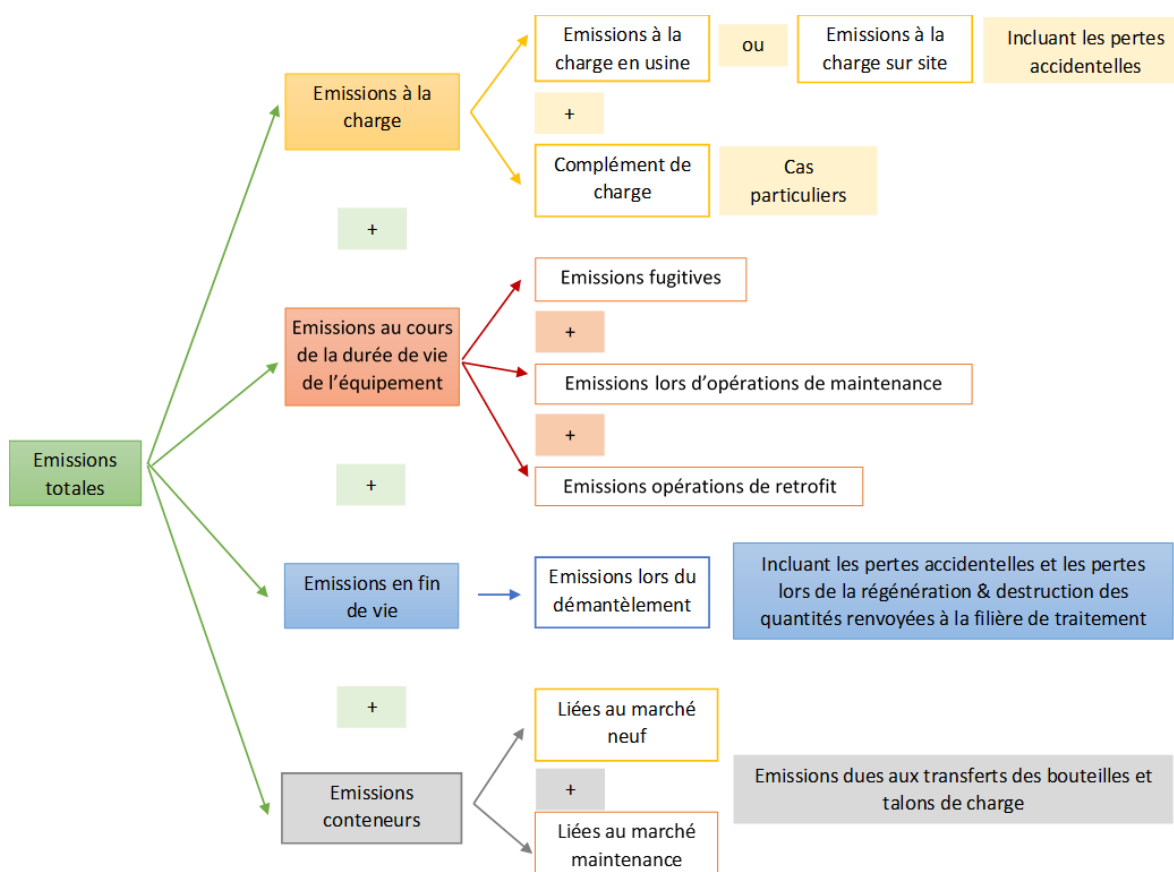


Figure 92 - Principes de la méthode de calcul des émissions de fluides frigorigènes

Les émissions sont calculées à partir :

- de paramètres permettant d'évaluer la « donnée d'activité » (Tableau 53) ;
- 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 93, Figure 94).

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.

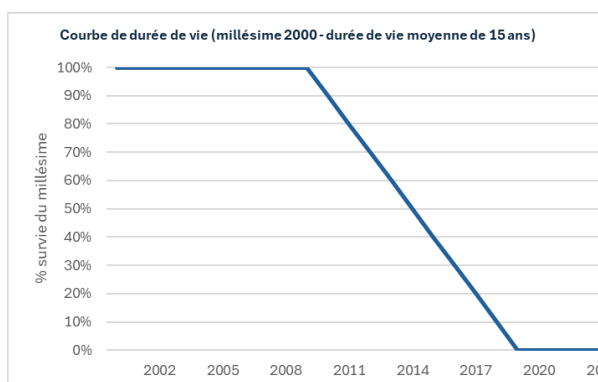


Figure 93 – Exemple d'une courbe de durée de vie pour un équipement de durée de vie moyenne de 15 ans

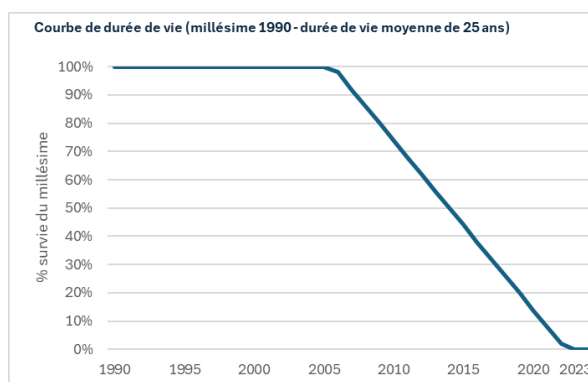


Figure 94 – Exemple d'une courbe de durée de vie pour un équipement de durée de vie moyenne de 25 ans

## Bilan des données nécessaires au calcul

L'ensemble des données d'activité et facteurs d'émissions récapitulé au Tableau 53, 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 53 – 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<br>& charge moyenne<br>& fluides utilisés                                             |
| Durée de vie    | Banque                                                          | Marchés d'équipements et fluides utilisés<br>& Charge moyenne<br>& durée de vie<br>Caractéristiques de la maintenance et du retrofit            |
| Fin de vie      | Quantités contenues dans les équipements arrivant en fin de vie | Marchés d'équipement<br>& Charge moyenne<br>& durée de vie<br>& 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.

# 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'Evolution 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 |

# Table des figures

|                                                                                                                                                                                                |    |                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 - Répartition des émissions de GES fluorés en 2024                                                                                                                                    | 6  | Figure 2 - Répartition sectorielle des gaz fluorés en 2024 | 6  |
| Figure 3 - Répartition sectorielle hors réfrigération et climatisation des gaz fluorés en 2024 (France hexagonale)                                                                             | 6  |                                                            |    |
| Figure 4 - Répartition des émissions de GES en CO <sub>2</sub> équivalent en France hexagonale & territoires d'Outre-mer inclus dans l'Union européenne. Source : Citepa, données Secten 2026. | 7  |                                                            |    |
| Figure 5 - Evolution des émissions de gaz fluorés (HFC, PFC, SF <sub>6</sub> , NF <sub>3</sub> ) en France de 1990 à 2024, (France hexagonale). Source : Citepa, rapport CNUCC 2026            | 7  |                                                            |    |
| Figure 6 - Evolution de la banque totale de fluides frigorigènes en France hexagonale                                                                                                          | 8  |                                                            |    |
| Figure 7 - Evolution de la banque de HFC par secteur en France hexagonale                                                                                                                      | 9  |                                                            |    |
| Figure 8 - Répartition sectorielle de la banque de HFC                                                                                                                                         | 9  | Figure 9 - Répartition sectorielle de la banque            | 9  |
| Figure 10 - Evolution des émissions de fluides frigorigènes en France hexagonale                                                                                                               | 11 |                                                            |    |
| Figure 11 - Evolution des émissions de HFC par secteur en France hexagonale                                                                                                                    | 11 |                                                            |    |
| Figure 12 - Répartition sectorielle des émissions de HFC (en tonnes) en France hexagonale                                                                                                      | 12 |                                                            |    |
| Figure 13 - Evolution, en tonnes de CO <sub>2</sub> équivalent (AR5), des émissions de fluides frigorigènes en France hexagonale                                                               | 13 |                                                            |    |
| Figure 14 - Evolution, en tonnes de CO <sub>2</sub> équivalent (AR5), des émissions de HFC par secteur en France hexagonale                                                                    | 13 |                                                            |    |
| Figure 15 - Répartition sectorielle des émissions CO <sub>2</sub> équivalentes (AR5) de HFC en France hexagonale                                                                               | 14 |                                                            |    |
| Figure 16 - Demande totale en fluides frigorigènes pour la France hexagonale                                                                                                                   | 15 |                                                            |    |
| Figure 17 - Demande totale en HFC par secteur pour la France hexagonale                                                                                                                        | 15 |                                                            |    |
| Figure 18 - Demande en fluides frigorigènes pour la production d'équipements préchargés en France hexagonale                                                                                   | 16 |                                                            |    |
| Figure 19 - Demande HFC par secteur pour la production d'équipements préchargés en France hexagonale                                                                                           | 17 |                                                            |    |
| Figure 20 - Demande en fluides frigorigènes pour la charge d'équipements sur site                                                                                                              | 17 |                                                            |    |
| Figure 21 - Demande en HFC par secteur pour la charge d'équipements sur site                                                                                                                   | 18 |                                                            |    |
| Figure 22 - Evolution de la demande estimée pour la maintenance des installations sur le parc d'équipements en France                                                                          | 18 |                                                            |    |
| Figure 23 - Evolution de la demande estimée en HFC pour la maintenance des installations sur le parc d'équipements en France                                                                   | 19 |                                                            |    |
| Figure 24 - Evolution de la demande estimée pour le retrofit des installations en France                                                                                                       | 19 |                                                            |    |
| Figure 25 - Evolution de la demande estimée en HFC par secteur pour le retrofit des installations en France                                                                                    | 20 |                                                            |    |
| Figure 26 - Comparaison de la demande totale calculée en HFC aux marchés déclarés au SNEFCCA                                                                                                   | 21 |                                                            |    |
| Figure 27 Comparaison de la demande calculée                                                                                                                                                   | 21 | Figure 28 Comparaison de la                                | 21 |

|                                                                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figure 29 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-134a                                                      | 22        |
| Figure 30 Comparaison de la demande calculée et du marché déclaré de R-404A                                                      | 22        |
| Figure 31 Comparaison des données sur la récupération en France hexagonale.....                                                  | 23        |
| Figure 32 Banque de fluide dans le secteur du froid domestique .....                                                             | 28        |
| Figure 33 Demande en fluides frigorigènes pour la production dans le secteur du froid domestique .....                           | 29        |
| Figure 34 Emissions totales du froid domestique en tonnes.....                                                                   | 29        |
| Figure 35 Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes du froid domestique (millions de tonnes).....                                   | 30        |
| Figure 36 Banque de fluide dans le secteur du froid commercial.....                                                              | 35        |
| Figure 37 Quantités totales mises sur le marché en France dans le secteur du froid commercial .....                              | 36        |
| Figure 38 Demande en fluides frigorigènes pour la charge sur site des équipements neufs pour le secteur du froid commercial..... | 36        |
| Figure 39 Quantités nécessaires à la production d'équipements en France dans le secteur du froid commercial .....                | 37        |
| Figure 40 Demande en fluides frigorigènes pour la maintenance du parc d'installations dans le secteur du froid commercial.....   | 38        |
| Figure 41 Demande en fluides frigorigènes pour le retrofit d'installations dans le secteur du froid commercial .....             | 38        |
| Figure 42 Emissions totales du froid commercial .....                                                                            | 39        |
| Figure 43 Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes du froid commercial (millions de tonnes).....                                   | 40        |
| Figure 44 - Banque de fluide dans le secteur du transport frigorifique .....                                                     | 45        |
| Figure 45 - Quantités nécessaires à la production dans le secteur du transport frigorifique .....                                | 46        |
| Figure 46 - Quantités nécessaires à la charge des équipements sur site pour le secteur du transport frigorifique .....           | 46        |
| Figure 47 - Demande pour la maintenance dans le secteur du transport frigorifique ....                                           | 47        |
| Figure 48 - Emissions totales du transport frigorifique .....                                                                    | 47        |
| Figure 49 - Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes du transport frigorifique (millions de tonnes)..                              | 48        |
| Figure 50 - Banque de fluide dans le secteur du froid industriel.....                                                            | 54        |
| <b>Figure 51 - Répartition sectorielle de la banque du froid industriel.....</b>                                                 | <b>54</b> |
| Figure 52 - Demande en fluides frigorigènes pour les installations neuves du froid industriel .....                              | 55        |
| Figure 53 - Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur du froid industriel                                           | 55        |
| Figure 54 - Demande pour le retrofit dans le secteur du froid industriel.....                                                    | 56        |
| Figure 55 - Emissions totales du froid industriel .....                                                                          | 57        |
| Figure 56 - Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes du froid industriel (millions de tonnes).....                                 | 58        |
| Figure 57 - Banque de fluide dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau .....                                              | 63        |
| Figure 58 Quantités nécessaires à la production des groupes refroidisseurs à eau (GRE) en France hexagonale. ....                | 64        |
| Figure 59 Demande pour la maintenance dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau (GRE) .....                               | 64        |
| Figure 60 Demande pour le retrofit dans le secteur des groupes refroidisseurs à eau (GRE).....                                   | 65        |
| Figure 61 Emissions totales du secteur des groupes refroidisseurs à eau (GRE) .....                                              | 66        |
| Figure 62 Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes des groupes refroidisseurs à eau (GRE) (millions de tonnes) .....               | 66        |

|                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 63 - Banque de fluide du secteur de la climatisation air/air .....                                                                           | 71  |
| Figure 64 - Répartition sectorielle de la banque de la climatisation air/air .....                                                                  | 71  |
| Figure 65 - Quantités nécessaires à la charge des équipements de la climatisation air/air .....                                                     | 72  |
| Figure 66 - Quantités nécessaires à la production dans le secteur de la climatisation air/air.....                                                  | 72  |
| Figure 67 - Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur de la climatisation air/air.....                                                 | 73  |
| Figure 68 - Quantités nécessaires à le retrofit dans le secteur de la climatisation air/air                                                         | 73  |
| Figure 69 - Emissions totales du secteur de la climatisation air/air .....                                                                          | 74  |
| Figure 70 - Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes de la climatisation air/air (millions de tonnes)                                                 | 75  |
| Figure 71 - Répartition sectorielle des émissions CO <sub>2</sub> équivalentes de la climatisation air/air.....                                     | 75  |
| Figure 72 - Banque de fluide dans le secteur de la climatisation / chauffage air/eau, eau/eau, géothermie .....                                     | 80  |
| Figure 73 Quantités requises à la production dans le secteur de la climatisation / chauffage air/eau, eau/eau, géothermie .....                     | 80  |
| Figure 74 Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur climatisation / chauffage air/eau, eau/eau, géothermie .....                       | 81  |
| Figure 75 Emissions totales du secteur de la climatisation / chauffage air/eau, eau/eau, géothermie .....                                           | 82  |
| Figure 76 Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes du secteur de la climatisation / chauffage air/eau, eau/eau, géothermie (millions de tonnes) ..... | 82  |
| Figure 77 - Banque de fluide dans le secteur de la climatisation embarquée.....                                                                     | 86  |
| Figure 78 - Quantités nécessaires à la production dans le secteur de la climatisation embarquée .....                                               | 87  |
| Figure 79 - Quantités nécessaires à la maintenance dans le secteur de la climatisation embarquée .....                                              | 88  |
| Figure 80 - Emissions totales du secteur de la climatisation embarquée.....                                                                         | 89  |
| Figure 81 Emissions CO <sub>2</sub> équivalentes de la climatisation embarquée (millions de tonnes) .....                                           | 89  |
| Figure 82 – Quantités par type de fluide frigorigène - BANQUE par secteur .....                                                                     | 91  |
| Figure 83 – Quantités par type de fluide frigorigène - CHARGE SUR SITE par secteur....                                                              | 92  |
| Figure 84 – Quantités par type de fluide frigorigène - PRODUCTION par secteur .....                                                                 | 93  |
| Figure 85 – Quantités totales mises sur le marché par type de fluide frigorigène par secteur .....                                                  | 94  |
| Figure 86 – Demande pour la maintenance par type de fluide frigorigène par secteur ..                                                               | 95  |
| Figure 87 – Demande pour le retrofit par type de fluide frigorigène par secteur .....                                                               | 95  |
| Figure 88 – EMISSIONS TOTALES par type de fluide frigorigène par secteur en tonnes ..                                                               | 96  |
| Figure 89 – EMISSIONS TOTALES par type de fluide frigorigène par secteur en EQUIVALENT CO <sub>2</sub> .....                                        | 97  |
| Figure 90 - Les gaz à effet de serre .....                                                                                                          | 101 |
| Figure 91 – Tables CRF (Common Reporting Format), mode de déclaration des émissions de HFC auprès de la CNUCC.....                                  | 103 |
| Figure 92 - Principes de la méthode de calcul des émissions de fluides frigorigènes...                                                              | 108 |
| Figure 93 – Exemple d’une courbe de durée de vie pour un équipement de durée de vie moyenne de 15 ans .....                                         | 109 |

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 94 – Exemple d’une courbe de durée de vie pour un équipement de durée de vie moyenne de 25 ans ..... | 109 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

# Table des tableaux

|                                                                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tableau 1 – Sous-secteurs des applications domestiques .....</b>                                                       | <b>25</b> |
| Tableau 2 - Caractéristiques fixes des sous-secteurs du froid domestique.....                                             | 25        |
| Tableau 3 - Hypothèses des sous-secteurs du froid domestique .....                                                        | 26        |
| Tableau 4 – Facteurs d’émission des équipements de froid domestique .....                                                 | 26        |
| Tableau 5 – Synthèse des résultats des équipements de froid domestique .....                                              | 27        |
| Tableau 6 – Sous-secteurs du froid commercial.....                                                                        | 32        |
| Tableau 7 – Catégories de magasin prises en compte dans les équipements des petits commerces .....                        | 32        |
| Tableau 8 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs du froid commercial .....                                            | 32        |
| Tableau 9 – Hypothèses du secteur du froid commercial .....                                                               | 33        |
| Tableau 10 – Facteurs d’émission des équipements de froid commercial .....                                                | 34        |
| Tableau 11 – Synthèse des résultats des équipements de froid commercial.....                                              | 34        |
| Tableau 12 – Sous-secteurs du transport frigorifique .....                                                                | 42        |
| Tableau 13 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs du transport frigorifique .....                                     | 42        |
| Tableau 14 – Hypothèses du secteur du transport frigorifique .....                                                        | 43        |
| Tableau 15 – Facteurs d’émission des équipements du transport frigorifique .....                                          | 43        |
| Tableau 16 – Synthèse des résultats des équipements du transport frigorifique .....                                       | 44        |
| Tableau 17 – Sous-secteurs du froid industriel.....                                                                       | 50        |
| Tableau 18 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs du froid industriel .....                                           | 50        |
| Tableau 19 – Hypothèses du secteur du froid industriel .....                                                              | 51        |
| Tableau 20 – Facteurs d’émission des équipements du froid industriel .....                                                | 52        |
| Tableau 21 – Synthèse des résultats des équipements du froid industriel .....                                             | 53        |
| Tableau 22 – Sous-secteurs des groupes refroidisseurs à eau .....                                                         | 60        |
| Tableau 23 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs des chillers .....                                                  | 60        |
| Tableau 24 – Hypothèses du secteur des chillers .....                                                                     | 61        |
| Tableau 25 – Facteurs d’émission des équipements des chillers .....                                                       | 61        |
| Tableau 26 – Synthèse des résultats des chillers .....                                                                    | 62        |
| Tableau 27 - Sous-secteurs de la Climatisation / Chauffage - Air/air .....                                                | 68        |
| Tableau 28 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs de la Climatisation / Chauffage - Air/air .....                     | 68        |
| Tableau 29 – Hypothèses secteur climatisation / chauffage - air/air .....                                                 | 69        |
| Tableau 30 – Facteurs d’émission des équipements de climatisation / chauffage - air/air .....                             | 69        |
| Tableau 31 – synthèse des résultats des équipements de climatisation / chauffage - air/air.....                           | 70        |
| Tableau 32 - Sous-secteurs de la Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie .....                           | 77        |
| Tableau 33 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs de la Climatisation / Chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie..... | 77        |
| Tableau 34 – Hypothèses secteur climatisation / chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie .....                            | 77        |
| Tableau 35 – Facteurs d’émission des équipements de climatisation / chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie.....         | 78        |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 36 – Synthèse des résultats des équipements de climatisation / chauffage - Air/Eau, Eau/Eau, Géothermie.....     | 79  |
| Tableau 37 - Sous-secteurs de la climatisation embarquée .....                                                           | 84  |
| Tableau 38 – Caractéristiques fixes des sous-secteurs de la climatisation embarquée                                      | 84  |
| Tableau 39 – Hypothèses secteur climatisation embarquée.....                                                             | 85  |
| Tableau 40 – Facteurs d’émission des équipements de la climatisation embarquée ....                                      | 85  |
| Tableau 41 – synthèse des résultats des équipements de la climatisation embarquée.                                       | 86  |
| Tableau 42 – Quantités de fluides frigorigènes - BANQUE par secteur.....                                                 | 91  |
| Tableau 43 – Quantités de fluides frigorigènes - CHARGE SUR SITE par secteur .....                                       | 92  |
| Tableau 44 – Quantités de fluides frigorigènes - PRODUCTION par secteur .....                                            | 92  |
| Tableau 45 – Quantités totales de fluides frigorigènes mises sur le marché par secteur                                   | 93  |
| Tableau 46 – Demande en fluides frigorigènes pour la maintenance par secteur .....                                       | 94  |
| Tableau 47 – Demande en fluides frigorigènes pour le retrofit par secteur .....                                          | 95  |
| Tableau 48 – EMISSIONS TOTALES de fluides frigorigènes par secteur en tonnes .....                                       | 96  |
| Tableau 49 – EMISSIONS TOTALES de fluides frigorigènes par secteur en EQUIVALENT CO <sub>2</sub> .....                   | 97  |
| Tableau 50 – PRG des fluides frigorigènes pris en compte dans le calcul .....                                            | 99  |
| Tableau 51 – Evolution des PRG des principaux CFC, HCFC et HFC utilisés en réfrigération et climatisation [Ref 5] .....  | 105 |
| Tableau 52 – Structure de la base de données des secteurs du froid et de la climatisation .....                          | 106 |
| Tableau 53 – Données d’activité nécessaires par application et par an pour le calcul des émissions de réfrigérants ..... | 110 |

# Références bibliographiques

Ref 1 – Rapport d’inventaire d’émissions de fluides frigorigènes pour la France hexagonale. 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-cls>

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 dénombrements 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 hexagonale. 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.

Ref 55 - Environmental Investigation Agency, *Fakes, Fraud and F-Gases: How Illegal Trade is Undermining the Global HFC Phase-Down*, 2026.



**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



42 rue de Paradis  
75010 Paris

01 44 83 68 83  
infos@citepa.org

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