

Inventaires des Emissions des fluides frigorigènes FRANCE – Année 2011

Stéphanie BARRAULT, Sabine SABA, CEP MINES-ParisTech, ARMINES
Avec la participation de Nelson Feukam

Denis CLODIC, EReIE

Décembre 2012

Table des matières

I. METHODE DE CALCUL	5
II. RESULTATS GLOBAUX	8
II.1 - Introduction.....	8
II.2 - Analyse du marché des fluides frigorigènes	9
II.2.1- Résultats 2011 de la demande totale calculée	9
II.2.2 - Répartition sectorielle de la demande des fluides frigorigènes.....	10
II.2.3 - Vérification croisée des déclarations de marchés de fluides frigorigènes et de la demande calculée par RIEP.....	10
II.3 – Résultats globaux détaillés inventaires 2011	15
II.3.1 - Demande en fluides frigorigènes pour les équipements neufs et le rétrofit des installations	15
II.3.2 - Demande pour la maintenance	17
II.3.3 - Banque des fluides frigorigènes	18
II.3.4 - Emissions des fluides frigorigènes	20
II.3.5 - Emissions équivalentes CO ₂ des fluides frigorigènes.....	21
II.3.6 - Récupération des fluides frigorigènes	23
III. LE FROID DOMESTIQUE	25
III.1 - Méthode de calcul.....	25
III.2 - Le froid domestique en France en 2011	27
III.2.1 - Contexte.....	27
III.2.2 - La production	27
III.2.3 - Les ventes	27
III.2.4 - Les fluides utilisés.....	27
III.2.5 - Evaluation de la charge.....	28
III.2.6 - La durée de vie	29
III.2.7 - Niveau d'émissions fugitives.....	30
III.2.8 - L'efficacité de récupération en fin de vie des équipements	30
III.3 - Résultats du calcul Froid domestique Inventaires 2011	31
III.3.1. La banque.....	31
III.3.2. La demande	31
III.3.3. Les émissions totales	32
III.3.4. Les émissions en équivalent CO ₂	32
III.3.5. Les quantités récupérées	32
III.4 - Références Froid Domestique	33
IV. LE FROID COMMERCIAL	34
IV.1 - Méthode de calcul et hypothèses	34
IV.1.1. Rappel de la structuration du secteur	34
IV.1.2. Résumé de la méthode.....	34
IV.2. Le froid commercial en France en 2011	37
IV.2.1. Evolution du parc.....	37
IV.2.2. Enquête de terrain 2012	38
IV.2.3. Hypothèses concernant les fluides utilisés	41
IV.2.4. Courbes de durée de vie.....	43
IV.2.5. Ratios de charge	43
IV.2.6. Taux d'émissions	44
IV.2.7. Efficacité de récupération	45
IV.3 - Résultats du calcul Froid commercial Inventaires 2011	46
IV.3.1 – La banque.....	46
IV.3.2 – La demande	46
IV.3.3 – Les émissions totales	47
IV.3.4 – Les émissions en équivalent CO ₂	48
IV.3.5 – Les quantités récupérées	48

IV.4.	Références froid commercial	49
V.	LES TRANSPORTS FRIGORIFIQUES.....	50
V.1-	Structuration du secteur	50
V.2-	Méthode de calcul et données nécessaires	50
V.3	Le transport frigorifique en France en 2011	52
V.3.1	Statistiques disponibles transport routier	52
V.3.2.	Statistiques disponibles transport maritime	53
V.3.3	Fluides utilisés	54
V.3.4	Charges de référence	54
V.3.5	Durée de vie	55
V.3.6	Taux d'émissions fugitives	55
V.3.7	Efficacité de récupération.....	56
V.4	Résultats Transports Frigorifiques – Inventaires 2011	56
V.4.1 –	La banque	56
V.4.2 –	La demande	56
V.4.3 –	Les émissions totales	57
V.4.4 –	Les émissions en équivalent CO ₂	58
V.4.5 –	Les quantités récupérées.....	58
V.5	Références Transports Frigorifiques	59
VI.	LE FROID INDUSTRIEL	60
VI.1	Structuration du secteur	60
VI.2	Données nécessaires au calcul	60
VI.3	Données Industries en France en 2011.....	62
VI.3.1	Production française ou parc.....	62
VI.3.2	Fluides utilisés	63
VI.3.3	Ratios ou charges	65
VI.3.4	Les courbes de durée de vie.....	66
VI.3.5	Les taux d'émissions	66
VI.3.6	L'efficacité de récupération.....	67
VI.4	Résultats Froid Industriel Inventaires 2011	67
VI.4.1 –	La banque.....	67
VI.4.2 –	La demande	68
VI.4.3 –	Les émissions totales	69
VI.4.4 –	Les émissions en équivalent CO ₂	69
VI.4.5 –	Les quantités récupérées	70
VI.5	Référence Froid Industriel.....	71
VII.	LES GROUPES REFROIDISSEURS D'EAU (GRE).....	72
VII.1	Structuration du secteur	72
VII.2	Données nécessaires au calcul	72
VII.3	Les GRE en France en 2011	74
VII.3.1	Le marché.....	74
VII.3.2	La production.....	74
VII.3.3	Les fluides utilisés	75
VII.3.4	La charge moyenne	75
VII.3.5	Courbes de durée de vie	76
VII.3.6	Niveaux d'émissions.....	77
VII.4	Résultats GRE – Inventaires 2011	78
VII.4.1 –	La banque	78
VII.4.2 –	La demande.....	78
VII.4.3 –	Les émissions totales.....	79
VII.4.4 –	Les émissions en équivalent CO ₂	80
VII.4.5 –	Les quantités récupérées	80
VII.5	Références GRE.....	81
VIII.	LA CLIMATISATION A AIR.....	82
VIII.1-	Structuration du secteur	82
VIII.2	- Données nécessaires au calcul	82
VIII.3	- La climatisation à air en 2011 en France	83
VIII.3.1 -	Le marché.....	83

VIII.3.2 - La production.....	83
VIII.3.3- Les fluides utilisés.....	84
VIII.3.4 - La charge moyenne.....	85
VIII.3.5 - Courbes de durée de vie	85
VIII.3.6 - Facteurs d'émissions.....	86
VIII.4 - Résultats de la climatisation à air – Inventaires 2011	86
VIII.4.1 – La banque	86
VIII.4.2 – La demande.....	87
VIII.4.3 – Les émissions totales.....	87
VIII.4.4 – Les émissions en équivalent CO ₂	88
VIII.4.5 – Les quantités récupérées	88
VIII.5 – Références Climatisation à Air.....	89
IX. LES POMPES A CHALEUR RESIDENTIELLES (PAC)	90
IX.1 Structuration du secteur	90
IX.2 Données nécessaires au calcul	90
IX.3 - Les PAC en France en 2011	90
IX.3.1 - Le marché et la production	90
IX.3.2 - Les fluides utilisés.....	91
IX.3.3 - La charge moyenne	91
IX.3.4 - Courbe de durée de vie	92
IX.3.5 Facteurs d'émissions.....	92
IX.4 Résultats des PAC – Inventaires 2011	93
4.1 – La banque	93
4.2 – La demande.....	93
4.3 – Les émissions totales.....	94
4.4 – Les émissions en équivalent CO ₂	95
4.5 – Les quantités récupérées	95
IX.5- Références PAC	95
X. LA CLIMATISATION EMBARQUEE	96
X.1 Structuration du secteur	96
X.2 Données nécessaires au calcul	96
X.3 La climatisation embarquée en France en 2011	98
X.3.1 La production et le marché	98
X.3.2 La répartition annuelle des fluides.....	99
X.3.3 La charge moyenne	99
X.3.4 La courbe de durée de vie.....	99
X.3.5 L'efficacité de récupération.....	100
X.3.6 Le taux d'émissions.....	101
X.4 Résultats de la climatisation embarquée – Inventaires 2011	102
X.4.1 – La banque	102
4.2 – La demande.....	102
4.3 – Les émissions totales.....	103
4.4 – Les émissions en équivalent CO ₂	103
4.5 – Les quantités récupérées	104
X.5 Référence climatisation embarquée	104
XI. Référence générales	106
XII. ANNEXES.....	109
Annexe 1 – GWP (Global Warming Potential) utilisés pour le calcul des émissions en équivalents CO ₂ (selon les 2 ^{ème} et le 4 ^{ème} Rapports d'évaluation).....	109
Annexe 2 : Questionnaire envoyé aux hypermarchés Auchan dans le cadre de l'enquête de terrain en froid commercial	110
Annexe 3 : Relevé de visite en petits commerces dans le cadre de l'enquête de terrain en froid commercial	111
Annexe 4 : Détermination de la charge des équipements agroalimentaire	112
Annexe 5 - Principes de la méthode de calcul du secteur Climatisation automobile	113
Décomposition du taux d'émission et facteur de dégradation.....	113
Pourcentage de charge émise avant une opération de maintenance	113
Calcul des émissions de fin de vie.....	114

I. METHODE DE CALCUL

La méthode développée dans le code de calcul RIEP (Refrigerant Inventories and Emissions Previsions) pour le calcul des inventaires de fluides frigorigènes est basée sur une approche ascendante (bottom-up) qui reconstitue la banque de fluides frigorigènes (Figure I.1), en se basant sur la description du parc d'équipements, et qui fixe les facteurs d'émissions par secteur d'application et type de technologie.

La « banque » est formée des quantités de fluides frigorigènes dans l'ensemble des équipements présents sur le sol français, quel que soit leur âge, représentant *le parc*. Le parc d'équipements peut être reconstitué par la somme des marchés sur la durée de vie moyenne des équipements.

Huit domaines d'application sont décrits et sont décomposés en 41 sous-secteurs. Les résultats sont présentés selon ces huit domaines : froid domestique, froid commercial, transports frigorifiques, industries (agro-alimentaires, chimiques et pharmaceutiques), la climatisation à air, les groupes refroidisseurs d'eau (GRE ou chillers), les pompes à chaleur résidentielles (PAC) et la climatisation embarquée. Bien que la méthode soit générale, des traitements particuliers sont appliqués à certains secteurs, du fait de leurs spécificités ou du type de données disponibles. Pour la climatisation automobile, une méthode spécifique a été développée afin de prendre en compte la dégradation du taux d'émissions au cours de la vie du véhicule et les particularités de la maintenance (annexe 4).

Deux familles de données sont à la base de la méthode de calcul : les données d'activités et les facteurs d'émissions. Cette méthode de calcul est la méthode de calcul dite Tier 2a (Niveau 2a) telle que définie dans le document méthodologique IPCC 2006 [IPC06].

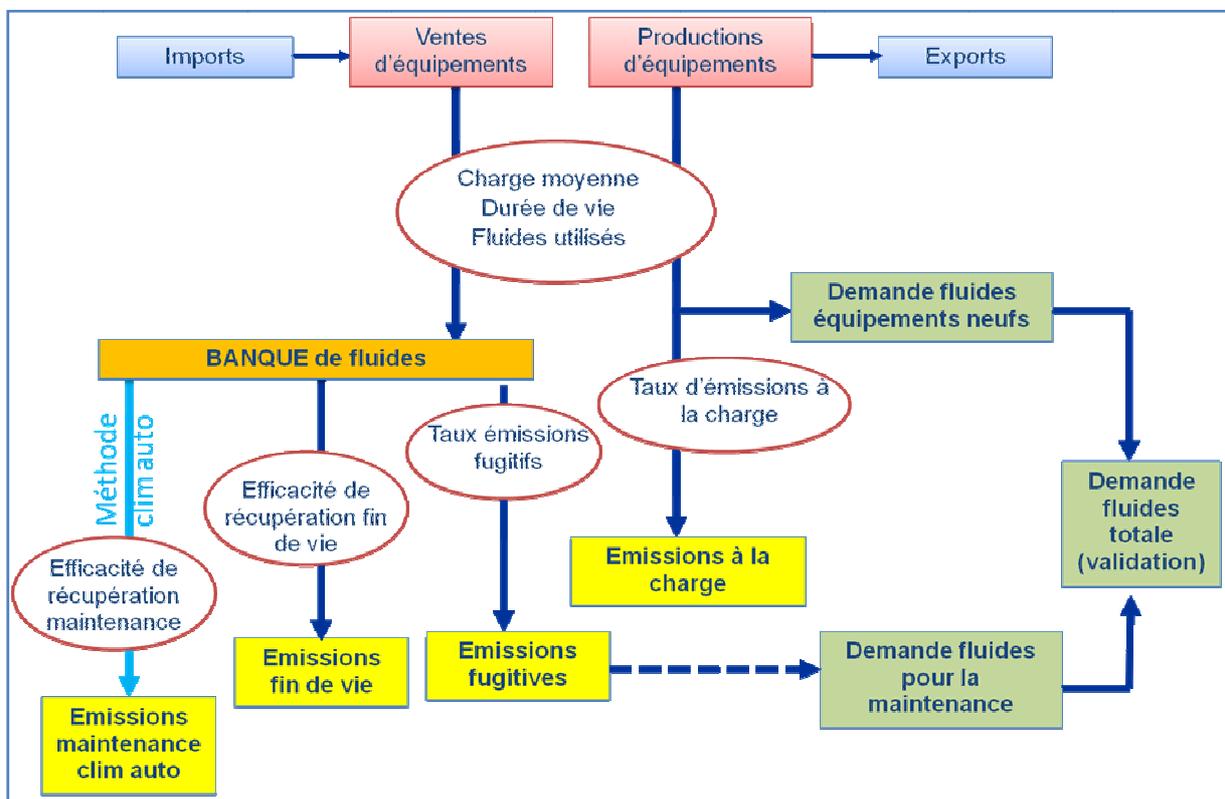


Figure I.1 - Méthode de calcul

Les données sur les activités englobent les «données sur l'ampleur d'activités humaines génératrices d'émissions ou d'absorptions se produisant pendant une durée donnée» [IPC06]. Pour les fluides frigorigènes, les données d'activités sont les ventes annuelles d'équipements neufs en distinguant équipements importés et équipements produits et chargés et vendus en France ou exportés. La durée de vie de l'équipement, le type de fluide frigorigène et la masse chargée pouvant évoluer selon les années.

Les facteurs d'émissions doivent prendre en compte les émissions à la charge d'un équipement, les fuites ou émissions fugitives au cours de l'utilisation de l'équipement, les ruptures et accidents, les émissions associées aux opérations de maintenance ainsi que les émissions en fin de vie (Figure I.2).

Les émissions à la charge sont calculées de manière homogène pour toutes les applications, estimées à 5 % des quantités chargées dans les équipements produits en France. Il est considéré que le même type d'émissions a lieu lors de la recharge à la maintenance ou au rétrofit.

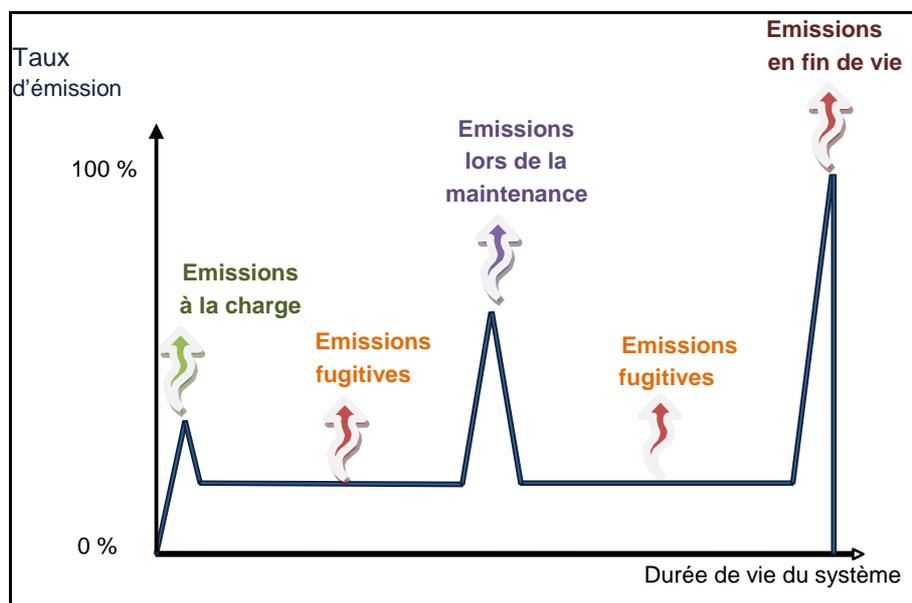


Figure I.2 – Emissions au cours de la vie de l'équipement

La « banque » de fluides frigorigènes est constituée des quantités des divers fluides frigorigènes stockées dans les équipements installés sur le sol français. Elle est calculée par le cumul, sur la durée de vie de l'équipement, des marchés annuels de fluides calculés à partir des ventes d'équipements et de leur charge moyenne. A cette banque sont appliqués les taux d'émission intégrant les phases du cycle de vie de l'équipement et le type de technologie qui permettent d'évaluer les émissions fugitives.

Le calcul des émissions en fin de vie des équipements dépend de l'efficacité de récupération du secteur ou du sous-secteur considéré et prend désormais en compte la charge nominale des équipements réduite des émissions fugitives de l'année en cours afin de ne pas faire de double-comptage des émissions. Cette approche est réaliste pour les équipements subissant une opération de maintenance annuelle. Pour les autres, elle est simplifiée, car la charge résiduelle à la fin de la vie de l'équipement dépend des fréquences de maintenance. Pour la climatisation automobile, le code de calcul spécifique développé permet bien de prendre en compte la variation de la charge au cours de la durée de vie de l'équipement.

Lors d'une opération de rétrofit, les émissions sont calculées en supposant :

- Qu'il se produit des émissions de type « fin de vie » pour le fluide initial ;
- Qu'il se produit des émissions de type « à la charge » pour le nouveau fluide chargé dans l'équipement ;

- Les facteurs d'émissions sont appliqués à la part de la banque du secteur qui est rétrofitée, et ce pour chaque fluide.

La méthode de calcul des opérations de rétrofit est une approche simplifiée. L'équipement en lui-même n'est pas pris en compte, les hypothèses concernent la part de la banque qui est modifiée par des rétrofits ou renouvellements d'installation. Ce pourcentage annuel est reporté sur les marchés d'équipements des d dernières années par rapport à l'année en cours, d étant la durée de vie moyenne de l'équipement.

Il convient de souligner que la méthode de rétrofit ne prend pas en compte la prolongation de la durée de vie de l'équipement impactée généralement par ce type d'opération. En ne modifiant pas la durée de vie de l'équipement, la méthode peut conduire à une sous-estimation de la banque et à une surestimation des émissions de fluides « de rétrofit » puisque des émissions de type « fin de vie » peuvent se produire peu de temps après le rétrofit, à la place d'émissions fugitives.

Les émissions liées aux « talons de charge » sont désormais incluses dans les émissions totales : elles correspondent aux quantités perdues lors de la récupération des quantités restant dans les bouteilles de fluides retournées aux distributeurs, cette valeur est prise par défaut à 3% de la demande totale.

Pour le secteur de la climatisation automobile, le calcul des émissions est réalisé par un modèle plus détaillé [SAB09] qui permet la détermination de la fréquence de passage à la maintenance des véhicules d'un millésime (année de mise sur le marché) donné, des quantités consommées pour la recharge, des quantités émises et des quantités de fluides se trouvant dans un véhicule arrivant en fin de vie. Une distinction entre les émissions régulières (fuites) et irrégulières (accidents) est également faite, permettant l'intégration d'un modèle de dégradation de l'étanchéité avec l'âge d'une boucle de climatisation automobile, phénomène observé dans plusieurs études réalisées au CEP ([SOU08]).

Enfin le code de calcul RIEP et les bases de données permettent le calcul des quantités de fluides frigorigènes chargées dans les équipements produits en France à partir des productions d'équipements. Les quantités nécessaires à la maintenance sont également calculées, le total constituant ainsi la demande totale en fluides frigorigènes en France (Figure I.1). La comparaison de cette demande de fluides frigorigènes reconstituée dans RIEP (par secteur d'application) avec les chiffres de consommation nationale déclarés par les producteurs et les distributeurs auprès du SNEFCCA [ROY12] (tous secteurs confondus), et ce pour chaque type de fluide, constitue la validation globale des résultats de la méthode « bottom-up ». Depuis 2010, les déclarations faites auprès de l'Observatoire des Fluides Frigorigènes de l'ADEME sont représentatives. L'étape de validation est désormais étendue aux déclarations à l'Observatoire des Fluides Frigorigènes de l'ADEME [OFF12].

Dans cette édition des inventaires 2011, le rapport a été restructuré de façon à décrire la méthode et les spécificités propres à chaque secteur, les hypothèses puis à présenter les résultats du secteur considéré. Les résultats globaux et l'étape de comparaison avec les marchés déclarés restent présentés dans le premier chapitre.

II. RESULTATS GLOBAUX

II.1 - Introduction

Ce rapport présente les résultats de l'étude d'inventaires de fluides frigorigènes pour la France métropolitaine en 2011. Dans ce chapitre, sont présentés les résultats globaux, tous secteurs confondus, des calculs :

- de la demande en fluides frigorigènes pour les équipements neufs,
- de la demande en fluides frigorigènes pour la maintenance,
- des « banques » ou quantités de fluides frigorigènes contenues dans les installations formant le parc,
- des émissions de fluides frigorigènes par famille de fluides (CFC, HCFC, HFC et autres) et par fluide
- des émissions totales de fluides frigorigènes,
- des émissions exprimées en équivalent CO₂ (selon les valeurs de GWP du 2^{ème} Rapport d'évaluation du GIEC qui sont les valeurs déclarées auprès de l'UNFCCC)
- et des quantités de fluides récupérées pour 2011.

La comparaison de la demande en fluides frigorigènes reconstituée par RIEP aux marchés déclarés par les producteurs et distributeurs de fluides frigorigènes au SNEFCCA [SNE12] ainsi qu'aux quantités mises sur le marché par les déclarants à l'Observatoire des Fluides Frigorigènes (OFF) de l'ADEME [OFF12] est établie. Cette étape constitue le point de validation global du calcul des émissions.

Il convient de noter que l'estimation donnée par RIEP de la demande en HCFC correspond aux besoins des installations en fluides frigorigènes pour leur maintenance en fonction du nombre d'installations présentes sur le parc, celles-ci dépendant des hypothèses de durée de vie, des niveaux d'émissions et du nombre annuel de rétrofits. La demande estimée peut être supérieure au marché du fait de stocks effectués préalablement, ou d'un besoin non satisfait pour la maintenance.

Les quantités récupérées calculées par RIEP sont établies en fonction des hypothèses de niveaux d'émissions et de l'efficacité de récupération résultant de l'enquête dans chaque filière, mais ne tiennent pas compte des éventuelles quantités réutilisées directement dans les installations d'un même détenteur. Dans ce contexte, les comparaisons avec les quantités déclarées, notamment de HCFC, sont délicates.

II.2 - Analyse du marché des fluides frigorigènes

II.2.1- Résultats 2011 de la demande totale calculée

La demande totale est estimée à 9 936 t par RIEP en 2011 (Tableau II.1). Elle est constituée à 82 % de HFC et à 13 % de HCFC. Le besoin pour la maintenance des installations au HCFC-22 est estimé à 1 320 t environ en 2011, en baisse de 19 % par rapport à l'année 2010 : depuis le 1^{er} janvier 2010, il ne peut être assuré que par du fluide recyclé et récupéré d'une installation en fin de vie d'un même détenteur.

Tableau II.1 - totale de fluides frigorigènes calculée en 2011

Total France métropole		Demande totale 2011	
CFC	R-11	-	0,66
	R-12	1	
	R-502	-	
HCFC	R-22	1 274	1 322
	R-408A	37	
	R-401A	11	
HFC	R-134a	3 462	8 161
	R-404A	2 325	
	R-407C	737	
	R-410A	1 054	
	R-507	111	
	R-417A et autres fluides remplacement	474	
Autres	R-600a	0	451
	R-290	-	
	R-717	425	
	R-744	26	
Total (tonnes)		9 936	

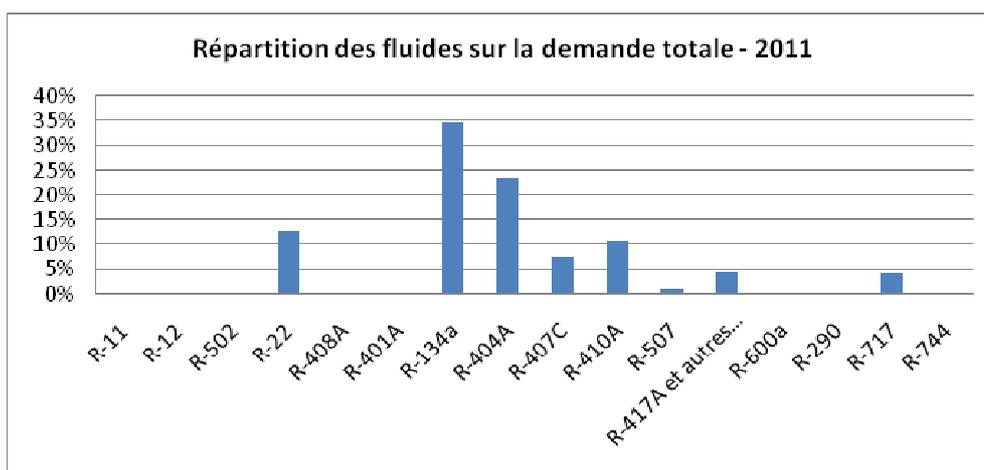


Figure II.1 - Répartition des fluides sur la demande totale calculée en 2011

La demande totale est dominée par celle du HFC-134a à 35 % (Figure II.1), son niveau est stable sur 2010-2011. La demande en R-404A est également stable sur 2010-2011 : la part dédiée à la maintenance des installations est toujours dominante et représente 63 % de sa demande en 2011 (contre 60 % en 2010).

Le marché du R-410A est lui en nette croissance en 2011 avec la reprise des ventes des équipements de climatisation. En revanche, le marché du R-407C continue à décroître depuis 2007.

II.2.2 - Répartition sectorielle de la demande des fluides frigorigènes

La demande totale en fluides frigorigènes est depuis plusieurs années dominée par les secteurs du froid commercial et industriel. Cependant, en 2011, la part du froid commercial se trouve réduite à 18 % seulement car peu de nouvelles surfaces ont été créées en hypermarchés contrairement à 2010. De plus, la réduction des charges corrigées dans le secteur des petits commerces et la tendance à la décroissance des niveaux d'émissions jouent également.

La demande pour le froid industriel occupe une part importante liée à la période des rétrofits des installations aux HCFC, qui se confirme en 2011.

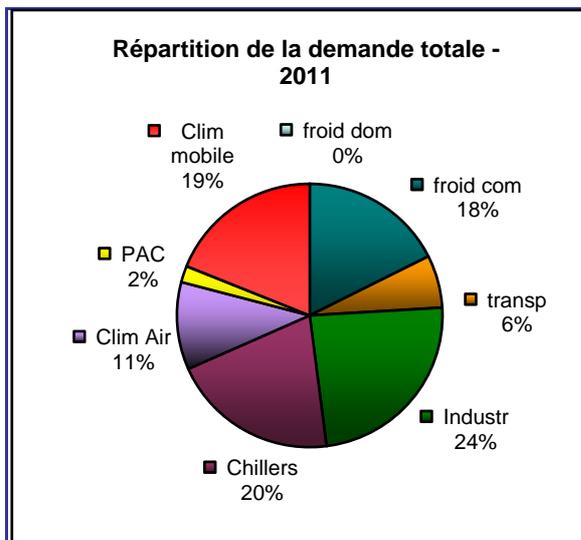


Figure II.2 - Répartition sectorielle de la demande totale de fluides frigorigènes

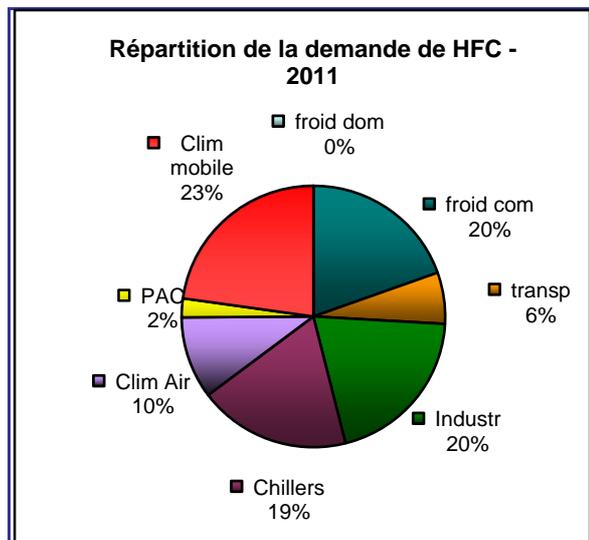


Figure II.3 - Répartition sectorielle de la demande de HFC

La climatisation automobile se maintient au troisième rang de la demande totale, l'estimation du marché pour la maintenance est confirmée à la baisse par le modèle de calcul, du fait des taux d'émissions bas des véhicules mis sur le marché après 2004. Elle domine cependant la demande de HFC (Figure I.3) puisque le secteur de la climatisation automobile n'utilise que le HFC-134a contrairement au froid industriel, dont une forte part de la demande est formée par l'ammoniac et au froid commercial, dont le besoin en HCFC est encore élevé et comptabilisé dans la demande totale (Figure I.2).

II.2.3 - Vérification croisée des déclarations de marchés de fluides frigorigènes et de la demande calculée par RIEP

En 2011, le marché total de fluides frigorigènes (hors ammoniac) déclaré au SNEFCCA est de 9 665 t contre 9 485 t estimées par RIEP, soit une sous-estimation de 2 %. Cependant, la demande totale estimée par RIEP inclut le besoin pour la maintenance des installations aux HCFC (1 320 t) alors que le marché SNEFCCA ne tient compte que des ventes de fluides régénérés (535 t).

La Figure II.4 établit la comparaison entre les marchés déclarés par les producteurs au SNEFCCA et la demande évaluée par RIEP, de 2000 à 2011. Elle montre la cohérence globale, sur 12 ans de la reconstitution de la demande par RIEP, l'écart maximum, de 21 % étant observé en 2009, année pour laquelle un stockage probable des HCFC explique le niveau élevé du marché déclaré.

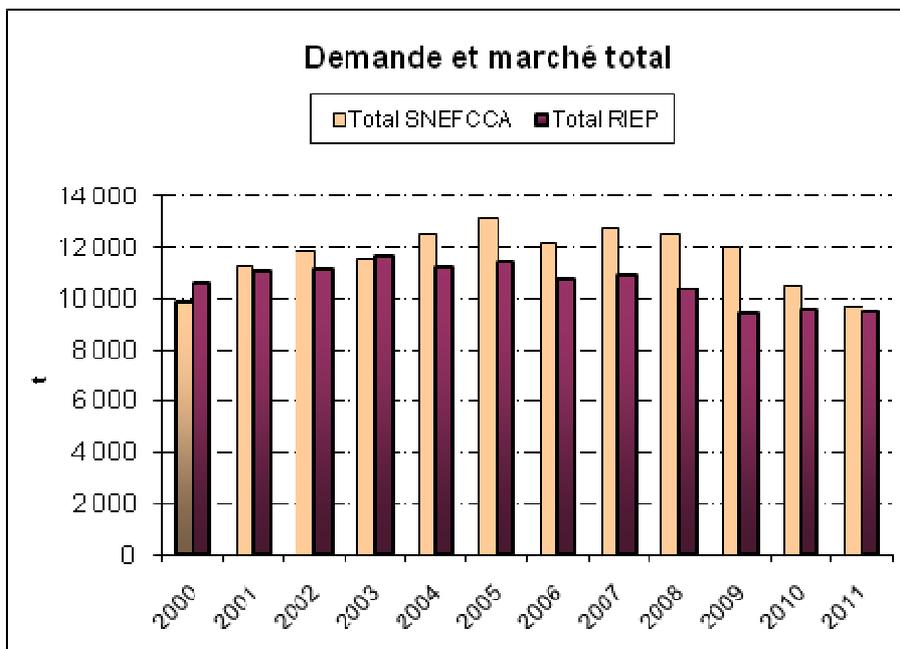


Figure II.4 - Comparaison des marchés déclarés (SNEFCCA) et des demandes calculées (RIEP)

La Figure II.5 compare, dans le cas des HCFC, les données SNEFCCA à la demande reconstituée par RIEP de 2000 à 2011 et, de 2008 à 2011, aux déclarations à l'OFF également. La Figure II.6 présente les mêmes comparaisons pour le marché total de HFC.

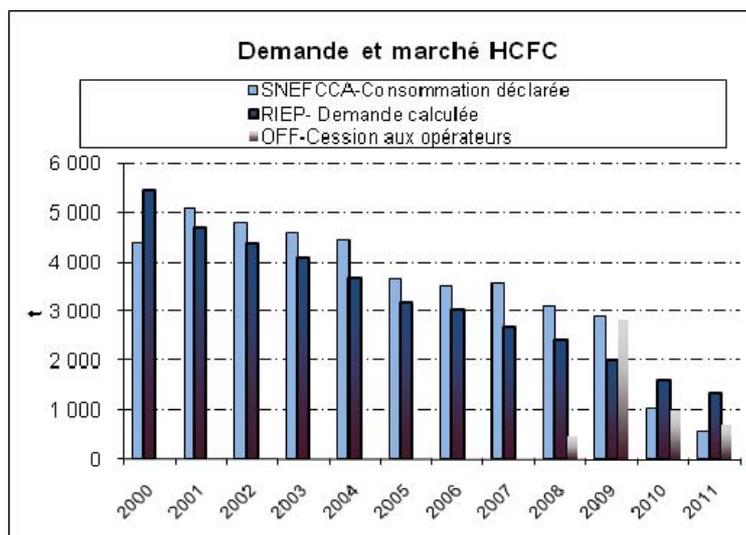


Figure II.5 - Marchés déclarés et demandes calculées de HCFC

La demande de HCFC était historiquement sous-évaluée par RIEP depuis 2001. La différence observée sur l'historique pourrait être attribuée à une sous-estimation des taux d'émissions fugitives des installations. Depuis 2009, les comparaisons de la demande et du marché de HCFC sont délicates étant donné le contexte d'interdiction des HCFC vierges pour la maintenance des installations qui peut conduire à des stockages ou cessions non conformes à la réglementation. De plus, une partie des installations aux HCFC pourrait être conservée sans être entretenue, faute de fluide. La demande RIEP évalue seulement le besoin de fluides frigorigènes en fonction de la banque restante estimée. Selon l'OFF, les quantités de HCFC déclarées cédées aux les opérateurs sont de 995 t en 2010 et de 696 en 2011 [OFF12], ce qui est cohérent avec les données SNEFCCA.

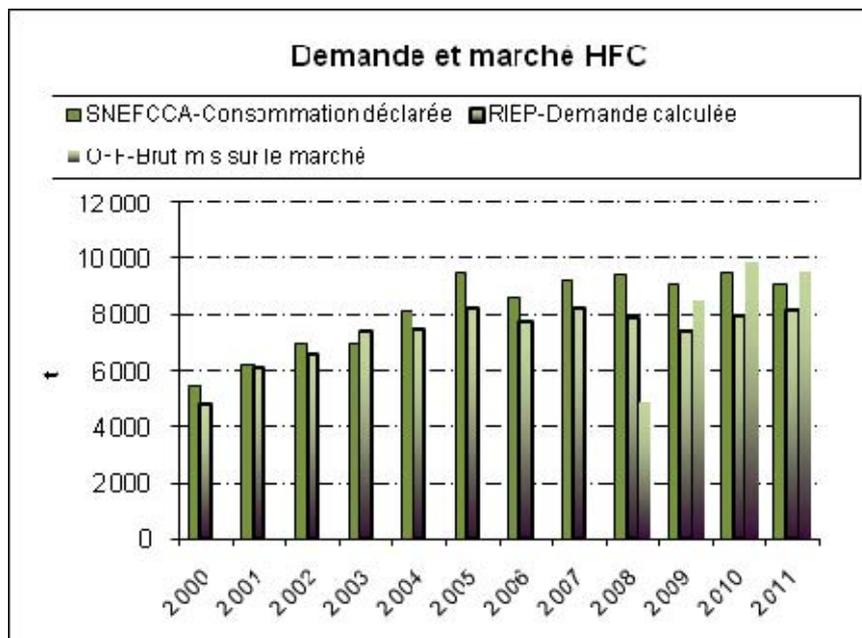


Figure II.6 - Marchés déclarés et demandes calculées de HFC

Depuis 2004, la demande de HFC calculée sous-estime le marché déclaré, les écarts variant de -8 à -18 % selon les années. De façon cumulée sur la période 2000-2011, l'écart entre la demande de HFC calculée par RIEP et le marché déclaré au SNEFCCA est de 10 %. En 2011, la demande de HFC est évaluée à 8 162 tonnes, soit 11 % de moins que les marchés déclarés par les distributeurs de fluides frigorigènes au SNEFCCA et 15 % de moins que les déclarations à l'OFF.

La demande calculée correspond aux quantités de fluides frigorigènes nécessaires à la production d'équipements en France et à la maintenance des équipements constituant le parc français. La sous-estimation de la demande en HFC peut donc être liée à :

- la sous-estimation de la production et la charge d'équipements neufs sur le territoire. Dans les secteurs du transport frigorifique routier, de la climatisation à air, des PAC et des GRE la production est estimée à partir de tendances données ponctuellement par certains constructeurs qui peuvent conduire à des écarts. De même, en froid commercial, le marché neuf est estimé à partir de l'évolution du parc qui est marquée par une forte incertitude dans le cas des petits commerces ;
- à la surestimation des durées de vie des équipements ou à sa variabilité sur les dernières années d'inventaires ;
- à la sous-estimation des taux d'émissions, ce qui a un impact sur le calcul de la demande pour la maintenance.

Les comparaisons avec les demandes sont présentées fluide par fluide sur les figures suivantes et permettent d'identifier les fluides sur lesquels les écarts sont les plus importants et les secteurs associés.

Le marché de HFC-134a est bien approché par la demande calculée (Figure II.7). Les écarts les plus importants, en 2005 et 2009 s'expliquent par le stockage de fluides frigorigènes par des opérateurs :

- en 2005, à la suite de l'arrêt d'une usine de production en 2004 ;
- en 2009, pour ceux qui ne possédaient pas leur attestation de capacité en juillet de la même année.

En 2011, la demande de HFC-134a, estimée à 3 462 t par RIEP, est du même ordre que les déclarations OFF et SNEFCCA.

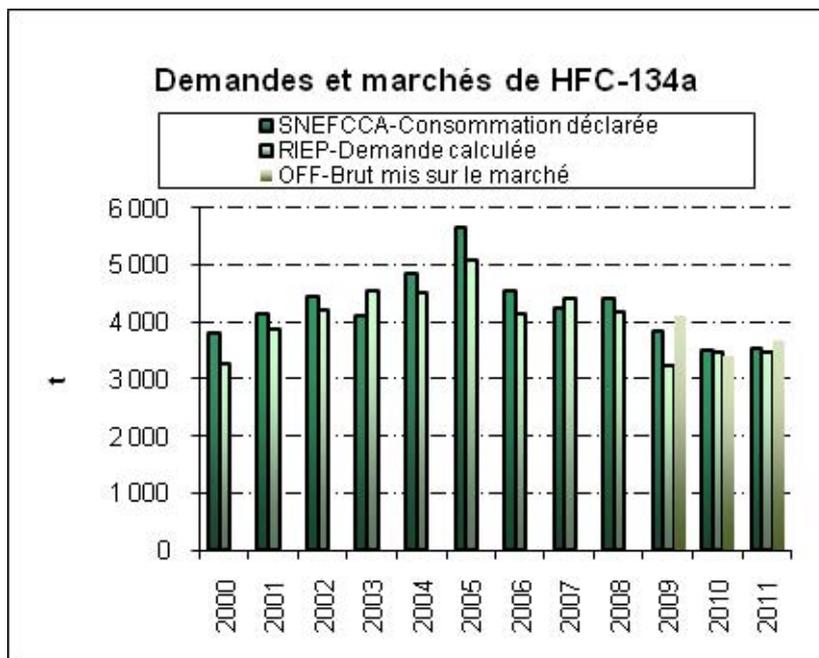


Figure II.7- Comparaison de la demande estimée et des marchés déclarés de HFC-134a de 2000 à 2011

La Figure II.8 présente la comparaison de la demande cumulée de R-404A et R-507 aux marchés déclarés au SNEFCCA et à l'OFF. La tendance remarquée dans les précédents inventaires se confirme : la demande de R-404A est à nouveau sous-estimée en 2011. L'écart est de 28 % avec la déclaration SNEFCCA et de 31 % avec celle à l'OFF.

L'enquête de terrain menée cette année dans les petits commerces a conduit à une réduction du niveau de charge des équipements sur l'historique qui accentue les écarts entre la demande calculée et le marché déclaré de R-404A. De même, les communications des hypermarchés ont montré que les ratios de charge sur le parc sont en forte réduction du fait de la forte pénétration des systèmes indirects et cascade sur le marché neuf, très accentuée en 2011. Etant donné que le R-404A est fortement utilisé en froid commercial et en agroalimentaire, les deux seules explications possibles des écarts sont donc :

- soit une sous-estimation du nombre d'équipements neufs mis sur le marché, par une sous-estimation du nombre de magasins en froid commercial (cas des petits commerces, car les données super et hypermarchés sont basées sur des statistiques INSEE depuis plus de 10 ans) ou de la durée de vie des équipements ;
- soit une sous-estimation des niveaux d'émissions depuis plusieurs années en supermarchés, hypermarchés et froid industriel. En effet, si les résultats d'enquête tendent à montrer que les consommations pour la maintenance des installations décroissent en moyenne, ils montrent également que certains hypermarchés peuvent perdre quasiment la totalité de leur charge en un an et qu'un tiers des magasins ayant répondu à l'enquête ont un taux d'émissions supérieur à 30 % en 2011 (Figure IV.2, page 40). De plus, il n'a jamais pu être obtenu d'informations sur l'ensemble du parc français.

Lors des inventaires 2011, une simulation avait en effet montré qu'une augmentation des taux d'émissions de 20 % en super et hypermarchés réduisait les écarts à 19% entre le marché et la demande de R-404A/R507. Le seul moyen de réellement statuer entre ces deux hypothèses serait de connaître le marché de R-404A dédié à la maintenance des installations de froid commercial.

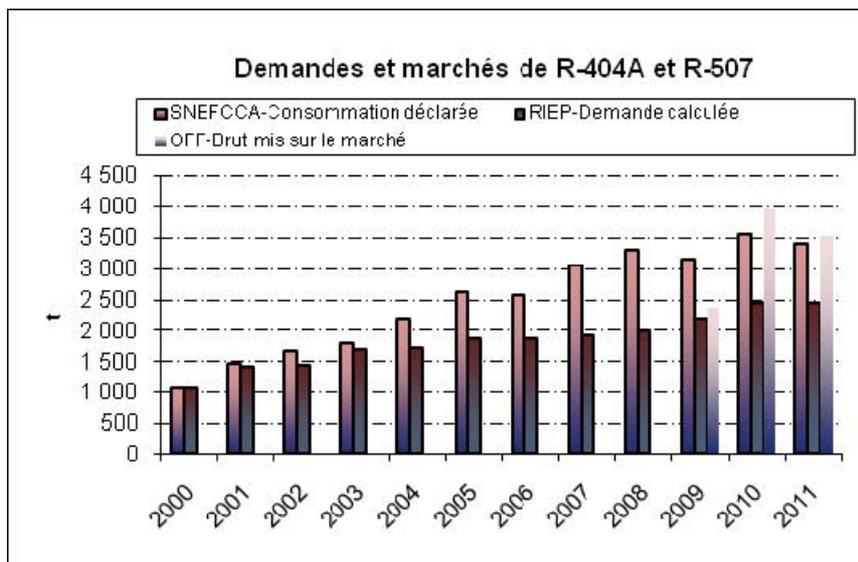


Figure II.8 - Comparaison de la demande estimée au marché déclaré de R-404A et de R-507A cumulés de 2000 à 2011

Les niveaux de demande calculée pour les autres fluides de type HFC (Figure II.9 et Figure II.10) sont assez bien représentés par le calcul RIEP. Le R-407C et le R-410A sont principalement utilisés dans le secteur de la climatisation à air et des GRE, en 2011 :

- 87 % de la demande de R-407C est attribuable aux secteurs de la climatisation à air (28 %), des PAC (4 %) et des GRE (55 %)
- 97 % de la demande de R-410A est attribuable aux secteurs de la climatisation à air (53 %), des PAC (14 %) et des GRE (30 %)

Dans le cadre de ces inventaires, le secteur des chillers a été fortement révisé à la suite de communications détaillées de Clim'Info et d'Uniclimate sur les marchés de chillers volumétriques par fine gamme de puissance de 2005 à 2011. Les marchés d'équipements reconstitués pour les trois gammes de puissances considérées par RIEP ont été corrigés et la puissance moyenne de la gamme haute a été réévaluée et appliquée à l'historique. Ces corrections impactent significativement les demandes calculées de R-407C et R-410A :

- ➔ L'écart cumulé entre la demande calculée et le marché déclaré de R-410A au SNEFCCA sur 2000-2010 est désormais de 1 % alors qu'il était de -7 % avec les résultats inventaires 2010.
- ➔ L'écart cumulé est en revanche équivalent pour le R-407C : de -3 % contre 2 % avec les résultats inventaire 2010.

Ces résultats tendent à montrer que les corrections apportées aux hypothèses permettent de mieux estimer le marché.

En 2011, les demandes de R-407C et R-410A calculées par RIEP concordent avec les marchés déclarés au SNEFCCA à 5 % près. Un écart de l'ordre de 10 % est observé par rapport aux chiffres de l'OFF.

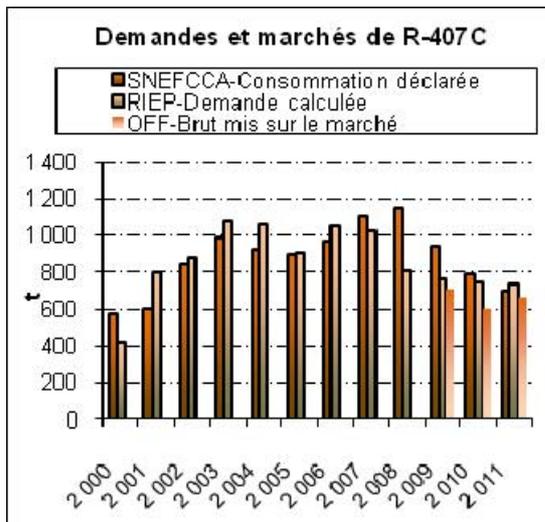


Figure II.9 -- Comparaison de la demande estimée au marché déclaré de R-407C, de 2000 à 2011

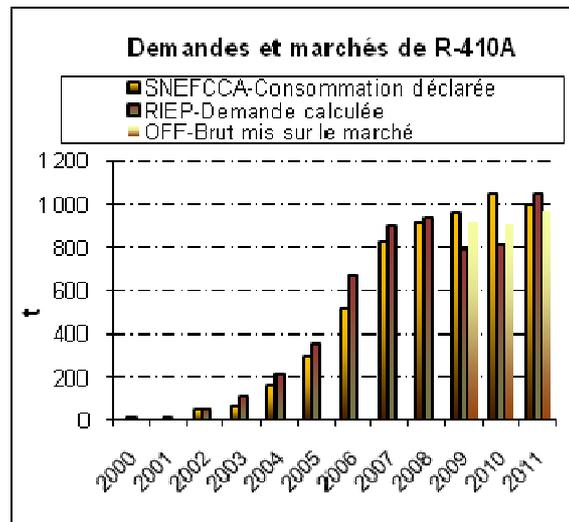


Figure II.10 -- Comparaison de la demande estimée au marché déclaré de R-410A, de 2000 à 2011

Les sections suivantes détaillent les résultats globaux pour la demande en fluide pour la charge des équipements neufs, la demande pour la maintenance, les banques par type de fluides frigorigènes, les émissions par type de fluides frigorigènes, les émissions en équivalent CO₂ et les quantités récupérées en fin de vie des installations.

II.3 – Résultats globaux détaillés inventaires 2011

II.3.1 - Demande en fluides frigorigènes pour les équipements neufs et le rétrofit des installations

Répartition par fluide du marché neuf et de rétrofit

La demande en fluides frigorigènes pour les installations neuves concerne tous les nouveaux équipements frigorifiques chargés en France. Cette demande inclut donc tous les matériels exportés s'ils sont chargés sur les sites de production (automobiles, certaines unités de climatisation, de transport frigorifique et de froid commercial pré-chargées). Les quantités de fluides utilisées pour le rétrofit des installations anciennes sont également comprises dans cette demande.

La totalité de la demande en fluides frigorigènes chargés dans les équipements neufs ou utilisés pour le rétrofit est en légère baisse en 2011 par rapport à 2010 (-4%) à cause notamment d'une baisse dans le secteur du froid commercial, liée à la stagnation de l'évolution des surfaces de vente en hypermarchés.

Tableau II.2 - Demande en fluides frigorigènes pour les équipements neufs et le rétrofit 2011

	Total France métropole	Demande eqts neufs et rétrofit 2011	
CFC	R-11	-	0
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	0	0
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	1 988	4 262
	R-404A	858	
	R-407C	276	
	R-410A	722	
	R-507	3	
	R-417A et autres fluides remplacement	415	
Autres	R-600a	-	210
	R-290	-	
	R-717	195	
	R-744	15	
Total (tonnes)		4 472	

La demande pour les équipements neufs et le rétrofit est toujours dominée par le HFC-134a à 44 % (cf. Tableau II.2) puis par le R-404A (à 19 %), très utilisé pour les rétrofits d'installations aux HCFC en froid commercial et en froid industriel ainsi que dans les installations neuves, même si de ce côté est noté un ralentissement. Globalement, les quantités utilisées pour le rétrofit et les conversions d'installations sont en légère baisse par rapport à l'année 2010 (-4%), une part importante des installations HCFC de froid commercial ayant déjà été converties en 2009 et 2010.

Répartition sectorielle de la demande en fluides frigorigènes

La reprise de la croissance de la production automobile observée en 2010 se poursuit en 2011 pour atteindre un nombre total de véhicules produits de l'ordre de 1 970 400 unités. La climatisation automobile domine encore le marché neuf (Figure II.11), à 31 %, suivi par les GRE (21 %). La décomposition sectorielle de la demande des HFC est très proche de celle de la demande totale, puisque que seul le froid industriel utilise l'ammoniac et les hydrocarbures commencent seulement à apparaître dans les petits systèmes de froid commercial (en froid domestique, le R-600a est dominant sur le marché d'équipements mais la production française est nulle) ; elle est donc dominée par la climatisation automobile (33%). La part du froid commercial (10%) est en décroissance par rapport à l'année 2010 qui avait été marquée par un « pic » d'ouvertures et d'agrandissement des hypermarchés celle du froid industriel est constante (15%), les productions agroalimentaires et celles des procédés industriels étant relativement stables.

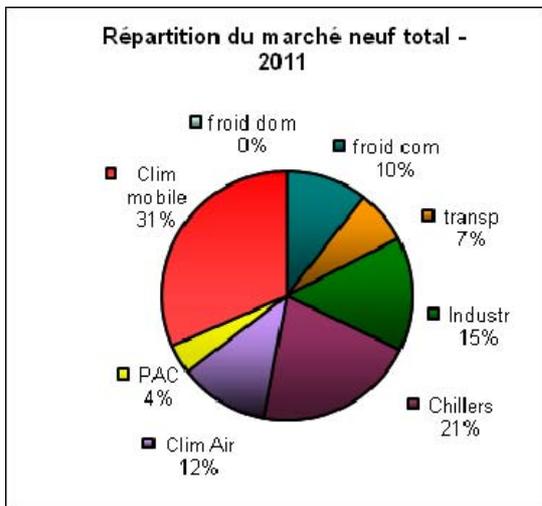


Figure II.11 – Répartition sectorielle de la demande en fluides frigorigènes pour les équipements neufs

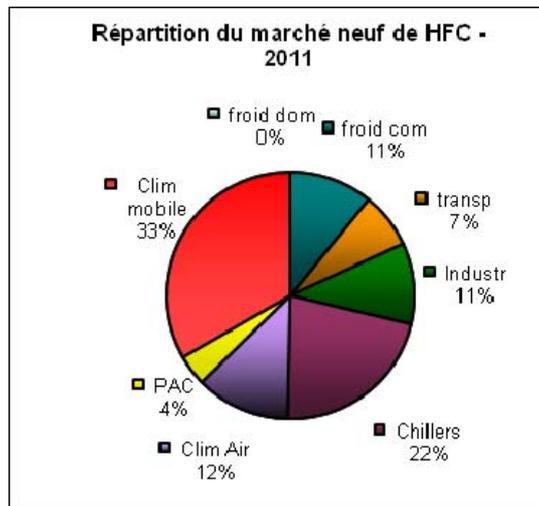


Figure II.12 – Répartition sectorielle de la demande en HFC pour les équipements neufs

II.3.2 - Demande pour la maintenance

Répartition par fluide

La demande pour la maintenance des installations est relativement stable, de l'ordre de 5 500 t en 2011, dominée à parts égales par le R-134a (en croissance) et le R-404A. Depuis 2008, la demande en R-22 pour la maintenance des installations baisse de près de 20 % par an et ne constitue plus que 23 % du total en 2011.

Tableau II.3 - Demande en fluides frigorigènes pour la maintenance 2011

		Total France métropole	Demande maintenance 2011
CFC	R-11	-	1
	R-12	1	
	R-502	-	
HCFC	R-22	1 274	1 322
	R-408A	37	
	R-401A	11	
HFC	R-134a	1 474	3 900
	R-404A	1 467	
	R-407C	461	
	R-410A	332	
	R-507	108	
	R-417A et autres fluides remplacement	58	
Autres	R-600a	0	241
	R-290	-	
	R-717	230	
	R-744	11	
Total (tonnes)		5 464	

Répartition sectorielle de la demande en fluides frigorigènes pour la maintenance

La demande pour la maintenance est toujours dominée par le froid industriel (27%) et le froid commercial (23%) dont les équipements nécessitent des opérations de maintenance annuelles. Depuis 2009, la part de la climatisation automobile conserve un niveau faible, de 13 % en 2011 (comparée à 24% en 2008). Des données précises sur le marché maintenance n'ont pas pu être obtenues pour valider le modèle de calcul cependant, la baisse globale du marché de HFC-134a est bien confirmée sur 2009-2011 par les déclarations SNEFCCA et OFF.

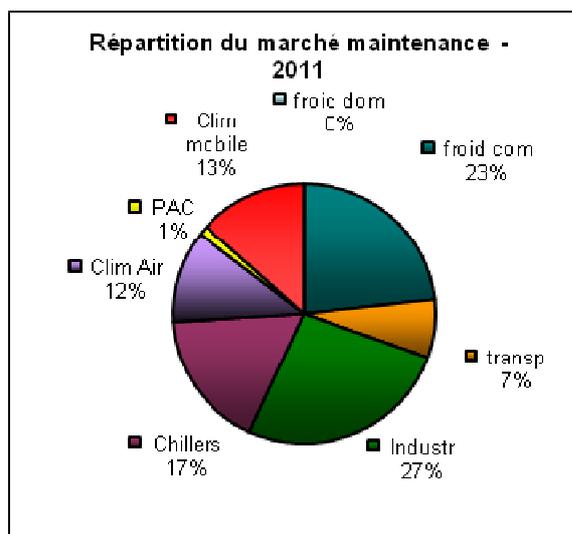


Figure II.13 – Répartition sectorielle de la demande en fluides frigorigènes pour la maintenance des installations

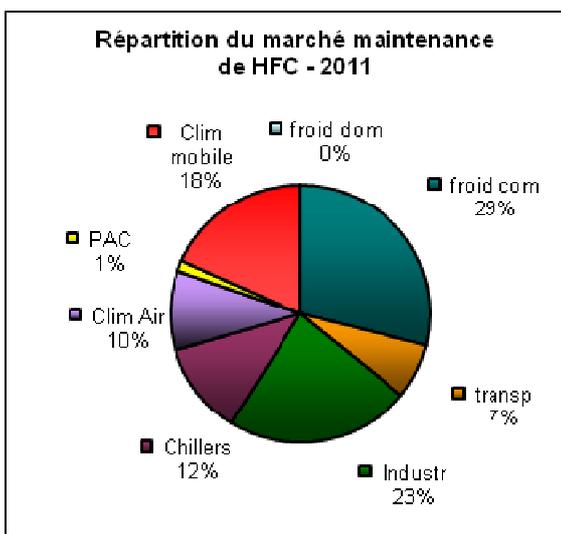


Figure II.14 – Répartition sectorielle de la demande en HFC pour la maintenance des installations

Le froid commercial, dont les installations centralisées ont des taux d'émissions fugitives élevés, domine le marché maintenance des HFC à 29 %.

II.3.3 - Banque des fluides frigorigènes

Répartition par fluide

La banque totale de fluides frigorigènes est estimée à 56 500 tonnes en 2011, soit en croissance de 1% par rapport à 2010. Elle est toujours dominée par le R-134a (40%) suivie par le R-22 et le R-404A à part égales.

Tableau II.4 - Banque de fluides frigorigènes 2011

Total France métropole		Banque 2011	
CFC	R-11	0	78
	R-12	78	
	R-502	-	
HCFC	R-22	7 196	7 388
	R-408A	137	
	R-401A	56	
HFC	R-134a	22 805	43 429
	R-404A	7 171	
	R-407C	5 213	
	R-410A	6 769	
	R-507	422	
	R-417A et autres fluides remplacement	1 049	
Autres	R-600a	1 465	5 612
	R-290	1	
	R-717	4 102	
	R-744	44	
Total (tonnes)		56 507	

La banque de HCFC continue logiquement à décroître du fait des rétrofits d'installations et fins de vie et ne constitue plus que 13 % de la banque totale en 2011.

Répartition sectorielle de la banque de fluides frigorigènes

L'allure sectorielle de la banque évolue peu. Un parc automobile climatisé croissant domine la banque totale, devant les installations aux fortes charges du froid industriel et des GRE. La part du froid commercial perd deux points, grâce au renouvellement des installations centralisées vers des systèmes indirects. Quant à la banque de HFC, elle reste nettement dominée par la climatisation automobile (36%).

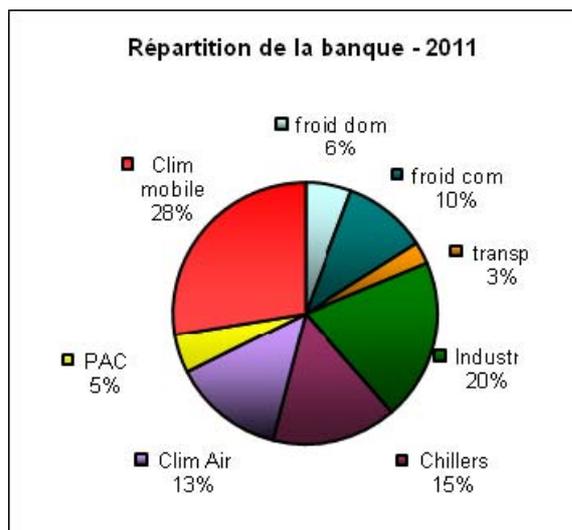


Figure II.15 - Répartition sectorielle de la banque de fluides frigorigènes

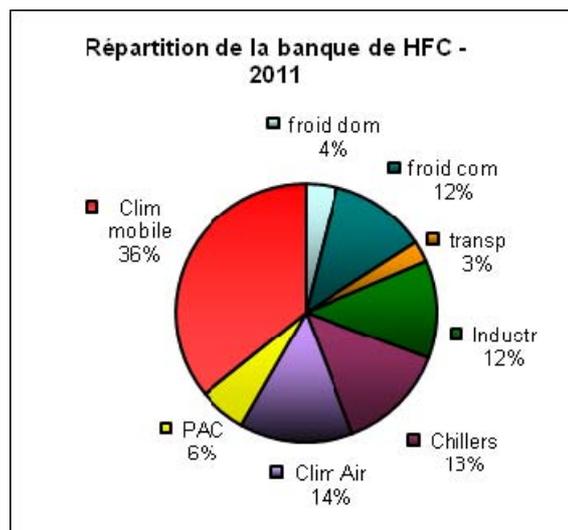


Figure II.16 - Répartition sectorielle de la banque de HFC

II.3.4 - Emissions des fluides frigorigènes

Répartition par fluide

Les émissions totales de fluides frigorigènes sont évaluées à près de 8 000 tonnes en 2011 soit en réduction de 3% par rapport à l'année 2010. Les émissions de HCFC continuent de décroître telles que leur banque, d'environ 20 % par rapport à 2010, et ne constituent plus que 22 % des émissions totales en 2011. Traduisant l'évolution de la banque, les émissions totales sont dominées par celles des HFC et du R-134a en particulier, à 40 %.

Tableau II.5- Emissions des fluides frigorigènes

	Total France métropole	Emissions totales 2011	
CFC	R-11	0	63
	R-12	63	
	R-502	-	
HCFC	R-22	1 672	1 726
	R-408A	40	
	R-401A	14	
HFC	R-134a	3 153	5 897
	R-404A	1 485	
	R-407C	477	
	R-410A	458	
	R-507	107	
	R-417A et autres fluides remplacement	217	
Autres	R-600a	19	282
	R-290	-	
	R-717	251	
	R-744	12	
Total (tonnes)		7 967	

Sur l'ensemble des secteurs, le taux d'émissions global équivalent, incluant tous les types d'émissions est en baisse, d'environ **14 %** en 2011 contre 15 % en 2010.

Répartition sectorielle des émissions de fluides frigorigènes

Les répartitions sectorielles des émissions sont assez stables sur 2010-2011. La climatisation embarquée reste responsable de plus d'un quart des émissions totales, suivie du froid industriel à 20 %, des GRE et du froid commercial (17% chacun).

Le secteur de la climatisation automobile domine les émissions comme la banque de HFC, d'autant plus que la filière de récupération en fin de vie des véhicules est inefficace. Les installations du froid commercial et du froid industriel dont les installations ont encore des taux d'émissions élevés sont responsables respectivement de 20 et 16 % des émissions totales de 2011.

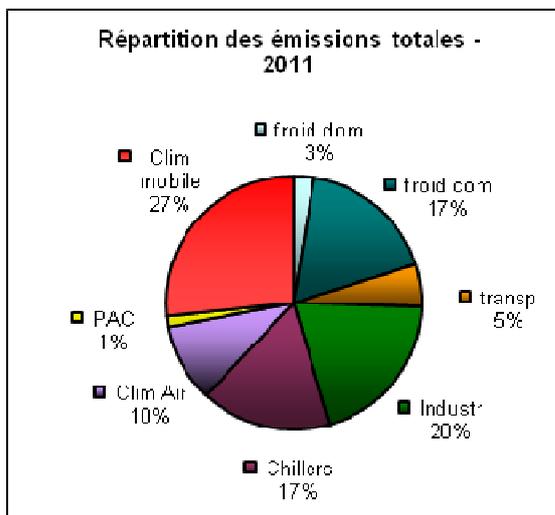


Figure II.17 - Répartition sectorielle des émissions de fluides frigorigènes

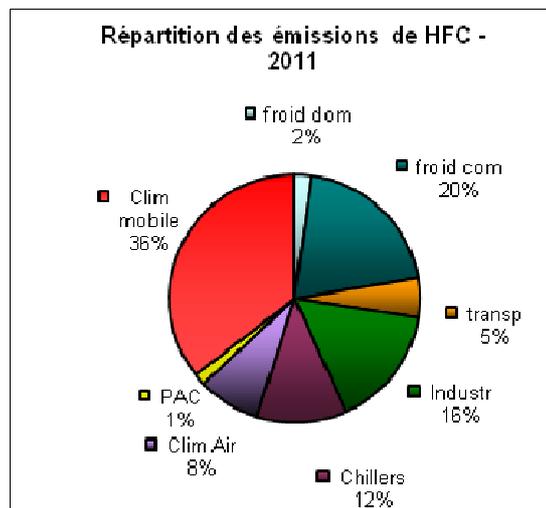


Figure II.18 - Répartition sectorielle des émissions de HFC

II.3.5 - Emissions équivalentes CO₂ des fluides frigorigènes

Répartition par fluide

Les émissions totales en équivalent CO₂ (Tableau II.6) sont calculées sur la base des GWP publiés dans 2^{ème} Rapport d'évaluation du GIEC. Elles sont estimées à plus de 14 millions de tonnes de CO₂ et sont en baisse de 3% par rapport à 2010.

Tableau II.6 - Emissions de fluides frigorigènes (en milliers de tonnes) en équivalent CO₂ (selon le 2^{ème} rapport d'évaluation du GIEC)

Total France métropole		Emissions eq CO ₂ 2011	
CFC	R-11	0	508
	R-12	508	
	R-502	0	
HCFC	R-22	2 508	2 627
	R-408A	105	
	R-401A	14	
HFC	R-134a	4 099	11 282
	R-404A	4 842	
	R-407C	728	
	R-410A	792	
	R-507	354	
	R-417A et autres fluides remplacement	467	
Autres	R-600a	0	0
	R-290	0	
	R-717	-	
	R-744	0	
Total (milliers de tonnes)		14 418	

Les émissions équivalentes CO₂ de R-404A sont en croissance et représentent près de 5 millions de tonnes de CO₂ en 2011. Les HFC dominent nettement les émissions en termes d'équivalent CO₂ puisqu'ils sont responsables de 78 % du total en 2011.

A titre indicatif, le tableau VII.2 présente également les résultats calculés à partir des GWP du 4th Rapport d'évaluation.

Tableau II.7 - Emissions de fluides frigorigènes (en milliers de tonnes) en équivalent CO₂
(selon le 4^{ème} rapport d'évaluation du GIEC)

Total France métropole		Emissions eq CO2 2011 (4th Assessment)	
CFC	R-11	0,1	683
	R-12	683,3	
	R-502	0,0	
HCFC	R-22	3 019,3	3 163
	R-408A	127,0	
	R-401A	17,1	
HFC	R-134a	4 466,5	13 200
	R-404A	5 983,3	
	R-407C	785,4	
	R-410A	923,0	
	R-507	429,6	
	R-417A et autres fluides remplacement	612,2	
Autres	R-600a	0,4	0
	R-290	0,0	
	R-717	-	
	R-744	0,0	
Total (milliers de tonnes)		17 047	

Les GWP du 4^{ème} assésment étant plus pénalisants, le niveau global des émissions de fluides frigorigènes se trouve pénalisé de 18 % et équivaut à 17 millions de tonnes de CO₂ en 2011.

Répartition sectorielle des émissions de fluides frigorigènes en équivalent CO2

Bien que le froid commercial domine les émissions de CO₂, sa part est un peu réduite par rapport aux niveaux 2010, du fait de la généralisation des systèmes indirects et de la réduction prise en compte du taux d'émissions fugitives (à confirmer).

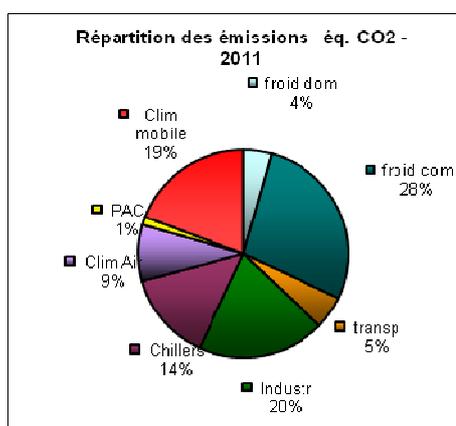


Figure II.19 – Répartition sectorielle des émissions de fluides frigorigènes en équivalent CO₂.

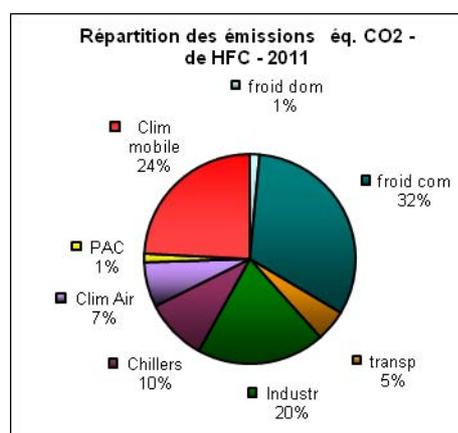


Figure II.20 – Répartition sectorielle des émissions de HFC en équivalent CO₂.

II.3.6 - Récupération des fluides frigorigènes

Répartition par fluide

Les quantités récupérées calculées (Tableau II.8) sont estimées à près de 1 800 t en 2011. Elles sont calculées en fonction d'une estimation de l'efficacité des filières de récupération par secteur, basée sur les résultats d'enquête, le plus souvent qualitatifs, marqués d'une forte incertitude. De plus, les quantités calculées ne tiennent pas compte d'un éventuel recyclage pour réutilisation pour la maintenance d'autres installations et présentent nécessairement un écart avec les quantités qui sont retournées aux distributeurs.

Historiquement, les quantités calculées étaient supérieures d'environ 20 % aux quantités déclarées aux distributeurs, ce qui pouvait s'expliquer par une surestimation des efficacités de récupération des filières de fin de vie. Depuis 2009, l'écart s'accroît significativement : en 2011, le calcul RIEP estime les quantités totales récupérées à 1 661 tonnes (en excluant les fluides frigorigènes non fluorés), contre 992 t déclarées au SNEFCCA (qui ne distingue pas les HFC des HCFC). Une partie des fluides récupérés est sans doute réutilisée pour la maintenance des installations fonctionnant encore avec des HCFC, sans être retournée aux distributeurs.

Tableau II.8 - Récupération des fluides frigorigènes 2011

	Total France métropole	Récupération 2011	
CFC	R-11	0	33
	R-12	33	
	R-502	-	
HCFC	R-22	1 152	1 178
	R-408A	20	
	R-401A	6	
HFC	R-134a	213	461
	R-404A	114	
	R-407C	23	
	R-410A	6	
	R-507	11	
	R-417A et autres fluides remplacement	94	
Autres	R-600a	10	94
	R-290	-	
	R-717	82	
	R-744	2	
Total (tonnes)		1 767	

Selon l'OFF [OFF12], les quantités de fluides frigorigènes reprises par les distributeurs sont de 891 t en 2011 :

- 38 t de CFC
- 450 t de HCFC
- 402 t de HFC

Les quantités de CFC et de HFC déclarées sont cohérentes avec celles du Tableau II.8.

Répartition sectorielle de la récupération des fluides frigorigènes

En 2011, du fait de la période réglementaire de limitation d'utilisation des HCFC pour la maintenance des installations, la récupération des fluides frigorigènes concerne majoritairement les HCFC et est pratiquée principalement dans les secteurs du froid industriel et des groupes refroidisseurs d'eau.

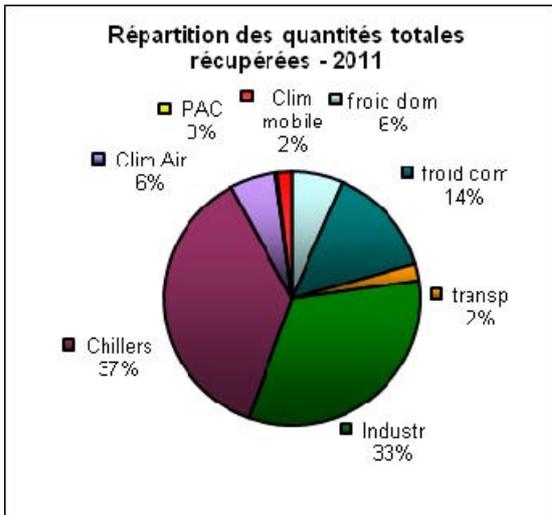


Figure II.21- Répartition sectorielle des quantités de fluides frigorigènes récupérées.

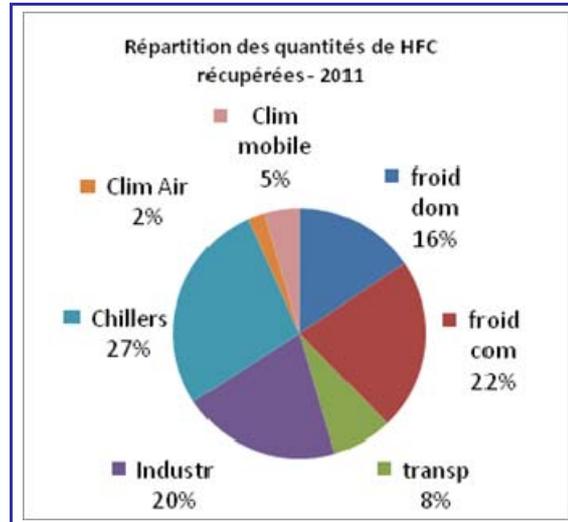


Figure II.22- Répartition sectorielle des quantités de HFC récupérées.

III. LE FROID DOMESTIQUE

III.1 - Méthode de calcul

En froid domestique, deux types d'équipements sont pris en compte : les réfrigérateurs et les congélateurs. La méthode de calcul générale est appliquée (Figure I.1).

Une des particularités de ce secteur est que la charge est caractérisée par la donnée :

- d'un ratio de charge volumique dépendant du fluide utilisé
- et d'un volume moyen des appareils.

La méthode de calcul considère que les ratios de charges et volumes moyens ne varient pas au cours du temps.

Le calcul de la banque et des émissions s'appuie sur :

- la donnée des marchés d'équipements (importations incluses) ;
- La connaissance des fluides présents sur le marché neuf des équipements (répartition massique)
- Le niveau des émissions à la charge,
- Le taux d'émissions fugitives, ici supposé équivalent au taux de panne des appareils, la maintenance étant quasiment nulle en France,
- L'efficacité de récupération de la filière de recyclage des appareils en fin de vie.

Le calcul de la demande est décomposé en celui de :

- la demande pour les équipements neufs correspondant aux quantités chargées dans les équipements produits en France puisque ces équipements sont chargés d'usine ; mais cette production est nulle en France depuis 2005.
- la demande pour la maintenance des équipements composant le parc français, basée sur la banque calculée et la connaissance du niveau d'émissions fugitives, qui est très faible car les circuits de ces équipements sont hermétiques.

Une courbe de durée de vie basée sur la durée de vie moyenne est utilisée pour le calcul. Elle est associée aux équipements par année de mise sur le marché mais, pour le moment, elle ne varie pas au cours du temps.

Les deux catégories d'équipements prises en compte sont, précisément :

- les réfrigérateurs, tous types confondus (simples, double-porte, combinés, « américains »),
- les congélateurs seuls (armoire ou coffre).

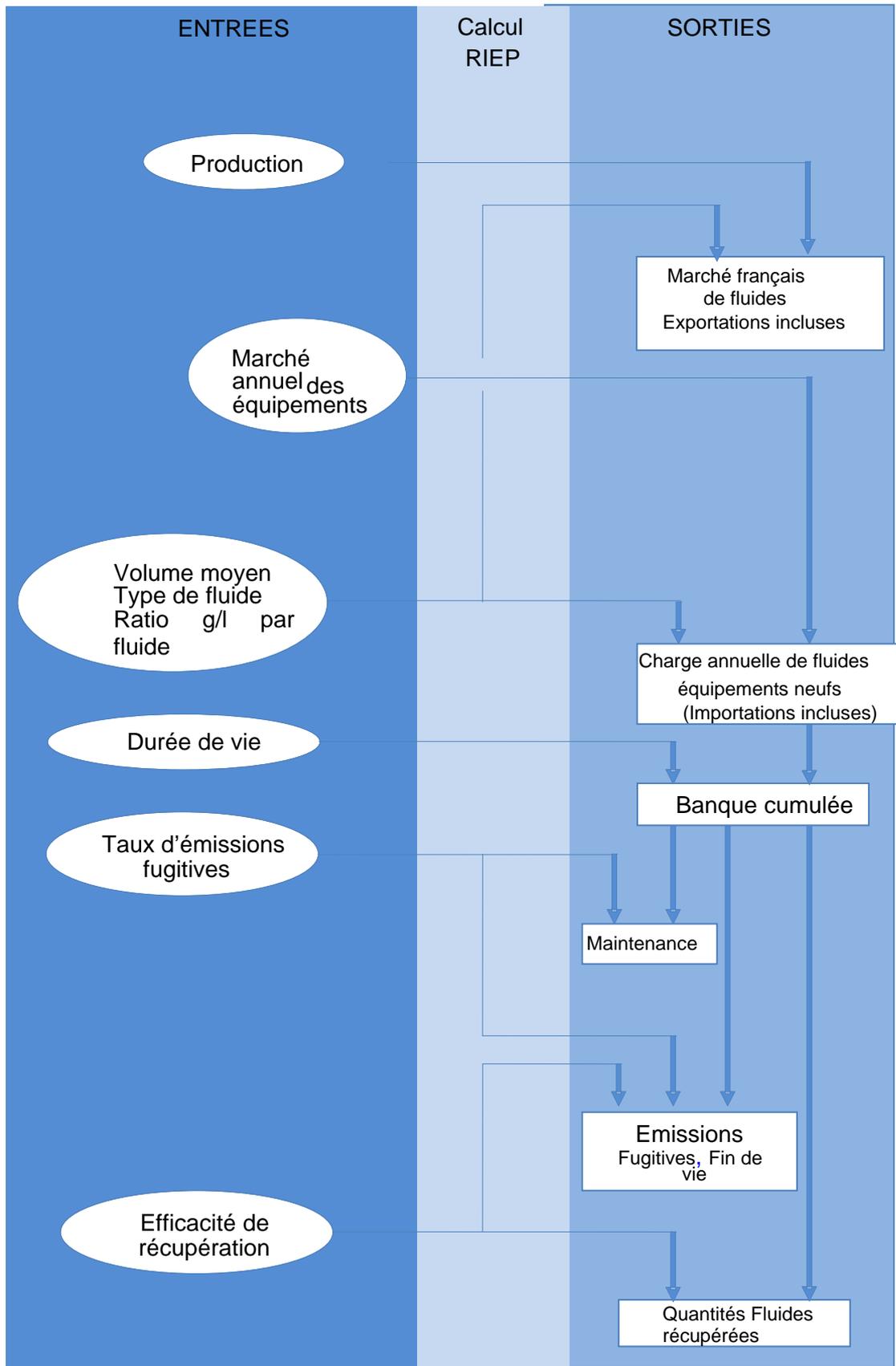


Figure III.1 - Organigramme de la méthode de calcul utilisée pour le froid domestique

III.2 - Le froid domestique en France en 2011

III.2.1 - Contexte

Le froid domestique est un secteur dont la production a cessé en France en 2005 et dont les marchés d'équipements étaient en baisse ces dernières années. Depuis 2009, les ventes sont à nouveau en progrès.

Deux fluides sont actuellement utilisés sur le marché neuf de ce secteur : le HFC-134a et le HC-600a, de plus en plus présent. Cette année, l'enquête de terrain permettant d'estimer les parts des fluides dans les équipements mis sur le marché a été menée sur un échantillon plus large d'environ 300 appareils.

Ce secteur est marqué par la mise en place de la filière DEEE depuis 2007 imposée par la réglementation [DEC05]. Quatre éco-organismes assurent la collecte, le recyclage et le suivi des quantités récupérées. Les fluides frigorigènes ne constituent qu'une infime partie de l'appareil de froid domestique. Le suivi des quantités de fluides frigorigènes récupérées s'améliore mais les bilans DEEE de l'ADEME font apparaître des quantités régulièrement réévaluées. Il semble que le processus de suivi et de reporting par les différents organismes ne soit pas encore tout à fait homogène.

III.2.2 - La production

La production en France est nulle. Le groupe Fagor Brandt était le dernier groupe à produire encore en France des réfrigérateurs et congélateurs. Leur production s'est petit à petit délocalisée vers l'Italie pour s'arrêter complètement en France début 2005.

III.2.3 - Les ventes

Les ventes des appareils de froid domestique sont fournies par le GIFAM (Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'Équipement Ménager) [GIF11] qui donne une estimation des mises sur le marché des équipements en fonction des déclarations de ses adhérents, lesquels sont représentatifs d'environ 90% du marché français.

Après plusieurs années de baisse consécutive du marché, les ventes de réfrigérateurs et de congélateurs ont repris de façon significative en 2010, mais stagnent entre 2010 et 2011.

Tableau III.1 – Ventes des constructeurs aux réseaux de distribution [GIF11]

Marchés équipements neufs	2009	2010	2011	2010/2011
Réfrigérateurs	2 300 000	2 550 000	2 572 000	+ 0.9%
Congélateurs	720 000	735 000	724 000	- 2.9 %

Les statistiques du Tableau II.1 sont celles publiées par le GIFAM et tiennent compte des ventes aux territoires des DOM COM. Pour le calcul d'inventaire de la métropole, un ratio basé sur les populations est appliqué aux valeurs de marché afin d'estimer la part relative à la métropole.

III.2.4 - Les fluides utilisés

En France, le R-600a (isobutane) est depuis plusieurs années nettement dominant sur le marché neuf des réfrigérateurs et congélateurs. Cette année le CEP a réalisé une enquête en magasins sur un échantillonnage de 291 appareils ([ENQ12]) :

- 41 congélateurs,

- 23 réfrigérateurs,
- 227 combinés réfrigérateurs-congélateurs

L'enquête a montré que:

- 90 % des réfrigérateurs testés fonctionnaient avec du R-600a et 10 % avec du R-134a
- la totalité des congélateurs utilisaient du R-600a, comme dans l'enquête 2010.
- Seulement cinq marques d'appareils utilisent du R-134a : Whirlpool, Samsung, LG, Indesit et Daewoo.

Aucun congélateur fonctionnant avec du R-134a n'ayant été identifié, il est considéré que la totalité du marché des congélateurs fonctionne au R-600a en 2011, ce qui correspond à la même hypothèse que 2010.

En revanche, étant donné que l'échantillon de l'enquête est, cette année, plus significatif que les années précédentes, l'évolution de la part du R-600a sur le marché des réfrigérateurs a été corrigée sur les dernières années, l'hypothèse de 2 % de R-134a depuis 2009 pris dans les précédents inventaires étant jugée optimiste et corrigée à 5 % pour 2011. La progression du R-600a a été ralentie depuis 2004 tel que sur la Figure II.2.

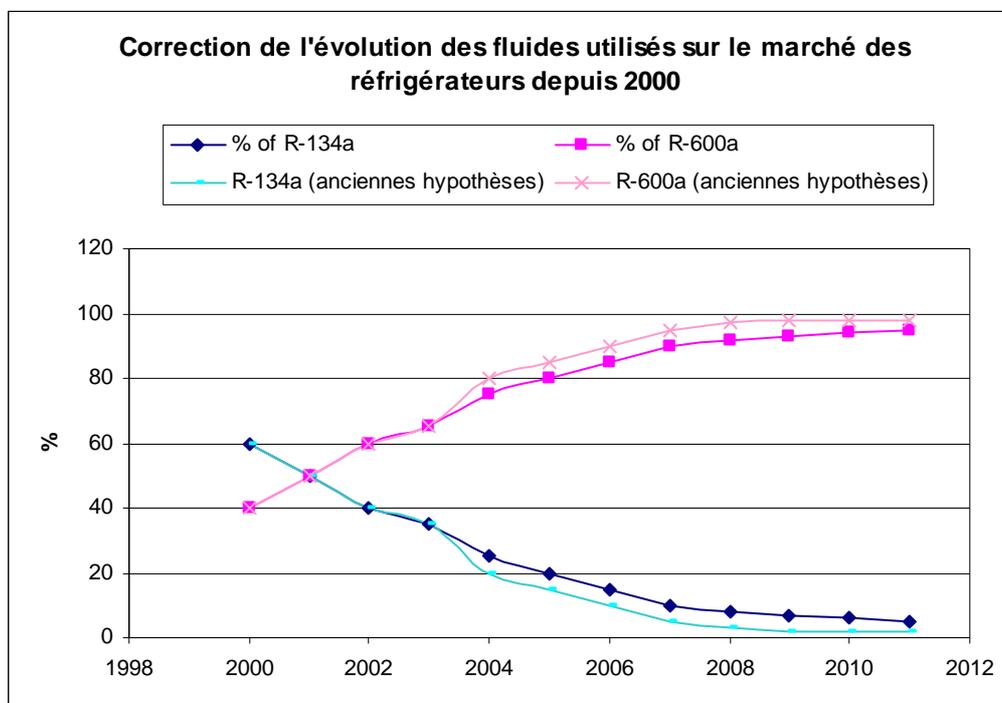


Figure III.2 Correction de l'évolution des fluides utilisés sur le marché neuf des réfrigérateurs depuis 2004.

III.2.5 - Evaluation de la charge

Dans le secteur du froid domestique, la charge moyenne des appareils est considérée constante. L'enquête annuelle permet seulement de vérifier que cette hypothèse est cohérente, la charge moyenne étant le produit du ratio de charge et du volume moyen. Les ratios de charges volumiques ont été établis à partir d'une enquête statistique [ENQ01] pour le R-12, le R-134a et le R-600a, et sont rappelés au Tableau II.2.

Tableau III.2 – Caractéristiques des équipements de froid domestique pris en compte dans le calcul [ENQ01]

	Ratios de charge (g/l)			Volume moyen (l)
	R-12	R-134a	R-600a	
Réfrigérateurs	0,57	0,55	0,2	230
Congélateurs	0,67	0,67	0,3	202

Le ratio de charge obtenu pour les réfrigérateurs eu R-134a est cette année de 0,41 g/l, pour un volume moyen de 398 l. La charge moyenne obtenue est alors de 165 g, soit une surestimation de 22 % de la valeur de référence obtenue avec les hypothèses du Tableau II.2.

Le Tableau II.3 compare les résultats des deux dernières enquêtes de terrain aux valeurs de référence dans le cas du R-600a et montre que les écarts sont assez variables selon les années.

Tableau III.3 – Evolution de la charge des appareils fonctionnant au R-600a [ENQ12]

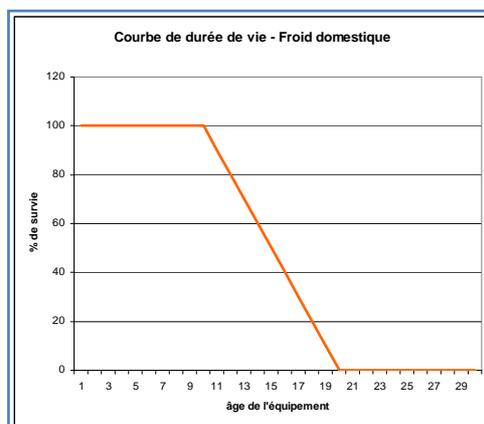
R-600a	Ratio de charge (g/l)			Volume moyen (l)			Charge moyenne (g)		
	[ENQ01]	[ENQ11]	[ENQ12]	[ENQ01]	[ENQ11]	[ENQ12]	[ENQ01]	[ENQ11]	[ENQ12]
Réfrigérateurs	0,2	0,17	0,18	230	320	310	46	54,4	57
Congélateurs	0,3	0,25	0,36	202	310	176	60,6	77,5	61

Si la charge moyenne des congélateurs est bien estimée par les valeurs de référence, dans le cas des réfrigérateurs, la charge est sous-estimée d'environ 25 % pour 2011 et la tendance de l'enquête 2010 est confirmée.

D'un point de vue méthodologique, il pourrait être utile de faire varier ces caractéristiques de façon annuelle puisque depuis quelques années on observe une tendance à l'augmentation de la charge moyenne, le volume utile augmentant plus vite que le ratio n'est réduit. Cependant, ces écarts affectent peu les émissions du froid domestique puisque les émissions fugitives sont très faibles et que les émissions à la charge sont basées sur la production, qui est nulle dans ce secteur. Les émissions en fin de vie seules seront significativement impactées mais elles ne se produiront que dans 10 à 20 ans et n'impactent donc pas les résultats d'inventaire 2011.

III.2.6 - La durée de vie

La durée de vie moyenne des réfrigérateurs est supposée identique à celle des congélateurs, estimée à 15 ans. La courbe de durée de vie utilisée dans le calcul est basée sur cette valeur moyenne (Figure II.3) ; elle permet de répartir sur 10 ans la fin de vie d'un millésime d'équipements.



III.2.7 - Niveau d'émissions fugitives

Les appareils de froid domestique sont très étanches, le circuit frigorifique étant simple et entièrement soudé. Les émissions fugitives sont donc quasi-inexistantes et constituées de très rares opérations de maintenance correspondant généralement à une rupture accidentelle du circuit sur un appareil récent.

Le taux d'émissions fugitives est donc assimilé à la fréquence de défaillance des équipements : il est considéré stable, de l'ordre de 1/10 000.

III.2.8 - L'efficacité de récupération en fin de vie des équipements

L'efficacité de récupération en fin de vie des équipements de froid domestique est estimée en comparant les quantités calculées de fluides frigorigènes contenues dans les réfrigérateurs et congélateurs arrivant en fin de vie aux quantités récupérées déclarées dans le bilan annuel de la filière DEEE publié par l'ADEME.

Dans l'attente de la parution du bilan annuel 2011, l'ADEME a communiqué au CEP les résultats provisoires 2011 [FAN12] des quantités cumulées de CFC, HCFC, HFC et HC extraits en première phase de dépollution des appareils de froid domestique. Les éléments sont présentés au Tableau II.4.

Tableau III.4 – Quantités annuelles de CFC, HCFC, HFC et HC extraits en première phase de dépollution des appareils de froid domestique déclarées par l'ADEME [FAN12]

Quantités récupérées (t)	2007	2008	2009	2010	2011
Première estimation	60	117	139		
Valeurs corrigées 2010	137	235	108	103	
Valeurs DEEE 2011 [FAN12]	137	235	151	103	124

Les efficacités de récupération présentées au Tableau II.5 tiennent compte de la nouvelle valeur 2011 ; en revanche, la courbe de progression de 2005 à 2010 n'a pas été modifiée, l'évolution paraissant plus cohérente avec la période de démarrage de la filière. Les résultats, à confirmer, sont donnés au Tableau II.5.

Tableau III.5 - Efficacité de récupération

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Efficacité de récupération	2,2 %	2,5 %	5 %	15 %	26 %	26 %	36%

III.3 - Résultats du calcul Froid domestique Inventaires 2011

III.3.1. La banque

Du fait de l'augmentation de la part de marché des appareils de froid domestique fonctionnant avec du R-600a, dont le ratio de charge est plus faible, la banque totale de fluides frigorigènes est en décroissance (Figure II.4), d'environ 5 % par an ; elle est estimée à 3 200 t en 2011, dominée à 52 % par le R-134a (Tableau II.6). La banque de R-12 est quasiment éradiquée et ne représente plus que 3 % de la banque 2011.

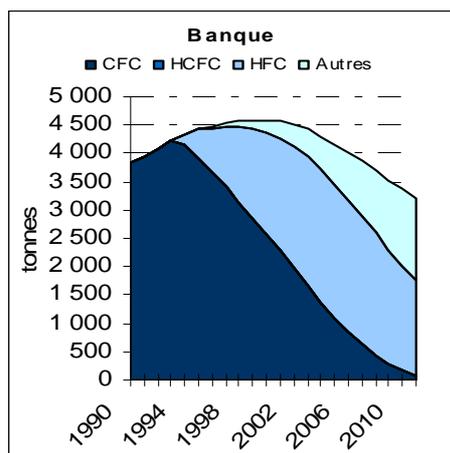


Figure III.4 – Evolution de la banque de fluides frigorigènes en froid domestique

Tableau III.6 – Banque 2011 en Froid Domestique

Froid Domestique		Banque 2011	
CFC	R-11	0	73
	R-12	73	
	R-502	0	
HCFC	R-22	0	0
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	1 675	1 675
	R-404A	0	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A et autres fluides remplacement	0	
Autres	R-600a	1 465	1 465
	R-290	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
Total (tonnes)		3 212	

III.3.2. La demande

La demande est constituée des faibles quantités nécessaires à la maintenance des équipements, puisque la production d'équipements de froid domestique est nulle en France depuis 2005, il n'y a plus de demande en fluides frigorigènes pour les équipements neufs.

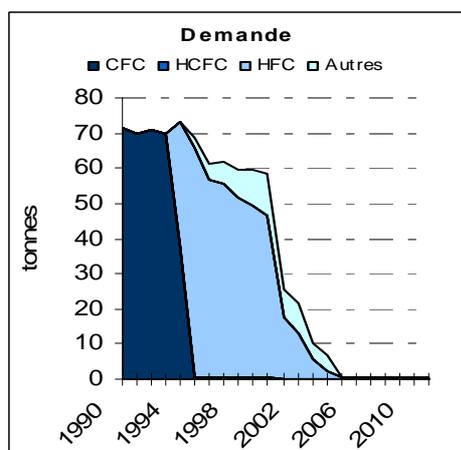


Figure III.5 - Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes en froid domestique

Tableau III.7 - Demande pour la maintenance 2011 – Froid domestique

Froid Domestique		Demande totale 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	-	-
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	0,18	0,18
	R-404A	-	
	R-407C	-	
	R-410A	-	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
Autres	R-600a	0,16	0,16
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total		0,35	

III.3.3. Les émissions totales

Les émissions totales sont les émissions de fin de vie des équipements, ceux-ci étant hermétiques. Elles sont faibles, de l'ordre de 200 tonnes en 2011, étant donnée l'amélioration de la filière de récupération en fin de vie des équipements.

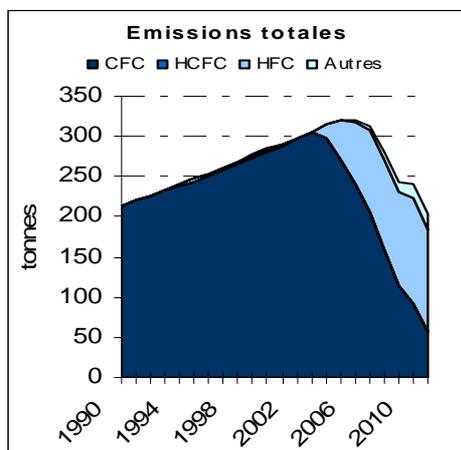


Figure III.6 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes du froid domestique

Tableau III.8 - Emissions totales 2011 – Froid domestique

Froid Domestique		Emissions totales 2011	
CFC	R-11	0	57
	R-12	57	
	R-502	0	
HCFC	R-22	0	0
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	128	128
	R-404A	0	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A et autres fluides remplacement	0	
Autres	R-600a	19	19
	R-290	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
Total (tonnes)		203	

III.3.4. Les émissions en équivalent CO2

Bien que la présence du CFC-12 dans les équipements parvenant en fin de vie se réduise, elle est encore responsable de 73 % des émissions du froid domestique en équivalent CO₂ qui s'élèvent à plus de 600 000 tonnes en 2011 (Tableau II.9).

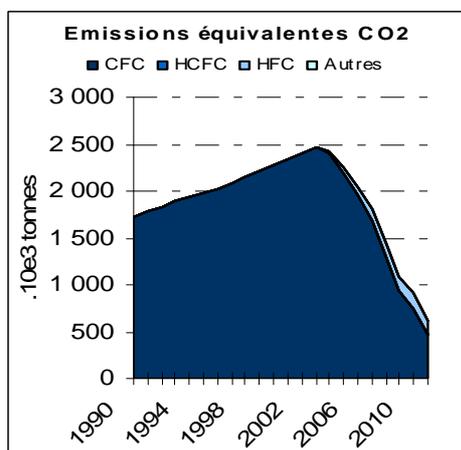


Figure III.7 - Evolution des émissions totales en équivalent CO2 en froid domestique

Tableau III.9 - Emissions totales en équivalent CO2 2011 – Froid domestique

Froid Domestique		Emissions eq CO2 2011	
CFC	R-11	0	461
	R-12	461	
	R-502	0	
HCFC	R-22	0	0
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	166	166
	R-404A	0	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A et autres fluides remplacement	0	
Autres	R-600a	0	0
	R-290	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
Total (milliers de tonnes)		627	

III.3.5. Les quantités récupérées

Les quantités de fluides frigorigènes récupérées en fin de vie des équipements de froid domestique sont en forte augmentation. Elles sont estimées à 114 t et désormais dominées par le R-134a à 63 %. Si l'hypothèse d'efficacité de récupération est calée sur celle communiquée par la filière DEEE, la répartition des fluides est, elle, donnée par les calculs

en fonction des années de mises sur le marché des différents fluides et des durées de vie des équipements données par la courbe de durée de vie. Les résultats de la filière DEEE ne permettent pas encore de distinguer les fluides récupérés et de valider l'estimation donnée au Tableau II.10.

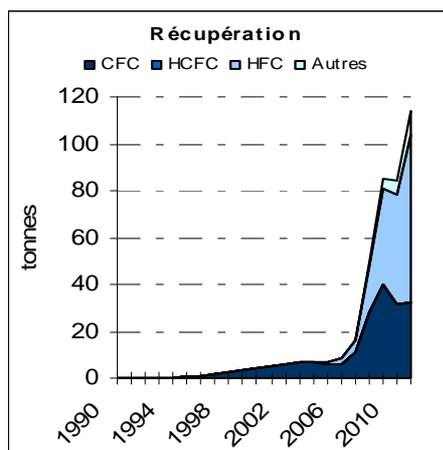


Figure III.8 - Evolution des quantités récupérées en froid domestique

Tableau III.10 - Quantités récupérées 2011 – Froid domestique

Froid Domestique		Récupération 2011	
CFC	R-11	0	32
	R-12	32	
	R-502	0	
HCFC	R-22	0	0
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	72	72
	R-404A	0	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A et autres fluides remplacement	0	
Autres	R-600a	10	10
	R-290	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
Total (tonnes)		114	

III.4 - Références Froid Domestique

- [DEC05] Décret n° 2005-829 du 20 juillet 2005 relatif à la composition des équipements électriques et électroniques et à l'élimination des déchets issus de ces équipements
- [ENQ01] Enquête Centre d'Energétique échantillon de 100 appareils, 2001
- [ENQ11] Enquête statistique menée par le CEP sur 100 appareils chez les revendeurs d'électroménagers, Frédéric Trannois, Septembre 2012.
- [ENQ12] Enquête statistique menée par le CEP sur 300 appareils chez les revendeurs d'électroménagers, Nelson Feukma, Juillet 2012.
- [FAN12] Communication chiffres provisoires 2011 de la filière DEEE, Erwan Fangeat ADEME, Octobre 2012.
- [GIF11] Site internet du GIFAM (www.gifam.fr).

IV. LE FROID COMMERCIAL

IV.1 - Méthode de calcul et hypothèses

IV.1.1. Rappel de la structuration du secteur

Le secteur du froid commercial est divisé en quatre sous-secteurs, regroupant les magasins se caractérisant par un même type d'équipements frigorifiques :

- les hypermarchés,
- les supermarchés,
- les groupes de condensation équipant les petits commerces,
- les groupes hermétiques équipant les petits commerces et les distributeurs automatiques.

Les hypermarchés et les supermarchés disposent d'installations centralisées, avec une salle de machines où deux séries de centrales frigorifiques fonctionnent, l'une entre -10 et -15 °C pour la conservation des produits frais et l'autre aux environs de -35 à -38 °C pour les produits surgelés. Il est à noter que 80 % de la puissance frigorifique et 75 % des charges de fluides se trouvent dans les centrales dites de froid positif (-10 à -15 °C).

Les « petits commerces » sont équipés de groupes de condensation ou de groupes intégrés (dits stand-alone). Ils comprennent les commerces alimentaires de détail, du spécialiste alimentaire à la supérette. Du fait de leurs équipements frigorifiques, les bars, hôtels et restaurants, les stations-services ainsi que les stations d'autoroute sont rattachés aux petits commerces. Enfin, les distributeurs automatiques de boissons réfrigérées contenant des petits groupes hermétiques sont également pris en compte.

Les maxi-discomptes ont des surfaces de vente réfrigérées nettement inférieures à celles des supermarchés, leurs installations frigorifiques s'apparentent à celles des supérettes. Le premier groupe (Tableau III.1) de magasins de type « petit commerce » inclut les supérettes, les maxi-discomptes et les magasins de surgelés, caractérisés par un niveau de charge plus élevé.

Tableau IV.1 - Commerces pris en compte dans les sous-secteurs « groupes de condensation des commerces de proximité » et « groupes hermétiques des commerces de proximité »

Groupe 1 Type supérette	Groupe 2 Type petit commerce spécialisé	Groupe 3 Type distributeur automatique
Supérettes Maxi-discomptes Surgelés Stations d'autoroute*	Alimentation générale Boulangeries pâtisseries Boucheries charcuteries Primeurs Produits laitiers Stations services Bars, hôtels et restaurants	Distributeurs automatiques Fontaines réfrigérées*

* Ces équipements ne sont plus suivis, faute de statistique disponible

IV.1.2. Résumé de la méthode

Les installations de froid commercial sont chargées sur site, excepté les armoires et vitrines utilisant des groupes hermétiques, lesquels sont chargés d'usine. Cependant, faute de données, il est estimé que la production des groupes hermétiques en France est équivalente au marché, lequel est évalué à partir de l'évolution du parc des petits commerces.

Les principes de la méthode de calcul du secteur de transport frigorifique sont rappelés Figure III.1 pour le cas des super et hypermarchés. Dans le cas des petits commerces, les

principes sont les mêmes, excepté que la demande pour les équipements neufs est basée sur l'estimation du nombre de nouveaux magasins au lieu de celle des nouvelles surfaces de vente. Dans les deux cas, l'hypothèse de départ est l'évolution du parc de magasins ; dans le cas des super et hypermarchés, elle est associée à celles des surfaces moyennes ou totales des magasins.

Pour tous les sous-secteurs, le renouvellement des installations est pris en compte en prétraitement, en supposant les équipements renouvelés tous les 15 ans en moyenne.

Les autres hypothèses nécessaires au calcul sont :

- Le ratio de charge (kg/m^2) pour les super et hypermarchés ou la charge moyenne (kg) pour les petits commerces. La connaissance des nouvelles surfaces de ventes ou nouveaux magasins, associée à la fréquence de renouvellement des équipements et les évolutions du ratio de charge (ou de la charge moyenne) permet d'évaluer la demande pour les équipements neufs et l'évolution de la banque de fluides frigorigènes.
- Les taux d'émissions fugitives : ils sont rapportés à l'ensemble du parc et correspondent aux quantités consommées pour la maintenance des équipements. En fonction de l'évolution de la banque, ils permettent de calculer les émissions fugitives.
- L'efficacité de récupération en fin de vie des équipements : associée aux quantités parvenant en fin de vie, elle permet d'estimer les émissions en fin de vie des équipements et les quantités de fluides frigorigènes récupérées.
- La courbe de durée de vie par sous-secteur, basée sur la durée de vie moyenne du système permet d'estimer de façon plus réaliste les quantités d'équipements ou de fluides frigorigènes parvenant en fin de vie.
- La répartition annuelle des fluides sur le marché neuf : elle impacte les quantités de fluides frigorigènes mises sur le marché dans les équipements neufs ou renouvelés et permet de connaître la demande par fluide pour les équipements neufs et l'évolution de la banque.
- Les tables de rétrofit ou calendriers de renouvellement des fluides permettent de définir, par fluide frigorigène, la part de sa banque convertie vers un autre fluide et de prendre en compte les rétrofits ou accélérations des renouvellements des installations n'ayant pas encore atteint leur fin de vie mais dont les fluides utilisés ne permettent pas de satisfaire aux obligations réglementaires. Cette approche ne joue pas sur la durée de vie des équipements qui n'est pas modifiée.

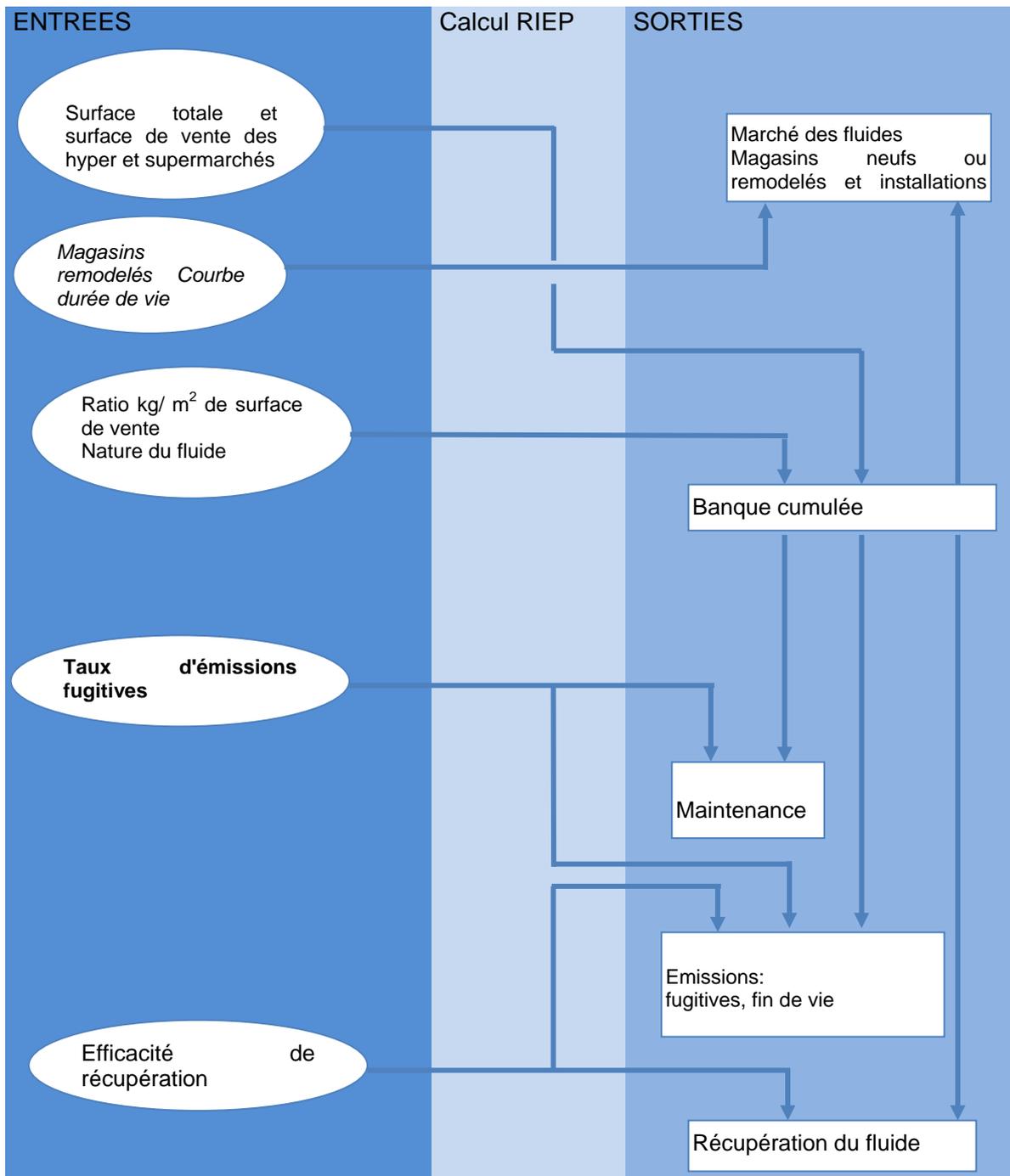


Figure IV.1 - Organigramme de la méthode utilisée pour le secteur du froid commercial

IV.2.1. Evolution du parc

Petits commerces

L'évolution du parc doit être tracée pour estimer chaque année les nouvelles installations liées aux nouveaux magasins, nouvelles surfaces de vente, ou renouvellements. Ces données doivent être connues ou estimées sur un grand nombre d'années, afin de tenir compte de l'ensemble des renouvellements d'installation sur le parc de magasins.

Dans le cas des petits commerces, plusieurs sources de données ont été identifiées : l'INSEE, la CGAD (Confédération Générale de l'Alimentation en Détail) [CGA12] et ses rapports de branche, LSA et l'Atlas de la distribution [LSA11], l'OPC (Observatoire Prospectif du Commerce) [OPC12] notamment. Cette année, un récapitulatif détaillé des sources de références disponibles par an, pour les différents types de petits commerces a été entrepris et des sources anciennes, de l'INSEE et sa Base Permanente des Equipements [INS12] en particulier, ont été référencées. Certains secteurs doivent être estimés sur plusieurs années, quand aucune source de données suffisamment détaillée n'est disponible. Un devis pour une étude pourrait être demandé auprès de l'INSEE afin de pouvoir réellement bénéficier de tous leurs résultats utilisables car les recherches font ponctuellement apparaître des enquêtes anciennes et l'information n'est pas toujours facilement accessible.

Le parc des supérettes a ainsi pu être vérifié sur l'historique depuis 1967 et reconstitué en se basant sur les publications INSEE pour les années 1970, 1975, 1980 ; 1985, 1990, 2003 à 2006, 2009 et 2010, complété par les données LSA sur les années récentes.

L'évolution du parc des surgelés est basée sur les données INSEE de 1985, syndigel de 2005 à 2009 et LSA pour les années les plus récentes.

L'introduction des magasins de type maxi-discompte est estimée à 1988 [HAR12]; l'évolution a été reconstituée jusqu'au données de 2007-2011 (Distripédie et OPC).

Selon la CGAD [CGA12], le nombre d'entreprises d'alimentation s'élève à 298 687 entreprises aux activités variées en 2011, dont les secteurs de l'artisanat et du commerce alimentaire de proximité rassemblent 47 %, soit 139 997 entreprises. Faute de données plus détaillées par type de petit commerce, ce chiffre est utilisé pour traduire l'évolution du parc de commerces de type 2. Celui-ci étant en décroissance, le marché d'équipements est un marché de renouvellement.

Les données fournies par l'Insee en 2010 et l'Atlas de la Distribution [LSA12] au 01/09/12 permettent d'établir les parcs des supérettes, maxi-discomptes et magasins de surgelés formant les principaux magasins de type 1.

L'évolution du parc, associée à une hypothèse de renouvellement des équipements tous les 15 ans permet d'estimer les marchés d'équipements en 2011 (Tableau III.2).

Un ordre de grandeur du parc de distributeurs automatiques réfrigérés est publié cette année sur le site de la NAVSA (chambre syndicale Nationale de Vente et Services Automatiques) [NAV12] qui, jusqu'en 2003, suivait régulièrement l'évolution de ce parc. Il est estimé à 637 000 distributeurs automatiques, dont 30 % pour les boissons conditionnées et produits alimentaires. Le marché a été ré-estimé sur l'historique, les dernières données précises datant de 2003.

Tableau IV.2 – Marchés d'équipements pour les petits commerces en 2011

2011	Groupe 1 Type supérette	Groupe 2 Type petit commerce spécialisé	Groupe 3 Type distributeur automatique
Nombre de nouveaux équipements (renouvellement inclus)	770	14 500	14 000

Supermarchés et hypermarchés

Dans le cas des hypermarchés, l'INSEE a publié les nouvelles surfaces de vente de 1991 à 2010 [INS12]. En 2011 les nouvelles surfaces de vente sont estimées à partir du parc d'hypermarchés déclarés par LSA en 2010 et 2011 [LSA12] et des surfaces moyennes données par l'OPC [OPC12].

Tableau IV.3 – Nouvelles surfaces de ventes en hypermarchés en France de 2009 à 2011

PARC HYPERMARCHES	2009	2010	2011
Nombre de magasins	1526	1 748	1 827
Surface moyenne par magasin (m ²)	5 561	5 527	5 416
Nouvelles surfaces de vente (m ²)	355 079	1 158 066	220 935*

* valeur calculée pour 2011.

Les données concernant le parc des supermarchés sont présentées Tableau III.4. Les nouvelles surfaces de vente sont évaluées à partir des données moyennes, elles-mêmes réévaluées par l'OPC. Le parc 2011 des supermarchés est estimé à 5 507 magasins en supposant une croissance linéaire sur 2010-2012, l'OPC publiant une valeur de 5 591 au 01/09/12.

Tableau IV.4 – Evolution du nombre de supermarchés en France de 2009 à 2011

PARC SUPERMARCHES	2009	2010	2011
Nombre de magasins	5 437	5 381	5 507
Surface moyenne par magasin (m ²)	1 284	1 288	1 304
Estimation des nouvelles surfaces de vente (m ²)	18 570	0	250 400

IV.2.2. Enquête de terrain 2012

Dans le cadre des inventaires 2011, l'enquête de terrain en froid commercial s'est déroulée selon deux axes :

- En hypermarché d'une part, dans la prolongation de l'enquête commencée depuis deux ans, afin de vérifier l'évolution des fluides utilisés dans les nouvelles installations, la tendance des ratios de charge et celle des niveaux d'émissions fugitives traduite par les consommations de fluides frigorigènes pour la maintenance.
- Dans les petits commerces alimentaires d'autre part, afin de mettre à jour des caractéristiques datant des inventaires 2000 concernant les charges moyennes et fluides utilisés dans les groupes de condensation et groupes hermétiques.

Ces enquêtes ont été réalisées par deux stagiaires au sein du CEP, Stéphane Levassor et Nelson Feukam. Les détails des enquêtes sont présentés dans leurs rapports de stages [FEU12]. Les principaux résultats sont présentés ici.

Résultats hypermarchés 2011

L'enquête auprès des hypermarchés n'a donné de résultats positifs qu'avec la chaîne Auchan qui a un suivi régulier de son parc d'installations et accepte d'en communiquer les résultats [GRO12]. Pour 2011, cette collaboration a permis d'obtenir :

- Les quantités et types de fluides utilisés sur 85 magasins
- Les niveaux d'émissions pour 25 d'entre eux.
- L'évolution de la banque de fluides frigorigènes

Les 85 magasins ayant fourni une réponse détaillée font apparaître une banque composée à 88 % de R-404A, 7 % de R-22, 3 % de R-134a et 2 % de R-410A. Les nouvelles installations utilisent le R-404A ou le R-134a en système indirect pour le froid positif et le CO2 en froid négatif.

La Figure III.2 présente les ratios de charge surfaciques des magasins en fonction de leur surface de vente, pour des surfaces croissantes. Le ratio varie de 0,031 à 0,42 kg/m², tous fluides confondus (hors quantités de CO₂ qui sont rarement renseignées), seuls quatre magasins ayant un ratio supérieur à 0,25 kg/m². Le ratio surfacique obtenu sur le parc de magasins en 2011-2012 est de **0,148 kg/m²**.

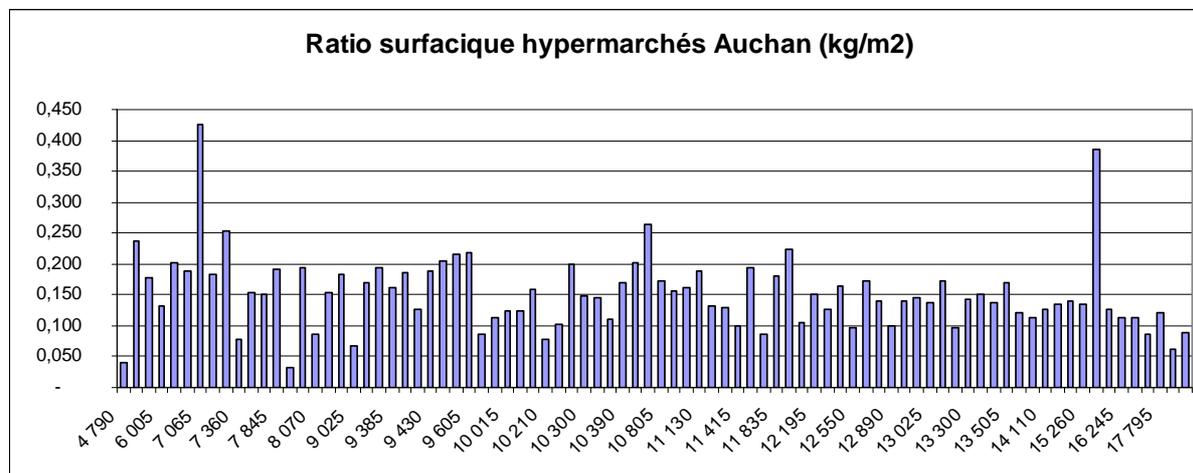


Figure IV.2 – Ratios de charge surfaciques des hypermarchés AUCHAN ayant répondu à l'enquête 2011

Les années de mise en service des équipements peuvent varier au sein d'une même installation, il est donc difficile d'estimer une évolution annuelle du ratio de charge surfacique, d'autant plus que le nombre de nouvelles installations par an est relativement faible (2 à 3) sur le parc. Les deux nouvelles installations sur 2010-2011 sont des systèmes cascades R-404A/R-744 avec des ratios de charges HFC de 0,066 et 0,088 kg/m² (les autres sont des renouvellements partiels).

Le niveau du ratio de charge moyen se réduit fortement sur les équipements neufs des hypermarchés. Les résultats de l'enquête 2010 faisaient apparaître un ratio à 0,2 kg/m² en moyenne. Ce niveau, réduit de 25 % en 2011 montre bien que les installations neuves, pour la quasi-totalité en systèmes indirects peuvent être caractérisées par des niveaux de ratios de charges inférieurs.

Les consommations de fluides frigorigènes pour la maintenance des installations ont été communiquées par 25 magasins. Rapportées à la charge installée elles permettent d'évaluer le taux d'émissions pour 2011 (Figure III.3). Celui varie de 0 à 92 %, un tiers des magasins ayant un niveau d'émissions supérieur à 30 % et plus d'un tiers un taux inférieur à 10 %, le taux moyen étant estimé à **25 %** par an pour 2011. Pour certains magasins, les consommations incluent celles liées à la climatisation ; le taux moyen est donc surestimé. La distinction n'a pu être obtenue cette année et rend difficile la comparaison avec les résultats des précédentes enquêtes rappelées au Tableau III.5.

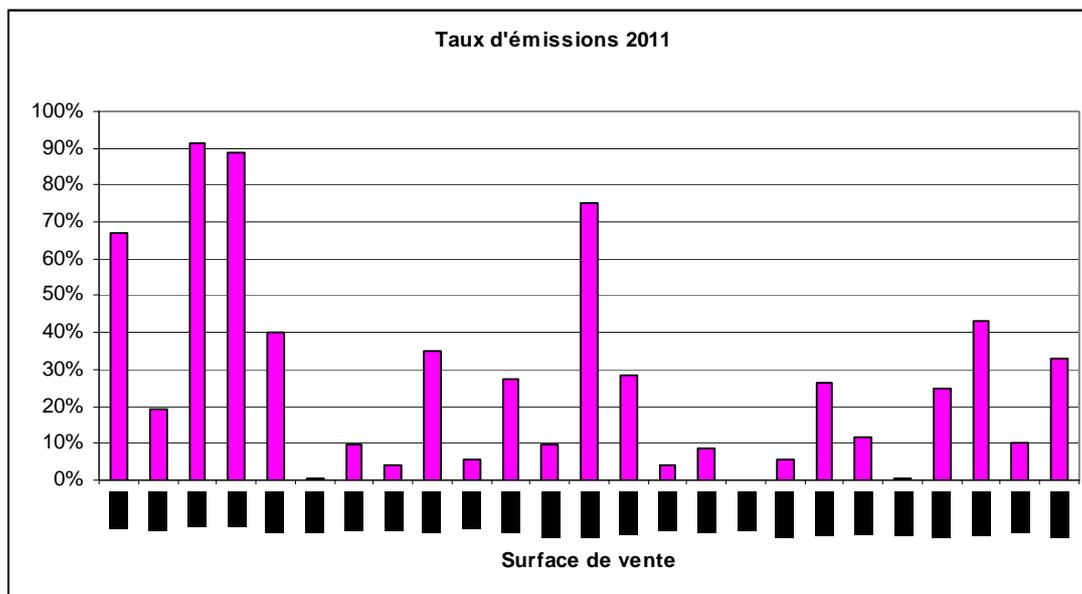


Figure IV.3 – Variation des taux d'émissions 2011 sur le parc des hypermarchés.

Tableau IV.5 – Estimation des niveaux d'émissions des hypermarchés ayant participé à l'enquête

	2008	2009	2010	2011
Nombre de magasins ayant fourni des données utilisables	14	28	24	25
Taux d'émissions minimal observé sur le parc	5 %	0,5 %	0	0
Taux d'émissions maximal observé sur le parc	78 %	81 %	64 %	92 %*
Taux d'émissions moyen par magasin	33 %	23 %	12 %	27 %*
Taux d'émissions global (quantités totales rapportées à la banque)	27 %	21 %	13 %	25 %*

* Ces taux d'émissions incluent les quantités utilisées pour la maintenance des installations de climatisation et sont donc surestimés.

Résultats petits commerces

L'enquête de terrain en petits commerces alimentaires a consisté en la visite et l'observation des installations de 51 magasins parmi lesquels :

- 28 supérettes
- 6 alimentations générales
- 6 boucheries-charcuteries
- 1 poissonnerie
- 1 magasin de produits laitiers
- 3 boulangeries-pâtisseries
- 3 restaurants.

Pour chaque magasin ont été relevés les équipements utilisés (type de vitrine ou d'armoire, groupe hermétique ou de condensation) et, quand l'information était visible, le type de fluide utilisé ainsi que la charge (cf annexe 2).

Les détails de l'enquête sont précisés dans [FEU12]. Les tendances sont résumées au tableau suivant concernant les charges moyennes des magasins et aux figures suivantes pour les fluides.

Tableau IV.6 – Charges moyennes des petits commerces

Type de commerce	supérette	alimentation générale	boucherie-charcuterie	produits laitiers	boulangerie pâtisserie	restaurant
Nombre de magasins (complets)	6	6	6	1	3	3
Charge totale en groupes hermétique	0,4	0,4	0,5	0	0,2	0,4
Charge totale en groupes de condensation	2,1	Non renseigné	3,0	4,0	3,3	1,5

Bien que les informations obtenues soient compètes pour seulement 14 magasins, il ressort deux informations importantes qui vont conduire à une correction des hypothèses sur l'historique:

- Les fluides utilisés ont évolué depuis la dernière enquête de terrain ; notamment le R-404A est utilisé non seulement dans les groupes de condensation mais aussi dans les groupes hermétiques (où il était considéré, dans les hypothèses d'inventaires depuis 2000 la seule présence du R-134a). A contrario, les groupes de condensation dans lesquels seul le R-404A avait été pris en compte, utilisent également le R-134a.
- Les charges des groupes de condensation équipant les supérettes (petits commerces du groupe I) ont été fortement réduites depuis les années 2000.

Par ailleurs, sur les équipements très récents (2011-2012), les hydrocarbures sont utilisés : le R-290 mais aussi le R-600a, principalement sur des équipements de type congélateur, armoires pour crèmes glacées.

Afin de préciser les tendances observées lors de l'enquête de terrain, des fabricants d'équipements ont été contactés (Bonnet-Névé, Friginox, Profroid) ainsi que Perifem. Peu d'informations nous ont été communiquées à ce jour. Bonnet-Névé [THO12] a confirmé une évolution dans les technologies des groupes de condensation installées en supérettes depuis 2004-2005 où apparaissent des systèmes centralisés, s'apparentant aux installations des supermarchés, réduisant significativement la charge puisque le nombre de groupes frigorifiques n'est plus égal à celui des vitrines réfrigérées mais fortement réduit et le plus souvent regroupés en salle des machines. La charge totale, de l'ordre d'une centaine de kg en 2004 se trouve fortement réduite, jusqu'à un niveau de 10 à 20 kg en 2012, en attente de confirmation et de chiffres plus détaillés.

IV.2.3. Hypothèses concernant les fluides utilisés

En hypermarchés

Les résultats de l'enquête en hypermarchés [GRO12] montrent que les installations neuves privilégient les systèmes de type cascade CO₂/HFC avec ou sans boucle secondaire sur les HFC, les HFC utilisés en 2012 étant le R-404A et le R-134a. Ces tendances sont confirmées par JCI [PHI12] selon qui la fin 2011 marque l'arrêt de l'utilisation du R-404A en détente directe et les systèmes les plus courants deviennent les cascades CO₂/R-134a. Les hypothèses prises pour le calcul sont récapitulées au Tableau III.7.

Concernant les renouvellements des installations aux HCFC, le retrofit du R-22 par du R-404A reste la solution la moins couteuse puisqu'on peut changer le fluide sans modifier l'installation et tout en conservant une puissance frigorifique quasi équivalente. Les fluides de remplacement (R-422D et autres) sont aussi utilisés dans cette configuration mais en froid négatif ils impliquent une perte de puissance

Les hypothèses prises pour la conversion de la banque de R-22 sont présentées au Tableau III.8.

Tableau IV.7 – Fluides sur le marché neuf en hypermarchés

Nouvelles installations hypermarchés	R-404A/ R-507	R-134a	R-410A	R-407C	CO ₂
2011	82 %	10 %	2 %	0 %	5 %

Tableau IV.8 – Fluides utilisés pour les conversions d'installations au R-22 en hypermarchés

Conversions installations R-22 hypermarchés	Part de la banque de R-22 rétrofitée	Vers du R-404A	Vers des fluides de remplacement	Renouvellement vers du R-134a	Renouvellement vers du R-410A
2011	20 %	6 %	7 %	4 %	2 %

En supermarchés

La tendance des installations centralisées des supermarchés se distingue de celles des hypermarchés par les points suivants :

- les fluides de remplacement, du type R-417A, R-422D sont davantage utilisés
- pour les petites surfaces, depuis 2009, les systèmes directs au R-134a sont de plus en plus utilisés
- les systèmes cascade CO₂ sont rarement utilisés

La prise en compte de ces éléments est présentée dans les hypothèses utilisées pour les calculs présentés tableaux 2.6 a et b.

Tableau IV.9 – Fluides sur le marché neuf en supermarchés

Nouvelles installations supermarchés	R-404A	R-134a	R-410A	CO ₂
2010	87 %	12 %	1 %	0 %
2011	78 %	20 %	1 %	1 %

Tableau IV.10 – Fluides utilisés pour les conversions d'installations au R-22 en supermarchés

Conversions installations R-22 supermarchés	Part de la banque de R-22 rétrofitée	Vers du R-404A	Renouvellement vers du R-134a	vers fluides de remplacement
2011	20 %	6 %	4 %	10 %

En commerces de proximité

L'enquête de terrain 2012 a remis en question l'évolution des fluides utilisés dans les installations des petits commerces. Il en résulte que, depuis plusieurs années la part du R-404A ait été sous-estimée dans les groupes hermétiques et celle du R-134a dans les groupes de condensation. Par ailleurs l'enquête a confirmé l'introduction des groupes fonctionnant avec des hydrocarbures sur le parc français : non seulement le R-290 mais aussi le R-600a. Les évolutions ont été corrigées depuis 2000 telles que présentées sur les figures suivantes alors qu'il n'était jusqu'à présent pris en compte que le R-404A dans les groupes de condensation et le R-134a dans les groupes hermétiques.

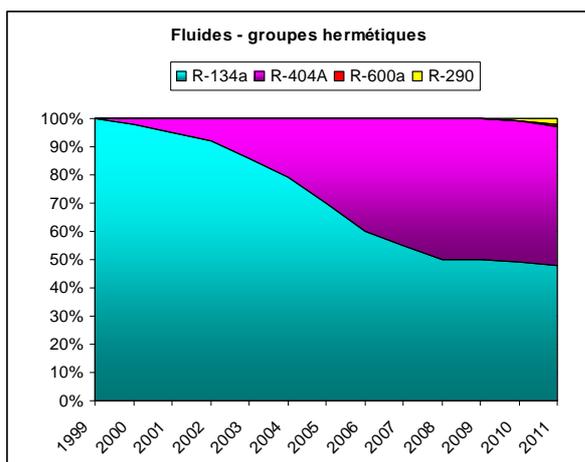


Figure IV.4 – Evolution des fluides utilisés dans les groupes hermétiques des petits commerces

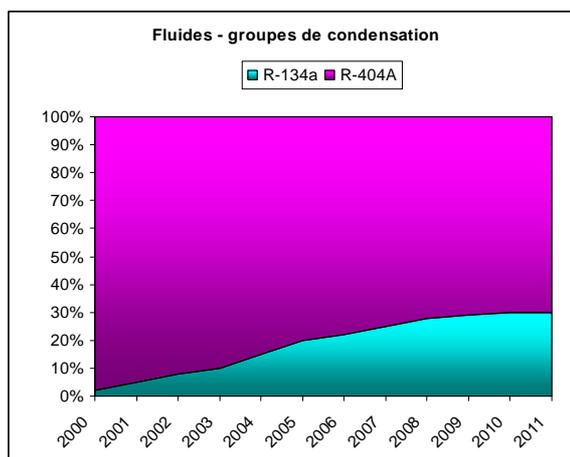


Figure IV.5 – Correction de l'évolution des fluides utilisés dans les groupes de condensation des petits commerces

Dans le cas des groupes hermétiques équipant les distributeurs automatiques réfrigérés, les fluides n'ont pas été modifiés : le R-134a est maintenu à 100% jusqu'en 2009 puis, comme pour les autres (Figure III.4) les hydrocarbures sont introduits à partir de 2010. La part de 2 % de R-290 et R-600a prise en compte en 2011 est à confirmer.

IV.2.4. Courbes de durée de vie

En froid commercial, la durée de vie de l'équipement est estimée en moyenne à 15 ans. Indépendamment de la durée de vie des magasins, cette valeur tient compte de la fréquence moyenne de renouvellement. La courbe de durée de vie présentée Figure III.6 est basée sur cette valeur moyenne et permet de prendre en compte des variations de durée de vie des équipements au sein du parc, de 10 à 20 ans.

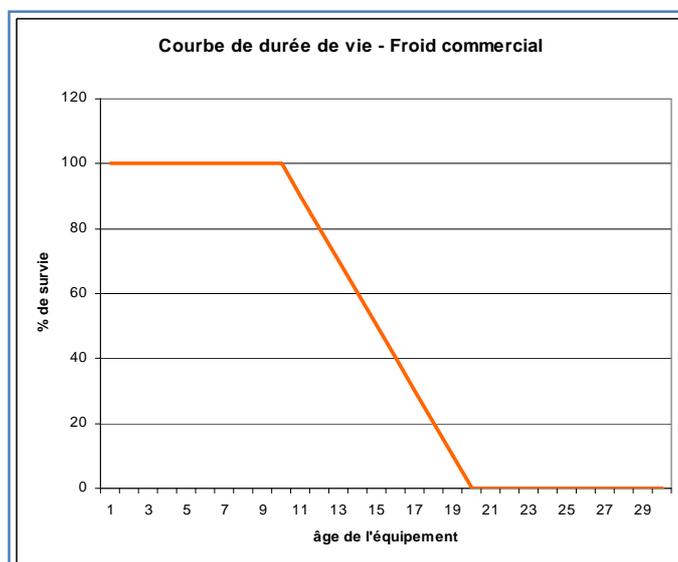


Figure IV.6 – Courbe de durée de vie des équipements de froid commercial

2.5. Ratios de charge

Pour les installations de froid centralisé, la charge est estimée en fonction d'un ratio rapporté à la surface du magasin. Les premiers ratios ont été établis par enquêtes sur plusieurs magasins, lors des premières études d'inventaires et ont montré que, dans les années 2000, le niveau était en moyenne de :

- 0,27 kg/m² en hypermarché
- 0,29 kg/m² en supermarché

A la suite de l'enquête de terrain 2011-2012 en hypermarchés, vue la pénétration accélérée des systèmes indirects et cascades et le ratio moyen obtenu sur le parc Auchan, le ratio de charge surfacique des nouvelles installations est corrigé à la baisse plus significativement sur 2010-2011. La même tendance est appliquée en supermarchés (Tableau III.11).

Tableau IV.11 – Correction des ratios de charge surfaciques en super et hypermarchés

	Supermarchés	Hypermarchés
2000	0,29	0,27
2010 (corrigé)	0,21	0,17
2011	0,19	0,15

Pour les commerces de proximité, la charge moyenne par type de magasin est décomposée en deux valeurs, celle présente dans les groupes de condensation d'une part et dans les groupes hermétiques d'autre part. L'enquête de terrain en petits commerces a montré une tendance nette à la réduction des charges, notamment pour les groupes de condensation équipant les supérettes qui passent de 129 kg en 2000 à 20 kg en 2011. Cette tendance est à confirmer et est en attente de réponses des différents fabricants contactés. Elle est pris en compte telle quelle pour les groupes de condensation équipant les supérettes dans un premier temps. Elle pourrait être élargie aux autres types de magasins et d'équipements à partir d'enquêtes complémentaires.

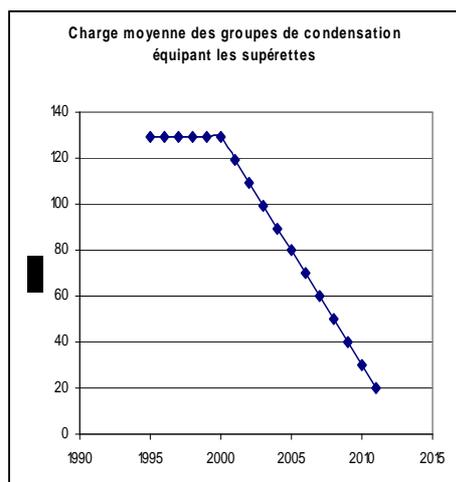


Figure IV.7 – Correction de la charge moyenne des groupes de condensation équipant les supérettes

Tableau IV.12 – Charges moyennes des systèmes frigorifiques des commerces de proximité en 2011

Charge (kg)	Groupe 1 (type supérettes)	Groupe 2 (petits commerces spécialisés)	Groupe 3 (distributeurs automatiques)
Groupes hermétiques	2,8	1,4	0,3
Groupes de condensation	20	3,5	0

IV.2.6. Taux d'émissions

Supermarchés et hypermarchés

Les résultats de l'enquête en hypermarchés [GRO12] sont difficilement exploitables cette année car les quantités consommées pour la maintenance des installations incluent, pour une partie indéterminée des hypermarchés, celles utilisées pour les systèmes de climatisation. Cependant, même si la forte baisse observée l'an dernier ne se retrouve pas en 2011, le taux reste globalement inférieur aux niveaux historiques, puisqu'il est de 25 % en moyenne sur 25 magasins.

La tendance à la réduction du taux d'émissions en hypermarchés est donc poursuivie dans les hypothèses, comme le montre le Tableau III.13 et, il est supposé une baisse d'un point du niveau national d'émissions en hypermarchés. La même tendance est appliquée aux supermarchés, à confirmer.

Tableau IV.13 – Evolution des taux d'émissions fugitives pris en compte dans le calcul 2011

Taux d'émissions rapportés à la banque	Hypermarchés	Supermarchés
2003	35 %	25 %
2004 à 2006	30 %	22 %
2007 à 2009	28 %	20 %
2010	27 %	20 %
2011	26 %	19,5 %

Commerces de proximité

La courbe en S introduite afin de prendre en compte une tendance à la réduction des émissions des groupes de condensation, par homogénéité avec le froid centralisé, est maintenue. Les hypothèses de taux d'émissions pour 2011 sont présentées au Tableau III.14.

Tableau IV.14 –Taux d'émissions fugitives prises en compte dans le calcul 2011

Commerces de proximité	Taux d'émissions fonction de la charge nominale
Groupes hermétiques	1 %
Groupes de condensation	13,5 %

IV.2.7. Efficacité de récupération

Une efficacité de récupération de l'ordre de 80 % est considérée en fin de vie des installations centralisées, depuis plusieurs années, traduisant l'intervention de sociétés certifiées au fait des obligations réglementaires lors des opérations de rétrofit ou de fin de vie des équipements. Ce taux de 80 % est maintenu de façon à prendre en compte le fait que l'opération de récupération de la charge totale des centrales frigorifiques impose un temps d'arrêt de fonctionnement du magasin qui est parfois limité par la direction du magasin.

Dans le cas des équipements des petits commerces, l'entretien n'est pas toujours assuré. Etant donné la taille du parc d'installations, il est difficile d'évaluer au niveau national le niveau de récupération. Cependant, étant donné que les bilans DEEE notamment font apparaître des petits équipements de froid commercial dans les installations traitées en fin de vie, un début de récupération est pris en compte pour les groupes hermétiques ; il est plus avancé pour les groupes de condensation dont l'installation et la mise au rebut nécessite l'intervention d'un professionnel. Les courbes « en S » d'évolution de ce paramètre sont maintenues et les valeurs prises en compte sont présentées au Tableau III.15.

Tableau IV.15 – Efficacités de récupération prises en compte dans le calcul

2011	Hypermarchés et supermarchés	Groupes de condensation	Groupes hermétiques
Taux de récupération fonction de la charge restante	80 %	35 %	5 %

IV.3 - Résultats du calcul Froid commercial Inventaires 2011

IV.3.1 – La banque

Les corrections apportées sur l'historique aux charges moyennes des équipements des petits commerces notamment conduisent à une ré-estimation de la banque. Elle est de 17 % inférieure à l'estimation donnée par les inventaires 2010 et estimée à 5 800 t en 2011. La tendance observée sur 2010-2011 conduit à l'augmentation de la banque de R-134a et à la limitation de la croissance de celle de R-404A (+4 % seulement par rapport à 2010).

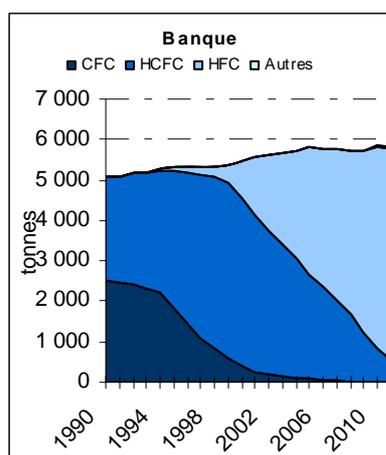


Figure IV.8 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes de froid commercial

Tableau IV.16 - Banque 2011 – Froid commercial

Froid Commercial		Banque 2011	
CFC	R-11	0	3
	R-12	3	
	R-502	0	
HCFC	R-22	363	555
	R-408A	137	
	R-401A	55	
HFC	R-134a	701	5 200
	R-404A	3 925	
	R-407C	6	
	R-410A	22	
	R-507	406	
	R-417A et autres fluides remplacement	140	
Autres	R-600a	0	35
	R-290	1	
	R-717	4	
	R-744	31	
Total (tonnes)		5 793	

La banque des petits commerces ne constitue plus que 30 % de la banque du froid commercial, étant donnée la forte réduction de charge appliquée aux équipements de type « groupes de condensation » sur la période 2001-2011. Le niveau de la réduction est cependant à confirmer, selon les précisions qu'apporteront les fabricants sur l'évolution des caractéristiques des équipements et le schéma type des supérettes.

IV.3.2 – La demande

La demande totale en fluides frigorigènes est estimée à plus de 1 700 t pour 2011, dominée à 70 % par le R-404A (Tableau III.17). La correction apportée aux petits commerces réduit, comme pour la banque, le niveau de la demande totale 2010 d'environ 18 %.

L'évolution corrigée de la demande totale de fluides frigorigènes nécessaire au froid commercial est présentée Figure III.9. Le « pic » observé en 2010 s'explique par une forte demande pour les hypermarchés en 2010 : croissance des nouvelles surfaces de ventes, associée à une forte demande pour le retrofit des installations aux HCFC.

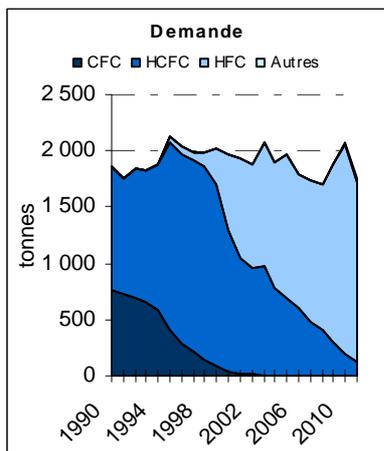


Figure IV.9 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes en froid commercial

Tableau IV.17 - Demande totale 2011 – Froid commercial

		Froid Commercial	Demande totale 2011	
CFC	R-11	-	0	0
	R-12	0		
	R-502	-		
HCFC	R-22	82	131	
	R-408A	37		
	R-401A	11		
HFC	R-134a	175	1 596	
	R-404A	1 227		
	R-407C	2		
	R-410A	11		
	R-507	107		
	R-417A et autres fluides remplacement	74		
Autres	R-600a	-	20	
	R-290	-		
	R-717	2		
	R-744	19		
Total (tonnes)			1 747	

Les tableaux suivants précisent la répartition de la demande pour la charge des équipements neufs (Tableau III.18) et celle pour la maintenance des équipements (Tableau III.19), le résidu (104 t) correspondant aux quantités utilisées pour le rétrofit des installations aux HCFC.

La demande pour la maintenance des installations représente 73 % des besoins du froid commercial en 2011. Elle est dominée par la demande pour l'entretien des installations centralisées, des hypermarchés en particulier (53 %).

Tableau IV.18 – Demande 2011 pour les équipements neufs de froid commercial

		Froid Commercial	Demande eqts neufs 2011	
CFC	R-11	0	0	
	R-12	0		
	R-502	0		
HCFC	R-22	0	0	
	R-408A	0		
	R-401A	0		
HFC	R-134a	97	366	
	R-404A	266		
	R-407C	0		
	R-410A	3		
	R-507	0		
	R-417A et autres FR	0		
Autres	R-600a	0	8	
	R-290	0		
	R-717	1		
	R-744	6		
Total (tonnes)			374	

Tableau IV.19 – Demande pour la maintenance des équipements de froid commercial

		Froid Commercial	Demande maintenance 2011	
CFC	R-11	0	0	0
	R-12	0		
	R-502	0		
HCFC	R-22	82	131	
	R-408A	37		
	R-401A	11		
HFC	R-134a	65	1 129	
	R-404A	933		
	R-407C	2		
	R-410A	6		
	R-507	107		
	R-417A et autres FR	17		
Autres	R-600a	0	9	
	R-290	0		
	R-717	0		
	R-744	9		
Total (tonnes)			1 269	

IV.3.3 – Les émissions totales

Le niveau 2011 des émissions totales dues à l'ensemble du secteur du froid commercial est estimé à 1 400 t de fluides frigorigènes, dominé à 85 % par les HFC et à 67 % par le R-404A (Tableau III.20).

L'impact de la correction sur les petits commerces est de l'ordre d'une réduction de 10 % des émissions totales 2010. Les émissions 2011 sont dominées à 76 % par le froid centralisé des super et hypermarchés.

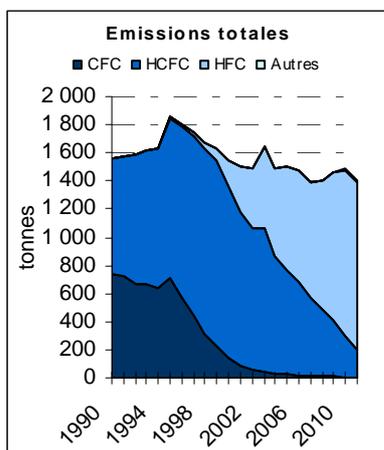


Figure IV.10 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes en froid commercial

Tableau IV.20 - Emissions totales 2011 – Froid commercial

Froid Commercial		Emissions totales 2011	
CFC	R-11	0	4
	R-12	4	
	R-502	0	
HCFC	R-22	143	196
	R-408A	40	
	R-401A	14	
HFC	R-134a	100	1 188
	R-404A	931	
	R-407C	1	
	R-410A	6	
	R-507	103	
	R-417A et autres fluides remplacement	45	
Autres	R-600a	0	10
	R-290	0	
	R-717	0	
	R-744	9	
Total (tonnes)		1 398	

IV.3.4 – Les émissions en équivalent CO₂

Les émissions du froid commercial restent pénalisées par l'utilisation du R-404A à fort GWP qui implique une croissance des émissions de CO₂ malgré l'éradication des banques de CFC et HCFC (Figure III.11). Les émissions 2011 sont estimées à près de 4 millions de tonnes de CO₂, dues à 76 % au R-404A (Tableau III.21).

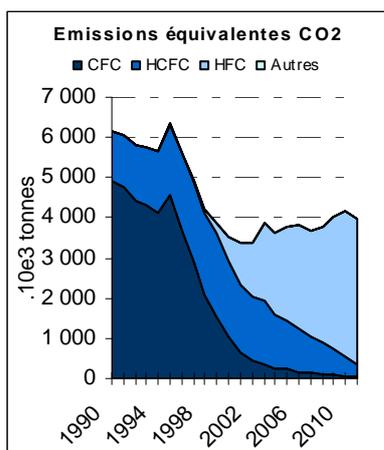


Figure IV.11 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ en froid commercial

Tableau IV.21 - Emissions totales en équivalent CO₂ 2011 – Froid commercial

Froid Commercial		Emissions eq CO2 2011	
CFC	R-11	0	34
	R-12	34	
	R-502	0	
HCFC	R-22	214	332
	R-408A	105	
	R-401A	13	
HFC	R-134a	130	3 620
	R-404A	3 037	
	R-407C	2	
	R-410A	11	
	R-507	340	
	R-417A et autres fluides remplacement	100	
Autres	R-600a	0	0
	R-290	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
Total (milliers de tonnes)		3 986	

IV.3.5 – Les quantités récupérées

Les quantités de fluides frigorigènes récupérées lors de la fin de vie ou le rétrofit des installations sont évaluées à 250 t en 2011, en majorité du R-22 issu des installations converties vers des HFC. Une partie de ces quantités est utilisée par les détenteurs de plusieurs installations afin d'assurer la maintenance des dernières installations aux HCFC et ne retourne pas aux distributeurs.

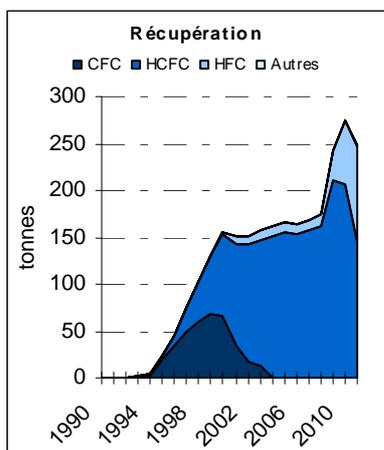


Figure IV.12 - Evolution des quantités récupérées en froid commercial

Tableau IV.22 - Quantités récupérées 2011 – Froid commercial

Froid Commercial		Récupération 2011	
CFC	R-11	0	0
	R-12	0	
	R-502	0	
HCFC	R-22	119	145
	R-408A	20	
	R-401A	6	
HFC	R-134a	10	103
	R-404A	62	
	R-407C	0	
	R-410A	1	
	R-507	10	
	R-417A et autres fluides remplacement	20	
Autres	R-600a	0	1
	R-290	0	
	R-717	0	
	R-744	1	
Total (tonnes)		249	

En 2011, les quantités de HFC récupérées deviennent significatives, comparativement aux années précédentes. Elles correspondent aux premières installations des années 95-2000 utilisant le R-404A. Les estimations pour les autres HFC peuvent provenir de la méthode appliquée pour le rétrofit des installations qui n'en modifie pas la durée de vie. Ce point est à confirmer.

IV.4. Références froid commercial

- [CGA12] Site de la Confédération Générale de l'Alimentation en Détail
www.cgad.fr
- [FEU12] Rapport de stage. Nelson FEUKAM. CEP Mines-ParisTech, Août 2012.
- [HAR12] Le phénomène Hard-discount en France. Mars 2011.
<http://hard-discount-ozar.blogspot.fr/>
- [GRO12] Communications d'Alexandra Grotto et Jean-Michel Deroo pour le groupe Auchan, 2012.
- [INS12] INSEE, Base Permanente des Equipements.
http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?reg_id=99&ref_id=fd-bpe11
- [LSA11] L'Atlas de la distribution Alimentaire, LSA, Edition 2011.
- [NAV12] La DA en chiffres. Euromonitor NAVSA (chambre syndicale Nationale de Vente et Service Automatique) 2009-2010.
http://www.navsa.fr/00_koama/visu_navsa/index.asp?sid=349&cid=15347&cvid=15384&lid=1
- [OPC10] Rapport de branche 2010. Exercice 2009. Commerce de détail et de gros à prédominance alimentaire. Observatoire Prospectif du Commerce.
<http://fr.calameo.com/read/00014259759d6a5ae4ac6>
- [OPC12] Etudes et panoramas de l'Observatoire Prospectif du Commerce.
<http://www.opcommerce.org/ForcoCms/Etudes/panoramas.aspx>
- [PHI12] Entretiens avec Bernard Philippe, Réfrigération Industrielle, JCI (Jonhson Controls Industries), 2012.
- [THO12] Entretien téléphonique, Jean-Patrick Thockler, Bonnet Névé, Septembre 2012.

V. LES TRANSPORTS FRIGORIFIQUES

V.1- Structuration du secteur

Le secteur des transports frigorifiques est divisé en trois sous-secteurs :

- le transport routier,
- le transport maritime,
- les conteneurs frigorifiques autonomes.

Le transport routier par camion réfrigéré se décompose en deux catégories:

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

Le transport maritime inclut seulement les cales réfrigérées ou « reefers », soit les bateaux possédant leurs propres systèmes de production frigorifique.

Les conteneurs frigorifiques autonomes sont indépendants du mode de transport et sont véhiculés par train, camion ou bateau (porte-conteneurs).

V.2- Méthode de calcul et données nécessaires

Pour le secteur des transports frigorifiques, la méthode générale est utilisée, elle est rappelée à la figure 3.1. Cependant, une précision doit être apportée quant aux hypothèses prises en compte, relatives aux lieux de charges. En effet, la méthode de calcul général prend en compte le marché et la production d'équipements en supposant qu'ils sont chargés en usine. Quand les équipements sont chargés sur site, il est nécessaire de prendre en compte les équipements mis sur le marché. Dans le cas du transport routier, la difficulté est que, selon les cas, les groupes équipant les camions peuvent être chargés dans les usines produisant les groupes ou dans celles produisant les camions.

A la suite des échanges avec Carrier et le Cemafrroid, une révision a été faite dans le cadre de ces inventaires et, bien qu'il existe quelques cas particuliers, il a été supposé que :

- les systèmes de type « poulie-courroie » sont chargés sur le site de production des camionnettes ; le calcul de la demande en fluides utilise donc la donnée « production de camionnettes en France »
- les systèmes autonomes sont à 90 % chargés en usine de production (de ces systèmes), il est donc nécessaire d'évaluer la production des groupes en France.

En revanche, le calcul de la banque de fluides et des émissions fugitives est basé sur le parc circulant en France. Ce sont alors bien les marchés de camions frigorifiques qui sont nécessaires à le reconstituer.

Le transport maritime par bateaux réfrigérés ou conteneurs est calculé au niveau mondial, seules des statistiques globales étant disponibles. Au niveau mondial, le marché est équivalent à la production. Il est considéré qu'une part de 10 % peut être attribuée à la France. Les conteneurs frigorifiques étant chargés d'usine, la production française risque par cette méthode d'être surestimée, les résultats concernant le transport maritime sont donc à prendre avec précaution.

Les autres données nécessaires au calcul sont:

- la répartition annuelle des fluides utilisés sur le marché neuf des équipements
- les charges de référence de l'équipement
- la durée de vie
- les taux d'émissions fugitives

- l'efficacité de récupération des filières assurant le traitement des équipements en fin de vie.

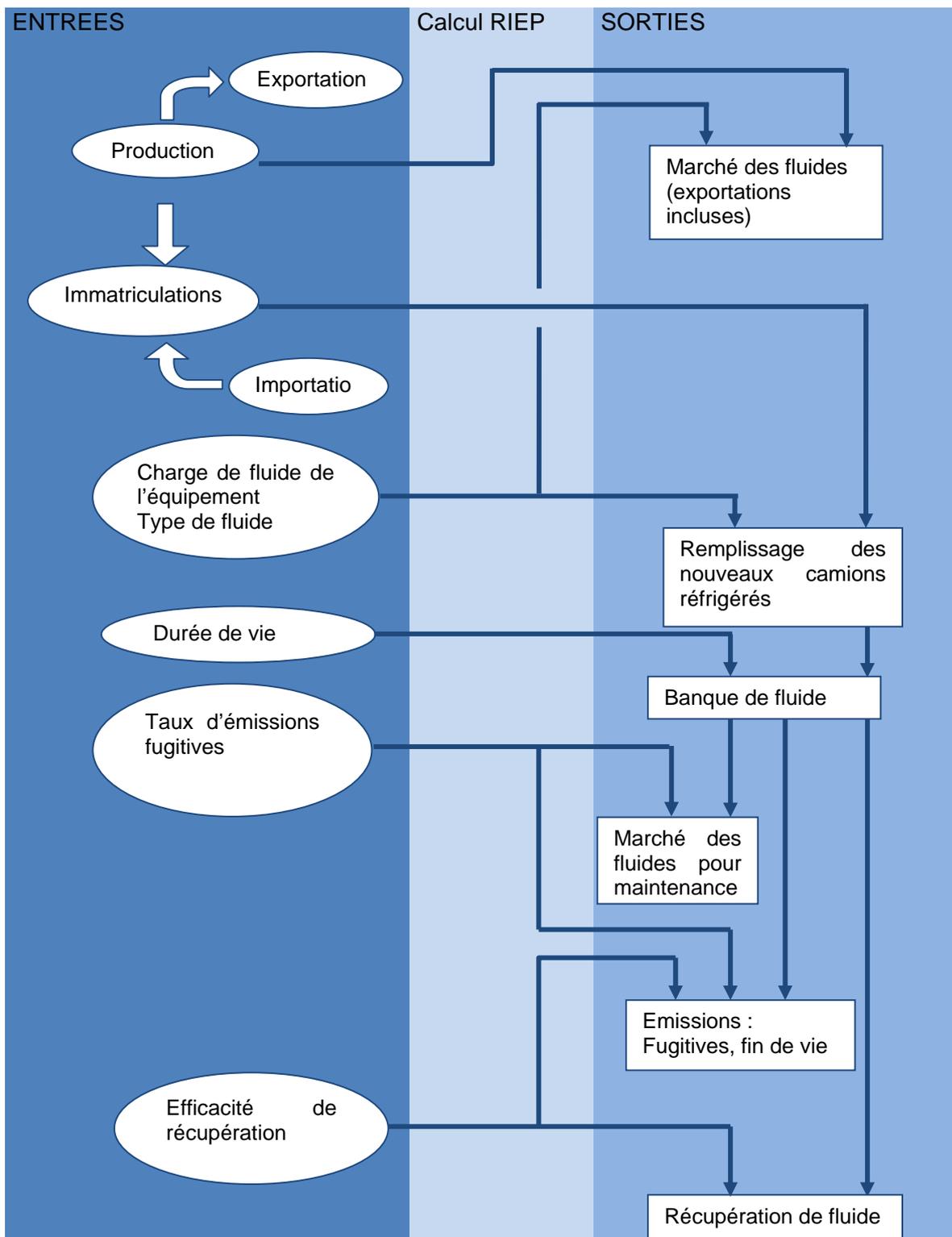


Figure V.1– Organigramme de la méthode utilisée pour le secteur des transports frigorifiques

V.3.1 Statistiques disponibles transport routier

Pour la réalisation des inventaires 2011, le CEP a acheté une extraction de la base DATAFRIG au Cemafruid [DEV12], ce qui a permis de vérifier les estimations de production faites jusqu'à présent sur la base de communications de Carrier et d'analyser les données de DATAFRIG utilisables dans les inventaires.

La base DATAFRIG recense les véhicules ayant fait l'objet et obtenus une attestation de conformité technique ('ATP ou nationale). La première demande est faite par le producteur d'engins de transport et est valable 6 ans. Au bout de 6 ans, l'attestation doit être renouvelée, tous les 3 ans. Le suivi de la délivrance et du renouvellement de ces attestations permet d'estimer le parc de véhicules roulant en France.

Dans DATAFRIG, la notion de « production » de véhicules correspond au nombre de véhicules produits en France pour lesquels les producteurs ont demandé une attestation. Cette attestation est obligatoire en France et dans la plupart des pays d'Europe mais certains pays, tels que l'Allemagne, ne l'exigent pas pour le transport intérieur. Le niveau de production est donc sous-estimé puisqu'une partie des véhicules produits en France est exporté sans ATP.

Dans le cadre des inventaires, la connaissance de la « production » des équipements contenant des fluides frigorigènes est nécessaire pour évaluer la demande en fluides frigorigènes et les émissions à la charge lorsque l'équipement est chargé en usine de production. Dans le cas des groupes équipant les camions frigorifiques, il existe deux cas dominants:

- Les groupes de type « poulie-courroie » dits non autonomes sont principalement chargés en fluide frigorigène lors de la construction du véhicule. La donnée nécessaire au calcul est donc la production de camionnettes, ce que fournit Datafrig à la part près des véhicules produits en France pour être exportés vers un pays n'exigeant pas l'ATP qui est pour le moment négligée.
- Les groupes de type « systèmes autonomes » sont principalement chargés d'usine ; la production n'est alors pas en lien avec celle des camions. Cependant, DATAFRIG connaissant, pour chaque camion mis sur le marché, le lieu de production et le lieu de charge, il devrait être possible d'estimer les quantités produites en France. Ce point est à confirmer, l'extraction fournie cette année correspondant aux camions mis sur le marché français avec des groupes produits en France mais la part de la production exportée n'a pas été prise en compte.

Pour ce calcul d'inventaires 2011, en termes de production, les données DATAFRIG n'ont été utilisées que pour les systèmes poulies-courroies. Les données CARRIER ont été privilégiées pour estimer la production nationale des groupes autonomes.

L'estimation des parcs par Datafrig a été comparée aux parcs reconstitués à partir des données CARCOSERCO et une durée de vie moyenne de 10 ans.

Production française

Dans le secteur des systèmes de type « poulie-courroie » utilisés en transport routier, les données de production ont été corrigées en fonction des données Datafrig. Les quantités de fluides frigorigènes utilisées dans les groupes frigorifiques sont supposées équivalentes aux quantités chargées dans les camionnettes produites en France (et ayant obtenues une attestation Datafrig). Les données ont été corrigées en 2010 ainsi que sur l'historique, en appliquant le ratio (0,8) correspondant au rapport de la valeur de la production 2010 corrigée

par la valeur prise en compte dans les inventaires 2010. Les valeurs corrigées sur l'historique sont données au Tableau IV.1.

Pour les systèmes autonomes, les productions sont estimées en fonction des tendances données par Carrier en 2000, 2007 et 2011 [STU12], en appliquant un coefficient 0,9 afin de tenir compte de la part chargée d'usine (Tableau IV.1).

Tableau V.1 – Productions corrigées des groupes frigorifiques pour le transport routier

Types	2000	2005	2010	2011
Camionnettes équipées de systèmes Poulie - courroie	2 730	5 790	5 650	6 770
Systèmes autonomes chargés d'usine (90%) équipant les Camions et Semi-remorques	10 800	13 750	16 150	21 150

Marché neuf ou immatriculations

Les statistiques publiées par la Chambre Syndicale Nationale des Carrossiers et Constructeurs de Semi-Remorques et Conteneurs (CARCOSERCO) [CAR11] fournissent les immatriculations des véhicules frigorifiques de type : véhicules utilitaires légers, véhicules industriels, semi-remorques et remorques jusqu'en 2010 mais n'ont pas été publiées pour l'année 2011. Le marché 2012 (Tableau IV.2) a été estimé en supposant une progression équivalente à celle de la production sur 2011-2012.

Tableau V.2 – Nouvelles immatriculations du transport routier en France [CAR11]

Marché transport routier	2009	2010	2011
Poulie - courroie	3 859	4 299	5 146
Moteur thermique	3 872	3 835	4 871

V.3.2. Statistiques disponibles transport maritime

Dans le sous-secteur du transport maritime, le « container handbook » [CON08] ayant fourni la production des conteneurs jusqu'en 2004 ne met plus à jour ses statistiques. Ce secteur étant traité au niveau mondial, le marché est supposé égal à la production. Il est estimé à partir de l'évolution de la flotte en considérant une durée de vie moyenne de 14 ans. Les niveaux de la flotte mondiale sont données jusqu'en 2009 par Worldshipping [SHI10], ainsi qu'une estimation de son évolution sur la période 2010-2011. Faute de données plus précises, ce sont les valeurs projetées qui sont utilisées pour estimer le marché en 2010 et 2011 (Tableau IV.3).

Tableau V.3 – Evolution de la flotte et du marché des conteneurs frigorifiques [SHI10]

Conteneurs	2004	2009	2010	Estimation 2011
Flotte	1 153 000	1 689 000	1 702 000	1 817 000
Marché	143 000	138 000	91 000	206 000

Pour les bateaux réfrigérés, le transport par reefer est en baisse très significative et peu de navires ont été construits ces dernières années. D'après [REF07], il n'est pas prévu

d'excéder une production de 3 reefers par an d'ici 2014. Une production de 2 bateaux réfrigérés est prise en compte pour 2011.

Le transport frigorifique ferroviaire est peu développé en France : environ une centaine de voitures frigorifiques. La technologie des groupes utilisés étant similaire à celle des conteneurs autonomes, ils sont comptabilisés dans le parc total du Tableau IV.3.

V.3.3 Fluides utilisés

En transport routier, les systèmes poulie-courroie étaient chargés exclusivement avec du R-134a jusqu'en 2000. La progression du R-404A, utilisé pour des raisons pratiques car il permet le transport des surgelés contrairement au R-134a, a été ré-estimée par Carrier [STU12] sur la période 2000-2011 et évaluée, en 2011, à 85 % du marché neuf (contre 30 % en 2010 dans les inventaires 2010).

Dans les systèmes à moteur thermique, l'emploi du R-404A est quasi général. Dans une très faible proportion, le R-134a et le R-410A ont été introduits depuis 2008 [STU12].

Tableau V.4 – Fluides utilisés sur le marché neuf du transport routier

Transport routier	Poulie-moteur	Moteur thermique
2011	15 % R-134a 85 % R-404A	99,5 % R-404A 0,1 % R-134a 0,4 % R-410A

Dans le transport maritime, selon le TOC [TOC10], les navires récents utilisent le plus souvent des systèmes indirects à base de HFC (R-134a, R-404A ou R-410A). Les conteneurs frigorifiques autonomes n'utilisent que le R-134a dans les équipements neufs.

V.3.4 Charges de référence

La tendance des charges des équipements du transport routier est, comme dans la plupart des secteurs, à la réduction. Ce phénomène s'accroissant sur les dernières années, la réduction de la charge a, dans le cadre de la réalisation des inventaires 2011, été prise en compte dans le calcul, tel que précisé au Tableau IV.5.

Tableau V.5 – Charges des équipements du transport routier

Charge moyenne (kg)	Valeurs jusqu'en 2006	2011
Poulie - courroie	2,5	1,6
Moteur thermique	7,2	6,6

Les systèmes frigorifiques des navires au R-22 des années 1970 étaient de l'ordre de 3 à 5 tonnes. Afin de tenir compte de l'augmentation significative du nombre de systèmes indirects (dont les charges varient de 500 à 1 000 kg) sur les navires récents [TOC10], les charges moyennes des reefers sont réduites depuis 2001 pour atteindre le niveau de 1t en 2010-2011. Les charges des conteneurs sont supposées constantes.

Tableau V.6 – Charges des équipements dans le transport maritime

Charge	Reefers	Conteneurs autonomes
2011	1 t	4,6 kg

V.3.5 Durée de vie

Les figures 3.2 à 3.4 présentent les courbes de durée de vie utilisées pour les trois sous-secteurs du transport frigorifique. Cette hypothèse n'a pas évolué.

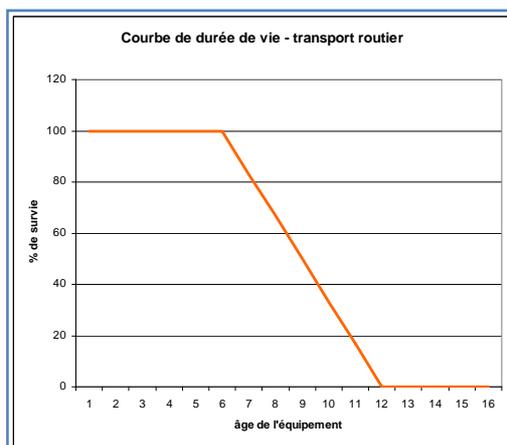


Figure V.2 - Courbe de durée de vie pour les systèmes du transport routier

Selon le Cemafruid [DEVa12], le parc des camions frigorifiques en France est évalué à 120 000 unités. Les données Carcoserco associées à une durée de vie moyenne de 10 ans donnent un parc de camions frigorifiques de 107 450 camions en 2011, soit une sous-estimation d'environ 10 %. Les données Cemafruid sont à confirmer et le parc calculé également, en prenant en compte la durée de vie. Cependant, les premières estimations sont cohérentes.

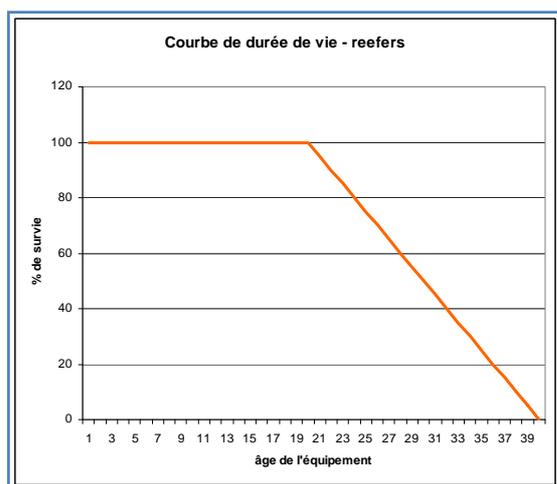


Figure V.3 – Courbe de durée de vie des reefers

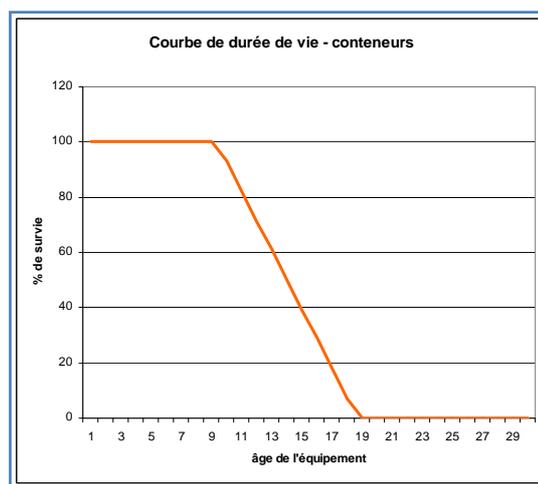


Figure V.4 – Courbe de durée de vie des conteneurs

V.3.6 Taux d'émissions fugitives

Des taux d'émissions fugitives importants sont associés au secteur du transport, étant donné le caractère mobile des équipements et l'environnement souvent agressif auquel ils sont confrontés. Ces taux, incluant les pertes à la maintenance, sont regroupés au Tableau IV.7.

La tendance à la réduction des taux d'émissions des reefers tient compte de la forte pénétration des systèmes indirects, pour lesquels le niveau d'émissions est estimé de 5 à 10 % contre 20 % pour les systèmes directs [TOC10].

Tableau V.7 – Taux d'émissions fugitives des équipements du transport frigorifique

Taux d'émissions (% de la charge nominale)	Transport routier		Reefers	Conteneurs autonomes
	Moteur thermique	Poulie-courroie		
2011	13 %	21 %	15 %	20 %

V.3.7 Efficacité de récupération

Peu d'informations sont disponibles dans le secteur du transport frigorifique pour estimer l'efficacité de récupération. Les valeurs du Tableau IV.8 tiennent compte d'une tendance à l'amélioration des pratiques mais sont à confirmer.

Tableau V.8 – Efficacité de récupération

Efficacité de récupération	Transport routier	Reefers	Conteneurs autonomes
2011	73 %	20 %	25 %

V.4 Résultats Transports Frigorifiques – Inventaires 2011

V.4.1 – La banque

La banque évolue peu malgré les corrections apportées au transport routier car elle est constituée aux trois quarts du transport maritime. Elle est estimée à 1 530 t en 2011, dont plus de la moitié est du R-134a. La banque du transport routier est de seulement 360 t, à 90 % du R-404A.

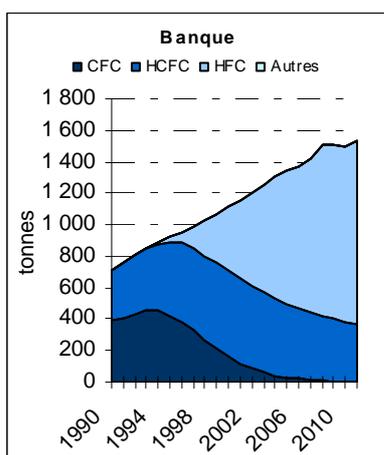


Figure V.5- Evolution de la banque de fluides frigorigènes du transport frigorifique

Tableau V.9 - Banque 2011 – Transport Frigorifique

Total France métropole		Banque 2011	
CFC	R-11	-	1
	R-12	1	
	R-502	-	
HCFC	R-22	365	366
	R-408A	-	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	831	1 165
	R-404A	333	
	R-407C	-	
	R-410A	1	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
Autres	R-600a	-	0
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	0	
Total (tonnes)		1 533	

V.4.2 – La demande

La demande totale en fluides frigorigènes, en croissance, est estimée à 640 t en 2011. Les « pics » observés Figure IV.5 sont principalement dus aux variations du niveau de production des conteneurs réfrigérés. La demande pour les équipements neufs de transport maritime

(73 t en 2011) est probablement surestimée par la méthode prenant en compte pour la France 10 % du niveau mondial, ces équipements étant chargés en usine de production.

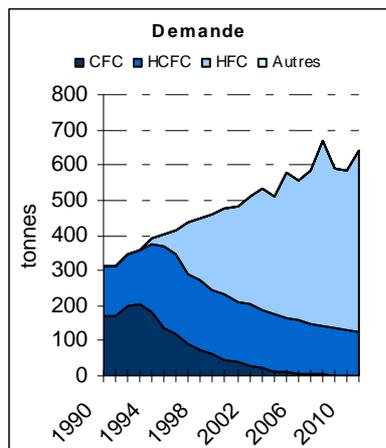


Figure V.6 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes en transport frigorifique

Tableau V.10 - Demande totale 2011 – Transport Frigorifique

Total France métropole		Demande totale 2011	
CFC	R-11	-	0
	R-12	0	
	R-502	-	
HCFC	R-22	123	123
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	275	518
	R-404A	243	
	R-407C	-	
	R-410A	1	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
Autres	R-600a	-	0
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	0	
Total (tonnes)		642	

Les tableaux suivant précisent la répartition de la demande pour la charge des équipements neufs (Tableau IV.11) et celle pour la maintenance des équipements (Tableau IV.12). Le marché de HCFC constituant 19 % de la demande totale (Tableau IV.10) provient de la demande pour la maintenance des équipements de transport maritime (Tableau IV.12), traités au niveau mondial.

Tableau V.11 – Demande 2011 pour les équipements neufs de transport frigorifique

Total France métropole		Demande eqts neufs 2011	
CFC	R-11	-	0
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	0	0
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	75	246
	R-404A	171	
	R-407C	-	
	R-410A	1	
	R-507	-	
	R-417A et autres FR	-	
Autres	R-600a	-	0
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	0	
Total (tonnes)		247	

Tableau V.12 – Demande pour la maintenance des équipements de transport frigorifique

Total France métropole		Demande maintenance 2011	
CFC	R-11	-	0
	R-12	0	
	R-502	-	
HCFC	R-22	123	123
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	200	272
	R-404A	72	
	R-407C	-	
	R-410A	0	
	R-507	-	
	R-417A et autres FR	-	
Autres	R-600a	-	0
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		395	

V.4.3 – Les émissions totales

Le niveau 2011 des émissions totales dues à l'ensemble du secteur du transport frigorifique est estimé à 430 t, dont 80 % sont liées au transport maritime. Les émissions sont stables sur 2008-2011.

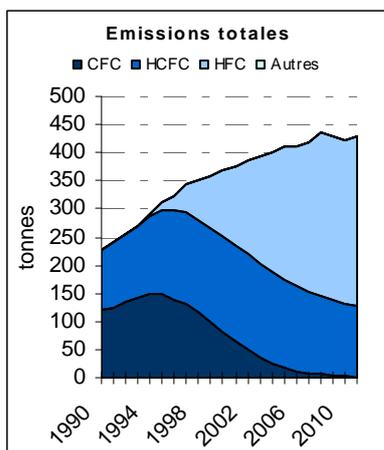


Figure V.7 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes en transport frigorifique

Tableau V.13 - Emissions totales 2011 – Transport Frigorifique

Total France métropole		Emissions totales 2011	
CFC	R-11	-	1
	R-12	1	
	R-502	-	
HCFC	R-22	124	125
	R-408A	-	
	R-401A	0,41	
HFC	R-134a	224	303
	R-404A	78	
	R-407C	-	
	R-410A	0,14	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
	R-600a	-	
Autres	R-290	-	0
	R-717	-	
	R-744	0	
Total (tonnes)		429	

Les émissions dues au transport routier ne sont que de 89 t en 2011, mais incluent 76 t de R-404A.

V.4.4 – Les émissions en équivalent CO₂

Les émissions du transport frigorifique sont en baisse (Figure IV.7), grâce à l'élimination de la banque de CFC et sont évaluées à 745 000 t en 2011. Le transport routier, responsable de seulement 20 % des émissions de fluides frigorigènes du transport, voit sa part des émissions équivalentes CO₂ s'élever à 35 %, à cause de la forte utilisation du R-404A.

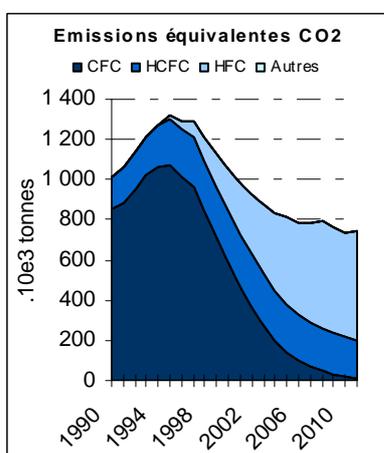


Figure V.8 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ en transport frigorifique

Tableau V.14- Emissions totales en équivalent CO₂ 2011 – Transport Frigorifique

Total France métropole		Emissions eq CO2 2011	
CFC	R-11	-	11
	R-12	11	
	R-502	-	
HCFC	R-22	186	187
	R-408A	-	
	R-401A	0,41	
HFC	R-134a	292	547
	R-404A	255	
	R-407C	-	
	R-410A	0,25	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
	R-600a	-	
Autres	R-290	-	0
	R-717	-	
	R-744	0	
Total (milliers de tonnes)		745	

V.4.5 – Les quantités récupérées

Les quantités de fluides frigorigènes récupérées lors de la fin de vie des équipements s'élèvent à seulement 38 t à cause de la faible efficacité de récupération associée au transport maritime.

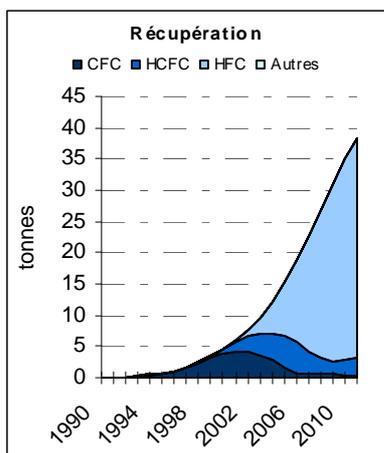


Figure V.9 - Evolution des quantités récupérées en transport frigorifique

Tableau V.15 - Quantités récupérées 2011 – Transport Frigorifique

Total France métropole		Récupération 2011	
CFC	R-11	-	0
	R-12	0	
	R-502	-	
HCFC	R-22	3	3
	R-408A	-	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	11	35
	R-404A	24	
	R-407C	-	
	R-410A	-	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
Autres	R-600a	-	0
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		38	

V.5 Références Transports Frigorifiques

[CAR11] www.carcoserco.org

[CON08] http://www.containerhandbuch.de/chb_e/wild/index.html

[DEV12] Inventaire des productions d'engins de transport sous température dirigée autonomes et non autonomes 2010-2011. Masses de fluides frigorigènes. 25 Octobre 2012. Eric Devin. Cemafrroid.

[DEVa12] Entretiens Eric Devin, Cemafrroid, 2012.

[REF07] <http://www.reefertrends.com>

[SHI10] World Shipping Councils.
<http://www.worldshipping.org/about-the-industry/containers/global-container-fleet>

[STU12] Entretiens JP.Stumpf, Carrier, 2011-2012.

[TOC10] 2010 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Option Committee. 2010 Assessment.

VI. LE FROID INDUSTRIEL

VI.1 Structuration du secteur

Le secteur du froid industriel est divisé en trois sous-secteurs :

- l'industrie agroalimentaire
- les procédés industriels
- les patinoires

Le sous-secteur des industries agroalimentaires est le plus important et dispose d'une méthode de calcul dédiée (détaillée dans les précédents rapports d'Inventaires [INV01] [INV02]), basée sur les quantités annuelles de produits traités. Les secteurs répertoriés sont :

- la viande
- les produits laitiers
- le vin et la bière
- les produits surgelés
- la glace hydrique pour le poisson
- l'entreposage frigorifique
- les chocolateries industrielles
- les boissons gazeuses.

La catégorie des tanks à lait est calculée de façon indépendante mais dépend aussi de la production annuelle de lait.

Les procédés industriels comportent ceux de :

- l'industrie chimique
- l'industrie du caoutchouc
- une estimation forfaitaire des autres procédés (pharmaceutiques...)

L'industrie chimique est le principal secteur des procédés industriels.

VI.2 Données nécessaires au calcul

La méthode de calcul du secteur du froid industriel est rappelée figure 4.1. Dans l'industrie agroalimentaire, un prétraitement [INV01] permet d'obtenir les principaux paramètres. Dans les procédés industriels, les informations communiquées sont confidentielles et constituent directement la banque de fluides du sous-secteur. Il convient de souligner que dans la méthode de calcul, les installations sont estimées d'après les quantités produites par secteur et, une fois déterminées, restent indépendantes des baisses de production au cours de leur durée de vie.

Globalement, les données suivantes sont nécessaires aux calculs :

- le parc d'équipements ou la production de denrées (agroalimentaire, chimique)
- la répartition annuelle des fluides
- la charge ou les ratios (En agroalimentaire, quatre ratios caractéristiques sont nécessaires pour reconstituer la charge globale à partir de la production annuelle, comme il l'est rappelé à l'annexe 2).
- la courbe de durée de vie
- les taux d'émissions
- l'efficacité de récupération

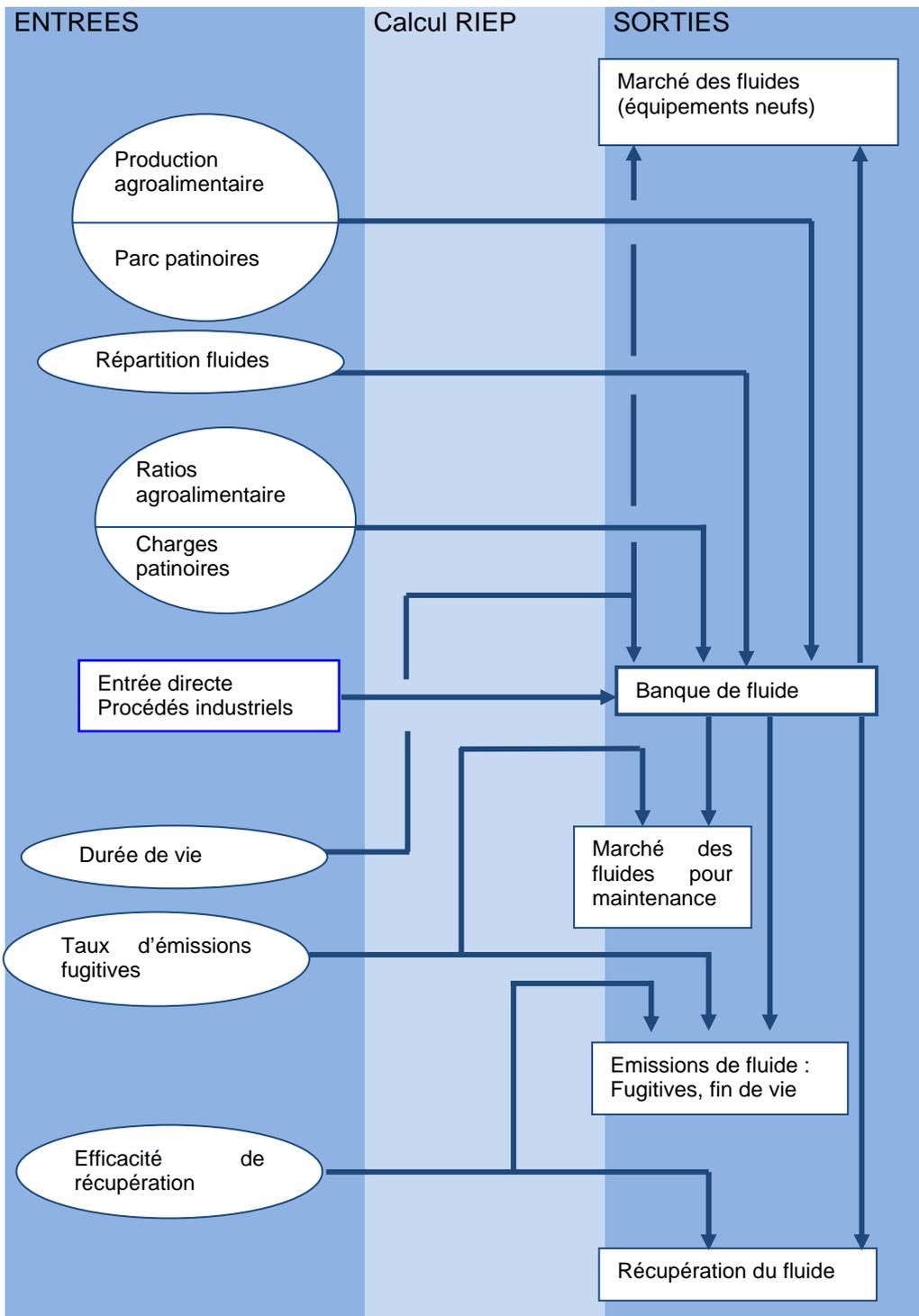


Figure VI.1 - Organigramme de la méthode de calcul utilisée pour le sous-secteur du froid industriel

VI.3 Données Industries en France en 2011

VI.3.1 Production française ou parc

Industries Agroalimentaires

La base de données FAO (Food & Agriculture Association) [FAO12] permet d'obtenir les principales productions françaises des secteurs agroalimentaires. Au moment de ce calcul d'inventaires, les données 2011 ne sont pas encore publiées sur le site. Les productions 2011 ont donc été estimées à partir des données ou mises à jour 2008-2010 ; elles sont présentées au Tableau V.1.

Tableau VI.1 – Productions de l'industrie agroalimentaire [FAO12]

Secteurs	Viande (t)	Produits laitiers (t)	Vin et Bière (t)	Glace hydrique pour le poisson (t)
Production 2010 corrigée	5 838 620	24 205 620	5 970 820	611 990
Production 2011 estimée	5 861 690	24 063 000	5 834 670	604 080

La production des surgelés n'étant plus suivie par la base de la FAO, la production est estimée en fonction des marchés de congélateurs.

Tableau VI.2– Productions de l'industrie agroalimentaire estimées

Secteurs	Surgelés (t)	Chocolat (t)	Boissons gazeuses (t)	Entrepôts (m ³)
2010	1 976 740	850 000	2 995 380	15 772 580
2011	1 996 730	880 000	3 085 240	16 087 470

La base de données de la FAO ne fournit pas les productions de chocolat mais donne la consommation des fèves de cacao. La production de chocolat est estimée à partir du ratio établi en fonction des données du ministère de l'agriculture et de la pêche [AGR07] et présentée au Tableau V.2.

La production des boissons gazeuses n'est pas suivie par la FAO. Des données ponctuelles ont pu être recueillies ([AGR08], [SAY07]). Les productions 2008 à 2011 ont été estimées en prenant une progression de 3 % par an [COC10].

Patinoires

Le nombre de patinoires fixes installées en France est stable, évalué à 157 en 2011 selon l'annuaire du Syndicat national des patinoires [SYN12]. En revanche, les patinoires mobiles (ou démontables) sont de plus en plus nombreuses, utilisées seulement une partie de l'année ; elles constituent un marché difficile à estimer. Un niveau de 15 nouvelles patinoires annuel est pris en compte dans ces inventaires pour 2011, incluant les patinoires mobiles et les renouvellements des systèmes des patinoires existantes. Cette valeur est à confirmer.

Procédés industriels

Le parc de l'industrie chimique et celui de l'industrie pharmaceutique sont considérés constants, faute de données plus précises.

La production de caoutchouc est en croissance de 7 % par rapport à 2010, de l'ordre de 930 000 tonnes en France en 2011 [CAO12].

VI.3.2 Fluides utilisés

Industries Agroalimentaires

Selon Johnson Control [PHI12], l'année 2011 marque une forte évolution dans la tendance des fluides utilisés en industrie agroalimentaire :

- Fin 2011, le R-404A disparaît quasi complètement dans les installations neuves de l'industrie agroalimentaire, sauf pour les petits entrepôts. Les installations neuves utilisent quasiment toutes des installations indirectes avec du R-134a ou de l'ammoniac ou des systèmes cascades NH₃/CO₂ (avec de petites charges de NH₃) ou R-134a/CO₂.
- Concernant les rétrofits, ils sont en augmentation en 2011. La réglementation ayant assoupli l'utilisation de l'ammoniac (R-717) en France depuis fin 2009 les rétrofits d'installations aux HCFC vers une installation NH₃ sont plus nombreux. Les fluides de remplacement (R-417A ou R-422D) sont peu utilisés dans le secteur industriel, car ils ne sont pas adaptés aux systèmes de recirculation par pompe. L'élimination du R-22 nécessite donc, le plus souvent, un renouvellement complet de l'installation frigorifique et la solution rétrofit la moins chère reste le R-404A.

Les autres démarches d'enquête, notamment auprès des entrepôts de l'USNEF n'ont pu aboutir. Les données récapitulées au Tableau V.3 correspondent aux hypothèses du calcul 2011 et montrent pour les principales industries le contraste 2010/2011, mais sont à confirmer.

Tableau VI.3 – Fluides utilisés dans les installations neuves des industries agroalimentaires en 2011

Secteurs		R-134a	R-404A	R-717 (NH ₃)	R-744 (CO ₂)
Viande	2010	10 %	49 %	40 %	1 %
	2011	30 %	15 %	45 %	10 %
Produits laitiers	2010	10 %	50 %	40 %	-
	2011	40 %	10 %	50 %	-
Entrepôts	2010	5 %	35 %	60 %	-
	2011	5 %	30 %	60 %	5 %

Dans les hypothèses de calcul, une nette progression du rythme des conversions d'installations d'industrie agroalimentaire est prise en compte en 2011, équivalente à 20 % de la banque de HCFC (Tableau V.4).

Tableau VI.4 - Retrofit ou accélération de conversion des principales industries agroalimentaires en 2010-2011

Secteurs		Part de la banque rétrofitée	Vers R-134a	Vers R-404A	R-717 (NH ₃)	R-744 (CO ₂)	Vers Mélanges HFC
Viande	2010	10 %	1 %	2 %	1 %	1 %	5 %
	2011	20 %	1 %	12 %	1 %	1 %	5 %
Produits laitiers	2010	10 %	2 %	2 %	1 %	-	5 %
	2011	20 %	2 %	12 %	1 %	-	5 %
Entrepôts	2010	10 %	2 %	3 %	-	-	5 %
	2011	20 %	2 %	13 %	-	-	5 %

Patinoires

Les installations indirectes se sont quasiment généralisées dans le secteur des patinoires. Les nouveaux systèmes sont le plus souvent de type R-134a/eau glycolée ou ammoniac/eau glycolée pour des quantités n'excédant pas 150 kg. Les patinoires mobiles utilisent des chillers au R-134a.

Les rétrofits des patinoires au R-22 peuvent se faire avec du R-507 en système direct si la piste est en bon état (les charges utilisées sont alors élevées, de l'ordre de 3 t) ; sinon, la mise en place de systèmes indirects eau glycolée/ R-507 est préconisée.

Le Tableau V.5 récapitule les hypothèses fluides pour les patinoires en 2011.

Tableau VI.5 – Fluides utilisés sur le marché neuf et rétrofit des patinoires

Patinoires	Fluides sur le marché neuf	Fluides utilisés pour le rétrofit des installations
2011	75 % R-134a 15 % R-404A 5 % R-507 5 % R-717	10 % de la banque de R-22 rétrofitée par du R-507 ou des fluides de remplacement

Autres procédés industriels

Faute d'informations plus précises, les fluides utilisés sur le marché des procédés industriels sont supposés stables sur 2010-2011 ; les hypothèses sont récapitulées au tableau suivant.

Tableau VI.6 Fluides utilisés sur le marché neuf des procédés industriels

Procédés industriels	Chimique	Caoutchouc	Plasturgie et autres
2011	60 % R-134a 35 % R-404A 5 % R-717	95 % R-134a 5 % R-717	70 % R-134a 30 % R-717

Les rétrofits sont supposés moins nombreux et concernent :

- 5 % de la banque de R-22 vers du R-134a dans l'industrie du caoutchouc
- 15 % de la banque de R-22 vers des fluides de remplacement dans les autres procédés.

VI.3.3 Ratios ou charges

Industries Agroalimentaires

Les valeurs du ratio traduisant le procédé frigorifique utilisé pour les différents secteurs de l'industrie agroalimentaire sont rappelées Tableau V.7. Ces ratios ont été établis à partir de descriptions très détaillées des différents procédés et des équipements utilisés dans les premières études d'inventaires et, dans le cas des chocolateries et de l'industrie des boissons gazeuses, à partir de l'étude des procédés de fabrication [KAL07], [ASH06]. Ces données sont maintenues car cohérentes avec les structures des installations.

Tableau VI.7 - Puissance frigorifique par masse de production (kW/ t ou kW/m³) par secteur de l'industrie agroalimentaire

Puissance frigorifique	Chocolateries industrielles	Boissons gazeuses	Viande	Produits laitiers	Vin et Bière	Surgelés	Entrepôts (kW/m ³)	Glace hydrique pour le poisson
Ratio ^w (kW/t)	0,0095	0,0037	0,043	0,013	0,023	0,036	0,032	0,012

Ce ratio, ainsi que celui traduisant la part des puissances négatives (Tableau V.8), est considéré constant tant qu'il ne se produit pas d'évolution technologique majeure dans le secteur considéré.

Tableau VI.8 – Part des puissances négatives par secteur de l'industrie agroalimentaire

Puissances négatives	Chocolateries industrielles	Boissons gazeuses	Viande	Produits laitiers	Vin et Bière	Surgelés	Entrepôts	Glace hydrique pour le poisson
Ratio x (%)	0	0	30 %	20 %	0	100 %	70 %	100 %

En revanche, les valeurs du ratio traduisant la part des systèmes indirects sur le marché neuf, qui avaient été corrigées dans les précédents inventaires de façon à prendre en compte l'augmentation significative généralisée de l'utilisation des systèmes indirects sur les dernières années dans les différents secteurs du froid industriel, sont encore en forte augmentation en 2011, comme le montre le tableau Tableau V.9.

Tableau VI.9 – Part des systèmes indirects sur le marché neuf par secteur de l'industrie agroalimentaire

P_{ind}/P_{tot}	Chocolateries Boissons gazeuses Vin et Bière	Viande Surgelés Poisson	Laiteries	Entrepôts
2010	70 %	50 %	89 %	38 %
2011	80 %	60 %	90 %	60 %

Enfin, le Tableau V.10 rappelle les derniers ratios, considérés constants, permettant le calcul de la charge en fonction de la puissance frigorifique de l'installation.

Tableau VI.10 - Charge de fluide rapportée à la puissance frigorifique par type d'installation

Ratio charge de	Froid positif / Système direct	Froid positif / Système indirect	Froid négatif / Système direct	Froid négatif / Système indirect
Ratio z (kg/kW)	5,5	2	8,8	3

Pour les tanks à lait, la charge moyenne considérée est constante, toujours de 2,1 kg de fluide par m³ de stockage.

Patinoires

La charge moyenne des patinoires est un paramètre variant de façon annuelle et en fonction du fluide utilisé. Le Tableau V.11 présente les charges des différents systèmes frigorifiques selon les fluides utilisés, prenant en compte la généralisation des systèmes indirects dans l'utilisation du R-134a.

Tableau VI.11 – Charge moyenne des patinoires

Patinoires	R-134	R-507	R-404A	R-717
Charge (t) 2011	0,36	0,67	0,67	0,33

Procédés industriels

Les calculs sont basés sur la donnée confidentielle de la banque globale de fluides utilisés pour la France par l'industrie chimique. Pour l'industrie du caoutchouc, la charge de l'usine principale est de 50 t.

VI.3.4 Les courbes de durée de vie

Les courbes ont été établies autour de la durée de vie moyenne, estimée à 30 ans pour l'agroalimentaire, la production de caoutchouc et les procédés industriels autres que la chimie lourde (Figure V.3). Pour les autres industries (Figure V.2), elles sont basées sur la fréquence de renouvellement des installations car leurs marchés sont établis en en tenant compte : il s'agit de 15 ans pour les patinoires, les tanks à lait et la chimie lourde.

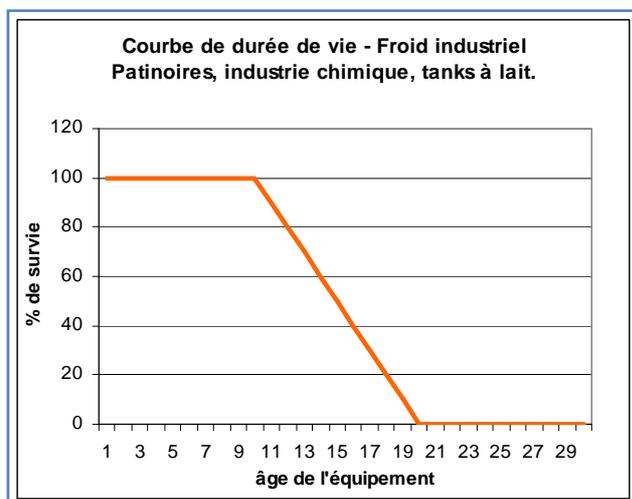


Figure VI.2 - Courbe de durée de vie pour les secteurs des patinoires, tanks à lait et de l'industrie chimique

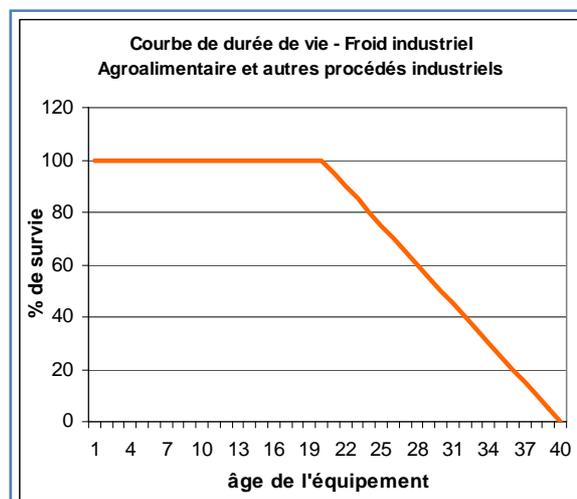


Figure VI.3 - Courbe de durée de vie pour les secteurs de l'agroalimentaire et autres procédés industriels

VI.3.5 Les taux d'émissions

Des études européennes tendent à montrer une réduction des taux d'émissions des nouvelles installations [TOC10]. Cette tendance est d'ailleurs renforcée par l'utilisation des systèmes indirects et cascade dans les installations neuves [PHI12]. Cependant, dans le calcul du secteur industriel, il faut souligner que le taux d'émissions caractérise le parc d'installations. Or, le renouvellement des installations est encore trop faible pour faire baisser significativement le taux d'émission dans ce secteur sur l'ensemble du parc.

Comme le montre le Tableau V.12, la tendance à la baisse est néanmoins prise en compte, mais de façon lente, dans les hypothèses de calculs. Les niveaux d'émissions des secteurs du lait, des brasseries, boissons gazeuses et chocolateries sont les plus bas étant donnée l'utilisation traditionnelle des systèmes indirects dans leur process.

Tableau VI.12 – Taux d'émissions Froid industriel

Taux d'émissions	Agroalimentaire	Tanks à lait	Patinoires	Industrie chimique	Industrie caoutchouc
2010	13 à 14,5 %	12 %	11 %	15 %	18 %
2011	12,5 à 14 %	11,5 %	10 %	15 %	15 %

Pour l'ammoniac, les fuites étant facilement repérées et la toxicité du fluide implique un niveau d'émissions nettement inférieur : il est considéré égal au tiers des valeurs présentées Tableau V.12.

Les taux d'émissions de l'industrie du caoutchouc sont établis de façon précise en fonction des consommations de fluides frigorigènes pour la maintenance communiquées par Lanxess Elastomères [BOO12]. En industrie chimique, faute d'informations nouvelles, le niveau d'émissions est maintenu à 15 %.

VI.3.6 L'efficacité de récupération

Compte tenu des charges considérées dans les différents secteurs, la récupération est effectuée systématiquement lorsque le circuit doit être vidé de sa charge, qu'il s'agisse d'un rétrofit ou d'une fin de vie d'installation. Etant donnés les temps d'immobilisation de l'installation pour un taux de récupération maximal, il est supposé que les taux de récupération (Tableau V.13) évoluent peu.

Tableau VI.13 - Efficacité de récupération Froid industriel

Efficacité de récupération (%)	Agroalimentaire	Patinoires	Tanks à lait	Autres procédés industriels
2011	79 %	50 %	42 %	78 %

VI.4 Résultats Froid Industriel Inventaires 2011

VI.4.1 – La banque

La banque du froid industriel est stable, estimée à 11 300 t en 2011. Elle est désormais dominée par les HFC à 47 %, la banque de R-22 se réduisant progressivement par les fins de vie et rétrofit d'installations pour ne plus représenter que 18 % de la banque du froid industriel en 2011. La part de l'ammoniac est stable, de l'ordre de 35 %.

D'un point de vue sectoriel, les entrepôts constituent près de 30 % de la banque de froid industriel en 2011, suivi par l'industrie chimique (20 %) et celle de la viande (15 %).

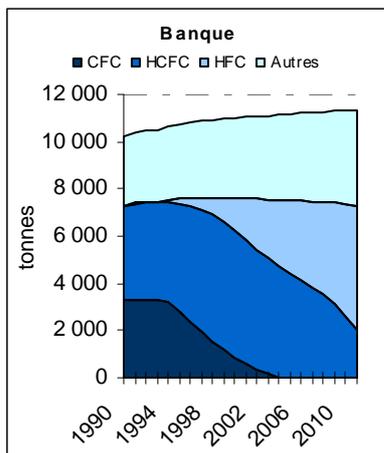


Figure VI.4 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes du froid industriel

Tableau VI.14 - Banque 2011 – Froid Industriel

Froid industriel		Banque 2011	
CFC	R-11	0	0
	R-12	0	
	R-502	0	
HCFC	R-22	1 996	1 996
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	1 768	5 298
	R-404A	2 913	
	R-407C	236	
	R-410A	107	
	R-507	16	
	R-417A et autres fluides remplacement	258	
Autres	R-600a	0	3 995
	R-290	0	
	R-717	3 983	
	R-744	13	
Total (tonnes)		11 289	

VI.4.2 – La demande

La demande totale de fluides frigorigènes pour 2011 est du même ordre que celle de 2010, peu de variations étant constatées dans les niveaux de productions (stables en agroalimentaire et supposés constants dans les principaux procédés industriels) qui impactent la demande pour les équipements neufs (Tableau V.16) et les niveaux d'émissions fugitives (baisse lente) qui impactent la demande pour la maintenance (Tableau V.17). Le pic de croissance observé Figure V.5 est liée à la demande en fluides frigorigènes pour le rétrofit des installations au R-22 sur 2009-2011 ; cette demande est évaluée à 400 t en 2011.

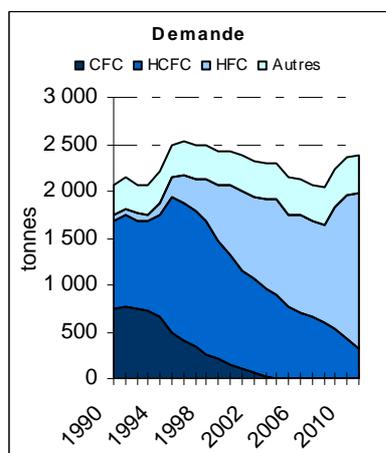


Figure VI.5 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes en froid industriel

Tableau VI.15 - Demande totale 2011 – Froid Industriel

Froid industriel		Demande totale 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	325	325
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	556	1 646
	R-404A	856	
	R-407C	59	
	R-410A	28	
	R-507	4	
	R-417A et autres fluides remplacement	145	
Autres	R-600a	-	406
	R-290	-	
	R-717	399	
	R-744	7	
Total (tonnes)		2 378	

Globalement, la demande totale du froid industriel (Tableau V.15) est dominée par le R-404A à 36 % qui, même s'il est moins utilisé en 2011 dans les installations neuves, reste fortement demandé pour la maintenance et le rétrofit des équipements.

Le secteur des entrepôts utilise à lui seul 25 % de la demande totale et 30 % de celle de R-404A. Quant à l'industrie chimique, selon les hypothèses ce secteur représente également 25 % de la demande du froid industriel et 58 % (320 t en 2011) de la demande de R-134a. Ces résultats sont à valider.

Tableau VI.16 – Demande 2011 pour les équipements neufs de froid industriel

Froid industriel		Demande eqts neufs 2011	
CFC	R-11	0	0
	R-12	0	
	R-502	0	
HCFC	R-22	0	0
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	157	360
	R-404A	174	
	R-407C	18	
	R-410A	9	
	R-507	1	
	R-417A et autres FR	0	
Autres	R-600a	0	168
	R-290	0	
	R-717	168	
	R-744	1	
Total (tonnes)		528	

Tableau VI.17 – Demande pour la maintenance des équipements de froid industriel

Froid industriel		Demande maintenance 2011	
CFC	R-11	0	0
	R-12	0	
	R-502	0	
HCFC	R-22	325	325
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	336	897
	R-404A	462	
	R-407C	40	
	R-410A	18	
	R-507	1	
	R-417A et autres FR	39	
Autres	R-600a	0	219
	R-290	0	
	R-717	216	
	R-744	2	
Total (tonnes)		1 441	

VI.4.3 – Les émissions totales

Le niveau 2011 des émissions totales dues à l'ensemble du secteur du froid industriel est estimé à 1 600 t, à 80 % constituées par les émissions fugitives du parc des installations. Les secteurs les plus émissifs sont, à l'image de la banque, l'industrie chimique (26 % des émissions) et les entrepôts (23 %).

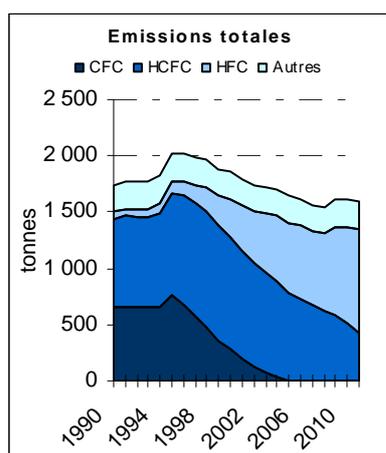


Figure VI.6 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes en froid industriel

Tableau VI.18 - Emissions totales 2011 – Froid Industriel

Froid industriel		Emissions totales 2011	
CFC	R-11	0	0
	R-12	0	
	R-502	0	
HCFC	R-22	419	419
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	346	933
	R-404A	476	
	R-407C	40	
	R-410A	18	
	R-507	4	
	R-417A et autres fluides remplacement	49	
Autres	R-600a	0	239
	R-290	0	
	R-717	236	
	R-744	2	
Total (tonnes)		1 591	

Du fait des fins de vie et rétrofits d'installations, les émissions de R-22 sont en forte baisse par rapport à 2010 mais représentent encore 26 % des émissions totales.

VI.4.4 – Les émissions en équivalent CO₂

Le froid industriel est responsable de 2,8 millions de tonnes d'émissions de CO₂ équivalent en 2011, dues à 78 % aux HFC. Les parts de l'industrie chimique et des entrepôts sont estimées à 0,7 (25 %) et 0,6 millions de tonnes (23 %), respectivement.

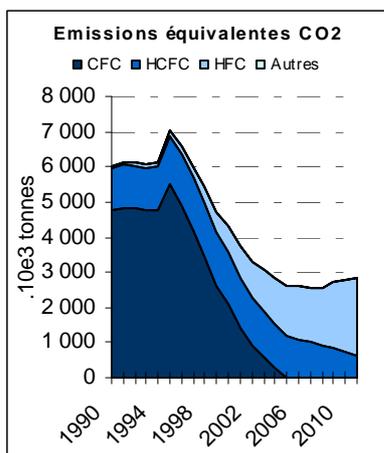


Figure VI.7 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ en froid industriel

Tableau VI.19- Emissions totales en équivalent CO₂ 2011 – Froid Industriel

Froid industriel		Emissions eq CO2 2011	
CFC	R-11	0	0
	R-12	0	
	R-502	0	
HCFC	R-22	629	629
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	450	2 215
	R-404A	1 550	
	R-407C	62	
	R-410A	31	
	R-507	15	
	R-417A et autres fluides remplacement	107	
Autres	R-600a	0	0
	R-290	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
Total (milliers de tonnes)		2 844	

Le R-404A, contribuant à 30 % des émissions totales (Tableau V.18), il est responsable de 55 % des émissions de fluides frigorigènes en équivalent CO₂ (Tableau V.19) pour le froid industriel.

VI.4.5 – Les quantités récupérées

Les quantités de fluides frigorigènes récupérées sont en forte croissance sur 2010-2011 (Figure V.8), à cause de l'augmentation du nombre des rétrofits et conversions d'installations aux HCFC. Les quantités récupérées sont d'ailleurs à 70 % du R-22.

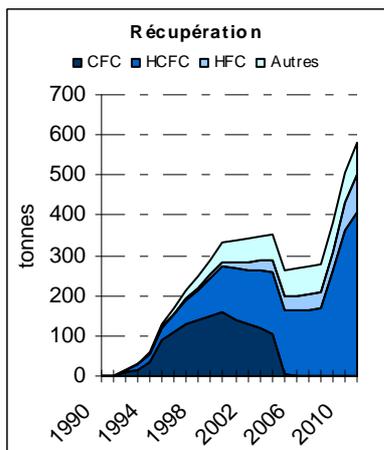


Figure VI.8 - Evolution des quantités récupérées en froid industriel

Tableau VI.20 - Quantités récupérées 2011 – Froid Industriel

Froid industriel		Récupération 2011	
CFC	R-11	0	0
	R-12	0	
	R-502	0	
HCFC	R-22	407	407
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	48	94
	R-404A	28	
	R-407C	4	
	R-410A	1	
	R-507	2	
	R-417A et autres fluides remplacement	11	
Autres	R-600a	0	78
	R-290	0	
	R-717	78	
	R-744	0	
Total (tonnes)		579	

VI.5 Référence Froid Industriel

- [AGR07] <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Gaf08p141.pdf>
- [AGR08] http://www.panoramaiaa.gouv.fr/article.php3?id_article=350
- [ASH06] 2006 ASHRAE Handbook-Refrigeration-SI Edition, supported by ASHRAE Research-Food refrigeration. Chapitre 26 pour les chocolateries et chapitre 28 pour les boissons gazeuses.
- [BOO12] Entretien M.Boos, Lanxess Elastomères, 2011-2012.
- [COC10] <http://cocacolatpe.e-monsite.com/rubrique.coca-cola-en-chiffres.171566.html>
- [FAO12] Banque de données statistiques FAO (Food Agriculture Organization) sur www.fao.org
- [INV01] Inventaires des fluides frigorigènes et de leurs émissions, CENERG Mai 2003.
- [INV02] Inventaires des fluides frigorigènes et de leurs émissions, CENERG Mai 2004.
- [KAL07] Calcul de la puissance nécessaire pour la production du chocolat et des boissons gazéifiées et non alcoolisées. Thérèse Kallas, CEP, 2007.
- [PHI12] Communications de Bernard Philippe, Réfrigération Industrielle, Jonhson Controls Industries, 2010-2011.
- [SAY07] Carine Sayon, CEP, 2007.
- [SYN12] Syndicat national des patinoires
<http://www.syndicatdespatinoires.com/>
- [TOC10] 2010 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Option Committee. 2010 Assessment.

VII. LES GROUPES REFROIDISSEURS D'EAU (GRE)

VII.1 Structuration du secteur

Le secteur est décomposé en quatre types de GRE, distincts par leurs technologies de compresseurs et niveaux de puissance. Il est présenté Tableau VI.1. Ce type de climatisation concerne essentiellement le tertiaire et l'industrie. Ce secteur inclut les GRE utilisés pour les procédés industriels, ce qui représente environ un tiers du parc (production des pneumatiques, industrie des composants électroniques).

Tableau VII.1– Catégories composant le sous-secteur des groupes refroidisseurs d'eau

Groupes refroidisseurs d'eau	Compresseurs centrifuges	Compresseurs centrifuges
	Compresseurs volumétriques	Petite puissance (< 50 kW)
		Moyenne puissance (50 < P < 350 kW)
		Forte puissance (> 350 kW)

VII.2 Données nécessaires au calcul

La méthode de calcul est rappelée Figure VI.1. Le calcul des émissions repose ici aussi sur plusieurs paramètres :

- la production et le marché des GRE, l'ensemble des GRE étant supposé chargé en usine de production ;
- la répartition annuelle des fluides utilisés sur le marché neuf des équipements ;
- les ratios de charges en fonction de la puissance de l'équipement ;
- la courbe de durée de vie ;
- les taux d'émissions ;
- l'efficacité de récupération.

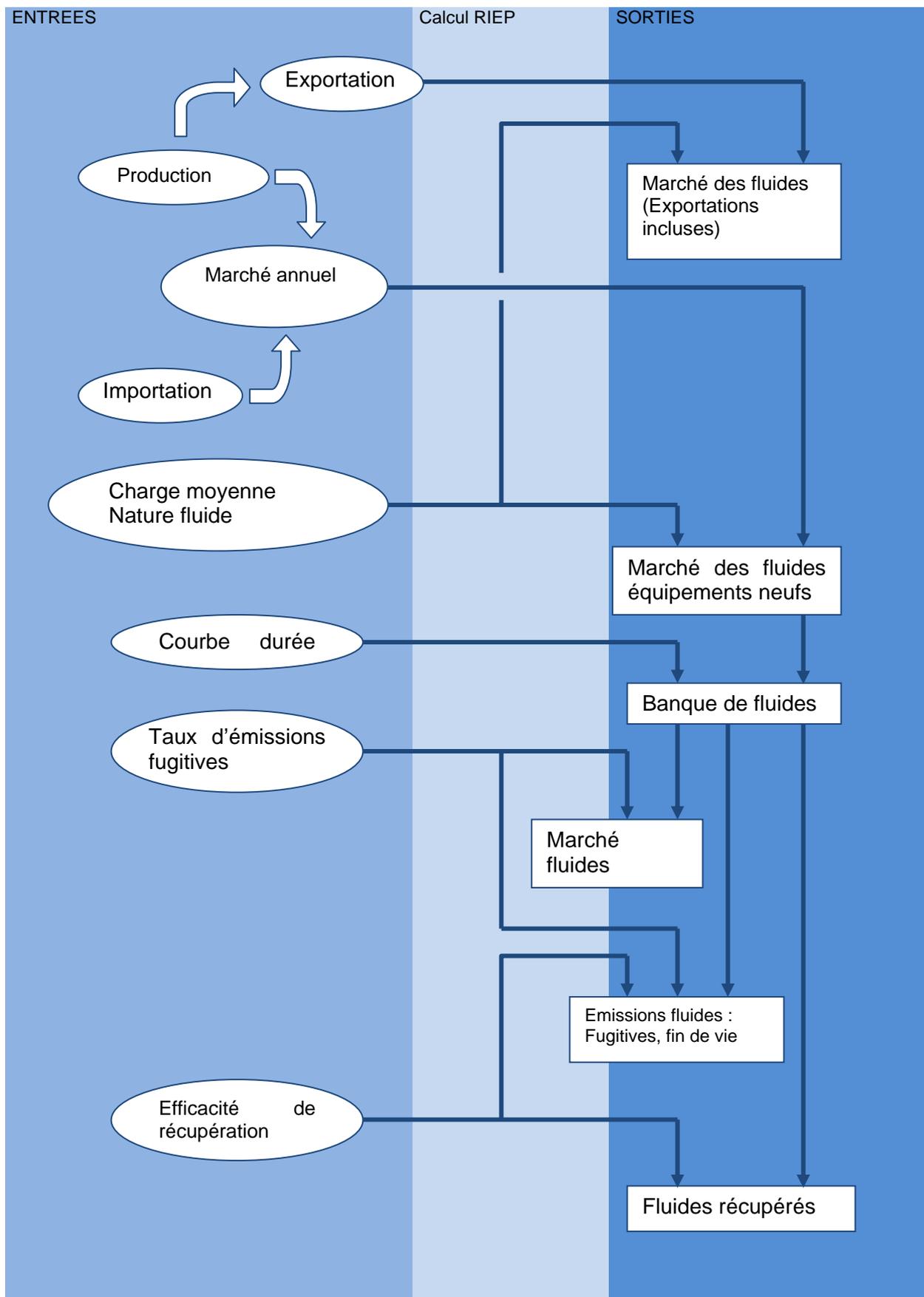


Figure VII.1 - Organigramme de la méthode utilisée pour le secteur des GRE

VII.3 Les GRE en France en 2011

Dans le cadre des inventaires 2011, des données détaillées confidentielles ont été transmises par Clim'Info [OHL12] et Uniclimate [DUP12] au CEP. Il s'agit des ventes de chillers déclarées par leurs adhérents, par gamme de puissance finement décomposée, de 2005 à 2011. Ces données ont permis :

- de vérifier l'estimation des marchés sur les 6 dernières années, lesquels avaient été établis à partir de tendances plus générales, parfois communiquées sur des gammes de puissances beaucoup plus larges, et d'ainsi corriger, pour les trois gammes de puissances prises en compte par RIEP, l'évolution des marchés d'équipements ;
- De calculer les puissances moyennes pour les trois catégories de chillers volumétriques pris en compte par RIEP et de corriger la puissance moyenne prise en compte pour le calcul des charges des fortes puissances.

Cette révision a également été l'occasion d'une revisite de l'ensemble des chiffres de marchés et productions et d'un bilan détaillé des sources utilisées.

VII.3.1 Le marché

Les statistiques détaillées de Clim'Info [OHL12] ont été utilisées pour ré-estimer les marchés d'équipements sur la période 2005-2011 (Tableau VI.2) pour les 3 gammes de puissances des chillers volumétriques et montrent que les marchés avaient été sous-estimés pour la catégorie des fortes puissances. Deux autres sources ont été utilisées pour reconstituer l'historique :

- Une communication de Trane de 1996 [TRA98]
- Une communication de Carrier de 2002 [HUG02].

Une croissance linéaire a été supposée pour établir les données manquantes.

Le Tableau VI.2 présente la consolidation des marchés de chillers pour les trois gammes de puissances considérées dans les inventaires. Les données concernant les chillers de faible puissance sont à confirmer sur la période 2005-2007 car les statistiques pourraient inclure celles des PAC [DUP12], les marchés 2006 et 2007 étant particulièrement élevés (marchés annuels de plus de 15 000 unités).

Tableau VII.2 Evolution corrigée des marchés GRE de 2000 à 2010 et données 2011

Marchés (nombre unités)	2000	2005	2010	2011
GRE P < 50 kW	3 440	9 710	3 220	2 890
GRE 50 < P < 350 kW	4 910	2 950	3 350	3 390
GRE P > 350 kW	1 480	850	820	1 000
Compresseurs centrifuges*	49	53	56	56

* Le marché des centrifuges est à confirmer. Il est estimé en supposant une croissance régulière du parc de 1,3 % par an.

VII.3.2 La production

Les données relatives aux productions sont confidentielles, leur estimation est difficile à obtenir. L'étude BSRIA [BSR10] donne une évaluation de la production nationale et du marché en \$ pour l'année 2008. Le rapport obtenu entre ces deux valeurs est cohérent avec celui des données de marchés et productions communiquées par Carrier pour 2002, il est supposé constant et utilisé pour estimer les niveaux de productions.

Tableau VII.3– Estimation de la production française des GRE

Marchés (nombre unités)	2000	2005	2010	2011
GRE P < 50 kW	6 190	16 740	5 550	4 980
GRE 50 < P < 350 kW	8 840	5 310	5 770	5 840
GRE P > 350 kW	2 650	1 510	1 460	1 780
Compresseurs centrifuges	0	195	200	210

VII.3.3 Les fluides utilisés

Les tendances de progression du R-410A et du R-407C sur le marché des chillers à compresseur volumétriques de petites et moyennes puissances, ajustées lors des inventaires 2011, sont prolongées, telles qu'au Tableau VI.4. Une correction a été apportée au secteur des fortes puissances en prenant en compte la tendance de [LAR12] selon laquelle le R-134a était dominant sur le marché des fortes puissances, ce qui n'avait pas été pris en compte jusqu'à présent ; les tendances du R-134a et du R-407C ont été inversées.

Tableau VII.4 - Fluides utilisés sur le marché neuf des GRE 2010-2011

Fluides utilisés	2010	2011
GRE P < 50 kW	R-407C (31 %) R-410A (69%)	R-407C (27 %) R-410A (73 %)
GRE 50 < P < 350 kW	R-407C (45 %) R-410A (53 %) R-717 (2 %)	R-407C (53 %) R-410A (45 %) R-717 (2 %)
GRE P > 350 kW	R-407C (22,5 %) R-410A (25,5 %) R-134a (50 %) R-717 (2 %)	R-407C (22 %) R-410A (26 %) R-134a (50 %) R-717 (2 %)
Compresseurs centrifuges	R-134a (100 %)	R-134a (100 %)

VII.3.4 La charge moyenne

L'évolution des charges des chillers par gamme de puissance est calculée en fonction des ratios de charge par kW et des puissances frigorifiques moyennes par secteur.

Les courbes d'évolution des ratios ont été établies à partir de la donnée détaillée, pour différents niveaux de puissance, des ratios de charges caractéristiques des équipements [AFC98]. L'enquête menée lors des inventaires 2010 auprès des constructeurs de matériels avait montré que la généralisation d'évaporateurs à « film ruisselant » permettait de baisser la charge en fluide de 20 à 30 %. Les ratios de charges des GRE de forte puissance ont donc diminué et sont désormais de l'ordre de 0,2 kg/kW [COL11].

Les données du groupe Climafort [ROB10] ont montré une tendance à la réduction des charges sur les nouvelles installations (ou lors des renouvellements). Le ratio de charge des GRE de type centrifuge a été réduit à 0,3 kg/kW depuis 2008, il était estimé à 0,35 kg/kW en 2007. Cette correction est maintenue.

Ces hypothèses n'ont pas évolué pour ces inventaires (Tableau VI.5).

Tableau VII.5 – Ratios de charge des groupes refroidisseurs à eau mis sur le marché en 2011

RATIOS DE CHARGES (kg/ kW) 2011			
Petites puissances	Moyennes puissances	Fortes puissances	Centrifuges
0,3	0,3	0,2	0,3

En revanche, la puissance moyenne des chillers volumétriques de forte puissance, qui était considérée de 600 kW jusqu'à présent, a été corrigée. En effet, la communication de données détaillées par Clim'Info a permis de recalculer la puissance moyenne de la gamme >350 kW en pondérant les puissances moyennes (valeurs médianes) par intervalle par les marchés (en supposant que la puissance moyenne des chillers de puissance supérieure à 900 kW était de 1 500 kW).

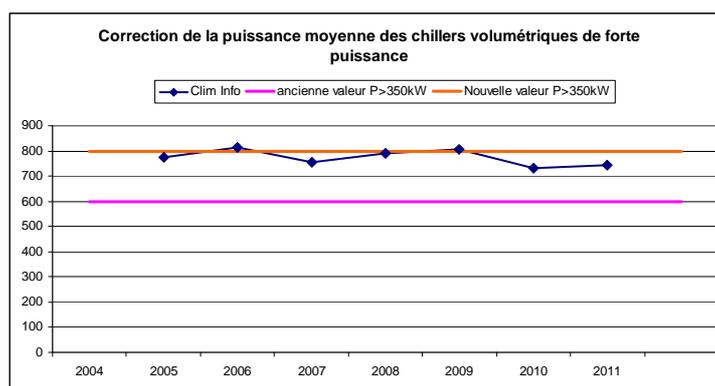


Figure VII.2 – Correction de la puissance moyenne des chillers de forte puissance (> 350 kW)

Dans l'attente de la vérification de la part de marché des pompes à chaleur qui pourrait être incluse dans les marchés donnés par Clim'Info (Tableau VI.2), les valeurs moyennes pour les autres gammes sont maintenues à :

- 25 kW pour les GRE de puissance inférieure à 50 kW
- 110 kW pour les GRE de puissance comprise entre 50 et 350 kW
- 2 000 kW pour les GRE centrifuges.

VII.3.5 Courbes de durée de vie

Les courbes de durée de vie sont présentées Figure VI.3 à Figure VI.5. Elles sont basées sur des durées de vie moyenne de 15 ans pour les GRE de petites et moyennes puissances et de 20 et 25 ans respectivement pour les GRE de fortes puissances et les centrifuges.

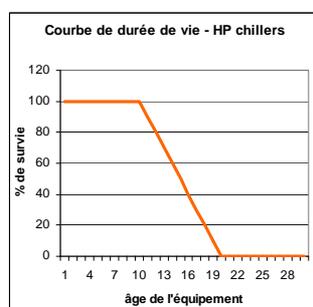


Figure VII.3 – Courbe de durée de vie des GRE de petites et moyennes puissances

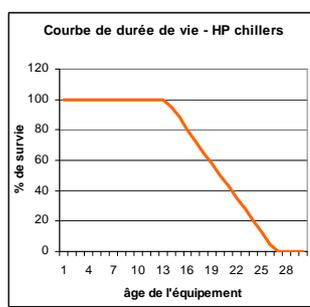


Figure VII.4 – Courbe de durée de vie des GRE de fortes puissances

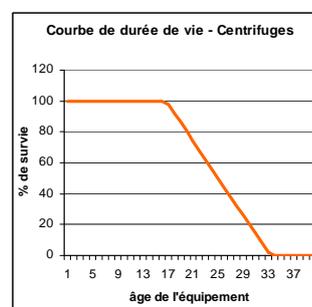


Figure VII.5 – Courbe de durée de vie des GRE centrifuges

VII.3.6 Niveaux d'émissions

Les caractéristiques de taux d'émissions fugitives dépendent des niveaux de puissance des équipements. Peu de données soient disponibles, les niveaux d'émissions des équipements neufs sont supposés stables sur 2010-2011 et une poursuite de la tendance à l'amélioration de la récupération en fin de vie des équipements (Tableau VI.6).

Tableau VII.6– Taux d'émissions et efficacité de récupération en fin de vie des GRE en 2011

GRE	Petite puissance	Moyenne puissance	Forte puissance	Centrifuges
Taux d'émission (%)	10 %	5 %	5 %	4 %
Récupération fin de vie (%)	72 %	72 %	72 %	80 %

Pour les GRE centrifuges, les données détaillées des niveaux d'émissions du parc des GRE transmises par le groupe Climafort n'ont pu être communiquées cette année mais la tendance à la décroissance apparaissant dans les dernières tendances [ROB10] est poursuivie.

VII.4 Résultats GRE – Inventaires 2011

VII.4.1 – La banque

La banque du secteur des GRE est en décroissance, estimée à 8 700 t en 2011. Elle est encore dominée par le R-22, à 31 % suivi du R-407C, à 29 %, du fait des GRE de forte puissance (70 % de la banque de R-22 restant en 2011) dont les charges sont élevées et les durées de vie longues.

D'un point de vue sectoriel, la banque totale des GRE, après correction des marchés, est constituée :

- à 11 % par les chillers centrifuges
- à 59 % par les chillers volumétriques de puissance supérieure à 350 kW
- à 22 % par les moyennes puissances
- et à 8 % par les puissances inférieures à 50 kW.

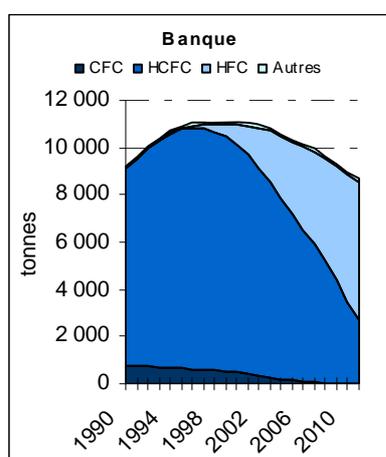


Figure VII.6 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes des GRE

Tableau VII.7 - Banque 2011 – Groupes Refroidisseurs d'Eau

		Chillers	Banque 2011	
CFC	R-11		0	1
	R-12		1	
	R-502		0	
HCFC	R-22		2 716	2 716
	R-408A		0	
	R-401A		0	
HFC	R-134a		2 018	5 857
	R-404A		0	
	R-407C		2 493	
	R-410A		816	
	R-507		0	
	R-417A et autres fluides remplacement		531	
Autres	R-600a		0	115
	R-290		0	
	R-717		115	
	R-744		0	
Total (tonnes)			8 690	

La banque résiduelle de R-22 est estimée à 2 700 t en 2011, en baisse de 22 % par rapport à 2010. Parmi les HFC, c'est la banque de R-410A qui croît le plus significativement entre 2010 et 2011, de plus de 17 %.

VII.4.2 – La demande

La demande totale pour les GRE est globalement en baisse (Figure VI.7), les marchés et productions étant réduits par rapport aux niveaux 2005-2007 d'une part et les taux d'émissions des équipements neufs ayant fortement diminué au cours des dix dernières années d'autre part. La demande totale en fluides frigorigènes est estimée à 2 000 t pour les GRE, dont près des deux tiers pour la maintenance du parc (Tableau VI.10).

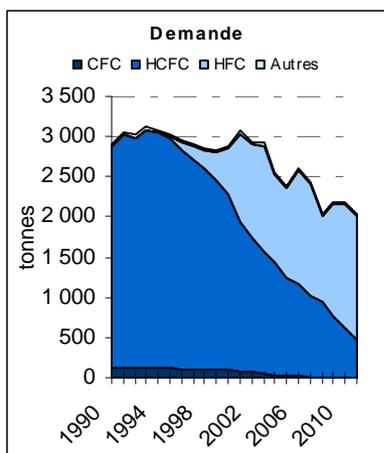


Figure VII.7 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes en froid industriel

Tableau VII.8 - Demande totale 2011 – Groupes Refroidisseurs à Eau

Chillers		Demande totale 2011	
CFC	R-11	-	0
	R-12	0	
	R-502	-	
HCFC	R-22	477	477
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	575	1 522
	R-404A	-	
	R-407C	406	
	R-410A	312	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	229	
Autres	R-600a	-	24
	R-290	-	
	R-717	24	
	R-744	-	
Total (tonnes)		2 023	

Un quart de la demande est constituée par le R-22 nécessaire à la maintenance des chillers fonctionnant encore avec des HCFC. Les R-134a domine la demande en HFC à 38 % ainsi que la demande pour les équipements neufs (à 42 %), à la suite de la correction apportée aux fluides sur le marché neuf des chillers de forte puissance.

Tableau VII.9 – Demande 2011 pour les équipements GRE neufs

Chillers		Demande eqts neufs 2011	
CFC	R-11	0	0
	R-12	0	
	R-502	0	
HCFC	R-22	0	0
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	311	730
	R-404A	0	
	R-407C	178	
	R-410A	242	
	R-507	0	
	R-417A et autres FR	0	
Autres	R-600a	0	11
	R-290	0	
	R-717	11	
	R-744	0	
Total (tonnes)		741	

Tableau VII.10– Demande pour la maintenance des chillers

Chillers		Demande maintenance 2011	
CFC	R-11	0	0
	R-12	0	
	R-502	0	
HCFC	R-22	477	477
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	149	448
	R-404A	0	
	R-407C	228	
	R-410A	70	
	R-507	0	
	R-417A et autres FR	0	
Autres	R-600a	0	13
	R-290	0	
	R-717	13	
	R-744	0	
Total (tonnes)		938	

VII.4.3 – Les émissions totales

Le renouvellement du parc d'équipements fonctionnant avec des HCFC et la baisse des taux d'émissions sur le marché neuf des chillers conduisent à une réduction du niveau d'émissions du secteur (Figure VI.8), à 1 300 t en 2011, soit 10 % de moins qu'en 2010. C'est le secteur des chillers de forte puissance qui, à l'image de la banque, domine les émissions à 60 %.

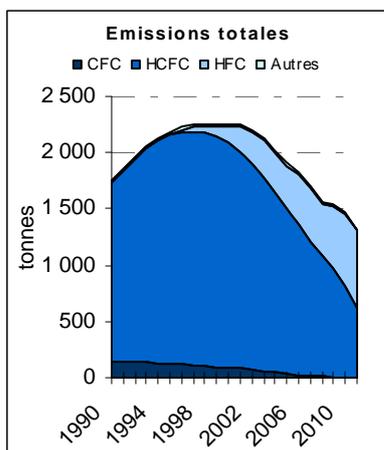


Figure VII.8 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes en froid industriel

Tableau VII.11 - Emissions totales 2011 – Groupes Refroidisseurs à Eau

Chillers		Emissions totales 2011	
CFC	R-11	0	0
	R-12	0	
	R-502	0	
HCFC	R-22	618	618
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	248	686
	R-404A	0	
	R-407C	241	
	R-410A	82	
	R-507	0	
	R-417A et autres fluides remplacement	115	
Autres	R-600a	0	15
	R-290	0	
	R-717	15	
	R-744	0	
Total (tonnes)		1 319	

Du fait des fins de vie et rétrofits d'installations, les émissions de R-22 baissent de 25 % par rapport à 2010 mais représentent encore 47 % des émissions totales du secteur des GRE.

VII.4.4 – Les émissions en équivalent CO₂

Les émissions du secteur des GRE s'élèvent à plus de 2 millions de tonnes d'équivalent CO₂ en 2011, en baisse de 9 % par rapport à 2010. Les fluides utilisés dans le secteur des chillers ayant des GWP relativement proches, la répartition sectorielle des émissions équivalentes CO₂ est assez similaire à celles des émissions totales, dominée par les chillers de forte puissance à 60 %.

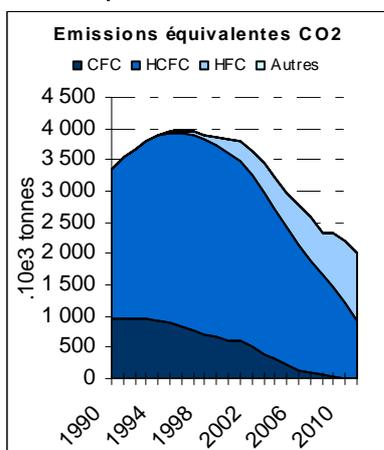


Figure VII.9 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ en froid industriel

Tableau VII.12 - Emissions totales en équivalent CO₂ 2011 – Groupes Refroidisseurs à Eau

Chillers		Emissions eq CO2 2011	
CFC	R-11	0	2
	R-12	2	
	R-502	0	
HCFC	R-22	927	927
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	322	1 076
	R-404A	0	
	R-407C	368	
	R-410A	143	
	R-507	0	
	R-417A et autres fluides remplacement	244	
Autres	R-600a	0	0
	R-290	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
Total (milliers de tonnes)		2 006	

VII.4.5 – Les quantités récupérées

Les quantités de fluides frigorigènes récupérées sont stables sur 2010-2011, années pour lesquels un accroissement du nombre de rétrofits d'installations a été observé. Logiquement, les quantités récupérées sont donc principalement du R-22 (80 %).

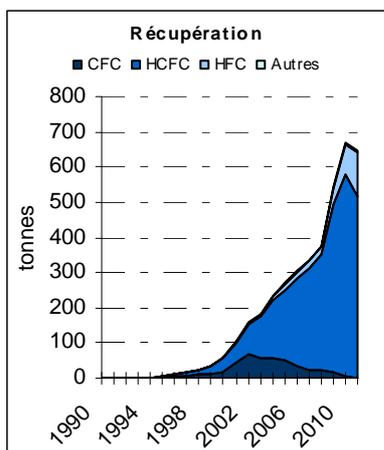


Figure VII.10 - Evolution des quantités récupérées en froid industriel

Tableau VII.13 - Quantités récupérées 2011 – Groupes Refroidisseurs à Eau

Chillers		Récupération 2011	
CFC	R-11	0	1
	R-12	1	
	R-502	0	
HCFC	R-22	516	516
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	55	127
	R-404A	0	
	R-407C	11	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A et autres fluides remplacement	61	
Autres	R-600a	0	4
	R-290	0	
	R-717	4	
	R-744	0	
Total (tonnes)		647	

VII.5 Références GRE

- [AFC98] P.Fauvarque, AFCE, 1998.
- [BSR10] WWAC European Overview 2010. BSRIA Report May 2011.
- [COL11] E.Colin, JCI. Retour au questionnaire Chillers du CEP, novembre 2011.
- [DUP12] Communication de G.N.Dupré, Uniclimate, pour le CEP, 2012.
- [HUG02] Communication de JP.Huguet, Carrier, 2002.
- [LAR12] L'évolution des groupes de refroidissement d'eau dans le cadre de « l'écoconception ». Paul de Larminat et Eric Colin, Johnson Controls Industries, Colloque AFCE, Octobre 2012.
- [OHL12] Violaine Ohi-Gasteau, PAC&Clim'Info. Communications de données confidentielles sur les marchés de chillers par gamme de puissance, pour le CEP, 2011-2012.
- [ROB10] Communications d'Olivier Robert pour le groupe Climafort, 2008-2010.
- [TRA98] Données confidentielles de marchés 1996, Trane pour le CENERG, 1998.

VIII. LA CLIMATISATION A AIR

VIII.1- Structuration du secteur

Les équipements de climatisation à air peuvent se classer en deux sous-secteurs, distincts par leurs niveaux de puissance : celui de la climatisation individuelle (< 17,5 kW) et celui de la climatisation autonome. Historiquement, les informations statistiques en France étaient généralement disponibles pour neuf types d'équipements récapitulés Tableau VIII.1, mais depuis 2004 les climatiseurs mobiles ne sont plus officiellement suivis par les associations de constructeurs, une trop grande part étant issue d'un marché non contrôlé.

Tableau VIII.1 – Types d'équipements composant le sous-secteur de la climatisation à air

Climatisation à air	
Climatisation individuelle : P < 17,5 kW	Climatisation autonome : P > 17,5 kW
Climatiseur mobile (ou Mobile) Climatiseur fenêtre (ou Window) Mono-split Multi-split	Armoires verticales (ou Consoles) DRV (Débit Réfrigérant Variable) (ou VRV) Split et Multi-split (ou Central AC) Roof top Armoire spéciale (ou Cabinet)

Les équipements frigorifiques des petits bateaux de croisière sont inclus dans les différentes catégories du secteur de la climatisation fixe.

VIII.2 - Données nécessaires au calcul

La méthode de calcul adoptée est la même que pour les GRE (Figure VII.1).

Dans le secteur de la climatisation à air, certains équipements sont chargés en usine (lieux de production), mais d'autres sur site (ou lieu de vente). Dans le premier cas, la production des équipements, exportations incluses, doit être prise en compte pour estimer le marché de fluides ; dans le second cas c'est le marché (Figure VIII.1).

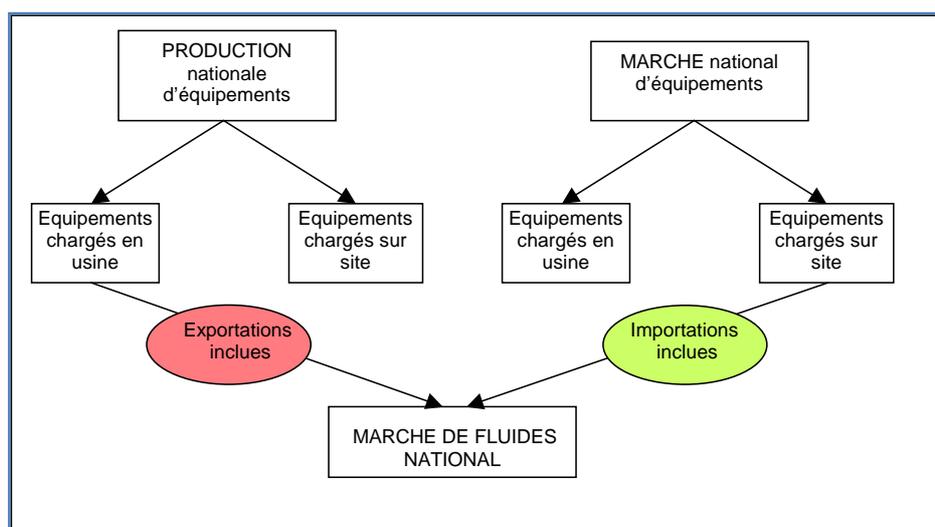


Figure VIII.1 – Prise en compte des lieux de charge dans le calcul du marché des fluides frigorigènes, pour le secteur de la climatisation à air

Par ailleurs, comme pour le calcul des GRE, les paramètres suivants sont nécessaires au calcul des émissions :

- la répartition annuelle des fluides utilisés sur le marché neuf
- la charge moyenne par type d'équipements (ou le ratio nécessaire à son calcul)
- la durée de vie
- les taux d'émissions
- l'efficacité de récupération

VIII.3 - La climatisation à air en 2011 en France

VIII.3.1 - Le marché

Comme chaque année, les statistiques de marchés publiées par Clim'Info sont utilisées ([CLI12]). En 2011, le marché des rooftops n'a pas été officiellement publié, l'estimation donnée par Uniclimate [UNI12] est utilisée dans ce calcul.

Depuis 2003-2004, les marchés des équipements de type « mobiles » ne sont pas évalués par Clim'Info, les données des adhérents n'étant plus significatives du marché de ce secteur. Dans le cadre des inventaires, les marchés 2004-2010 ont été estimés en fonction des ordres de grandeurs communiqués par Uniclimate et l'étude BSRIA [BSR08]. Dans le rapport sur la production de gaz à effet de serre des systèmes de climatisation [RAP12], le ministère de l'Ecologie cite une étude de marchés réalisée dans le cadre de la mise en place de la directive européenne Eco-conception selon laquelle le marché des mobiles serait revenu au niveau de 70 000 unités. Cet ordre de grandeur a été pris en compte dans le calcul, en corrigeant les marchés à ce niveau depuis 2009.

Les armoires spéciales ne sont plus prises en compte depuis 2004.

Le Tableau VIII.2 récapitule les statistiques de marchés disponibles sur 2010-2011 et les valeurs estimées.

Tableau VIII.2– Marchés des équipements de la climatisation à air

Marchés	Climatisation individuelle				Climatisation autonome			
	Mobile*	Clim. fenêtre	Split system	Multi split system	Armoires verticales	DRV	Split et multi split	Roof top
2010	70 000	3 722	278 589	100 130	521	13 923	4 020	1320
2011	70 000	3 648	267 215	93 614	565	15 500	4 185	2500

* données marchés ayant une incertitude élevée. Valeurs 2009-2010 corrigées.

VIII.3.2 - La production

Le Tableau VIII.3 rappelle les modes de charge des différents équipements de la climatisation à air. De façon générale, les équipements de grandes puissances sont chargés sur site et ceux de petites puissances en usine. Les productions d'équipements doivent être estimées pour les équipements chargés d'usine ; dans les autres cas, c'est la connaissance du marché qui permet d'évaluer la demande en fluides frigorigènes pour les équipements neufs.

Tableau VIII.3– Modes de charges en fluides frigorigènes des équipements

Sous-secteur	Niveau de Puissance	Mode de charge
Climatiseurs mobiles	1 kW < P < 2 kW	Chargé en usine
Climatisation de fenêtre	2 kW < P < 3 kW	Chargé en usine
Mono split	5 kW < P < 17 kW	Chargé en usine
Multi split	8 kW < P < 25 kW	Chargé sur site
Armoires verticales	P > 17,5 kW	Chargé sur site
DRV (Débit Réfrigérant Variable)	P > 17,5 kW	Chargé sur site
Split et Multi split	P > 17,5 kW	Chargé sur site
Roof top	P > 17,5 kW	Chargé en usine
Armoires spéciales	P > 17,5 kW	Chargé sur site

Le Tableau VIII.4 présente les estimations des productions des équipements en 2011. Ces estimations sont basées sur les évaluations BSRIA de 2004 ([BSR08]) ; le ratio entre les quantités produites et mises sur le marché est considéré constant au cours du temps. Les sources ont été revues et, dans le cas des splits, la valeur a été corrigée sur l'historique.

Tableau VIII.4 – Estimation de la production française des principaux équipements

Production	Données BSRIA année 2004	Estimation 2011
Climatiseurs mobiles	6 900	3 220
Climatiseurs fenêtre	2 760	910
Mono split	28 500	17 300
Roof top	4 237	2 070

Les valeurs du Tableau VIII.4 sont à prendre avec précaution, signalées par BSRIA comme marquées d'une forte incertitude.

VIII.3.3- Les fluides utilisés

Les évolutions des fluides utilisés sur le marché neuf des équipements ont été revues en fonction des données communiquées par Clim'Info, des ventes par type d'équipement et par fluides ([TER12] et [CON12]). La progression du R-410A a été accélérée, par rapport aux précédentes hypothèses, dans le cas des VRV et des armoires verticales. Les hypothèses des fluides utilisés en 2010 et 2011 sont récapitulées Tableau VIII.5. Une forte pénétration du R-410A est visible sur 2011, avec une forte progression dans le secteur des multisplits.

Tableau VIII.5– Fluides sur le marché neuf de la climatisation à air en 2011

Fluides	2010	2011
Climatiseurs mobiles	100 % R-410A	100 % R-410A
Climatisation de fenêtre	100 % R-410A	100 % R-410A
Mono split	2 % R-407C, 98 % R-410A	1 % R-407C, 99 % R-410A
Multi split	14 % R-407C, 86 % R-410A	2 % R-407C, 98 % R-410A
Armoires verticales	26 % R-407C, 55 % R-410A, 19 % R-134a	20 % R-407C, 62 % R-410A , 18 % R-134a
DRV	25 % R-407C, 57 % R-410A, 18 % R-134a	20 % R-407C, 62 % R-410A , 18 % R-134a
Split et Multi split	3 % R-407C, 97 % R-410A	0,5 % R-407C, 0,5 % R-134a 99 % R-410A
Roof top	27 % R-407C, 73 % R-410A	20 % R-407C, 80 % R-410A

VIII.3.4 - La charge moyenne

Les charges moyennes des équipements constituant les neuf catégories de la climatisation à air ont été établies à partir des données fournisseurs [TOC02] et sont supposées constantes par catégorie (Tableau VIII.6). A la suite des inventaires européens réalisés pour le compte d'EPEE [CLO11], il a été envisagé d'augmenter la charge des multisplits à 5 kg car, pour les fortes puissances, la charge de cette catégorie d'équipements peut être nettement plus élevée (jusqu'à 7 kg). Lors des inventaires 2010, des tests de calculs ont été réalisés avec une charge moyenne de 5 kg mais la demande reconstituée ne permettait alors plus de recouper de façon satisfaisante les marchés de R-407C et de R-410A sur la période 2005-2010. Dans le cadre des inventaires 2011, des données complémentaires reçues de Clim Info concernant les ventes de multisplits par gamme de puissance ont conforté le choix du maintien de la charge à 1,5 kg. En effet, en prenant en compte un ratio de charge de 0,25 kg/kW, la répartition des ventes 2011 par gamme de puissance permet d'obtenir une charge moyenne pondérée par les marchés de 1,46 kg.

Tableau VIII.6– Charges nominales des équipements de la climatisation à air

CHARGES (kg)								
Mobile	Clim. de fenêtre	Split system	Multi split system	Armoires verticales	DRV	Split et multi split >17,5 kW	Roof top	Armoires spéciales
0,5	0,6	1	1,5	2,8	9	5	17 à 26	18

Dans le cas des rooftops, la réduction de la charge liée à l'utilisation du R-410A a été prise en compte dans ces inventaires. Les rooftops récents fonctionnant au R-410A ont des charges moyennes de l'ordre de 17 kg [CAR08], inférieures à celles des rooftops au R-22 ou au R-407C qui sont de l'ordre de 26 kg. Une réduction de la charge moyenne a été appliquée aux marchés d'équipements de 2006 à 2011 en fonction de la progression du R-410A.

VIII.3.5 - Courbes de durée de vie

Dans le secteur de la climatisation à air, trois types de courbes de durée de vie ont été établis, en fonction des durées de vie moyennes qui caractérisaient jusqu'à présent les équipements. Elles sont présentées Figures VIII.2 à VIII.4. Ces hypothèses n'ont pas évolué.

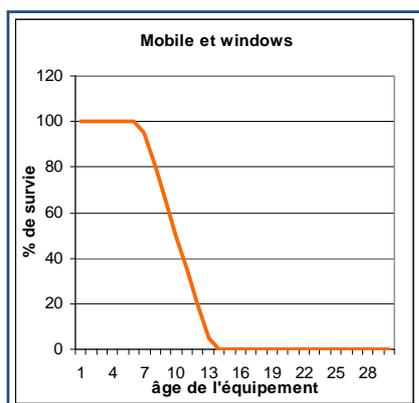


Figure VIII.2– Courbe de durée de vie des équipements de type mobile et climatisation fenêtre

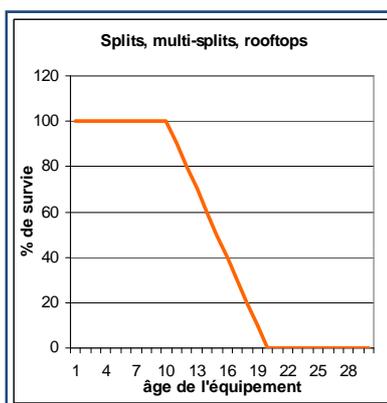


Figure VIII.3 – Courbe de durée de vie des équipements de type split, multi split et roof top

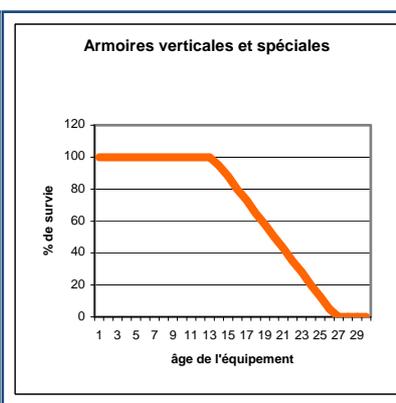


Figure VIII.4– Courbe de durée de vie des équipements de type armoire

VIII.3.6 - Facteurs d'émissions

Les taux d'émissions caractérisant les équipements neufs de climatisation à air sont présentés Tableau VIII.7, ainsi que les niveaux d'efficacité de récupération des filières associées. Les taux d'émissions ont été évalués d'après les données constructeurs [TOC06] et les retours d'expérience. A la suite des inventaires européens [CLO11] et des communications de fabricants d'équipements membres d'EPEE, les taux d'émissions des multisplits, considérés surestimés, ont été corrigés à la baisse selon des courbes d'évolution « en S ». Par ailleurs, dans tous les sous-secteurs d'équipements, les hypothèses tiennent compte de l'amélioration des niveaux d'émissions des équipements neufs et des pratiques d'entretien et de fin de vie.

Tableau VIII.7– Facteurs d'émissions des équipements de la climatisation à air

Facteurs d'émissions climatisation à air 2010-2011								
	Mobile	Clim. de fenêtre	Split system	Multi split system	Armoires verticales	DRV	Split et multi split	Roof top
Taux d'émissions 2010	2 %	2 %	4,6 %	6 %	6,3 %	10 %	6,3 %	5 %
Taux d'émissions 2011	2 %	2 %	4,5 %	5,7 %	6 %	10 %	6 %	5 %
Récupération fin de vie 2010	9 %	5 %	10 %	12%	15 %	66 %	59 %	71 %
Récupération fin de vie 2011	15 %	8 %	15 %	18 %	17 %	71 %	63 %	74 %

VIII.4 - Résultats de la climatisation à air – Inventaires 2011

VIII.4.1 – La banque

La banque des équipements de climatisation à air est en croissance, de 5 % par an depuis 2008. Elle est estimée à près de 7 700 t en 2011, dominée par le R-410A à 53 % et, d'un point de vue sectoriel, par la banque des splits (41 %) et des multisplits (22 %).

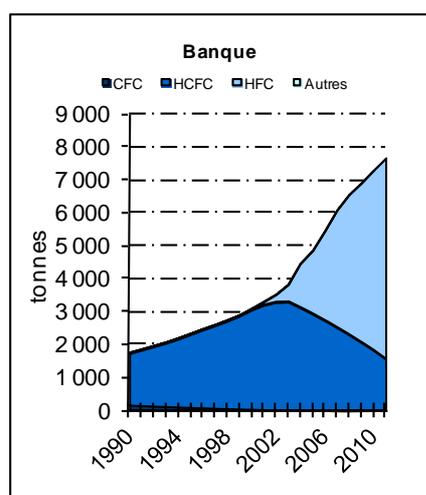


Figure.VIII.5 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes de la climatisation à air

Tableau VIII.8 - Banque 2011 – La climatisation à air

Climatisation à air		Banque 2011	
CFC	R-11	0	0
	R-12	0	
	R-502	0	
HCFC	R-22	1 574	1 574
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	188	6 100
	R-404A	0	
	R-407C	1 844	
	R-410A	4 048	
	R-507	0	
	R-417A et autres fluides remplacement	19	
Autres	R-600a	0	0
	R-290	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
Total (tonnes)		7 673	

VIII.4.2 – La demande

La demande totale du secteur de la climatisation à air est évaluée à 1 070 t en 2011. Cette demande est oscillante (Figure VIII.6), à cause de la demande pour la maintenance des équipements qui est très irrégulière selon les années.

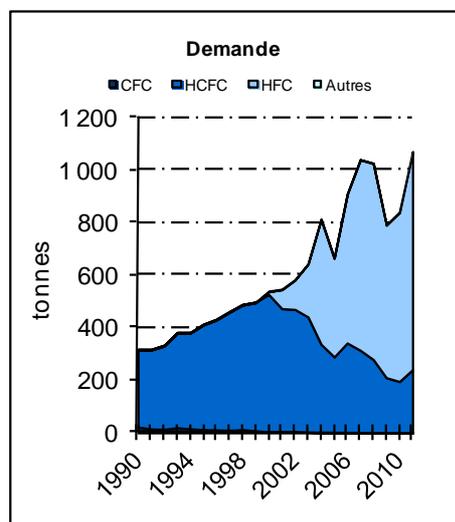


Figure VIII.6 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes pour la climatisation à air.

Tableau VIII.9 - Demande totale 2011 –Climatisation à air

Climatisation à air		Demande totale 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	239	239
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	44	829
	R-404A	-	
	R-407C	206	
	R-410A	558	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	22	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		1 068	

Les résultats présentés au Tableau VIII.10 sont marqués d'une forte incertitude, les données de production des équipements chargés d'usine étant peu précises. Le R-410A domine la demande pour les équipements neufs à 82 % et la demande totale à 52 %, le R-22 restant encore majoritairement utilisé pour la maintenance (à 38 %).

Tableau VIII.10 – Demande 2011 pour les équipements neufs de climatisation à air

Climatisation à air		Demande eqts neufs 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	-	-
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	30	417
	R-404A	-	
	R-407C	45	
	R-410A	342	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		417	

Tableau VIII.11– Demande pour la maintenance des équipements de climatisation à air

Climatisation à air		Demande maintenance 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	239	239
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	14	390
	R-404A	-	
	R-407C	161	
	R-410A	216	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		629	

Les équipements de type multisplits utilisent un tiers des quantités de fluides frigorigènes dédiées à la maintenance du secteur et les splits, 38 %.

VIII.4.3 – Les émissions totales

Les émissions totales du secteur de la climatisation à air sont estimées à 800 t pour 2011, en croissance de 6 % par rapport à 2010 du fait de la croissance du parc d'équipements. Les émissions sont encore dominées à 40 % par le R-22 (Tableau VIII.2) encore présent, notamment dans les splits et multiplits dont les taux d'émissions étaient plus élevés sur le passé.

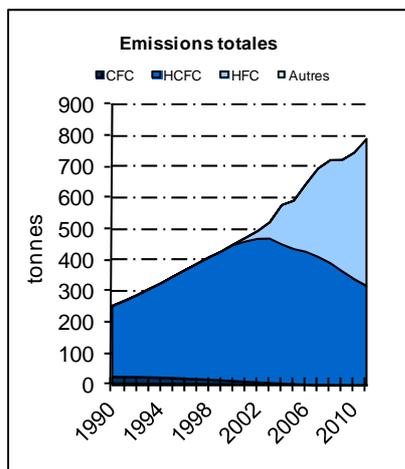


Figure VIII.7 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes des équipements de climatisation à air.

Tableau VIII.12 - Emissions totales 2011 – Climatisation à air

Climatisation à air		Emissions totales 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	317	317
	R-408A	-	
HFC	R-401A	-	474
	R-134a	22	
	R-404A	-	
	R-407C	155	
	R-410A	292	
	R-507	-	
Autres	R-417A et autres fluides remplacement	4	-
	R-600a	-	
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		791	

VIII.4.4 – Les émissions en équivalent CO₂

En équivalent CO₂, les émissions du secteur de la climatisation à air s'élèvent à 1,2 million de tonnes. Les GWP des fluides utilisés dans ce secteur sont proches, ce qui explique que l'évolution des émissions CO₂ (Figure VIII.8) et celle des émissions totales (Figure VIII.7) aient la même allure. Les émissions équivalentes CO₂ sont cette fois dominée par le R-410A (GWP=1 730) et non par le R-22 (GWP=1 500).

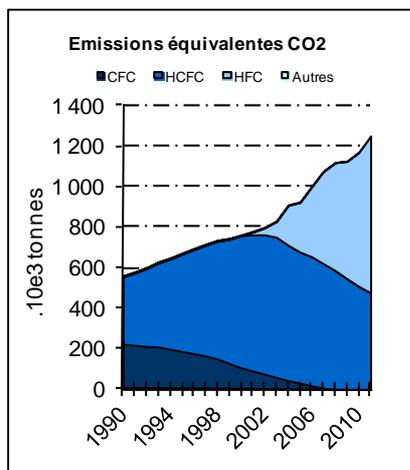


Figure VIII.8 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ de la climatisation à air

Tableau VIII.13 - Emissions totales en équivalent CO₂ 2011 – Climatisation à air

Climatisation à air		Emissions eq CO2 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	475	475
	R-408A	-	
HFC	R-401A	-	780
	R-134a	29	
	R-404A	-	
	R-407C	237	
	R-410A	506	
	R-507	-	
Autres	R-417A et autres fluides remplacement	9	-
	R-600a	-	
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (milliers de tonnes)		1 256	

VIII.4.5 – Les quantités récupérées

Le niveau des quantités récupérées est faible, de l'ordre de 100 tonnes en 2011, une partie des équipements de ce secteur, la climatisation domestique, n'étant pas traitée en fin de vie. La croissance observée Figure VIII.9 est due aux rétrofits d'équipements de la climatisation tertiaire qui utilisaient des HCFC, principalement les rooftops.

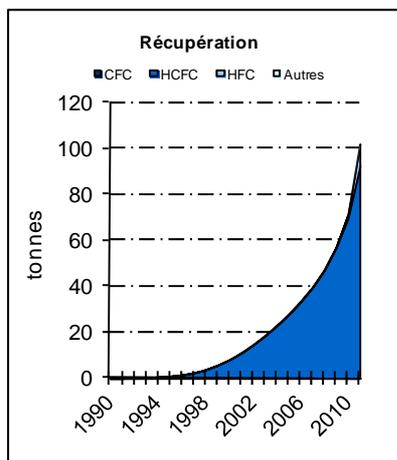


Figure VIII.9 - Evolution des quantités récupérées de la climatisation à air

Tableau VIII.14 - Quantités récupérées 2011 – Climatisation à air.

		Climatisation à air	Récupération 2011	
CFC	R-11	-		-
	R-12	-		
	R-502	-		
HCFC	R-22	93		93
	R-408A	-		
	R-401A	-		
HFC	R-134a	1		10
	R-404A	-		
	R-407C	3		
	R-410A	4		
	R-507	-		
	R-417A et autres fluides remplacement	2		
Autres	R-600a	-		-
	R-290	-		
	R-717	-		
	R-744	-		
Total (tonnes)				103

VIII.5 – Références Climatisation à Air

- [BSR08] World Market for Air Conditioning 2008, BSRIA Report 19947/2, 2008.
- [CAR08] Entretien JM.Carré, Lennox Europe, 2008-2009.
- [CLI12] La Climatisation, Les Pompes à Chaleur. Les chiffres du marché français de janvier à décembre 2011. PAC & Clim'Info. Février 2012.
- [CON12] Climatisation de Confort, année 2011. Extraction de la base de données PAC&Clim'info pour le CEP, 2012.
- [RAP12] Rapport sur la production de gaz à effet de serre des systèmes de climatisation et leur impact sur l'écosystème et l'environnement ; singulièrement dans les collectivités d'Outre-mer, en application de l'article 5 de la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement du 3 Août 2009. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des transports et du logement.
- [TOC02] 2002 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Option Committee. 2002 Assessment.
- [TER12] Résultats 2011 – Tertiaires et commerciales. Réunion du 26 Janvier 2012, Clim Info.
- [UNI12] Equipements du génie Climatique. Chiffres et bilan de l'année 2011. Perspectives 2012. Dossier de presse. Uniclimate. 22 Mars 2012.

IX. LES POMPES A CHALEUR RESIDENTIELLES (PAC)

IX.1 Structuration du secteur

Les pompes à chaleur (PAC) peuvent être regroupées en deux grandes familles :

- les PAC géothermales qui puisent la chaleur dans le sol ou l'eau d'une nappe par l'intermédiaire d'un réseau de capteurs ou de forages ;
- les PAC aérothermiques qui la puisent directement dans l'air ambiant, extérieur ou intérieur au logement.

Les PAC air/air et air/eau forment les modèles aérothermiques. Les PAC sol/sol, sol/eau, eau/eau et eau glycolée/eau constituent les PAC géothermales (dans les appellations, le premier terme désigne l'origine du prélèvement, le second le mode de distribution de la chaleur). Dans le cas de la PAC eau glycolée / eau, la chaleur est puisée dans le sol au moyen de capteurs enterrés où circule de l'eau glycolée.

Dans RIEP, les pompes à chaleur de type air/air sont déjà comptabilisées parmi les équipements de la climatisation à air, de type split ou « multi-splits ». Il a donc été choisi de structurer ce secteur en quatre sous-secteurs :

- les PAC air/eau, secteur connaissant le développement le plus grand
- les PAC sol/sol
- les PAC eau/eau et eau glycolée/eau
- les PAC sol/eau.

IX.2 Données nécessaires au calcul

La méthode de calcul du secteur des pompes à chaleur résidentielles est la même que celle de la climatisation à air et des GRE, présentée Figure VII.1. Le calcul des émissions repose ici aussi sur plusieurs paramètres :

- la production et le marché
Les valeurs annuelles de la production française doivent être estimées pour chaque type de PAC, les équipements étant chargés en usine, excepté pour les PAC sol/sol qui sont chargées sur site.
- la répartition annuelle des fluides utilisés sur le marché neuf
- la charge moyenne par type d'équipement
- la courbe de durée de vie
- les taux d'émissions
- l'efficacité de récupération

IX.3 - Les PAC en France en 2011

IX.3.1 - Le marché et la production

Les marchés des PAC sont publiés par l'AFPAC et PAC&Clim'Info. Les marchés des 4 types de PAC ont été vérifiés et corrigés de 2008 à 2011 en fonction des valeurs publiées dans [AFP12] ; les valeurs 2010-2011 sont présentées au Tableau IX.1.

Tableau IX.1 – Marché des PAC résidentielles

PAC	2010	2011
Air/ eau	53 854	55 299
Eau/eau	6 658	5 926
Sol/sol	1 548	1 312
Sol/eau	751	553

Dans l'attente de données plus précises, **la production de PAC prise en compte est équivalente à 10 % du marché**, excepté dans le secteur des PAC air/eau où elle est estimée à 60 % du marché français à partir de 2008 [DUP11].

IX.3.2 - Les fluides utilisés

Dans l'attente d'informations plus précises par type de PAC, une progression du R-410A au détriment du R-407C est prise en compte dans les hypothèses de calcul. Les mêmes évolutions de fluides, données au Tableau IX.2 sont considérées pour les quatre types de PAC.

Tableau IX.2– Fluides utilisés sur le marché neuf des PAC résidentielles en 2010-2011

Fluides utilisés	R-410A	R-407C	R-134a	R-417A
2010	85 %	8 %	5 %	2 %
2011	90 %	5 %	5 %	-

IX.3.3 - La charge moyenne

A la suite des inventaires européens [CLO11], la charge moyenne des PAC sol/eau a été corrigée à 15 kg. Les hypothèses n'ont pas évolué dans le cadre des inventaires 2011 et sont rappelées au Tableau IX.3.

Tableau IX.3– Charges moyennes des PAC résidentielles

PAC	Air/eau	Eau/ eau	Sol/ eau	Sol/ sol
Charge moyenne	3,5 kg	2,5 kg	15 kg	15 kg

IX.3.4 - Courbe de durée de vie

Pour les quatre types de pompes à chaleur, il est pris en compte la courbe de durée de vie présentée basée sur une durée de vie moyenne de 15 ans. Cette hypothèse n'a pas évolué.

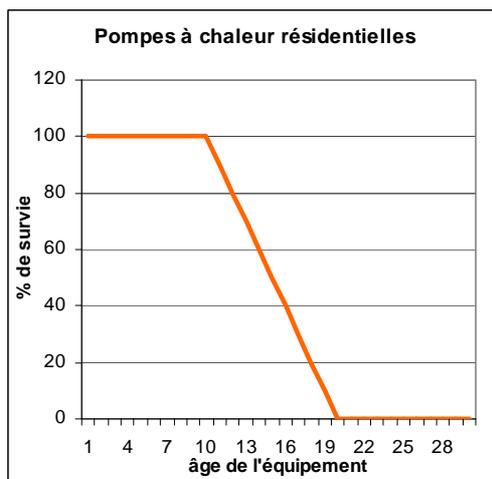


Figure IX.1 - Courbe de durée de vie des pompes à chaleur résidentielles

IX.3.5 Facteurs d'émissions

Les taux d'émissions associés aux PAC sont faibles. De l'ordre de 10 % dans les années 1990, ils ont été réduits aux valeurs présentées Tableau IX.4. Il est également pris en compte une progression de l'efficacité de récupération en fin de vie des PAC selon une courbe « en S », débutée en 2003.

Tableau IX.4– Taux d'émissions des PAC résidentielles

PAC	Sol/eau	Autres
Taux d'émissions 2011	5 %	2 %
Efficacité de récupération 2011	27 %	27 %

IX.4 Résultats des PAC – Inventaires 2011

4.1 – La banque

La banque des PAC est estimée à 2 800 t en 2011. Sa croissance est plus modérée depuis 2009, elle progresse de 10 % par rapport à 2010 et représente 5 % de la banque totale de fluides frigorigènes en France. Elle est essentiellement constituée de R-410A (Tableau IX.5).

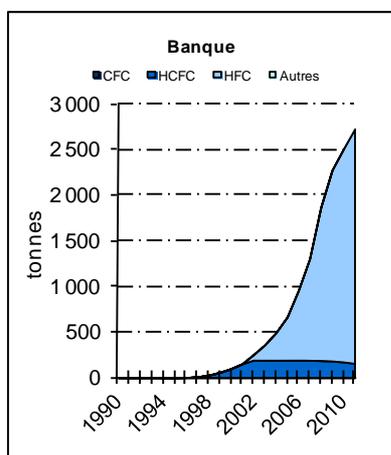


Figure IX.2 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes des PAC

Tableau IX.5 - Banque 2011 – PAC

		Pompes à chaleur résidentielles	Banque 2011	
CFC	R-11	-		-
	R-12	-		
	R-502	-		
HCFC	R-22	157		157
	R-408A	-		
	R-401A	-		
HFC	R-134a	141		2 571
	R-404A	-		
	R-407C	554		
	R-410A	1 776		
	R-507	-		
	R-417A et autres fluides remplacement	101		
Autres	R-600a	-		-
	R-290	-		
	R-717	-		
	R-744	-		
Total (tonnes)				2 729

4.2 – La demande

Depuis 2008, la demande totale est en baisse, liée à la chute du marché des PAC. Son niveau est à confirmer, les données de production d'équipement n'étant pas précises.

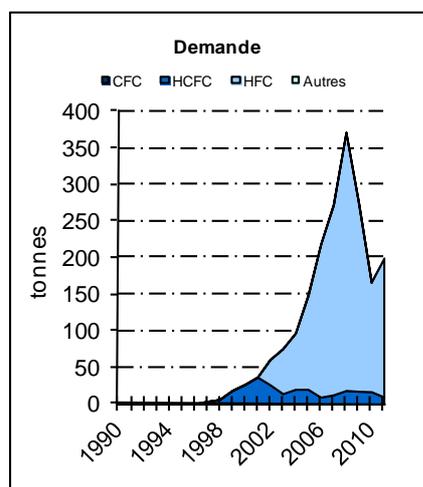


Figure IX.3 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes pour les PAC

Tableau IX.6 - Demande totale 2011 – PAC

		Pompes à chaleur résidentielles	Demande totale 2011	
CFC	R-11	-		-
	R-12	-		
	R-502	-		
HCFC	R-22	10		10
	R-408A	-		
	R-401A	-		
HFC	R-134a	11		190
	R-404A	-		
	R-407C	33		
	R-410A	144		
	R-507	-		
	R-417A et autres fluides remplacement	2		
Autres	R-600a	-		-
	R-290	-		
	R-717	-		
	R-744	-		
Total (tonnes)				200

Dans ce secteur, la maintenance des équipements n'étant pas annuelle, la demande en fluides frigorigènes oscille, atteint un maximum de 60 t en 2011, les taux d'émissions étant très faibles.

Tableau IX.7 – Demande 2011 pour les PAC neuves

Pompes à chaleur résidentielles		Demande eqts neufs 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	-	-
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	7	137
	R-404A	-	
	R-407C	7	
	R-410A	123	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		137	

Tableau IX.8– Demande pour la maintenance des PAC

Pompes à chaleur résidentielles		Demande maintenance 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	10	10
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	4	54
	R-404A	-	
	R-407C	26	
	R-410A	22	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	2	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		63	

4.3 – Les émissions totales

Les premières PAC mises sur le marché français datent de 1997-1998 et le marché croît significativement seulement à partir de 2005. Avec une durée de vie moyenne de 15 ans, peu d'équipements parviennent donc en fin de vie en 2011. Les émissions présentées Figure IX.5 sont donc essentiellement des émissions fugitives, ce qui explique que le niveau soit bas, les taux d'émissions étant faibles.

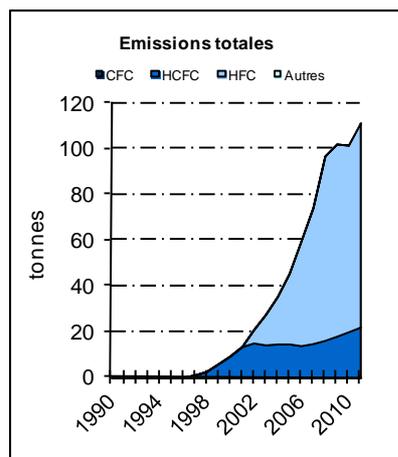


Figure IX.4 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes du secteur PAC

Tableau IX.9 - Emissions totales 2011 – PAC

Pompes à chaleur résidentielles		Emissions totales 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	22	22
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	5	90
	R-404A	-	
	R-407C	23	
	R-410A	58	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	3	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		112	

4.4 – Les émissions en équivalent CO2

L'impact du secteur des PAC sur les émissions CO₂ équivalentes est faible, de seulement 0,1 million de tonnes, essentiellement dues au R-410A.

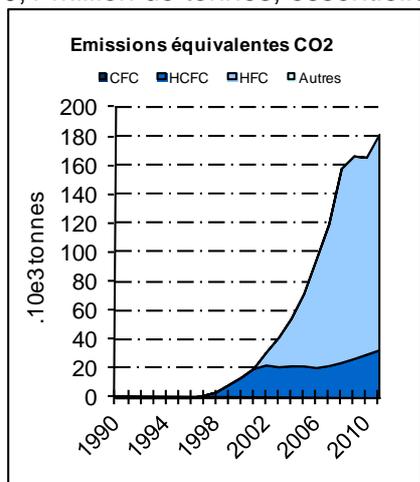


Figure IX.5 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ en froid industriel

Tableau IX.10 - Emissions totales en équivalent CO₂ 2011 – Groupes Refroidisseurs à Eau

	Pompes à chaleur résidentielles	Emissions eq CO2 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	33	33
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	7	149
	R-404A	-	
	R-407C	35	
	R-410A	101	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	6	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (milliers de tonnes)			182

4.5 – Les quantités récupérées

Pour les mêmes raisons, peu d'équipements sont concernés par une récupération de fin de vie, ce qui explique le niveau très faible de la récupération.

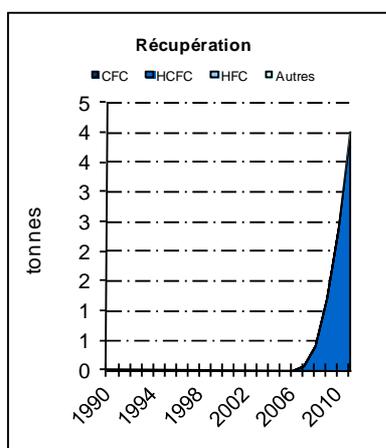


Figure IX.6 - Evolution des quantités récupérées dans le secteur PAC

Tableau IX.11 - Quantités récupérées 2011 – PAC

	Pompes à chaleur résidentielles	Récupération 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	4	4
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	-	-
	R-404A	-	
	R-407C	-	
	R-410A	-	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)			4

IX.5- Références PAC

- [AFP12] Marché français de la PAC. Statistiques 2011. Source AFPAC/PAC&Clim'Info/GIFAM.
- [CLO11] Clodic D., Barrault S. 1990 to 2010 Refrigerant inventories for Europe – Previsions on banks and emissions from 2006 to 2030 for the European Union _ EREI and CEP Report for EPEE – October 2011
- [DUP11] Communication de Guy-Noel Dupré, Uniclimate, pour le CEP, 2011.

X. LA CLIMATISATION EMBARQUEE

X.1 Structuration du secteur

Le secteur de la climatisation embarquée se divise en quatre sous-secteurs, déterminés par les technologies utilisées et les informations statistiques disponibles.

- La climatisation automobile comprend les circuits de climatisation des véhicules particuliers et utilitaires légers (VUL), jusqu'à 5 t.
- Les véhicules industriels (VI) regroupent les camions et tracteurs agricoles. Ce sous-secteur est proche de celui de la climatisation automobile. Seule la cabine du conducteur est rafraîchie, par des systèmes de technologie identique. Etant donné les statistiques disponibles, cette catégorie inclut désormais les poids lourds de plus de 5 t.
- Les cars et bus présentent des systèmes de climatisation différents, plus puissants, où tout le véhicule est rafraîchi.
- Dans le cas des trains, les technologies sont spécifiques et présentes sur la totalité du marché neuf. Les tramways, métros et RER climatisés sont très peu nombreux, les quantités de fluides frigorigènes en jeux sont très faibles. Ces équipements sont donc négligés pour le moment.

X.2 Données nécessaires au calcul

Le secteur de la climatisation automobile bénéficie d'une méthode de calcul dédiée, plus détaillée, prenant en compte un calcul dynamique de la charge du véhicule et de ses émissions au cours de sa durée de vie. Ses principes sont rappelés à l'annexe 4.

Comme pour les autres secteurs, la méthode de calcul du secteur de la climatisation mobile repose aussi sur les données d'autres paramètres :

- la production et le marché d'équipements
- la répartition annuelle des fluides
- la charge moyenne
- la courbe de durée de vie
- l'efficacité de récupération, à la maintenance et en fin de vie des équipements
- le taux d'émissions : décomposé pour ce secteur en un taux d'émissions fugitives régulières et celui des émissions irrégulières.

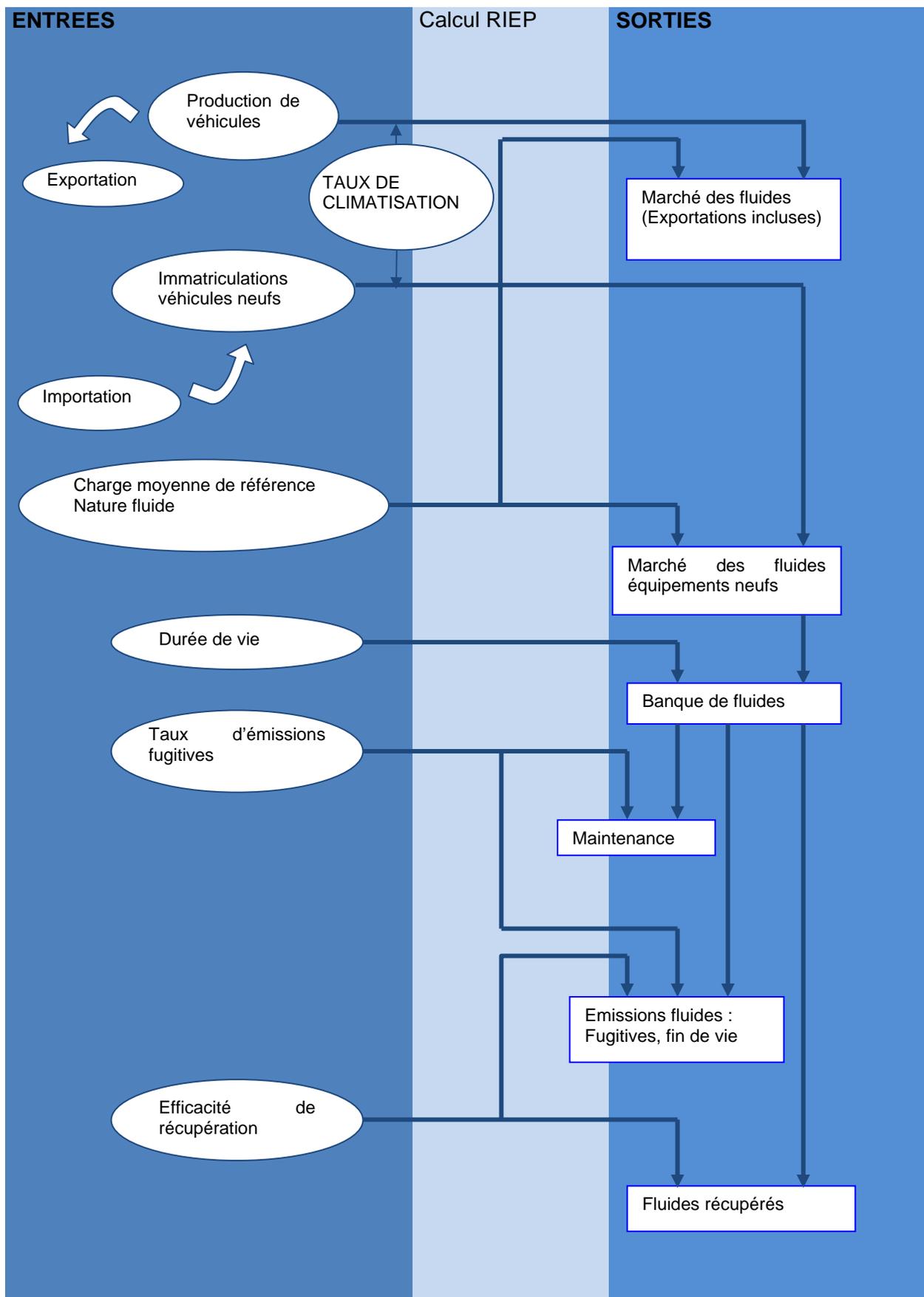


Figure X.1– Organigramme de la méthode utilisée pour le secteur de la climatisation embarquée

X.3 La climatisation embarquée en France en 2011

X.3.1 La production et le marché

Chaque année, les chiffres de la production française et des immatriculations de véhicules neufs sont fournis par le CCFA, Comité des Constructeurs Français d'Automobiles [CCF12]. Le CCFA ne distingue plus les VUL de plus de 3,5 t de ceux de plus de 5 t et met à jour ses statistiques selon les catégories VL (véhicules légers jusqu'à 5 t) et VI (Véhicules Industriels de plus de 5,1 t). Les données présentées Tableaux X.1 et X.2 correspondent à l'ensemble des véhicules produits et immatriculés, sans distinction de climatisation.

L'OICA donne la production de cars et bus ([OIC12]). Il s'agit d'une production étrangère en France puisque Renault Trucks a vendu sa division à IVECO (groupe FIAT).

Tableau X.1– Production de véhicules en France

PRODUCTION	Véhicules particuliers et VUL jusqu'à 5 t	Véhicules Industriels	Cars et bus
2010	1 908 826	29 702	3 475
2011	1 970 429	36 641	3 701

Tableau X.2– Nouvelles immatriculations de véhicules

MARCHES	Véhicules particuliers et VUL jusqu'à 5 t	Véhicules Industriels	Cars et bus
2010	2 669 281	41 773	5 382
2011	2 633 483	47 363	6 206

Les marchés et productions de véhicules climatisés sont évalués en appliquant un taux de climatisation annuel, variant selon une courbe « en S » telle que présentée Figure X.2. Cette courbe a été lissée, dans le cadre des inventaires 2011 et conduit à un taux de pénétration de la climatisation automobile de 93,5 %.

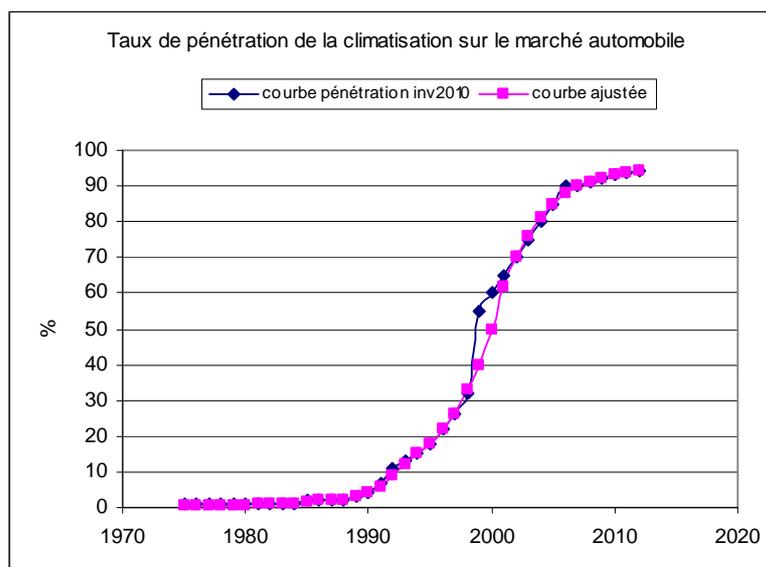


Figure X.2 – Lissage de la courbe de pénétration de la climatisation sur le marché automobile

Pour les trains, le taux de climatisation est de 100 % du marché neuf. L'évolution du parc des trains climatisés a été estimée d'après les dernières données de la SNCF [GIB04]. Un

inventaire complet du parc d'équipements est en cours de réalisation à la SNCF mais les résultats n'ont pas encore été communiqués au CEP [PAS12]. Une progression du marché des équipements de 5 % par an est maintenue de 2007 à 2011.

Le parc des bus est faiblement climatisé, en revanche, la quasi-totalité des cars mis sur le marché l'est [LEG11]. La courbe de pénétration de la climatisation sur le marché neuf des cars et bus est maintenue conduisant à un niveau moyen de 80 % de véhicules climatisés mis sur le marché en 2011.

X.3.2 La répartition annuelle des fluides

En climatisation automobile, seul le R-134a est utilisé sur le marché neuf depuis 1994. La transition du R-12 au R-134a a été très rapide, en deux ans environ.

Pour les bus et les VI, tous les systèmes neufs fonctionnent au R-134a [LEG11].

Les équipements de climatisation des trains utilisent le R-134a ou le R-407C, selon qu'ils équipent les TGV ou les TER et postes de conduite [PAS12]. Le R-407C est aussi utilisé pour les rétrofits d'équipement au R-22. A fin 2011, il n'y a quasiment plus de R-22 dans les installations de la SNCF.

X.3.3 La charge moyenne

La charge moyenne des véhicules mis sur le marché est calculée en moyenne pondérée par les marchés de véhicules, connaissant les meilleures ventes [TUR11] et les charges nominales associées, selon les données Valéo Clim Service [VAL10]. La charge moyenne des véhicules neufs continue de décroître.

Tableau X.3– Charges moyennes

Charges (kg)	Climatisation automobile	Véhicules Industriels	Cars et bus	Trains
2010	0,54	0,77	12,1	10,9
2011	0,52	0,76	11,5	10,6

Dans les trains, la charge moyenne est à confirmer : les charges des différents types de matériels étant variables de 2 kg pour les locomotives à 20 kg pour les wagons de TGV [PAS12]. Pour les bus et VI, une tendance à la décroissance des charges est prise en compte, faute d'information plus précise.

X.3.4 La courbe de durée de vie

Les courbes de durée de vie (Figure X.3 et X.4) ont été établies pour les différents sous-secteurs en se basant, sur les durées de vie moyenne de 12 et 15 ans, selon les types de véhicules.

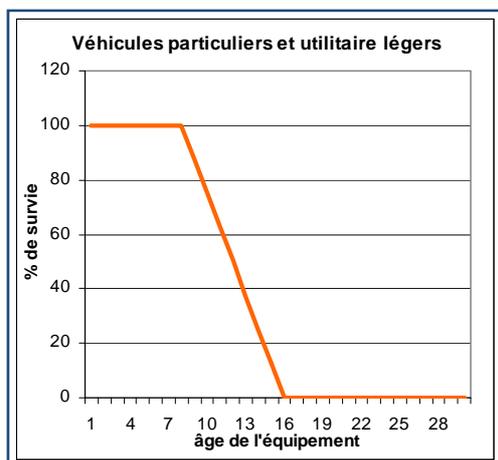


Figure X.3– Courbe de durée de vie des véhicules particuliers et utilitaires légers ainsi que véhicules industriels

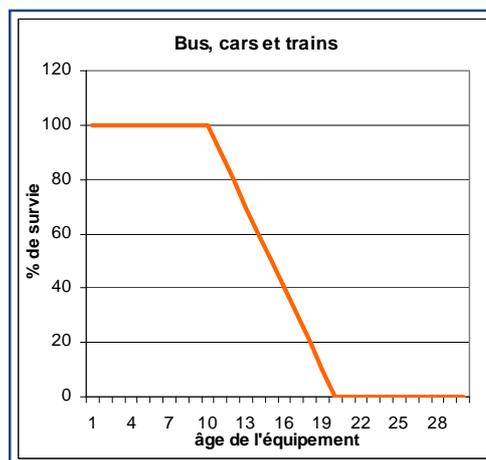


Figure X.4– Courbe de durée de vie des cars et bus et des trains

L'hypothèse de durée de vie impacte l'estimation de la banque et du parc d'équipements. Le parc de véhicules particuliers et VUL climatisé a été reconstitué à partir des statistiques des marchés de véhicules, de la courbe de pénétration de la climatisation et de l'hypothèse de durée de vie moyenne. Le résultat a été comparé au parc de véhicules climatisés publié par l'étude TNS Worldpanel cité dans [RAP12] pour les années 2003 et 2008. Les écarts sont présentés au Tableau X.4.

Tableau X.4 – Comparaison des parc de véhicules climatisés (particulier et VUL).

Parc climatisé (millions de véhicules)			
	2003	2008	2011
Etude TNS	9,9	18,4	-
Estimation Inventaires 2011	10,69	19,85	24,97
Ecart relatif	7,4%	7,3%	

Pour les véhicules particuliers, utilitaires et industriels, la méthode prend en compte une durée de vie maximale du système de climatisation, au-delà le système n'est plus entretenu. Ces durées sont constantes et présentées Tableau X.5.

Tableau X.5– Durées de vie des systèmes de climatisation

	Climatisation automobile	Véhicules Industriels
Durée de vie du système (ans)	9	9

X.3.5 L'efficacité de récupération

Dans le secteur de la climatisation embarquée, deux taux de récupération sont distingués :

- à la maintenance,
- en fin de vie du véhicule.

Concernant la fin de vie des véhicules, peu d'évolutions sont à noter étant donné que l'ADEME ne suit pas les quantités de fluides frigorigènes récupérées lors de la dépollution des véhicules et aucune information n'est publiée à ce sujet dans le rapport de l'observatoire de la filière Véhicules Hors d'Usage [RAP11].

L'enquête auprès des organismes démolisseurs et des entreprises de déconstruction menée au cours des inventaires 2010 avait fait ressortir que les quantités de fluides frigorigènes déclarées sont le plus souvent inférieures aux quantités réellement récupérées, une partie

des quantités récupérées étant réutilisée pour la maintenance d'autres véhicules. Aussi, une petite amélioration de l'efficacité de récupération en fin de vie des véhicules est prise en compte (Tableau X.6).

L'efficacité de récupération en fin de vie des trains est élevée, contrairement aux autres sous-secteurs, car les services techniques réalisant l'opération sont les mêmes que ceux effectuant les entretiens à la maintenance.

Tableau X.6– Taux de récupération en fin de vie des équipements

Taux de récupération en fin de vie (% de la charge)	Climatisation automobile	Véhicules Industriels	Cars et bus	Trains
2010	2 %	0,5 %	0,5 %	59 %
2011	4 %	1 %	1 %	63 %

La courbe d'évolution de l'efficacité de récupération à la maintenance avait été corrigée à la suite des résultats des attestations d'aptitude présentés à l'AFCE par les organismes de formation agréés [PER11]. Le taux a été réduit à 75 % pour la période de 2000 à 2010. Le niveau est maintenu en 2011. Dans les autres sous-secteurs, les taux de récupération à la maintenance sont supposés en progrès, selon une courbe de croissance « en S ».

Tableau X.7– Taux de récupération au cours des opérations de maintenance

Taux de récupération à la maintenance (% de la charge)	Climatisation automobile	Véhicules Industriels	Cars et bus	Trains
2010	75 %	49 %	59 %	95 %
2011	75 %	54 %	63 %	95 %

X.3.6 Le taux d'émissions

Les niveaux d'émissions caractérisant les véhicules neufs ont été maintenus en 2011, considérant que le seuil de 10 g/an était minimal. De même, le niveau des pertes liées aux accidents est maintenu, faute de données plus détaillées, à 15 g/an.

Jusqu'en 2004, le niveau de dégradation appliqué dans le modèle est de 20 %. Cette valeur de dégradation a été obtenue par calcul inverse sur la période de 2000 à 2006, il correspond donc à l'entretien des véhicules anciens. A partir de 2004, et de l'introduction de taux de fuite des systèmes neufs inférieurs à 15 g/an, le taux de dégradation est augmenté à 50 % de façon à rester cohérent avec les marchés déclarés sur la période 2008 et 2009. Cette valeur est maintenue sur 2010-2011.

Les taux d'émissions des quatre sous-secteurs de la climatisation embarquée sont récapitulés Tableau X.8.

Tableau X.8– Taux d'émissions dans les sous-secteurs de la climatisation embarquée

Taux d'émissions fugitives accidents et défaillances inclus	Climatisation automobile Véhicules neufs	Véhicules Industriels Véhicules neufs	Cars et bus (% de la charge)	Trains (% de la charge)
2011	25 g/an	35 g/an	16 %	5 %

X.4 Résultats de la climatisation embarquée – Inventaires 2011

X.4.1 – La banque

La banque de la climatisation embarquée continue sa croissance, de 3 % en 2011, avec celle du parc de véhicules climatisés. Elle est estimée à 15 600 t en 2011, constituée quasi exclusivement de R-134a, la banque de R-12 étant éliminée depuis 2006.

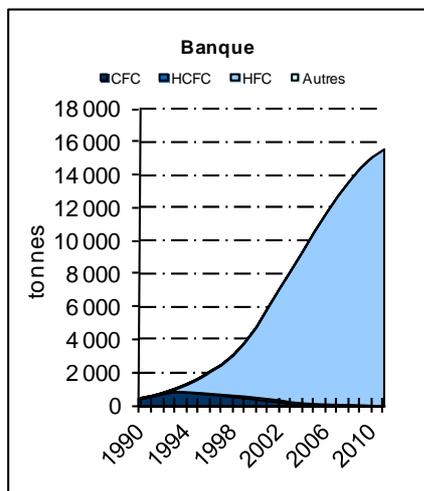


Figure X.5 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes de la climatisation embarquée

Tableau X.9 - Banque 2011 – Climatisation embarquée

Climatisation Embarquée		Banque 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	24	24
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	15 483	15 563
	R-404A	-	
	R-407C	80	
	R-410A	-	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	0	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		15 587	

4.2 – La demande

La demande totale de fluides frigorigènes pour le secteur de la climatisation embarquée a subi une forte décroissance (Figure X.6) depuis la mise sur le marché de véhicules équipés de systèmes de climatisation aux taux de fuite très bas, à partir de 2004.

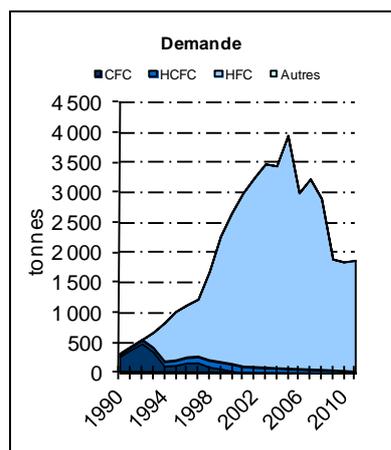


Figure X.6 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes en climatisation embarquée

Tableau X.10 - Demande totale 2011 – Climatisation embarquée

Climatisation Embarquée		Demande totale 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	18	18
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	1 827	1 859
	R-404A	-	
	R-407C	32	
	R-410A	-	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	1	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		1 878	

L'impact est nettement visible sur le marché maintenance à partir de 2009, son ordre de grandeur est alors divisé par deux par rapport à la période 2003-2008. Le niveau de la demande totale est stable sur la période 2009-2011, aux environs de 1 900 t par an. La demande pour la production des équipements neufs est stable également, à 1 130 t en 2011.

Tableau X.11 – Demande 2011 pour les systèmes neufs de climatisation embarquée

Climatisation Embarquée		Demande eqts neufs 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	-	-
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	1 120	1 127
	R-404A	-	
	R-407C	7	
	R-410A	-	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		1 127	

Tableau X.12– Demande pour la maintenance Climatisation embarquée

Climatisation Embarquée		Demande maintenance 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	18	18
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	707	710
	R-404A	-	
	R-407C	3	
	R-410A	-	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		729	

4.3 – Les émissions totales

De même, le niveau des émissions est stable sur 2010-2011 à 2 100 t par an, les émissions fugitives du parc étant quasiment constantes depuis 2008. Les émissions en fin de vie des équipements ne constituent que 18 % des émissions totales, une partie des équipements y parvenant vide ou faiblement chargé.

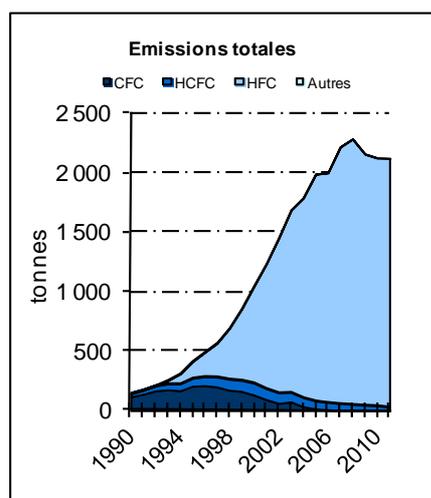


Figure X.7 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes en Climatisation embarquée

Tableau X.13 - Emissions totales 2011 – Climatisation embarquée

Climatisation Embarquée		Emissions totales 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	29	29
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	2 080	2 096
	R-404A	-	
	R-407C	15	
	R-410A	-	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	0	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		2 125	

4.4 – Les émissions en équivalent CO₂

Bien que le parc de véhicules fonctionnant avec des systèmes de climatisation utilisant du R-12 se soit éteint depuis quelques années, les émissions du secteur de la climatisation embarquée sont estimées à 2,8 millions de tonnes de CO₂ ce qui constitue, en 2011, 19 % des émissions de fluides frigorigènes de la France métropole en équivalent CO₂.

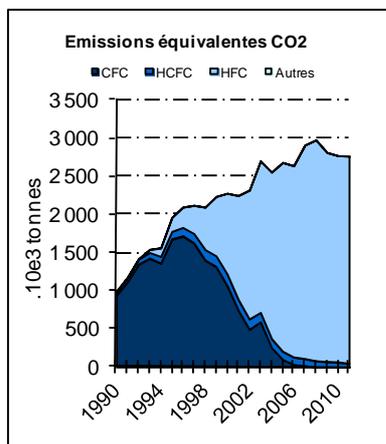


Figure X.8 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ en Climatisation embarquée

Tableau X.14 - Emissions totales en équivalent CO₂ 2011 – Climatisation embarquée

Climatisation Embarquée		Emissions eq CO2 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	44	44
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	2 704	2 728
	R-404A	-	
	R-407C	24	
	R-410A	-	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	1	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (milliers de tonnes)		2 772	

4.5 – Les quantités récupérées

Les quantités récupérées en fin de vie des équipements sont faibles, la filière VHU n'étant pas encore efficace en ce qui concerne les fluides frigorigènes, bien qu'une partie des quantités récupérées puisse ne pas être déclarée. Les quantités de fluides frigorigènes récupérées sont principalement dues au secteur des trains.

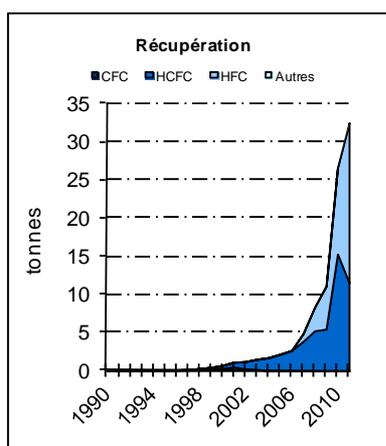


Figure X.9 - Evolution des quantités récupérées en Climatisation embarquée

Tableau X.15 - Quantités récupérées 2011 – Climatisation embarquée

Climatisation Embarquée		Récupération 2011	
CFC	R-11	-	-
	R-12	-	
	R-502	-	
HCFC	R-22	12	12
	R-408A	-	
	R-401A	-	
HFC	R-134a	16	21
	R-404A	-	
	R-407C	5	
	R-410A	-	
	R-507	-	
	R-417A et autres fluides remplacement	-	
Autres	R-600a	-	-
	R-290	-	
	R-717	-	
	R-744	-	
Total (tonnes)		33	

X.5 Référence climatisation embarquée

- [CCF12] Site du Comité des Constructeurs Français d'Automobiles : www.ccf.fr
- [GIB04] SNCF. Données A.Gibergues, 2004.
- [LEG11] Communication de Michel Legros, Atelier Climatisation de la RATP pour le CEP, 2011.
- [OIC12] Organisation Internationale des Constructeurs Automobiles (OICA) : www.oica.net

- [PAS12] Communications Gianni PASCOLO, Pôle ingénierie climatisation, Technicentre de Périgueux, SNCF, 2010.
- [PER11] Communications de Georges Perez, AFPA, pour l'AFCE et le CEP, 2011.
- [RAP11] Observatoire de la filière Véhicules Hors d'Usage. Rapport annuel de la mise en œuvre des dispositions réglementaires relatives aux véhicules hors d'usage. Situation en 2010. Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par la société Ernst&Young. Septembre 2011.
- [RAP12] Rapport sur la production de gaz à effet de serre des systèmes de climatisation et leur impact sur l'écosystème et l'environnement ; singulièrement dans les collectivités d'Outre-mer, en application de l'article 5 de la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement du 3 Août 2009. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des transports et du logement.
- [TUR11] Turbo. Top 20 des voitures les plus vendies en France en 2011. <http://www.turbo.fr/diaporama/photo-top-20-des-voitures-les-plus-vendues-en-france-en-2011-37204/>
- [VAL10] Fichier 2010 « Fluide Réfrigérant » www.valeoservice.com

XI. Référence générales

- [IPC06] IPCC guidelines for national greenhouse gases inventories Vol. 3 Chap. 7 de l'IPCC (International Panel on Climate Change) mis à jour en 2006.
- [OFF12] Rapport annuel de l'Observatoire des Fluides frigorigènes Fluorés. Juillet 2012. Réalisé par BIO Intelligence Service S.A.S. pour le compte de l'ADEME.
- [ROY12] Fluides frigorigènes : Statistiques consommation / Récupération / Destruction. Communication de Philippe Roy, SNEFCCA pour le CEP, Octobre 2012.
- [SAB09] SABA, S., "Global inventories and direct emission estimations of greenhouse gases of refrigeration systems" Ph. D; Thesis Mines-Paristech December 2009.
- [SOU08] SOUSA, David. Etude des émissions de fluides frigorigènes de joints tournants de compresseurs de climatisation automobile. Thèse de Doctorat en Sciences des Métiers de l'Ingénieur (SMI), spécialité Energétique, MINES ParisTech, 16 décembre 2008.

Les références listées en fin de chaque chapitre sont rappelées ci-dessous.

Références Froid Domestique

- [DEC05] Décret n° 2005-829 du 20 juillet 2005 relatif à la composition des équipements électriques et électroniques et à l'élimination des déchets issus de ces équipements
- [ENQ01] Enquête Centre d'Energétique échantillon de 100 appareils, 2001
- [ENQ11] Enquête statistique menée par le CEP sur 100 appareils chez les revendeurs d'électroménagers, Frédéric Trannois, Septembre 2012.
- [ENQ12] Enquête statistique menée par le CEP sur 300 appareils chez les revendeurs d'électroménagers, Nelson Feukma, Juillet 2012.
- [FAN12] Communication chiffres provisoires 2011 de la filière DEEE, Erwan Fangeat ADEME, Octobre 2012.
- [GIF11] Site internet du GIFAM (www.gifam.fr).

Références froid commercial

- [CGA12] Site de la Confédération Générale de l'Alimentation en Détail
www.cgad.fr
- [FEU12] Rapport de stage. Nelson FEUKAM. CEP Mines-ParisTech, Août 2012.
- [HAR12] Le phénomène Hard-discount en France. Mars 2011.
<http://hard-discount-ozar.blogspot.fr/>
- [GRO12] Communications d'Alexandra Grotto et Jean-Michel Deroo pour le groupe Auchan, 2012.
- [INS12] INSEE, Base Permanente des Equipements.
http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?reg_id=99&ref_id=fd-bpe11
- [LSA11] L'Atlas de la distribution Alimentaire, LSA, Edition 2011.
- [NAV12] La DA en chiffres. Euromonitor NAVSA (chambre syndicale Nationale de Vente et Service Automatique) 2009-2010.
http://www.navsa.fr/00_koama/visu_navsa/index.asp?sid=349&cid=15347&cvd=15384&lid=1
- [OPC10] Rapport de branche 2010. Exercice 2009. Commerce de détail et de gros à prédominance alimentaire. Observatoire Prospectif du Commerce.
<http://fr.calameo.com/read/00014259759d6a5ae4ac6>
- [OPC12] Etudes et panoramas de l'Observatoire Prospectif du Commerce.
<http://www.opcommerce.org/ForcoCms/Etudes/panoramas.aspx>

- [PHI12] Entretien avec Bernard Philippe, Réfrigération Industrielle, JCI (Jonhson Controls Industries), 2012.
- [THO12] Entretien téléphonique, Jean-Patrick Thockler, Bonnet Névé, Septembre 2012.

Références Transports Frigorifiques

- [CAR11] www.carcoserco.org
- [CON08] http://www.containerhandbuch.de/chb_e/wild/index.html
- [DEV12] Inventaire des productions d'engins de transport sous température dirigée autonomes et non autonomes 2010-2011. Masses de fluides frigorigènes. 25 Octobre 2012. Eric Devin. Cemafruid.
- [DEVa12] Entretien Eric Devin, Cemafruid, 2012.
- [REF07] <http://www.reefertrends.com>
- [SHI10] World Shipping Councils.
<http://www.worldshipping.org/about-the-industry/containers/global-container-fleet>
- [STU12] Entretien JP.Stumpf, Carrier, 2011-2012.
- [TOC10] 2010 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Option Committee. 2010 Assessment.

Références Froid Industriel

- [AGR07] <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Gaf08p141.pdf>
- [AGR08] http://www.panoramaiaa.gouv.fr/article.php3?id_article=350
- [ASH06] 2006 ASHRAE Handbook-Refrigeration-SI Edition, supported by ASHRAE Research-Food refrigeration. Chapitre 26 pour les chocolateries et chapitre 28 pour les boissons gazeuses.
- [BOO12] Entretien M.Boos, Lanxess Elastomères, 2011-2012.
- [COC10] <http://cocacolatpe.e-monsite.com/rubrique.coca-cola-en-chiffres.171566.html>
- [FAO12] Banque de données statistiques FAO (Food Agriculture Organization) sur www.fao.org
- [INV01] Inventaires des fluides frigorigènes et de leurs émissions, CENERG Mai 2003.
- [INV02] Inventaires des fluides frigorigènes et de leurs émissions, CENERG Mai 2004.
- [KAL07] Calcul de la puissance nécessaire pour la production du chocolat et des boissons gazeuses et non alcoolisées. Thérèse Kallas, CEP, 2007.
- [PHI12] Communications de Bernard Philippe, Réfrigération Industrielle, Jonhson Controls Industries, 2010-2011.
- [SAY07] Carine Sayon, CEP, 2007.
- [SYN12] Syndicat national des patinoires
<http://www.syndicatdespatinoires.com/>
- [TOC10] 2010 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Option Committee. 2010 Assessment.

Références GRE

- [AFC98] P.Fauvarque, AFCE, 1998.
- [BSR10] WWAC European Overview 2010. BSRIA Report May 2011.
- [COL11] E.Colin, JCI. Retour au questionnaire Chillers du CEP, novembre 2011.
- [DUP12] Communication de G.N.Dupré, Uniclimate, pour le CEP, 2012.
- [HUG02] Communication de JP.Huguet, Carrier, 2002.
- [LAR12] L'évolution des groupes de refroidissement d'eau dans le cadre de « l'écoconception ». Paul de Larminat et Eric Colin, Johnson Controls Industries, Colloque AFCE, Octobre 2012.
- [OHL12] Violaine Ohi-Gasteau, PAC&Clim'Info. Communications de données confidentielles sur les marchés de chillers par gamme de puissance, pour le CEP, 2011-2012.
- [ROB10] Communications d'Olivier Robert pour le groupe Climafort, 2008-2010.
- [TRA98] Données confidentielles de marchés 1996, Trane pour le CENERG, 1998.

Références Climatisation à Air

- [BSR08] World Market for Air Conditioning 2008, BSRIA Report 19947/2, 2008.
- [CAR08] Entretien JM.Carré, Lennox Europe, 2008-2009.
- [CLI12] La Climatisation, Les Pompes à Chaleur. Les chiffres du marché français de janvier à décembre 2011. PAC & Clim'Info. Février 2012.
- [CON12] Climatisation de Confort, année 2011. Extraction de la base de données PAC&Clim'info pour le CEP, 2012.
- [RAP12] Rapport sur la production de gaz à effet de serre des systèmes de climatisation et leur impact sur l'écosystème et l'environnement ; singulièrement dans les collectivités d'Outre-mer, en application de l'article 5 de la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement du 3 Août 2009. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des transports et du logement.
- [TOC02] 2002 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Option Committee. 2002 Assessment.
- [TER12] Résultats 2011 – Tertiaires et commerciales. Réunion du 26 Janvier 2012, Clim Info.
- [UNI12] Equipements du génie Climatique. Chiffres et bilan de l'année 2011. Perspectives 2012. Dossier de presse. Uniclimate. 22 Mars 2012.

Références PAC

- [AFP12] Marché français de la PAC. Statistiques 2011. Source AFPAC/PAC&Clim'Info/GIFAM.
- [CLO11] Clodic D., Barrault S. 1990 to 2010 Refrigerant inventories for Europe – Previsions on banks and emissions from 2006 to 2030 for the European Union _ EReE and CEP Report for EPEE – October 2011
- [DUP11] Communication de Guy-Noel Dupré, Uniclimate, pour le CEP, 2011.

Références climatisation embarquée

- [CCF12] Site du Comité des Constructeurs Français d'Automobiles : www.cdfa.fr
- [GIB04] SNCF. Données A.Gibergues, 2004.
- [LEG11] Communication de Michel Legros, Atelier Climatisation de la RATP pour le CEP, 2011.
- [OIC12] Organisation Internationale des Constructeurs Automobiles (OICA) : www.oica.net
- [PAS12] Communications Gianni PASCOLO, Pôle ingénierie climatisation, Technicentre de Périgueux, SNCF, 2010.
- [PER11] Communications de Georges Perez, AFPA, pour l'AFCE et le CEP, 2011.
- [RAP11] Observatoire de la filière Véhicules Hors d'Usage. Rapport annuel de la mise en œuvre des dispositions réglementaires relatives aux véhicules hors d'usage. Situation en 2010. Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par la société Ernst&Young. Septembre 2011.
- [RAP12] Rapport sur la production de gaz à effet de serre des systèmes de climatisation et leur impact sur l'écosystème et l'environnement ; singulièrement dans les collectivités d'Outre-mer, en application de l'article 5 de la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement du 3 Août 2009. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des transports et du logement.
- [TUR11] Turbo. Top 20 des voitures les plus vendues en France en 2011. <http://www.turbo.fr/diaporama/photo-top-20-des-voitures-les-plus-vendues-en-france-en-2011-37204/>
- [VAL10] Fichier 2010 « Fluide Réfrigérant » www.valeoservice.com

XII. ANNEXES

Annexe 1 – GWP (Global Warming Potential) utilisés pour le calcul des émissions en équivalents CO₂ (selon les 2^{ème} et le 4^{ème} Rapports d'évaluation)

Type	Nom	Formule	GWP		
			2 nd	3 rd	4 th
CFC	CFC-11		3 800	4 600	4 750
CFC	CFC-12		8 100	10 600	10 890
CFC	R-502	HCFC-22/115 (48.8/51.2)	5 500	4 500	4 657
HCFC	HCFC-22		1 500	1 700	1 810
HCFC	CFC-123		90	120	77
HCFC	R-408A	CFC-125/143a/22 (7/46/47)	2 650	3 015	3 200
HCFC	R-401A	HCFC-22/152a/124 (53/13/34)	970	1 130	1 200
HFC	HFC-134a		1 300	1 300	1 430
HFC	R-404A	CFC-125/143a/134a (44/52/4)	3 260	3 785	3 900
HFC	R-407C	HFC-32/125/134a (23/25/52)	1 525	1 655	1 800
HFC	R-410A	HFC-32/125 (50/50)	1 730	1 975	2 100
HFC	R-417A	CFC-125/134a/600 (46.6/50/3.4)	1 955	2 235	2 300
HFC	R-422A	CFC-125/134a/600a (85.1/11.5/3.4)	2 535	2 895	3 100
HFC	R-422D	CFC-125/134a/600a (65.1/31.5/3.4)	2 235	2 625	2 700
HFC	R-427A	HFC-32/125/143a/134a (15/25/10/50)	1 830	2 015	2 100
HFC	R-507A	CFC-125/143a (50/50)	3 300	3 850	4 000
HC	R-600a		20	20	20
NH ₃	R-717		0	0	<1
CO ₂	R-744		1	1	1

Annexe 2 : Questionnaire envoyé aux hypermarchés Auchan dans le cadre de l'enquête de terrain en froid commercial

A renvoyer via fax ou email information en bas de page de page	Centre Energétique et Procédés MINES-ParisTech				
COORDONNEES	Nom HYPERMARCHÉ			Surface vente total en m²	
	Votre nom			Votre email	
OUVERTURE DU MAGASIN	Date d'ouverture		Information complémentaire	Oui	Non
	Réouverture	<input type="checkbox"/>	Y avait il une ancienne enseigne ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Création	<input type="checkbox"/>	Y a-t-il eu un agrandissement ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Si oui, à quelle date? jj/mm/aa			
INFORMATIONS FLUIDES	Quantités INSTALLEES				
		Centrale +		Centrale -	
	Fluides utilisés				
	Charges en kg				
	Quantités annuelles consommées pour la MAINTENANCE				
	Type de fluide	Quantités consommées			
	2010	2009	2008		
INFORMATIONS SUR L'INSTALLATION FRIGORIFIQUE ACTUELLE	L'installation est de quel type?				
	Directe : le froid est propagé par le fluide frigorigène.	<input type="checkbox"/>	Indirecte : le froid est propagé par un mélange eau + glycol.	<input type="checkbox"/>	
	Indiquer la date de mise en service des centrales				
		Mois	Année		
	Centrale -				
	Centrale +				
	Evolution importantes de l'installation frigorifique depuis l'origine				
	Dates remodelling				
	Evolution fluide				
	Evolution Charge				
Avez-vous eu un incident majeur générant de grandes pertes de fluides ?					
Commentaire :					
<div style="display: flex; align-items: center;">  <p>Merci de renvoyer ce document par mail (de préférence) ou fax Fax : au 01 69 19 45 01 ou par Email : frederic.trannois@mines-paristech.fr</p> </div>					

Annexe 3 : Relevé de visite en petits commerces dans le cadre de l'enquête de terrain en froid commercial

Centre Energétique et Procédés Mines ParisTech		 		
INFORMATIONS MAGASIN	Type de commerce			
	magasin spécialisé en surgelés			
	supérettes			
	alimentations générales			
	boucheries-charcuteries			
	commerces fruits et légumes			
	poissonneries			
	stations services - stations d'autoroute			
	magasins de produits laitiers			
	boulangeries - pâtisseries			
bars - hotels - restaurants				
distributeurs automatiques				
Adresse du magasin				
Date d'ouverture				
Surface de vente (m²)				
STRUCTURE DE L'EQUIPEMENT	Equipements INSTALLES			
	Equipement 1			
	Choix	Groupe hermétique logé		Groupe de condensation
	Nom du fluide			Autre
	charges en Kg			
	Nombre d'équipements similaires dans le magasin			
	Equipement 2			
	Choix	Groupe hermétique logé		Groupe de condensation
	Nom du fluide			Autre
	charges en Kg			
	Nombre d'équipements similaires dans le magasin			
	Equipement 3			
	Choix	Groupe hermétique logé		Groupe de condensation
	Nom du fluide			Autre
	charges en Kg			
Nombre d'équipements similaires dans le magasin				
Quantités annuelles utilisées pour la MAINTENANCE				
Type de fluide	Quantités utilisées			
	2007	2008	2009	2010
INFORMATIONS SUPPLEMENTAIRES SUR L'INSTALLATION FRIGORIFIQUE ACTUELLE	Un incident majeur à l'origine de grandes pertes de fluides?			
	Commentaires (si oui préciser si possible une estimation en % de la perte, conso énergétique, durée de vie, mode d'entretien, nombre de renouvellement au cours de l'existence du magasin etc):			
Merci de nous renvoyer ce document de préférence par mail, ou sinon Fax. Email: nelson.feukam@mines-paristech.fr FAX : 01 69 19 45 09				

Annexe 4 : Détermination de la charge des équipements agroalimentaire

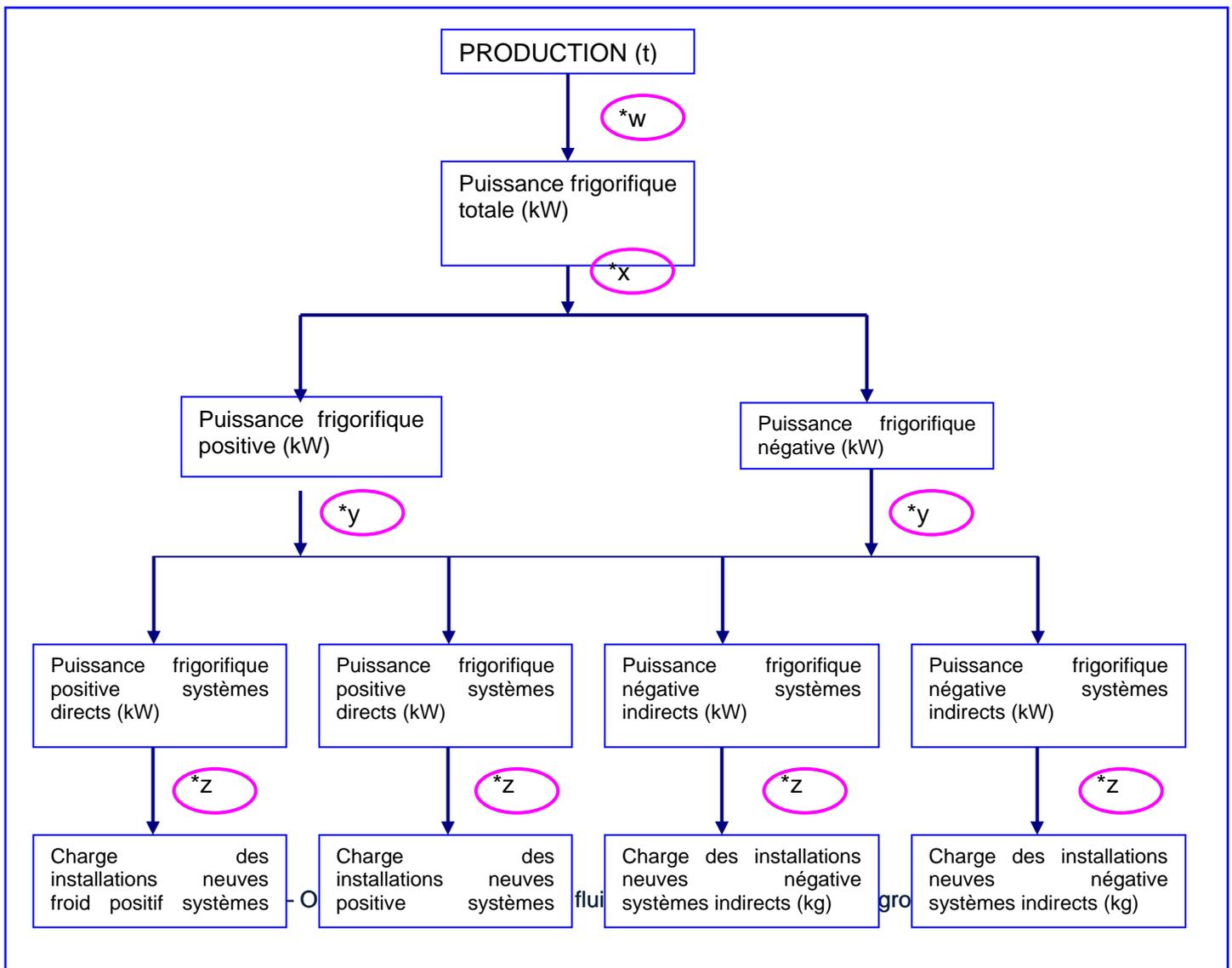
Dans l'agroalimentaire quatre ratios caractéristiques sont nécessaires pour reconstituer la charge globale à partir de la production annuelle.

Le premier, w (kW/t), ratio de la puissance frigorifique nécessaire au refroidissement d'une unité de masse de denrées caractérise le procédé frigorifique.

Le deuxième, x (%), ratio de la puissance négative sur la puissance totale, indique le type de refroidissement et permet de tenir compte de la répartition des puissances frigorifiques en fonction des basses et moyennes températures.

Le troisième, y (%), traduit la proportion de systèmes indirects dans le secteur considéré.

Le quatrième, z (kg / kW), ratio de la charge de fluide rapporté à la puissance frigorifique caractérise la technologie de l'installation et son niveau de température. Il est donc indépendant du secteur.



Annexe 5 - Principes de la méthode de calcul du secteur Climatisation automobile

La méthode de calcul propre à la climatisation automobile a connu des évolutions importantes dans les dernières études d'inventaires. A l'occasion de la thèse de S. Saba [SAB09], la méthode de calcul de la climatisation embarquée a été entièrement revue et approfondie. Plusieurs campagnes de mesures évaluant les taux d'émissions fugitives des véhicules neufs, en g/an, et montrant leur dégradation au cours du temps ([SOU08], [CLO07]) ont été à l'origine de ces évolutions.

Décomposition du taux d'émission et facteur de dégradation

La méthode considère que le taux d'émission est un taux de fuite, exprimé en g/an et qu'il caractérise les véhicules **neufs** et non le parc. Ce taux est décomposé en deux parties dont seule celle liée aux émissions fugitives est dégradée.

Le taux d'émission est décomposé en un taux dit « **régulier** », lié aux émissions fugitives et un taux « **irrégulier** », lié aux accidents et défaillances.

Un modèle de dégradation linéaire est appliqué au taux d'émission régulier (TER) caractérisant les véhicules neufs d'un millésime ; un **facteur « dégradation »** (d) est appliqué au taux d'émissions afin de traduire la diminution de l'étanchéité du circuit au cours de la durée de vie du véhicule (équation **).

$$TER_{m,j} = (1 + d * j) * TER_{m,0} \quad (**)$$

Avec:

m	Le millésime ou l'année de mise sur le marché du véhicule
j	L'âge du véhicule exprimé en ans et initialisé à 0
d	Facteur de dégradation ou augmentation du taux d'émission (%)
TER _{m,0}	Le taux d'émission régulier initial du millésime m

Basé sur ces valeurs et sur une estimation du marché pour la maintenance de la climatisation automobile (estimée en connaissant le marché déclaré de R-134a dont sont déduits les marchés estimés pour tous les autres secteurs utilisant ce fluide), l'utilisation d'un modèle de calcul inverse a permis d'obtenir un facteur de dégradation évalué à 20 % [SAB09].

Pourcentage de charge émise avant une opération de maintenance

Une des caractéristiques de la méthode de calcul de la climatisation automobile est de calculer le marché de fluide nécessaire à la maintenance des véhicules et de déterminer la fréquence des opérations de maintenance liée au niveau de remplissage du circuit. La méthode générale de calcul de la climatisation automobile (rappelée figure 8.1) est d'ailleurs basée sur la donnée d'un paramètre : celui du niveau de remplissage du circuit de climatisation rendant nécessaire une opération de maintenance.

Au cours de la vie du véhicule, connaissant son taux annuel d'émissions fugitives, la charge restant dans le circuit est connue. Il est admis qu'un utilisateur de la climatisation observe un dysfonctionnement et demande une opération de maintenance lorsque le circuit a perdu environ la moitié de sa charge. Cependant, afin de prendre en compte des sensibilités des conducteurs à la qualité du rafraîchissement pouvant être très différentes, une distribution du paramètre « niveau de remplissage avant maintenance » a été introduite à la place d'une valeur moyenne de 50 %. Une courbe de type Gauss est utilisée, basée sur la valeur moyenne de niveau de remplissage. Le manque d'informations ne permet pas de définir

précisément la distribution autour de ce paramètre. Jusqu'à présent, il a été considéré une distribution normale avec une dérivation standard de 10 %.

Calcul des émissions de fin de vie

La méthode de calcul évalue dynamiquement les quantités restant dans les circuits de climatisation en fin de vie des équipements et détermine ainsi précisément les quantités émises lors du démantèlement.

En se basant sur les charges nominales moyennes par millésime, la méthode détermine l'évolution de la charge en fonction des quantités annuelles émises (émissions régulières et irrégulières) et des occurrences d'opérations de maintenance. A chaque opération de maintenance, il est supposé que le circuit retrouve sa charge d'origine. Après la dernière opération, le circuit n'est plus entretenu et se vide d'une quantité égale au cumul des émissions annuelles. Les quantités restantes sont émises tant que l'efficacité de récupération en fin de vie est nulle.

[CLO07] CLODIC, Denis, YU, Yingzhong, TREMOULET, Arnaud and PALANDRE, Lionel. Elaboration of a correlation factor based on fleet tests and mobile air-conditioning (MAC) system laboratory tests. SAE World Congress & Exhibition, Session climate control (part 2 of 2), Detroit, USA, 16-19 april 2007, vol. SP-2132, n°2007-01-1187, p. 193 - 197.

[SAB09] SABA, S., "Global inventories and direct emission estimations of greenhouse gases of refrigeration systems" Ph. D; Thesis Mines-Paristech December 2009.

[SOU08] SOUSA, David. Etude des émissions de fluides frigorigènes de joints tournants de compresseurs de climatisation automobile. Thèse de Doctorat en Sciences des Métiers de l'Ingénieur (SMI), spécialité Energétique, MINES ParisTech, 16 décembre 2008.