



Centre Efficacité énergétique des Systèmes

Inventaires des Emissions des fluides frigorigènes FRANCE et DOM COM

Année 2015

Stéphanie BARRAULT CES MINES-ParisTech, ARMINES

Denis CLODIC, EReIE

Rapport final Février 2017

Table des matières

I. SYNTHÈSE	6
Résultats 2015	7
Synthèse de la méthode et des hypothèses 2015	12
II. Structure du rapport	23
III. Rappel de la méthode de calcul générale	24
IV. RESULTATS GLOBAUX	28
IV.1 - Résultats globaux inventaires 2015 métropole	28
IV.1.1 - Banque des fluides frigorigènes	28
IV.1.2 - Emissions des fluides frigorigènes.....	29
IV.1.3 - Emissions équivalentes CO ₂ des fluides frigorigènes.....	30
IV.1.4 - Demande totale en fluides frigorigènes	32
IV.1.5 – Comparaison de la demande calculée et des marchés déclarés	34
IV.1.5 - Récupération des fluides frigorigènes	38
IV.4 – Résultats globaux inventaires 2015 DOM COM.....	40
IV.4.1 - Banque de fluides frigorigènes dans les DOM COM.....	40
IV.4.3 - Emissions totales de fluides frigorigènes dans les DOM COM.....	41
IV.4.4 - Emissions CO ₂ équivalentes de fluides frigorigènes dans les DOM COM	42
IV.4.1 - Demande totale en fluides frigorigènes dans les DOM COM	43
IV.4.5 - Quantités de fluides frigorigènes récupérées dans les DOM COM	44
V. LE FROID DOMESTIQUE	45
V.1 - Méthode de calcul.....	45
V.2 - Le froid domestique en France en 2015	47
V.2.1 - Contexte.....	47
V.2.2 - La production	47
V.2.3 - Les ventes	47
V.2.4 - Les fluides utilisés.....	47
V.2.5 - Evaluation de la charge	47
V.2.6 - La durée de vie	48
V.2.7 - Niveau d'émissions fugitives	48
V.2.8 - L'efficacité de récupération en fin de vie des équipements	48
V.3 - Résultats Froid domestique Inventaires métropole 2015.....	49
V.3.1. La banque.....	49
V.3.2. La demande	50
V.3.3. Les émissions totales.....	50
V.3.4. Les émissions en équivalent CO ₂	51
V.3.5. Les quantités récupérées	51
VI. LE FROID COMMERCIAL	52
VI.1 - Méthode de calcul et hypothèses.....	52
VI.1.1. Structuration du secteur.....	52
VI.1.2. Résumé de la méthode	52
VI.2. Le froid commercial en France en 2015	55
VI.2.1. Evolution du parc	55
VI.2.3. Hypothèses concernant les fluides utilisés et les structures d'installations	56
VI.2.4. Courbes de durée de vie	57
VI.2.5. Ratios de charge	58
VI.2.6. Taux d'émissions	59
VI.2.7. Efficacité de récupération	59
VI.3 - Résultats Froid commercial Inventaires 2015 France métropole.....	60
VI.3.1 – La banque.....	60
VI.3.2 – La demande	60
VI.3.3 – Les émissions totales.....	61
VI.3.4 – Les émissions en équivalent CO ₂	62
VI.3.5 – Les quantités récupérées	62
VII. LES TRANSPORTS FRIGORIFIQUES	63
VII.1- Structuration du secteur	63

VII.2-	Méthode de calcul et données nécessaires	63
VII.3	Le transport frigorifique en France en 2015	65
VII.3.1	Statistiques disponibles transport routier	65
VII.3.2.	Statistiques disponibles transport maritime.....	66
VII.3.3	Fluides utilisés	66
VII.3.4	Charges de référence	67
VII.3.5	Durée de vie.....	67
VII.3.6	Taux d'émissions fugitives.....	68
VII.3.7	Efficacité de récupération	68
VII.4	Résultats Transports Frigorifiques – Inventaires métropole 2015	69
VII.4.1 –	La banque.....	69
VII.4.2 –	La demande	69
VII.4.3 –	Les émissions totales	70
VII.4.4 –	Les émissions en équivalent CO ₂	70
VII.4.5 –	Les quantités récupérées.....	71
VIII.	LE FROID INDUSTRIEL	72
VIII.1	Structuration du secteur	72
VIII.2	Données nécessaires au calcul	72
VIII.3	Données Industries en France métropole en 2015	74
VIII.3.1	Production française ou parc	74
VIII.3.2	Fluides utilisés	75
VIII.3.3	Ratios ou charges	77
VIII.3.4	Les courbes de durée de vie	78
VIII.3.5	Les taux d'émissions	78
VIII.3.6	L'efficacité de récupération.....	79
VIII.4 -	Résultats Froid Industriel Inventaires 2015	79
VIII.4.1 –	La banque	79
VIII.4.2 –	La demande	80
VIII.4.3 –	Les émissions totales	81
VIII.4.4 –	Les émissions en équivalent CO ₂	81
VIII.4.5 –	Les quantités récupérées.....	82
IX.	LES GROUPES REFROIDISSEURS D'EAU (GRE).....	83
IX.1	Structuration du secteur.....	83
IX.2	Données nécessaires au calcul.....	83
IX.3	Les GRE en France en 2015.....	85
IX.3.1	Le marché.....	85
IX.3.2	La production.....	85
IX.3.3	Les fluides utilisés	85
IX.3.4	La charge moyenne	86
IX.3.5	Courbes de durée de vie.....	87
IX.3.6	Niveaux d'émissions	87
IX.4	Résultats GRE – Inventaires 2015	87
IX.4.1 –	La banque.....	87
IX.4.2 –	La demande	88
IX.4.3 –	Les émissions totales.....	89
IX.4.4 –	Les émissions en équivalent CO ₂	89
IX.4.5 –	Les quantités récupérées	90
X.	LA CLIMATISATION A AIR.....	91
X.1-	Structuration du secteur	91
X.2	- Données nécessaires au calcul.....	91
X.3	- La climatisation à air en 2015 en France.....	92
X.3.1 -	Le marché	92
X.3.2 -	La production	92
X.3.3-	Les fluides utilisés.....	93
X.3.4 -	La charge moyenne.....	93
X.3.5 -	Courbes de durée de vie	94
X.3.6 -	Facteurs d'émissions.....	94

X.4 - Résultats de la climatisation à air – Inventaires 2015	95
X.4.1 – La banque	95
X.4.2 – La demande	96
X.4.3 – Les émissions totales.....	96
X.4.4 – Les émissions en équivalent CO ₂	97
X.4.5 – Les quantités récupérées	97
XI. LES POMPES A CHALEUR RESIDENTIELLES (PAC)	98
XI.1 Structuration du secteur.....	98
XI.2 Données nécessaires au calcul.....	98
XI.3 Les PAC en France en 2015	99
XI.3.1 - Le marché et la production.....	99
XI.3.2 - Les fluides utilisés	99
XI.3.3 - La charge moyenne.....	99
XI.3.4 - Courbe de durée de vie.....	100
XI.3.5 Facteurs d'émissions	100
XI.4 Résultats des PAC – Inventaires 2015	101
XI.4.1 – La banque.....	101
XI.4.2 – La demande	101
XI.4.3 – Les émissions totales.....	102
XI.4.4 – Les émissions en équivalent CO ₂	103
XI.4.5 – Les quantités récupérées	103
XII. LA CLIMATISATION EMBARQUEE	104
XII.1 Structuration du secteur.....	104
XII.2 Données nécessaires au calcul.....	104
XII.3 La climatisation embarquée en France en 2015	106
XII.3.1 La production et le marché.....	106
XII.3.2 La répartition annuelle des fluides.....	107
XII.3.3 La charge moyenne	108
XII.3.4 La courbe de durée de vie	108
XII.3.5 L'efficacité de récupération.....	109
XII.3.6 Le taux d'émissions	110
XII.4 Résultats climatisation embarquée – Inventaires 2015 France métropole	111
XII.4.1 – La banque.....	111
XII.4.2 – La demande	111
XII.4.3 – Les émissions totales	112
XII.4.4 – Les émissions en équivalent CO ₂	113
XII.4.5 – Les quantités récupérées.....	113
XIII. Perspectives d'amélioration	114
XIV. REFERENCES.....	116
Références Froid Domestique	116
Références froid commercial	116
Références Transports Frigorifiques	117
Références Froid Industriel	117
Références GRE	117
Références Climatisation à Air	118
Références PAC.....	118
Références climatisation embarquée	118
XV. ANNEXES.....	119
Annexe 1 – PRG (Potentiel de Réchauffement Global) ou GWP (Global Warming Potential) selon les 2 ^{ème} , 3 ^{ème} et 4 ^{ème} Rapports d'évaluation du GIEC	119
Annexe 2 : Détermination de la charge des équipements agroalimentaire	120
Annexe 3 - Principes de la méthode de calcul du secteur Climatisation automobile	121
Décomposition du taux d'émission et facteur de dégradation	121
Pourcentage de charge émise avant une opération de maintenance	121
Calcul des émissions de fin de vie	122
Contacts.....	123

I. SYNTHÈSE

L'inventaire présenté dans ce rapport couvre l'ensemble des fluides frigorigènes : ceux pris en compte par le protocole de Montréal (CFC et HCFC), par la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (HFC, CO₂ et hydrocarbures) ainsi que certains fluides non couverts par ces deux conventions tels que l'ammoniac.

Deux échéances réglementaires liées aux fluides frigorigènes marquent l'année 2015 : la fin de l'autorisation d'utilisation des HCFC recyclés pour la maintenance des installations de réfrigération et climatisation, prévue par le règlement CE 2037/2000, d'une part, et l'entrée en vigueur de la nouvelle réglementation F-Gas (EU N° 517/2014) d'autre part.

L'étude d'inventaires 2015 montre que la banque résiduelle de HCFC est faible et représente désormais moins de 5 % de la banque totale, en tonnes de fluides frigorigènes, en France métropolitaine. La part des HCFC sur les émissions CO₂ équivalentes est estimée à 7 % pour 2015 et est due aux derniers retrofits et fins de vie d'installations.

L'impact de la nouvelle réglementation F-Gas s'est fait ressentir avant sa mise en application, dès 2013-2014, lors même de sa révision, avec d'une part, un ralentissement des renouvellements d'installations parvenant en fin de vie et de l'utilisation des HFC à fort PRG dans les installations neuves ; d'autre part par le développement de nouveaux fluides frigorigènes qui apparaissent sur le marché français dès 2015, notamment pour le retrofit d'installations aux HCFC ou au R-404A. Les choix pour les nouveaux équipements et les derniers retrofits d'installations aux HCFC s'en trouvent donc impactés, avec la mise sur le marché de mélanges de PRG inférieurs à 1500, même si les résultats d'enquête font encore apparaître un nombre significatif de nouvelles installations au R-404A (PRG = 3 900). La pénétration des fluides "non HFC" se confirme: les hydrocarbures en petit froid commercial, pompes à chaleur et climatisation domestique (« mobile »), le CO₂, en froid commercial centralisé ainsi qu'en agroalimentaire et en transport maritime, et le renouveau de l'ammoniac en agroalimentaire notamment. La part du R-1234yf en climatisation automobile commence à devenir significative et est estimée à 7 % de la banque de la climatisation embarquée.

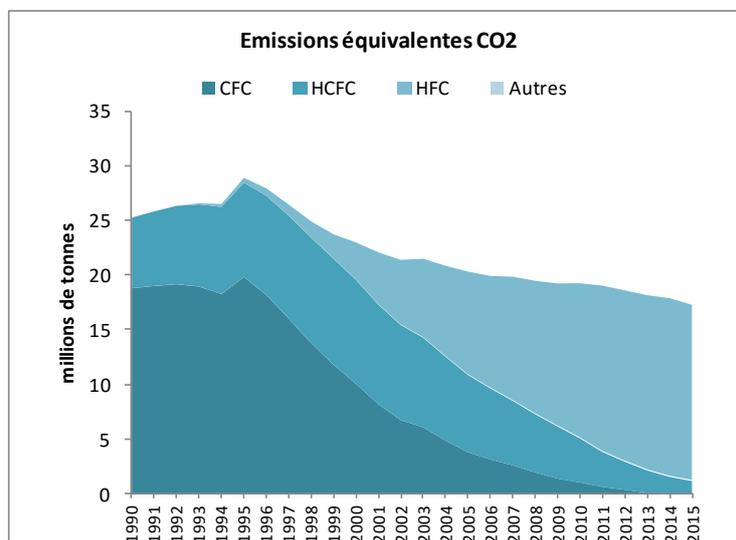


Figure I-1 Evolution des émissions CO₂ équivalentes de fluides frigorigènes en France métropole

Comme le montrent les résultats, l'impact de la réglementation F-Gas II (EU N° 517/2014) n'apparaît pas encore de façon significative sur le niveau des émissions CO₂ qui est évalué à **17 millions de tonnes de CO₂** pour l'ensemble des équipements de réfrigération, climatisation et pompes à chaleur en France métropole en 2015. Il faudra attendre quelques années pour que les interdictions imposées par la réglementation F-Gas II conduisent un renouvellement d'une part significative du parc d'installations utilisant des HFC à fort PRG pour que l'impact sur les émissions CO₂ soit nettement visible. Comme le montre la Figure I-1, les périodes de retrofits sont généralement

l'occasion d'une augmentation des émissions CO₂ (1996-1998 dans le cas des CFC) avant d'observer une décroissance.

L'interdiction d'usage des fluides de PRG supérieur à 150 pour les équipements du froid domestique à partir du 1^{er} janvier 2015 ne pose aucun problème en France étant donné que le marché était déjà fortement dominé par le HC-600a (PRG = 20).

Résultats 2015

EMISSIONS

En 2015, les émissions de fluides frigorigènes en France métropole sont estimées à un peu moins de 8 000 tonnes, dont 7 000 tonnes de HFC. Elles représentent 17 millions de tonnes de CO₂ selon les PRG données par le 4^{ème} rapport d'évaluation du GIEC, dont 16 millions sont dus aux HFC.

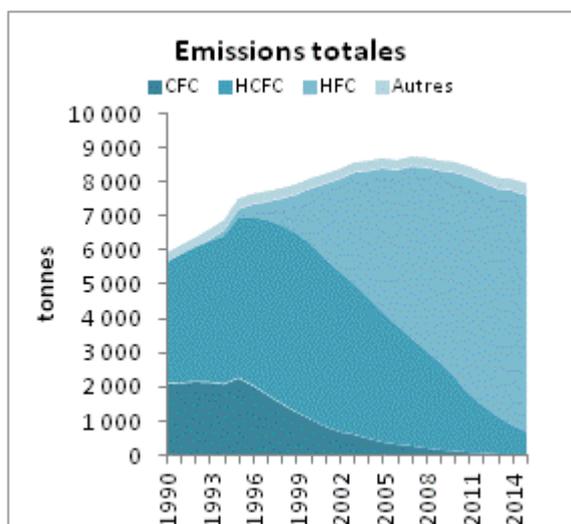


Figure I-2 - Emissions totales de fluides frigorigènes en France métropole.

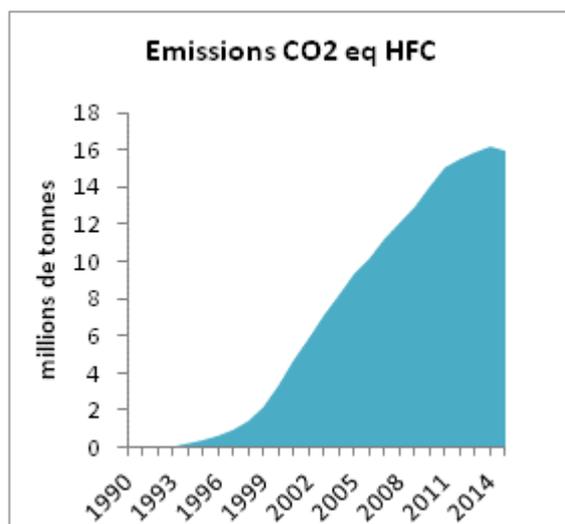


Figure I-3 - Emissions totales CO₂ équivalentes de HFC en France métropole.

Tableau I-1 Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes (en tonnes) en France métropolitaine.

Emissions totales	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	2 084	3 547	0	273	5 904
1991	2 113	3 747	0	277	6 138
1992	2 139	3 939	0	277	6 355
1993	2 128	4 128	65	278	6 599
1994	2 070	4 352	169	283	6 874
1995	2 253	4 698	267	284	7 502
1996	2 032	4 935	392	285	7 644
1997	1 763	5 118	557	281	7 719
1998	1 490	5 239	803	280	7 811
1999	1 248	5 255	1 145	275	7 923
2000	1 038	5 156	1 636	270	8 100
2001	825	4 931	2 204	268	8 228
2002	669	4 704	2 731	264	8 368
2003	593	4 429	3 273	263	8 558
2004	469	4 138	3 740	261	8 608
2005	361	3 809	4 257	261	8 688
2006	298	3 498	4 574	261	8 630
2007	246	3 177	5 054	262	8 739
2008	186	2 863	5 394	264	8 706
2009	132	2 570	5 647	269	8 618
2010	99	2 172	6 027	278	8 576
2011	63	1 714	6 393	282	8 452
2012	37	1 386	6 567	287	8 278
2013	12	1 103	6 703	296	8 115
2014	0	862	6 903	313	8 079
2015	0	659	6 966	326	7 951
Evolution 1990/2015	-100%	-81%		19%	35%

Tableau I-2 Evolution des émissions totales CO₂ éq. (en millions de tonnes de CO₂) en France métropolitaine.

Emissions CO ₂ eq.	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	18,77	6,42	-	-	25,19
1991	18,97	6,78	-	-	25,76
1992	19,13	7,13	0,00	-	26,26
1993	18,91	7,48	0,09	-	26,48
1994	18,24	7,92	0,26	-	26,42
1995	19,80	8,57	0,44	0,00000	28,81
1996	18,16	9,02	0,67	0,00000	27,85
1997	16,00	9,37	0,99	0,00000	26,36
1998	13,77	9,60	1,46	0,00000	24,83
1999	11,80	9,64	2,21	0,00000	23,65
2000	10,07	9,46	3,38	0,00000	22,91
2001	8,21	9,05	4,74	0,00000	22,00
2002	6,76	8,65	5,91	0,00000	21,31
2003	6,11	8,15	7,16	0,00000	21,42
2004	4,90	7,63	8,25	0,00000	20,77
2005	3,83	7,03	9,39	0,00000	20,24
2006	3,18	6,46	10,21	0,00001	19,85
2007	2,64	5,87	11,27	0,00002	19,77
2008	2,00	5,29	12,12	0,00003	19,40
2009	1,43	4,74	12,99	0,00004	19,16
2010	1,08	4,01	14,09	0,00005	19,18
2011	0,68	3,17	15,11	0,00006	18,96
2012	0,41	2,56	15,56	0,00008	18,53
2013	0,13	2,03	15,92	0,00010	18,09
2014	0,00	1,58	16,23	0,00013	17,81
2015	-	1,20	16,00	0,00016	17,21
Evolution 1990/2015	-100%	-81%			-32%

Les émissions totales (Figure I-2) sont en lente décroissance depuis 2007, de 1,6 % entre 2014 et 2015, grâce au renouvellement du parc d'équipements vers des équipements de charge souvent plus faible, moins émissifs et grâce à l'amélioration des pratiques de maintenance et des filières de fin de vie. Tout comme les émissions totales, les émissions CO₂ équivalents sont en décroissance continue, de 3,4 % entre 2014 et 2015.

Les HFC constituent désormais 93 % des émissions CO₂ équivalentes de fluides frigorigènes. Le R-404A, du fait de son Potentiel de Réchauffement Global élevé (PRG = 3 900) domine les émissions de HFC avec 8 millions de tonnes de CO₂ eq. émises en 2015, suivi par le R-134a (PRG = 1 430) et 4,6 millions de tonnes de CO₂ eq.

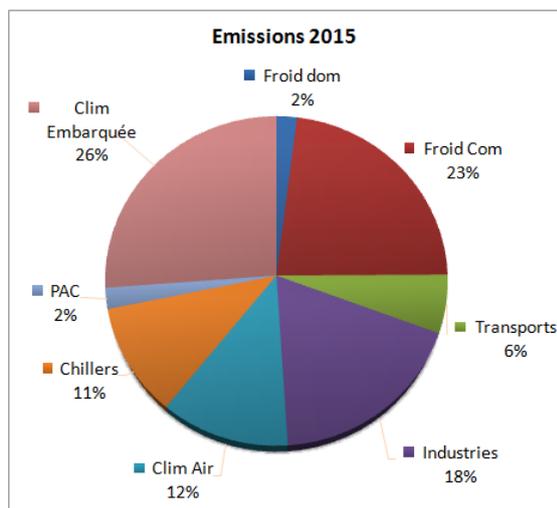


Figure I-4 - Répartition sectorielle des émissions totales de fluides frigorigènes en France métropole en 2015.

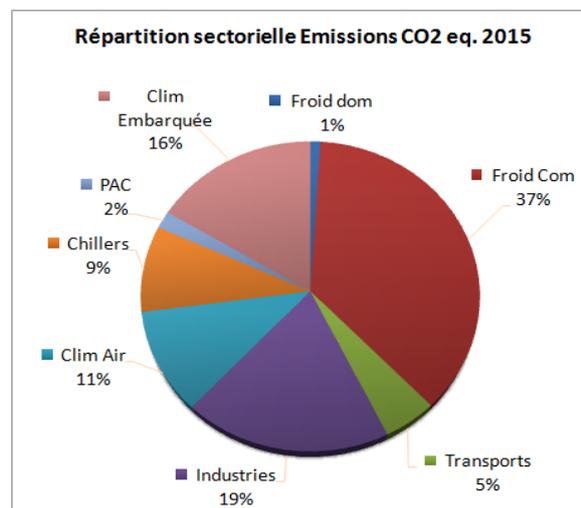


Figure I-5 - Répartition sectorielle des émissions de fluides frigorigènes en équivalent CO₂ en France métropole en 2015.

D'un point de vue sectoriel, le froid commercial reste le secteur principalement contributeur aux émissions CO₂ des fluides frigorigènes, responsable de 37 % des émissions même si les taux d'émissions des installations commencent à baisser et les installations de type cascade R-134a/CO₂ à être plus largement utilisées. Les émissions du froid domestique ne représentent plus que 1 % des émissions totales équivalentes CO₂ de la France métropole grâce à une filière de fin de vie efficace et un renouvellement du parc de réfrigérateurs et congélateurs au R-12 pour des équipements utilisant le R-134a et surtout le R-600a. Les émissions de la climatisation embarquée sont en retrait d'un point par rapport au niveau 2014 : la progression du R-1234yf et l'amélioration de la filière VHU devraient permettre de réduire plus significativement l'impact de ce secteur dans les années à venir.

Les émissions totales rapportées à la banque montrent que le **taux d'émissions moyen** en France est en baisse, estimé à **13,4 % en 2015** alors qu'il était de 19 % en 2000.

Dans les territoires des DOM COM, les émissions de fluides frigorigènes sont stables et estimées à 745 000 t eq. CO₂ en 2015 (dont 600 000 t eq. CO₂ dans les DOM et 145 000 t eq. CO₂ dans les COM). Ces résultats sont marqués d'une forte incertitude étant donné le peu de statistiques et communications disponibles.

BANQUE

Depuis quelques années, la réduction des charges des installations et la saturation du parc automobile climatisé ont permis de stabiliser la banque. En 2015, la banque totale de fluides frigorigènes en France métropole est estimée à **59 500 tonnes**, stable par rapport à 2014 (+ 0,8 %). Elle est dominée par le R-134a à 38 %. Du fait du règlement CE 2037/2000 qui interdit l'utilisation des HCFC vierges puis recyclés (1^{er} Janvier 2015) pour la maintenance des installations, la période 2010-

2015 a été marquée par de nombreux retrofits et fins de vie d'installations qui aboutissent à une banque de HCFC réduite à 2500 tonnes en 2015 ; elle concerne principalement l'industrie et le transport maritime (international).

La banque des fluides frigorigènes non fluorés est croissante et constitue désormais 11 % de la banque totale; elle concerne principalement le froid industriel et le froid domestique.

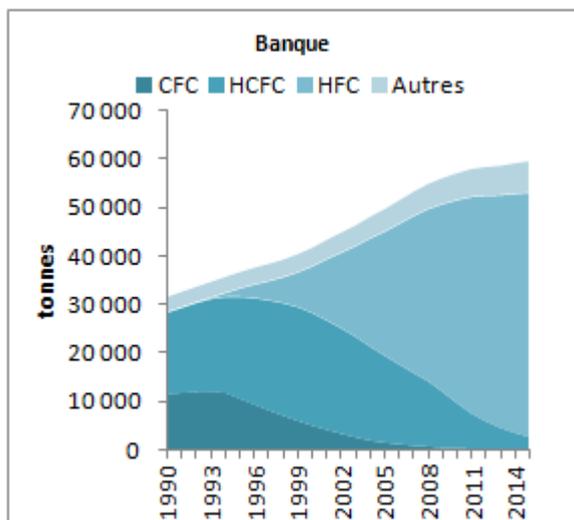


Figure I-6 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes en France métropole

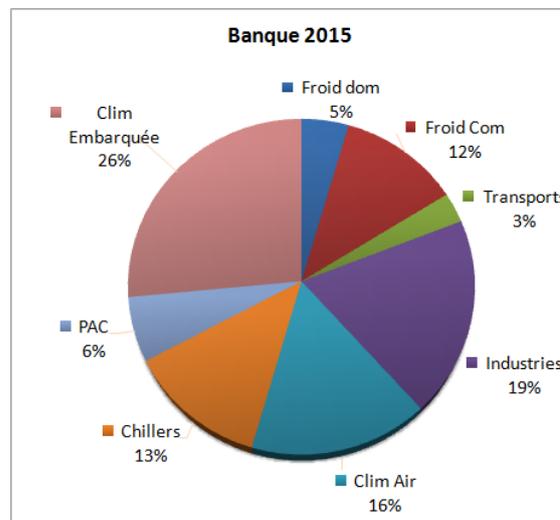


Figure I-7 - Répartition sectorielle de la banque de fluides frigorigènes de France métropole en 2015.

Tableau I-3 - Répartition de la banque de fluides frigorigènes (en tonnes) de France métropole en 2015

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	2 527	2 570
	R-408A	27	
	R-401A	16	
HFC	R-134a	22 756	50 541
	R-404A	9 219	
	R-407C	5 715	
	R-410A	10 144	
	R-507	293	
	R-417A	251	
	R-422A	62	
	R-422D	571	
	R-427A	165	
	R-407A	36	
	R-407F	157	
	R-32	37	
	R-1234ze	2	
	R-1234yf	1 134	
Autres	R-290	99	6 441
	R-600a	1 870	
	R-717	4 255	
	R-744	218	
TOTAL			59 551

Tableau I-4 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes de 1990 à 2015 (tonnes)

Banque totale	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	11 462	17 009	0	3 008	31 478
1991	11 677	17 803	0	3 065	32 544
1992	11 935	18 542	2	3 104	33 583
1993	12 030	19 225	165	3 142	34 563
1994	11 653	20 022	746	3 197	35 618
1995	10 440	21 241	1 654	3 266	36 602
1996	9 219	22 194	2 727	3 352	37 492
1997	8 034	22 923	3 877	3 438	38 272
1998	6 917	23 443	5 289	3 540	39 189
1999	5 877	23 651	7 141	3 645	40 315
2000	4 879	23 421	9 577	3 759	41 636
2001	3 999	22 779	12 593	3 898	43 269
2002	3 207	21 927	15 593	4 045	44 771
2003	2 446	20 872	18 763	4 206	46 287
2004	1 797	19 547	22 318	4 378	48 041
2005	1 368	18 099	25 611	4 559	49 637
2006	1 021	16 633	29 002	4 747	51 403
2007	738	15 153	32 396	4 927	53 215
2008	500	13 650	35 584	5 096	54 829
2009	310	11 674	38 779	5 274	56 037
2010	174	9 464	41 946	5 478	57 062
2011	78	7 377	44 806	5 661	57 922
2012	20	5 809	46 701	5 812	58 342
2013	0	4 506	48 125	5 983	58 614
2014	0	3 428	49 461	6 201	59 091
2015	0	2 570	50 541	6 441	59 551
Evolution 1990/2015	-100%	-85%		114%	89%

La banque 2015 est toujours dominée par la climatisation embarquée, du fait de l'importance du parc automobile, suivie des installations aux fortes charges du froid industriel (Figure I-7). La part du froid commercial ne représente désormais plus que 12 % de la banque totale, les nouvelles installations centralisées étant pour la plupart des systèmes cascade ou indirects, à plus faibles charges.

Dans les DOM COM la banque de fluides frigorigènes est faible, d'un peu plus de 2 000 t en 2015, près des trois quarts étant dans les DOM. La banque est dominée à 85 % par les HFC dans les DOM, et à 50 % dans les COM.

DEMANDE

En 2015, la demande totale, c'est-à-dire le besoin en fluides frigorigènes pour la production en France, la charge sur site, le retrofit et la maintenance des équipements, est estimée à 9 900 t par RIEP, dont encore 490 t de HCFC qui correspondent au besoin évalué pour la maintenance du parc résiduel d'installations utilisant des HCFC qui ne sera pas satisfait en 2015 étant donné la réglementation en vigueur (Tableau I-6).

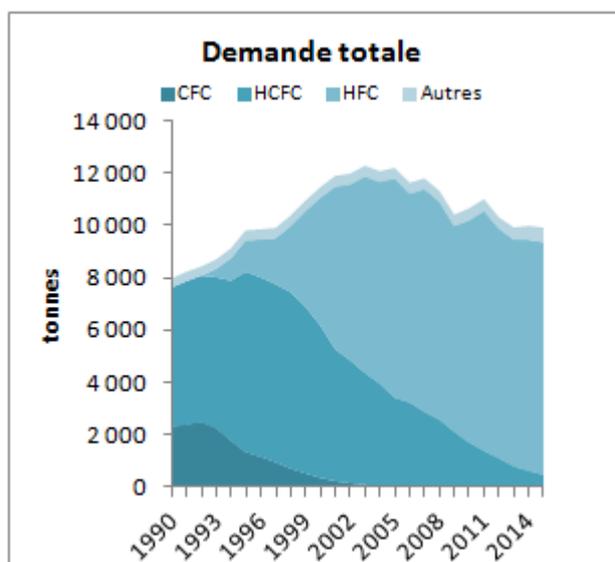


Figure I-9 - Evolution de la demande totale en fluides frigorigènes en France métropole de 1990 à 2015

Tableau I-5 Décomposition de la demande totale en tonnes de fluides frigorigènes 2015 par fluide

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	472	486
	R-408A	10	
	R-401A	4	
HFC	R-134a	3 014	8 858
	R-404A	2 648	
	R-407C	591	
	R-410A	1 271	
	R-507	102	
	R-417A	46	
	R-422A	18	
	R-422D	98	
	R-427A	17	
	R-407A	22	
	R-407F	132	
	R-32	19	
	R-1234ze	8	
	R-1234yf	872	
Autres	R-290	30	574
	R-600a	4	
	R-717	460	
	R-744	79	
TOTAL			9 917

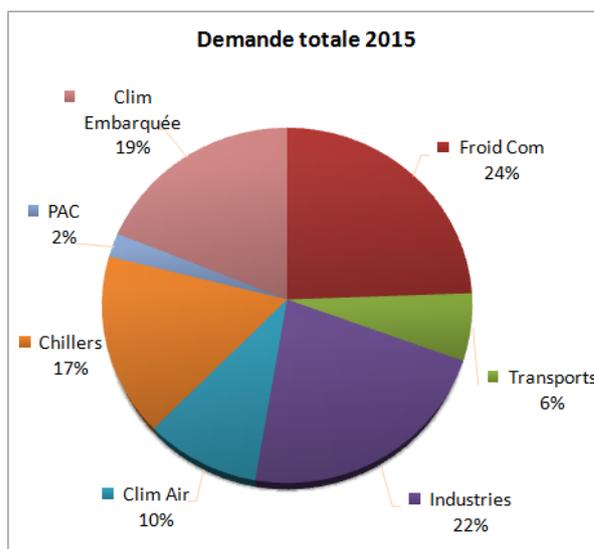


Figure I-11 - Répartition sectorielle de la demande totale en fluides frigorigènes 2015

Tableau I-6 Evolution de la Demande totale en fluides frigorigènes 1990 – 2015 (tonnes)

Demande totale	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	2 292	5 316	0	349	7 957
1991	2 372	5 478	0	367	8 218
1992	2 478	5 589	0	350	8 417
1993	2 249	5 761	328	353	8 690
1994	1 769	6 112	858	379	9 119
1995	1 332	6 883	1 209	386	9 810
1996	1 156	6 842	1 451	405	9 854
1997	956	6 784	1 763	402	9 906
1998	717	6 723	2 518	420	10 379
1999	535	6 355	3 643	421	10 954
2000	362	5 814	4 872	426	11 474
2001	244	5 028	6 204	440	11 916
2002	166	4 681	6 717	435	11 998
2003	104	4 264	7 497	436	12 301
2004	56	3 901	7 702	435	12 093
2005	38	3 386	8 368	434	12 227
2006	25	3 220	7 962	438	11 644
2007	17	2 873	8 494	434	11 817
2008	9	2 585	8 310	428	11 331
2009	3	2 129	7 839	449	10 421
2010	1	1 721	8 465	479	10 666
2011	1	1 398	9 148	470	11 015
2012	0	1 123	8 744	446	10 313
2013	0	808	8 634	486	9 928
2014	0	644	8 798	542	9 984
2015	0	486	8 858	574	9 917
Evolution 1990/2015	-100%	-91%		64%	25%

Au total, le besoin pour la maintenance des installations correspond à plus de la moitié de la demande totale (56 %) en 2015.

Plus de la moitié de la demande en fluides frigorigènes est liée au R-134a (climatisation automobile) et R-404A (froid commercial et industriel). Le secteur du froid commercial domine la demande totale (2 400 t) et en particulier la demande pour la maintenance des installations (1 750 t).

Dans les DOM COM, la demande en fluides frigorigènes est faible, évaluée à un peu plus de 300 t (230t dans les DOM et 80 t dans les COM), et essentiellement liée à la maintenance des installations (à 75%). Elle est dominée par le R-404A et le R-410A et les secteurs du froid commercial et de la climatisation à air.

COMPARAISON DE LA DEMANDE CALCULEE AUX MARCHES DECLARES

Aucune données disponibles ne permettent de valider les émissions calculées. La vérification de cohérence des résultats peut se faire par le biais de la comparaison des marchés calculés et déclarés. En effet, la méthode de calcul de RIEP permet de reconstituer le besoin en fluides frigorigènes pour les équipements neufs (production en France et charges sur site), les conversions d'installations (retrofits) et la maintenance des équipements. Le SNEFCCA recense les déclarations de mises sur le marché des producteurs et distributeurs de fluides frigorigènes depuis 2000. Ces déclarations correspondent à la demande estimée par RIEP, aux effets de stocks près: il s'agit des quantités de fluides bruts mises sur le marché français, incluant les ventes aux producteurs pour la production de pré-chargés en France mais excluant les quantités mises sur le marché français par le biais des équipements pré-chargés. Historiquement, la comparaison de la demande totale reconstituée par RIEP et des marchés déclarés au SNEFCCA a permis de montrer la cohérence des résultats du calcul d'inventaires et en a constitué la principale étape de validation (Figure I-8). Depuis 2009, l'OFF (Observatoire des Fluides Frigorigènes) de l'ADEME centralise également des déclarations de mises sur le marché et, depuis 2013, dans un nouveau système déclaratif (SYDEREP). La comparaison de la demande calculée avec les données déclarées à l'OFF est plus délicate car les marchés déclarés ne correspondent pas à la demande, ni aux marchés déclarés au SNEFCCA, mais aux exigences du code de l'environnement. Les quantités de fluides incluses dans les préchargés, les exportations, notamment sont prises en compte dans les données déclarées. Et le traitement des données, étant donné le nombre de déclarants et les possibilités d'erreur, est encore difficile. Cette année, une incohérence apparaît sur les déclarations de R-134a.

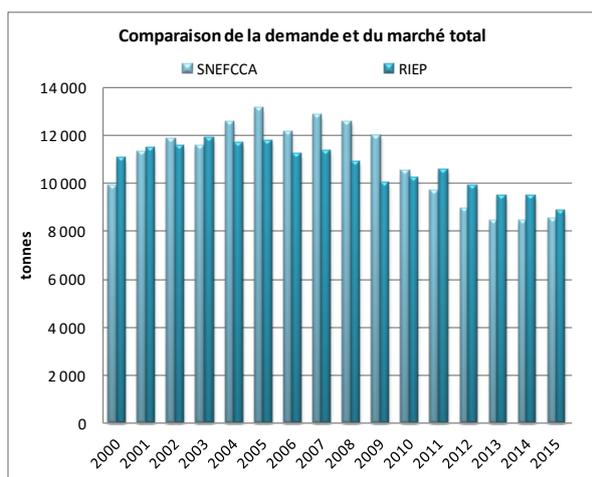


Figure I-8 - Comparaison de la demande totale de gaz fluorés calculée par RIEP avec le marché total déclaré au SNEFCCA de 2000 à 2015.

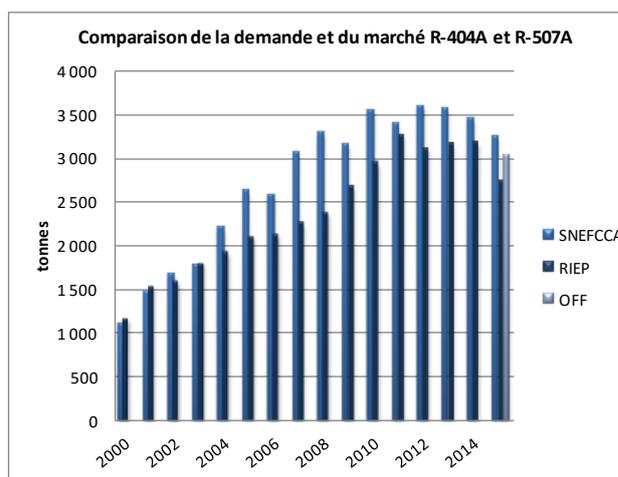


Figure I-9 - Comparaison de la demande de R-404A & 507A calculée par RIEP et des marchés déclarés au SNEFCCA et à l'OFF de l'ADEME.

En 2015 le marché déclaré au SNEFCCA est de 8 520 tonnes de HFC et la demande calculée par RIEP est de 8 858 t, présentant donc un écart de 4 %. Le rapport présente également les comparaisons par fluide qui montrent une cohérence globale entre les marchés calculés et déclarés. Certains écarts

sont observés, notamment sur le R-134a, ils nécessitent encore un approfondissement, même si les écarts 2015 sont plus faibles. D'autres, tels qu'ici sur le R-404A tendent à montrer que certaines hypothèses telles que la réduction de l'utilisation du R-404A sur les installations neuves de 2014-2015 sont encore trop optimistes.

Depuis 2013, les opérateurs déclarant à l'OFF doivent renseigner les quantités de fluides frigorigènes chargés pour la maintenance des installations. Les quantités déclarées présentent un écart d'environ 10 % avec la demande calculée. Cette comparaison tend à montrer que les taux d'émissions fugitives des installations sont globalement bien évalués par l'étude. Elle devra être confirmée une fois revus les écarts avec le marché total de R-134a.

Dans le cas des territoires des DOM COM, les marchés ne sont pas recensés et cette étape de validation ne peut être réalisée.

Synthèse de la méthode et des hypothèses 2015

En tant que signataire de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), la France doit, chaque année, déclarer ses émissions de Gaz à Effet de Serre (GES). Les HFC en font partie et leurs émissions doivent à ce titre être estimées. Le CES (Centre Efficacité énergétique des Systèmes) de MINES-ParisTech/ARMINES réalise chaque année, (depuis 2000 et, pour cette étude, dans le cadre d'un marché qui court jusqu'en 2017) en collaboration avec EReIE, les inventaires de fluides frigorigènes pour la France métropole et les DOM COM, permettant ainsi l'évaluation annuelle des émissions de HFC. Celles-ci sont évaluées par secteur d'activité et transmises à la DGEC qui assure la déclaration des émissions de tous les GES pour la France auprès de la CCNUCC et de la Commission Européenne.

La méthode de calcul utilisée (figure ci-dessous) s'appuie sur les recommandations du GIEC pour la réalisation des inventaires. Elle est basée sur une approche ascendante (ou bottom-up) qui reconstitue la *banque* de fluides frigorigènes, en se basant sur la description du parc d'équipements. La banque représente les quantités de fluides frigorigènes dans l'ensemble des équipements présents sur le sol français (le parc).

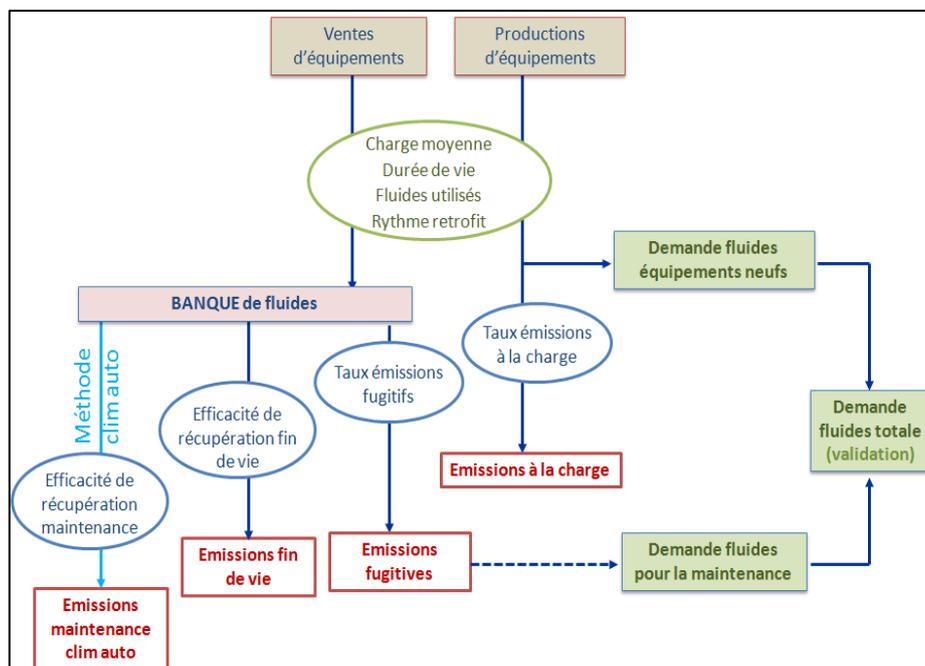


Figure I-10 Méthode de calcul d'inventaire des émissions de fluides frigorigènes

Les émissions sont évaluées au cours de la vie des équipements en fonction des facteurs d'émissions fixés par secteur d'application et type de technologie: *à la charge*, lors de la production ou de la mise

en service d'un équipement, *fugitives*, au cours de son fonctionnement et de sa maintenance, *fin de vie*, lors du démantèlement de l'équipement ou de son retrofit, c'est-à-dire de sa conversion en vue du changement de fluide frigorigène. 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 par exemple, une méthode spécifique a été développée afin de prendre en compte la dégradation du taux d'émissions fugitives au cours de la vie du véhicule et les particularités de la maintenance.

La méthode de calcul est mise en œuvre dans le logiciel RIEP (Refrigerant Inventory and Emission Prevision) qui permet le calcul des émissions de toutes les catégories d'équipements du froid et de la climatisation. Les huit principaux secteurs (froid domestique, froid commercial, transport frigorifique, froid industriel, climatisation à air, groupes refroidisseurs à eau, pompes à chaleur résidentielles et climatisation embarquée) définis par les rapports de référence internationaux tels que ceux du RTOC de l'UNEP¹ sont pris en compte et décomposés en quarante-quatre applications. Des bases de données élaborées par le CES pour la France métropole, les DOM et les COM et enrichies au fur et à mesure des études d'inventaires regroupent l'évolution des parcs, des marchés, des productions d'équipements ainsi que les évolutions technologiques, les fluides frigorigènes utilisés et les niveaux d'émissions de chaque application. Pour chaque étude annuelle d'inventaires, les différents paramètres et statistiques sont recherchés pour chaque application, vérifiés ou estimés si les informations ne sont pas disponibles. Le rapport détaille, par secteur, les sources statistiques et bibliographiques utilisées, les résultats d'enquêtes et hypothèses prises en compte pour chaque type d'équipement.

Comme chaque année, les tableaux suivants récapitulent les valeurs des principales hypothèses prises en compte, par application, pour la réalisation des inventaires, en spécifiant les causes d'incertitudes.

- Les taux d'émissions fugitives traduisent les émissions au cours de la vie de l'équipement. Les valeurs pour l'année 2015 sont données au Tableau I-7, en précisant si le taux est relatif au parc ou au marché d'équipements neufs. Les tendances des taux d'émissions sont relativement stables. La baisse des taux d'émissions fugitives en froid commercial, amorcée en 2014, est poursuivie, lentement, des systèmes de détection performants commençant à être mis en place dans les installations centralisées. Les taux d'émissions des équipements neufs de climatisation sont en cours de révision, certaines hypothèses étant anciennes (dernière révision inventaires 2012). Celui des équipements de type VRV a été corrigé pour les inventaires 2015, à la suite d'une communication détaillée d'un fabricant.
- L'efficacité de récupération de la filière lors de la fin de vie de l'équipement traduit les quantités de fluides frigorigènes perdues lors du démantèlement des installations (Tableau I-8); mise à part la filière DEEE (Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques) publiant des résultats pour les équipements de froid domestique, cette valeur est marquée d'une incertitude difficile à estimer car basée le plus souvent sur des statistiques concernant seulement une partie du parc d'installations, d'informations qualitatives ou des communications d'experts. Les taux de récupération en fin de vie des équipements sont supposés suivre une courbe de progression « en S ». La filière VHU évolue positivement et le suivi du nombre de véhicules démantelés est assuré cependant, les quantités de fluides frigorigènes récupérées des circuits de climatisation automobile ne sont, à ce jour, pas recensées. Une enquête approfondie est prévue pour l'année 2018.
- Les hypothèses concernant la charge (charge moyenne ou ratio de charge en fonction de la surface ou puissance) sont données au Tableau I-9; il est précisé si ce paramètre est considéré

¹ Report of the Refrigeration, Air conditioning and Heat Pumps Technical Option Committee. UNEP (United Nations Environment Programme).

constant au cours du temps ou non, selon les équipements. Il caractérise les équipements neufs. La charge des équipements DRV (Débit Réfrigérant Variable), en climatisation à air a été corrigée significativement cette année à la suite de la communication d'un fabricant. Jusqu'à présent, seule la charge nominale était prise en compte, le complément de charge sur site a été ajouté.

- La répartition des fluides utilisés sur le marché neuf des équipements est récapitulée au Tableau I-10. Celle-ci est revue chaque année afin de prendre en compte les dernières informations disponibles concernant, notamment, les nouveaux fluides mis sur le marché et son impact éventuel sur la charge nominale de l'équipement (dans certains cas, l'utilisation d'un fluide permet de réduire la charge).
- Les marchés d'équipements sont nécessaires au calcul de la banque, des émissions fugitives, au moment de la fin de vie, lors de la maintenance et du retrofit. Les données de productions permettent de calculer les émissions à la charge si les équipements sont chargés en usine et de reconstituer une partie de la demande en fluides frigorigènes pour les équipements neufs. Ici, seules les sources et les causes d'incertitudes sont mentionnées au Tableau I-11 et au Tableau I-12 car les chiffres peuvent être confidentiels et avoir été communiqués avec une demande de non diffusion.
- Les durées de vie des équipements sont également rappelées (Tableau I-13). Ce paramètre n'évolue pas en fonction du temps, mais une courbe "de fin de vie" y est associée, par secteur, afin de tenir compte de la variabilité de la durée de vie des équipements au sein d'un même millésime (année de mise sur le marché).

Tableau I-7 Taux d'émissions fugitives 2015 par secteur, sources et incertitudes.

Domaines	Sous-secteurs	taux d'émission FUGITIVES 2015	rapporté à	Tendance	Source & incertitude
Froid domestique	1 Réfrigérateurs simples, réfrigérateurs-congélateurs et congélateurs simples	0,01%	équipements neufs	constante	Equipement hermétique/ taux de panne après-vente. Pas de panel national.
	Froid commercial	2 Supermarchés	28%	parc	constante à 30% jusqu'en 2013.
3 Hypermarchés		33%	parc	constante à 35% jusqu'en 2013.	Consommation fluides maintenance d'un échantillon de magasins, pas nationale.
4 Groupes hermétiques présents dans les petits commerces et les distributeurs automatiques		1%	équipements neufs	constante	groupe hermétique
5 Groupes de condensation présents dans les petits commerces		15%	équipements neufs	constante (correction 2012)	données anciennes conso maintenance qq magasins
Transports frigorifiques	6 Groupes poulies-courroies utilisés dans les transports routiers	20%	équipements neufs	faiblement décroissante	donnée fabricant (Carrier)
	7 Groupes indépendants utilisés dans les transports routiers	11%	équipements neufs	décroissante	donnée fabricant (Carrier)
	8 Conteneurs frigorifiques utilisés dans les transports maritimes	20%	équipements neufs	stagnante	donnée fabricant (Carrier)
	9 Reefers	15%	équipements neufs	stagnante	pas de donnée
Industries	10 Industrie agroalimentaire de la viande	15%	parc	constante (correction 2012)	communications opérateurs
	11 Industrie agroalimentaire du poisson	15%	parc	idem	idem
	12 Industrie agroalimentaire des produits laitiers	15%	parc	idem	idem
	13 Industrie agroalimentaire du chocolat	15%	parc	idem	idem
	14 Industrie agroalimentaire des boissons gazeuses	15%	parc	idem	idem
	15 Industrie agroalimentaire de la bière et du vin	15%	parc	idem	idem
	16 Industrie agroalimentaire des produits surgelés	15%	parc	idem	idem
	17 Entrepôts frigorifiques	15%	parc	idem	idem
	18 Tanks à lait utilisés dans l'industrie agroalimentaire	10%	équipements neufs	décroissante	donnée fabricant
	19 Patinoires	9%	équipements neufs	décroissante	tendance opérateur
	20 Industrie chimie lourde	14,5%	parc	décroissante	données tendanciennes anciennes. Introduction d'une courbe en S décroissante
Groupes refroidisseurs à eau	21 Industrie pharmaceutique	14,5%	parc	décroissante	idem
	22 Industrie du caoutchouc	15%	parc	stagnante	donnée producteur
	23 Chillers de type centrifuge	3,3%	équipements neufs	décroissante	Suivi des consommations Climafort
	24 Chillers à compresseur volumétrique de petite puissance	9,5%	équipements neufs	stable	données anciennes sur lesquelles est appliquée une courbe de tendance
	25 Chillers à compresseur volumétrique de moyenne puissance	4,5%	équipements neufs	décroissante	communications opérateurs
	26 Chillers à compresseur volumétrique de forte puissance	5%	équipements neufs	décroissante	communications opérateurs
Climatisation à air	27 Climatisation individuelle de type « mobile »	2%	équipements neufs	constante	Estimation d'après données fabricants 2011
	28 Climatisation individuelle de type « window »	2%	équipements neufs	constante	Estimation d'après données fabricants 2011
	29 Climatisation individuelle de type « split »	4%	équipements neufs	faiblement décroissante	Estimation d'après données fabricants 2011
	30 Climatisation individuelle de type « multi-split »	5%	équipements neufs	faiblement décroissante	Estimation d'après données fabricants 2011
	31 Climatisation autonome de type « armoire verticale » (ou « console »)	5%	équipements neufs	faiblement décroissante	Estimation d'après données fabricants 2011
	32 Climatisation autonome de type « roof-top »	5%	équipements neufs	faiblement décroissante	Estimation d'après données fabricants 2011
	33 Climatisation autonome de type « DRV »	5%	équipements neufs	faiblement décroissante	Estimation d'après données fabricants 2011
	34 Climatisation autonome de type split ou multi split (ou « central AC »)	5,5%	équipements neufs	faiblement décroissante	Estimation d'après données fabricants 2011
	35 Climatisation autonome de type « armoire spéciale » (ou « cabinet »)	5%	équipements neufs	faiblement décroissante	Estimation d'après données fabricants 2011
Pompes à chaleur résidentielles	36 PAC Air-Eau	2%	équipements neufs	faiblement décroissante	Estimation d'après données fabricants 2011
	37 PAC Eau-Eau	2%	équipements neufs	faiblement décroissante	Estimation d'après données fabricants 2011
	38 PAC Sol-Eau et Sol-Sol	5%	équipements neufs	faiblement décroissante	Estimation d'après données fabricants 2011
	39 Chauffe-eau thermodynamique	0,01%	équipements neufs	constante	Système quasi hermétique
Climatisation mobile	40 Climatisation automobile	25g/an	équipements neufs puis dégradation	stable	campagnes de mesures anciennes
	41 Climatisation des véhicules industriels	35g/an	équipements neufs puis dégradation	stable	analogie clim auto
	42 Climatisation des cars et bus	12%	équipements neufs	décroissante	tendance
	43 Climatisation des trains.	5%	équipements neufs	stable depuis 2008	SNCF - taux sur le parc incluant la maintenance
	44 Climatisation des tramways	5%	équipements neufs	stable	SNCF

Tableau I-8 Efficacité de récupération en fin de vie des équipements en 2015 par secteur.

Domaines	Sous-secteurs	Efficacité de récupération FIN DE VIE 2015	Tendance	Source & incertitude
Froid domestique	1 Réfrigérateurs simples, réfrigérateurs-congélateurs et congélateurs simples	40%	amélioration puis stabilisation constatée	données filière DEEE et estimation du parc arrivant en fin de vie en fonction durée de vie moyenne
	2 Supermarchés	81%	constante depuis 2005 début amélioration	tendance donnée par les opérateurs. Mêmes opérations en fin de vie et à la maintenance
Froid commercial	3 Hypermarchés	81%	constante depuis 2005 début amélioration	tendance donnée par les opérateurs. Mêmes opérations en fin de vie et à la maintenance
	4 Groupes hermétiques présents dans les petits commerces et les distributeurs automatiques	18%	croissante	intégration dans la filière DEEE pro
	5 Groupes de condensation présents dans les petits commerces	42%	croissante	Amélioration selon courbe en S à confirmer
Transports frigorifiques	6 Groupes poulies-courroies utilisés dans les transports routiers	70%	correction 2013 à la baisse	Communication Cemafruid.
	7 Groupes indépendants utilisés dans les transports routiers	70%	correction 2013 à la baisse	Communication Cemafruid.
	8 Conteneurs frigorifiques utilisés dans les transports maritimes	37%	croissance en S	pas de donnée, courbe de tendance
	9 Reefers	29%	croissance en S	pas de donnée, courbe de tendance
Industries	10 Industrie agroalimentaire de la viande	95%	niveau asymptotique atteint	Correction 2014 liée au classement IPCE. Correction sur l'historique également
	11 Industrie agroalimentaire du poisson	95%	id	id
	12 Industrie agroalimentaire des produits laitiers	95%	id	id
	13 Industrie agroalimentaire du chocolat	95%	id	id
	14 Industrie agroalimentaire des boissons gazeuses	95%	id	id
	15 Industrie agroalimentaire de la bière et du vin	95%	id	id
	16 Industrie agroalimentaire des produits surgelés	95%	id	id
	17 Entrepôts frigorifiques	80%	id	Tendance, retour opérateurs
	18 Tanks à lait utilisés dans l'industrie agroalimentaire	50%	croissante	pas de donnée, courbe de tendance
	19 Patinoires	80%	correction 2013	Forte amélioration ces dernières années. Retour opérateur
	20 Industrie chimie lourde	95%	croissante - courbe en S. Correction 2014	Tendance donnée par les opérateurs. Très bon niveau associé aux installations classées ICPE (correction suite enquête inventaires 2014)
	21 Industrie pharmaceutique	95%	croissante - courbe en S. Correction 2014	Tendance donnée par les opérateurs. Très bon niveau associé aux installations classées ICPE (correction suite enquête inventaires 2014)
22 Industrie du caoutchouc	95%	croissante - courbe en S. Correction 2014	Tendance donnée par les opérateurs. Très bon niveau associé aux installations classées ICPE (correction suite enquête inventaires 2014)	
Groupes refroidisseurs à eau	23 Chillers de type centrifuge	95%	croissante - courbe en S. Correction 2014	Tendance donnée par les opérateurs. Retour Climafort: niveau corrigé à 95% car installations ICPE, excellente maintenance, très peu de pertes.
	24 Chillers à compresseur volumétrique de petite puissance	78%	croissante - courbe en S	Tendance donnée par les opérateurs. Mêmes opérations fin de vie et maintenance
	25 Chillers à compresseur volumétrique de moyenne puissance	78%	croissante - courbe en S	idem
	26 Chillers à compresseur volumétrique de forte puissance	78%	croissante - courbe en S	idem
Climatisation à air	27 Climatisation individuelle de type « mobile »	22%	croissante - courbe en S	tendance récupération DEEE
	28 Climatisation individuelle de type « window »	18%	croissante - courbe en S	tendance récupération DEEE
	29 Climatisation individuelle de type « split »	19%	croissante - courbe en S	tendance récupération DEEE
	30 Climatisation individuelle de type « multi-split »	27%	croissante - courbe en S	niveau intermédiaire particulier/pro. Tendance
	31 Climatisation autonome de type « armoire verticale » (ou « console »)	25%	croissante - courbe en S	niveau intermédiaire particulier/pro. Tendance
	32 Climatisation autonome de type « roof-top »	77%	croissante - courbe en S	tendance donnée par les opérateurs. Mêmes opérations en fin de vie et à la maintenance
	33 Climatisation autonome de type « DRV »	77%	croissante - courbe en S	tendance donnée par les opérateurs. Mêmes opérations en fin de vie et à la maintenance
	34 Climatisation autonome de type split ou multi split (ou « central AC »)	70%	croissante - courbe en S	tendance donnée par les opérateurs. Mêmes opérations en fin de vie et à la maintenance
	35 Climatisation autonome de type « armoire spéciale » (ou « cabinet »)	22%	croissante - courbe en S	niveau intermédiaire particulier/pro. Tendance à confirmer
Pompes à chaleur résidentielles	36 PAC Air-Eau	35%	croissante - courbe en S	courbe de tendance, pas de données précises.
	37 PAC Eau-Eau	35%	croissante - courbe en S	courbe de tendance, pas de données précises.
	38 PAC Sol-Eau et Sol-Sol	35%	croissante - courbe en S	courbe de tendance, pas de données précises.
	39 Chauffe-eau thermodynamique	30%	croissante - courbe en S	courbe de tendance, pas de données précises.
Climatisation mobile	40 Climatisation automobile	8%	faiblement croissante	VHU tendance
	41 Climatisation des véhicules industriels	3%	faiblement croissante	tendance, analogie clim auto
	42 Climatisation des cars et bus	3%	faiblement croissante	tendance, analogie clim auto
	43 Climatisation des trains.	75%	croissante	données SNCF
	44 Climatisation des tramways	75%	croissante	tendance SNCF

Tableau I-9 Charge moyenne ou ratio par secteur en 2015, tendance, sources et incertitudes.

Domaines		Sous-secteurs	charge moyenne 2015	Tendance	Source & incertitude
Froid domestique	1	Réfrigérateurs simples, réfrigérateurs-congérateurs et congélateurs simples	46g R-600a réfrigérateur 60g R-600a congélateur	supposée constante par fluide	Etudes CES dédiées froid domestique jusqu'en 2012. Pas de nouvelles technologies.
	Froid commercial	2	Supermarchés	0,17 kg/m2	décroissante: prise en compte systèmes indirects
3		Hypermarchés	0,12 kg/m2	décroissante: prise en compte systèmes indirects	estimation en fonction des charges moyennes par type de système et de la pénétration estimée des systèmes indirects et cascade
4		Groupes hermétiques présents dans les petits commerces et les distributeurs automatiques	0,3 à 3 kg selon type de magasin	considérée constante	Estimation selon équipements par magasin. Enquête tous les 10 ans.
Transports frigorifiques	5	Groupes de condensation présents dans les petits commerces	de 2 à 20 kg selon type de magasin	décroissante depuis 2000	courbe selon enquêtes de terrain 2008 et 2012
	6	Groupes poulies-courroies utilisés dans les transports routiers	1,6 kg	décroissante	donnée fabricant (Carrier)
	7	Groupes indépendants utilisés dans les transports routiers	6,3 kg	décroissante	donnée fabricant (Carrier)
	8	Conteneurs frigorifiques utilisés dans les transports maritimes	4,6 kg	constante	donnée fabricant
Industries	9	Reefers	1 t	constante depuis 2010	tendance
	10	Industrie agroalimentaire de la viande	calcul fonction de la production denrées et part systèmes indirects	-	courbe de croissance de la pénétration des systèmes indirects. Données anciennes ratios kg/kW directs ou indirects (considérés constants).
	11	Industrie agroalimentaire du poisson	idem	idem	idem
	12	Industrie agroalimentaire des produits laitiers	idem	idem	idem
	13	Industrie agroalimentaire du chocolat	idem	idem	idem
	14	Industrie agroalimentaire des boissons gazeuses	idem	idem	idem
	15	Industrie agroalimentaire de la bière et du vin	idem	idem	idem
	16	Industrie agroalimentaire des produits surgelés	idem	idem	idem
	17	Entrepôts frigorifiques	idem	idem	idem
	18	Tanks à lait utilisés dans l'industrie agroalimentaire	2,1kg/m3	constante	donnée fabricant
Groupes refroidisseurs à eau	19	Patinoires	300 à 700 kg selon fluide	décroissante	donnée installateur
	20	Industrie chimie lourde	2 300 kg/t produite	constante	Ratios historiques. Pas de données récentes.
	21	Industrie pharmaceutique	600 kg/ t produite	constante	idem
	22	Industrie du caoutchouc	0,08 kg/t produite	constante	représentativité nationale
	23	Chillers de type centrifuge	0,3 kg/kW	décroissante	données régulières Climafort
	24	Chillers à compresseur volumétrique de petite puissance	0,3 kg/kW	constante depuis 2000	Ratios historiques. Pas de données récentes.
Climatisation à air	25	Chillers à compresseur volumétrique de moyenne puissance	0,3 kg/kW	constante depuis 2000	Ratios historiques. Pas de données récentes.
	26	Chillers à compresseur volumétrique de forte puissance	0,2 kg/KW	décroissante puis stagnante	JCI
	27	Climatisation individuelle de type « mobile »	0,5 kg	supposée constante	fabricant - révision Daikin 2011
	28	Climatisation individuelle de type « window »	0,6 kg	supposée constante	fabricant - révision Daikin 2011
	29	Climatisation individuelle de type « split »	1 kg	supposée constante	fabricant - révision Daikin 2011
	30	Climatisation individuelle de type « multi-split »	1,5 kg	supposée constante	incertitude forte - écart avec moyenne Daikin. Répartition des ventes par puissance en recherche
	31	Climatisation autonome de type « armoire verticale » (ou « console »)	1,5 kg	supposée constante	fabricant - révision Daikin 2011
	32	Climatisation autonome de type « roof-top »	26 kg puis 21 kg R-410A	supposée constante	fabricant - révision Daikin 2011
	33	Climatisation autonome de type « DRV »	13,5 kg	supposée constante	correction 2015: prise en compte du complément de charge (source Daikin)
	34	Climatisation autonome de type split ou multi split (ou « central AC »)	7,5 kg	supposée constante	fabricant - révision Daikin 2011
	35	Climatisation autonome de type « armoire spéciale » (ou « cabinet »)	5 kg	supposée constante	fabricant - révision Daikin 2011
Pompes à chaleur résidentielles	36	PAC Air-Eau	3,5 kg	supposée constante	fabricant - révision Daikin 2011
	37	PAC Eau-Eau	2,5 kg	supposée constante	fabricant - révision Daikin 2011
	38	PAC Sol-Eau et Sol-Sol	15 kg	supposée constante	fabricant - révision Daikin 2011
	39	Chauffe-eau thermodynamique	0,5 kg	supposée constante	fabricant - révision Daikin 2011
Climatisation mobile	40	Climatisation automobile	465 g	décroissante	Valéo & meilleures ventes cfa
	41	Climatisation des véhicules industriels	730 g	décroissante	tendance sur données constructeurs
	42	Climatisation des cars et bus	10 kg	décroissante	tendance sur données RATP
	43	Climatisation des trains.	10,3 kg	décroissante	SNCF
	44	Climatisation des tramways	23,6 kg	constante	SNCF

Tableau I-10 Fluides utilisés sur le marché neuf des équipements en 2015

Domaines		Sous-secteurs	Fluides marché neuf 2014	Source	Incertitude
Froid domestique	1	Réfrigérateurs simples, réfrigérateurs-congélateurs et congélateurs simples	R-600a: 99 à 100% R-134a: 1%	enquête de terrain magasins et évolution réglementaire	faible car interdiction R-134a en 2015.
	2	Supermarchés	25% R-404A/ 45% R-134a/ 25% CO2 / 5% R-407F	enquête de terrain chaînes de magasins et opérateurs	moyenne : question de la représentativité des opérateurs et détenteurs interrogés.
Froid commercial	3	Hypermarchés	20% R-404A/ 38% R-134a/ 35% CO2 / 1% R-717 / 6% R-407F	enquête de terrain chaînes de magasins et opérateurs. Correction 2013 à la suite communications chaînes.	moyenne : question de la représentativité des opérateurs et détenteurs interrogés.
	4	Groupes hermétiques présents dans les petits commerces et les distributeurs automatiques	42% R-134a/ 33% R-404A/ 15% R-290/ 10% R-600a DA: 90% R-134a/ 8% R-290/ 5% CO2	enquête de terrain magasins et interviews fabricants	tendances fabricants
	5	Groupes de condensation présents dans les petits commerces	50% R-404A/ 50% R-134a	idem	idem
Transports frigorifiques	6	Groupes poulies-courroies utilisés dans les transports routiers	90% R-404A/ 10% R-134a	Cemafroid	représentativité base de données Datafrig
	7	Groupes indépendants utilisés dans les transports routiers	99,5% R-404A/ 0,4% R-410A/ 0,1% R-134a	Cemafroid	idem
	8	Conteneurs frigorifiques utilisés dans les transports maritimes	94% R-134a/ 1% R-404A/ 5% CO2	Carrier	secteur traité au niveau mondial. 10% attribués à la France.
	9	Reefers	35% R-134a/ 45% R-404A/ 20% R-22	tendance par rapport fluides utilisés historiquement	idem
Industries	10	Industrie agroalimentaire de la viande	15% R-134a/ 20% R-404A/ 10% CO2/ 45% NH3/ 1% R-407A&F	Opérateurs. Correction évolution R-404A	évolution tendancielle selon échantillon entreprises suivies. Pas de suivi national
	11	Industrie agroalimentaire du poisson	25% R-134a/ 9% R-404A/ 15% CO2/ 50% NH3 / 1% R-407A&F	tendance opérateurs	idem
	12	Industrie agroalimentaire des produits laitiers	25% R-134a/ 19% R-404A/ 55% NH3/ 1% R-407A	tendance opérateurs	idem
	13	Industrie agroalimentaire du chocolat	35% R-134a/ 15% R-404A/ 50% NH3	tendance opérateurs	idem
	14	Industrie agroalimentaire des boissons gazeuses	35% R-134a/ 14% R-404A/ 50% NH3/ 1% R-407A&F	tendance opérateurs	idem
	15	Industrie agroalimentaire de la bière et du vin	30% R-134a/ 19% R-404A/ 50% NH3/ R-407A&F	tendance opérateurs	idem
	16	Industrie agroalimentaire des produits surgelés	15% R-134a/ 5% R-404A/ 25% CO2/ 55% NH3	tendance opérateurs	idem
	17	Entrepôts frigorifiques	10% R-134a/ 17% R-404A/ 10% CO2/ 61% NH3/ 2% R-407A&F	tendance opérateurs	idem
	18	Tanks à lait utilisés dans l'industrie agroalimentaire	100% R-404A	fabricants	idem
	19	Patinoires	75% R-134a/ 25% NH3	opérateurs. Correction évolution R-404A 2012-2014	tendance d'utilisation opérateurs
	20	Industrie chimie lourde	78% R-134a 15% R-404A 5% NH3 2% R-407A	Tendance. Réduction R-404A ralentie	moyenne - données anciennes & courbe de tendance
	21	Industrie pharmaceutique	70% R-134a 30% NH3	Tendance. Réduction R-404A ralentie	moyenne - données anciennes & courbe de tendance
22	Industrie du caoutchouc	95% R-134a 5% NH3	producteur caoutchouc	faible	
Groupes refroidisseurs à eau	23	Chillers de type centrifuge	95% R-134a/ 5% R-1234ze	Climafort	très faible
	24	Chillers à compresseur volumétrique de petite puissance	95% R-410A/ 5% R-407C	prolongation données Clim'Info 2013	faible
	25	Chillers à compresseur volumétrique de moyenne puissance	94% R-410A/ 5% R-407C 1% NH3	prolongation données Clim'Info 2013	faible
	26	Chillers à compresseur volumétrique de forte puissance	10% R-407C/ 49% R-134a 40% R-410A/ 1% NH3	prolongation données Clim'Info 2013	faible
Climatisation à air	27	Climatisation individuelle de type « mobile »	90% R-410A 10% R-290	Clim 'Info	faible
	28	Climatisation individuelle de type « window »	100% R-410A	Clim 'Info	faible
	29	Climatisation individuelle de type « split »	94% R-410A 1% R-407C 5% R-32	Clim 'Info	faible
	30	Climatisation individuelle de type « multi-split »	94% R-410A 1% R-407C 5% R-32	Clim 'Info	faible
	31	Climatisation autonome de type « armoire verticale » (ou « console »)	99% R-410A 1% R-134a	Clim 'Info	faible
	32	Climatisation autonome de type « roof-top »	85% R-410A 15% R-407C	Clim 'Info	faible
	33	Climatisation autonome de type « DRV »	65% R-410A 18% R-407C 17% R-134a	Clim 'Info	faible
	34	Climatisation autonome de type split ou multi split (ou « central AC »)	95% R-410A 5% R-407C	Clim 'Info	faible
	35	Climatisation autonome de type « armoire spéciale » (ou « cabinet »)	99% R-410A 1% R-407C	Clim Info	faible
Pompes à chaleur résidentielles	36	PAC Air-Eau	84% R-410A/ 3% R-407C 5% R-134a/ 8% R-290	Clim Info	moyenne - catégories Clim Info différentes
	37	PAC Eau-Eau	50% R-407C/ 45% R-410A 5% R-134a	Clim Info	moyenne - catégories Clim Info différentes
	38	PAC Sol-Eau et Sol-Sol	50% R-407C/ 45% R-410A 5% R-134a	Clim Info	moyenne - catégories Clim Info différentes
	39	Chauffe-eau thermodynamique	100% R-134a	Clim Info	moyenne - catégories Clim Info différentes
Climatisation mobile	40	Climatisation automobile	70% R-134a 30% R-1234yf	Valéo	faible
	41	Climatisation des véhicules industriels	90% R-134a 10% R-1234yf	tendance	faible
	42	Climatisation des cars et bus	100% R-134a	tendance	faible
	43	Climatisation des trains.	75% R-134a 25% R-407C	répartition annuelle R-134a/ R-407C variable	lien étroit avec le type d'équipement au sein des trains. Très variable.
	44	Climatisation des tramways	89% R-407C / 11% R-134a	SNCF	faible

Tableau I-11 Sources et incertitudes pour les marchés d'équipements en 2015

Domaines		Sous-secteurs	Source donnée marchés	Tendance	Incertitude
Froid domestique	1	Réfrigérateurs simples, réfrigérateurs-congélateurs et congélateurs simples	Gifam	suivi régulier depuis 2000	Faible. Bonne représentativité des adhérents du Gifam (estimée à 90%).
Froid commercial	2	Supermarchés	nouvelles surfaces de vente INSEE ou nombre magasins et estimation surface moyenne	données INSEE ou LSA ou NIELSEN	Faible pour le parc de magasins. Quand les nouvelles surfaces de vente ne sont pas disponibles, leur calcul augmente l'incertitude car la surface moyenne est prise en compte.
	3	Hypermarchés	idem supermarchés	idem supermarchés	idem supermarchés
	4	Groupes hermétiques présents dans les petits commerces et les distributeurs automatiques	données éparées relatives à l'évolution du parc	Irrégulier. Difficulté de distinction fermetures magasins.	Forte incertitude
	5	Groupes de condensation présents dans les petits commerces	id	id	id
	Transports frigorifiques	6	Groupes poulies-courroies utilisés dans les transports routiers	carcoserco	suivi régulier depuis 2000
7		Groupes indépendants utilisés dans les transports routiers	carcoserco	suivi régulier depuis 2000	id
8		Conteneurs frigorifiques utilisés dans les transports maritimes	Worldshipping/ Container handbook	mise à jour 2012 et projections	estimation du marché à partir de données parc et durée de vie moyenne
9		Reefers	publications éparées	marché très faible	peu de données mais marché très faible
Industries	10	Industrie agroalimentaire de la viande	non utilisés		
	11	Industrie agroalimentaire du poisson	non utilisés		
	12	Industrie agroalimentaire produits laitiers	non utilisés		
	13	Industrie agroalimentaire du chocolat	non utilisés		
	14	Industrie boissons gazeuses	non utilisés		
	15	Industrie agroalimentaire bière et vin	non utilisés		
	16	Industrie agroalimentaire des surgelés	non utilisés		
	17	Entrepôts frigorifiques	non utilisés		
	18	Tanks à lait utilisés dans l'industrie agroalimentaire	Estimation en fonction de la production laitière		méthode d'estimation approchée
	19	Patinoires	syndicat des patinoires	suivi parc	estimation en fonction parc et durée de vie moyenne
Groupes refroidisseurs à eau	20	Industrie chimie lourde	non utilisés		
	21	Industrie pharmaceutique	non utilisés		
	22	Industrie du caoutchouc	non utilisés		
	23	Chillers de type centrifuge	Estimation Carrier ancienne	pas de suivi	ordre de grandeur connu, pas de suivi précis (ni BSRIA, ni ClimInfo)
Climatisation à air	24	Chillers à compresseur volumétrique de petite puissance	Clim'Info	marché précis par gamme de puissance depuis 2010	incertitude sur l'historique. Possibilités de double comptages dans les années 2005-2007
	25	Chillers à compresseur volumétrique de moyenne puissance	Clim'Info	marché précis par gamme de puissance depuis 2010	représentativité des adhérents de Clim Info
	26	Chillers à compresseur volumétrique de forte puissance	Clim'Info	marché précis par gamme de puissance depuis 2010	représentativité des adhérents de Clim Info
	27	Climatisation individuelle de type « mobile »	Clim'Info	plus de suivi	forte incertitude. Pas de suivi des importations.
	28	Climatisation individuelle de type « window »	Clim'Info	suivi régulier depuis 2000	représentativité des adhérents de Clim Info
	29	Climatisation individuelle de type « split »	Clim'Info	suivi régulier depuis 2000	représentativité des adhérents de Clim Info
	30	Climatisation individuelle de type « multi-split »	Clim'Info	suivi régulier depuis 2000	représentativité des adhérents de Clim Info
	31	Climatisation autonome de type « armoire verticale » (ou « console »)	Clim'Info	suivi régulier depuis 2000	représentativité des adhérents de Clim Info
Pompes à chaleur résidentielles	32	Climatisation autonome de type « roof-top »	Clim'Info	suivi régulier depuis 2000	représentativité des adhérents de Clim Info
	33	Climatisation autonome de type « DRV »	Clim'Info	suivi régulier depuis 2000	représentativité des adhérents de Clim Info
	34	Climatisation autonome de type split ou multi split (ou « central AC »)	Clim'Info	suivi régulier depuis 2000	représentativité des adhérents de Clim Info
	35	Climatisation autonome de type « armoire spéciale » (ou « cabinet »)	Clim'Info	suivi régulier depuis 2000	représentativité des adhérents de Clim Info
Climatisation mobile	36	PAC Air-Eau	Clim'Info	poursuite suivi AFPAC	incertitude sur l'historique. Possibilités de double comptages dans les années 2005-2007
	37	PAC Eau-Eau	Clim'Info	poursuite suivi AFPAC	incertitude sur l'historique. Possibilités de double comptages dans les années 2005-2007
	38	PAC Sol-Eau et Sol-Sol	Clim'Info	poursuite suivi AFPAC	incertitude sur l'historique. Possibilités de double comptages dans les années 2005-2007
	39	Chauffe-eau thermodynamique	Clim'Info	prise en compte à partir inventaires 2013	incertitude sur le début du suivi statistique
Climatisation automobile	40	Climatisation automobile	marchés CCFA courbe tendance véhicules climatisés (95 % en 2014)	suivi régulier	faible
	41	Climatisation des véhicules industriels	CCFA + courbe pénétration clim (80% en 2014)	suivi régulier	moyenne. Incertitude sur part des véhicules climatisés
	42	Climatisation des cars et bus	CCFA + courbe pénétration clim (77% en 2014)	suivi régulier	moyenne. Incertitude sur part des véhicules climatisés - courbe tendancielle. Pas de données tramways.
	43	Climatisation des trains.	estimés en fonction de l'évolution du parc SNCF	suivi régulier	faible
	44	Climatisation des tramways	CEREMA + courbe pénétration clim (95% en 2014)	données consolidées. 1ère année de prise en compte	faible

Tableau I-12 Sources et incertitudes pour les productions d'équipements en 2015

Domaines		Sous-secteurs	Source donnée productions	Tendance	Incertitude
Froid domestique	1	Réfrigérateurs simples, réfrigérateurs-congélateurs et congélateurs simples	Brandt jusqu'en 2005	production française nulle	0
	2	Supermarchés	pas utilisée	charge sur site	-
Froid commercial	3	Hypermarchés	pas utilisée	charge sur site	-
	4	Groupes hermétiques présents dans les petits commerces et les distributeurs automatiques	pas de donnée	marché = production	forte incertitude
	5	Groupes de condensation présents dans les petits commerces	pas de donnée	marché = production	forte incertitude
	6	Groupes poulies-courroies utilisés dans les transports routiers	Cemafroid	projection d'une extraction base Datafrig 2012	représentativité, choix des critères d'extraction
Transports frigorifiques	7	Groupes indépendants utilisés dans les transports routiers	Carrier	estimation production selon part de marché	estimation du fabricant
	8	Conteneurs frigorifiques utilisés dans les transports maritimes	Worldshipping/ Container handbook	données jusqu'en 2009	Estimation tendancielle basée sur l'historique pour 2010-2013. Incertitude part de la France.
	9	Reefers	id marché	marché = production	estimation à 10% du niveau mondial
Industries	10	Industrie agroalimentaire de la viande	FAO		Faible mais délai de mise à jour.
	11	Industrie agroalimentaire du poisson	FAO		idem
	12	Industrie agroalimentaire produits laitiers	FAO		idem
	13	Industrie agroalimentaire du chocolat	FAO		idem
	14	Industrie boissons gazeuses	FAO		idem
	15	Industrie agroalimentaire bière et vin	FAO		idem
	16	Industrie agroalimentaire des surgelés	FAO		idem
	17	Entrepôts frigorifiques	FAO		idem
	18	Tanks à lait utilisés dans l'industrie agroalimentaire	pas de données	marché = production	forte incertitude
	19	Patinoires	chargé sur site	marché = production	incertitude nombre patinoires mobiles
Industries	20	Industrie chimie lourde	Arkema	constante - données anciennes prolongées	moyenne
	21	Industrie pharmaceutique	Arkema	idem	moyenne
	22	Industrie du caoutchouc	Syndicat National Caoutchouc et Polymères SNCP	variable, mise à jour annuelle	faible
	23	Chillers de type centrifuge	Carrier & BSRIA	variable	incertitude élevée selon la source BSRIA
Groupes refroidisseurs à eau	24	Chillers à compresseur volumétrique de petite puissance	Carrier & BSRIA	variable	incertitude élevée selon la source BSRIA
	25	Chillers à compresseur volumétrique de moyenne puissance	Carrier & BSRIA	variable	incertitude élevée selon la source BSRIA
	26	Chillers à compresseur volumétrique de forte puissance	Carrier & BSRIA	variable	incertitude élevée selon la source BSRIA
	27	Climatisation individuelle de type « mobile »	BSRIA	variable	forte incertitude
Climatisation à air	28	Climatisation individuelle de type « window »	BSRIA	variable	forte incertitude
	29	Climatisation individuelle de type « split »	BSRIA	variable	forte incertitude
	30	Climatisation individuelle de type « multi-split »	Clim Info	marché = production	part chargée d'usine négligée
	31	Climatisation autonome de type « armoire verticale » (ou « console »)	Clim Info	marché = production	incertitude faible
	32	Climatisation autonome de type « roof-top »	BSRIA	variable	forte incertitude
	33	Climatisation autonome de type « DRV »	Clim Info	marché = production	incertitude faible
	34	Climatisation autonome de type split ou multi split (ou « central AC »)	Clim Info	marché = production	part chargée d'usine négligée
	35	Climatisation autonome de type « armoire spéciale » (ou « cabinet »)	Clim Info	marché = production	incertitude faible
Pompes à chaleur résidentielles	36	PAC Air-Eau	Uniclina	ordre de grandeur	forte incertitude
	37	PAC Eau-Eau	Uniclina	ordre de grandeur	forte incertitude
	38	PAC Sol-Eau et Sol-Sol	Uniclina	ordre de grandeur	forte incertitude
	39	Chauffe-eau thermodynamique	Clim Info	ordre de grandeur	forte incertitude
Climatisation mobile	40	Climatisation automobile	CCFA + courbe pénétration clim	suivi régulier	incertitude faible
	41	Climatisation des véhicules industriels	CCFA + courbe pénétration clim	suivi régulier	incertitude faible
	42	Climatisation des cars et bus	OICA + courbe pénétration clim	suivi régulier	incertitude pénétration climatisation
	43	Climatisation des trains.	pas de donnée	marché = production	incertitude faible
	44	Climatisation des tramways	pas de donnée	marché = production	incertitude faible

Tableau I-13 Durées de vie moyennes

Domaines		Sous-secteurs	Durée (ans) de VIE moyenne ou fréquence de RENOUELEMENT	Source & incertitude
Froid domestique	1	Réfrigérateurs simples, réfrigérateurs-congélateurs et congélateurs simples	15	données INSEE de taux d'équipements - écarts
Froid commercial	2	Supermarchés	15	tendance opérateurs - variable. Difficulté de prise en compte des renouvellements partiels (retrofit meubles)
	3	Hypermarchés	15	idem
	4	Groupes hermétiques présents dans les petits commerces et les distributeurs automatiques	15	tendance opérateurs - variable
	5	Groupes de condensation présents dans les petits commerces	15	tendance opérateurs - variable
	Transports frigorifiques	6	Groupes poulies-courroies utilisés dans les transports routiers	10
7		Groupes indépendants utilisés dans les transports routiers	10	concorde avec estimation parc européen
8		Conteneurs frigorifiques utilisés dans les transports maritimes	14	concorde avec estimation parc mondial
9		Reefers	30	ordre de grandeur
Industries	10	Industrie agroalimentaire de la viande	30	ordre de grandeur installateurs
	11	Industrie agroalimentaire du poisson	30	ordre de grandeur installateurs
	12	Industrie agroalimentaire produits laitiers	30	ordre de grandeur installateurs
	13	Industrie agroalimentaire du chocolat	30	ordre de grandeur installateurs
	14	Industrie boissons gazeuses	30	ordre de grandeur installateurs
	15	Industrie agroalimentaire bière et vin	30	ordre de grandeur installateurs
	16	Industrie agroalimentaire des surgelés	30	ordre de grandeur installateurs
	17	Entrepôts frigorifiques	30	ordre de grandeur installateurs
	18	Tanks à lait utilisés dans l'industrie agroalimentaire	15	ordre de grandeur fabricant
	19	Patinoires	15	ordre de grandeur installateurs
	20	Industrie chimie lourde	30	ordre de grandeur installateurs
	21	Industrie pharmaceutique	30	ordre de grandeur installateurs
22	Industrie du caoutchouc	30	ordre de grandeur installateurs	
Groupes refroidisseurs à eau	23	Chillers de type centrifuge	25	ordre de grandeur installateurs
	24	Chillers à compresseur volumétrique de petite puissance	15	ordre de grandeur installateurs
	25	Chillers à compresseur volumétrique de moyenne puissance	15	ordre de grandeur installateurs
	26	Chillers à compresseur volumétrique de forte puissance	20	ordre de grandeur installateurs
Climatisation à air	27	Climatisation individuelle de type « mobile »	10	ordre de grandeur fabricant
	28	Climatisation individuelle de type « window »	10	ordre de grandeur fabricant
	29	Climatisation individuelle de type « split »	15	ordre de grandeur fabricant
	30	Climatisation individuelle de type « multi-split »	15	ordre de grandeur fabricant
	31	Climatisation autonome de type « armoire verticale » (ou « console »)	20	ordre de grandeur fabricant
	32	Climatisation autonome de type « roof-top »	15	ordre de grandeur fabricant
	33	Climatisation autonome de type « DRV »	15	ordre de grandeur fabricant
	34	Climatisation autonome de type split ou multi split (ou « central AC »)	15	ordre de grandeur fabricant
	35	Climatisation autonome de type « armoire spéciale » (ou « cabinet »)	15	ordre de grandeur fabricant
Pompes à chaleur résidentielles	36	PAC Air-Eau	15	ordre de grandeur fabricant
	37	PAC Eau-Eau	15	ordre de grandeur fabricant
	38	PAC Sol-Eau et Sol-Sol	15	ordre de grandeur fabricant
	39	Chauffe-eau thermodynamique	15	ordre de grandeur fabricant
Climatisation mobile	40	Climatisation automobile	9 circuit/ 12 véhicule	concorde avec données parc CITEPA
	41	Climatisation des véhicules industriels	9 circuit/ 12 véhicule	analogie clim auto
	42	Climatisation des cars et bus	15 circuit/ 20 véhicule	analogie clim auto
	43	Climatisation des trains.	15	SNCF
	44	Climatisation des tramways	15	analogie trains

Tableau I-14 - Principales incertitudes par secteur d'application.

Domaines		Sous-secteurs	sources d'incertitudes
Froid domestique	1	Réfrigérateurs simples, réfrigérateurs-congélateurs et congélateurs simples	Pas de prise en compte de certains équipements niches: caves à vin. Taux d'émission correspond au taux de panne (retour service après vente)
Froid commercial	2	Supermarchés	Hypothèses basées sur les communications d'un échantillon de magasins (taux d'émissions, fluides). Pas de suivi national. Estimation des parts des systèmes indirects (tendance), de la durée de renouvellement des installations (fixée à 15 ans)
	3	Hypermarchés	Même chose pour les hypermarchés
	4	Groupes hermétiques présents dans les petits commerces et les distributeurs automatiques	Pas de données marchés ni productions d'équipements. Adaptation de la méthode de calcul basée sur l'estimation d'un niveau d'équipement type par magasin.
	5	Groupes de condensation présents dans les petits commerces	id
	Transports frigorifiques	6	Groupes poulies-courroies utilisés dans les transports routiers
7		Groupes indépendants utilisés dans les transports routiers	Incertitude sur la filière de récupération et estimation approchée de la production
8		Conteneurs frigorifiques utilisés dans les transports maritimes	Pas de suivi statistique régulier au niveau mondial. Part de la France difficile à estimer, pris en compte métropole uniquement.
9		Reefers	id
Industries	10	Industrie agroalimentaire de la viande	Pas de mises à jour des ratios de puissance utilisés dans la méthode de calcul. Incertitude moyenne sur les courbes de pénétration des systèmes indirects et l'évolution précise des fluides utilisés.
	11	Industrie agroalimentaire du poisson	id
	12	Industrie agroalimentaire des produits laitiers	id
	13	Industrie agroalimentaire du chocolat	id
	14	Industrie agroalimentaire des boissons gazeuses	id
	15	Industrie agroalimentaire de la bière et du vin	id
	16	Industrie agroalimentaire des produits surgelés	id
	17	Entrepôts frigorifiques	id
	18	Tanks à lait utilisés dans l'industrie agroalimentaire	Pas de données marché ni production.
	19	Patinoires	Pas de données précises sur le renouvellement des installations et les patinoires mobiles.
	20	Industrie chimie lourde	Peu de communication des sites de production. Evolution tendancielle selon estimation expert
	21	Industrie pharmaceutique	Peu de communication des sites de production. Evolution tendancielle selon estimation expert
Groupes refroidisseurs à eau	22	Industrie du caoutchouc	Faible incertitude car seulement deux sites de productions en France. Bonne communication.
	23	Chillers de type centrifuge	pas de données précises productions - tendances tendances ratios de charge
	24	Chillers à compresseur volumétrique de petite puissance	Moyenne. Pas de données précises productions - tendances & tendances ratios de charge
	25	Chillers à compresseur volumétrique de moyenne puissance	Moyenne. Pas de données précises productions - tendances & tendances ratios de charge
	26	Chillers à compresseur volumétrique de forte puissance	Moyenne. Pas de données précises productions - tendances
Climatisation à air	27	Climatisation individuelle de type « mobile »	forte incertitude: pas de données de productions, plus de suivi national marchés
	28	Climatisation individuelle de type « window »	pas de données productions
	29	Climatisation individuelle de type « split »	pas de données productions
	30	Climatisation individuelle de type « multi-split »	pas de données productions, pas de prise en compte de la partie chargée en usine. Assez forte incertitude sur la charge (variation en fonction de la puissance).
	31	Climatisation autonome de type « armoire verticale » (ou « console »)	pas de données productions
	32	Climatisation autonome de type « roof-top »	pas de données productions
	33	Climatisation autonome de type « DRV »	pas de données productions
	34	Climatisation autonome de type split ou multi split (ou « central AC »)	pas de données productions, pas de prise en compte de la partie chargée en usine
	35	Climatisation autonome de type « armoire spéciale » (ou « cabinet »)	pas de données productions
Pompes à chaleur résidentielles	36	PAC Air-Eau	pas de données précises productions - tendances Charge supposée constante - Données fluides globales PAC
	37	PAC Eau-Eau	pas de données précises productions - tendances Charge supposée constante - Données fluides globales PAC
	38	PAC Sol-Eau et Sol-Sol	pas de données précises productions - tendances Charge supposée constante - Données fluides globales PAC
	39	Chauffe-eau thermodynamique	charge supposée constante. Données fluides globales PAC
Climatisation mobile	40	Climatisation automobile	Campagne de mesure taux d'émissions ancienne. Taux de dégradation à revalider.
	41	Climatisation des véhicules industriels	Idem
	42	Climatisation des cars et bus	incertitudes courbe de pénétration climatisation et pratiques maintenance et fin de vie au niveau national
	43	Climatisation des trains	estimation des marchés en fonction du renouvellement du parc
	44	Climatisation des tramways	part des tramways climatisés

II. Structure du rapport

Ce rapport présente les résultats de l'étude d'inventaires d'émissions de fluides frigorigènes pour la France métropolitaine et les DOM COM en 2015.

Après une partie consacrée à la description de la méthode, les résultats globaux, des calculs métropole sont présentés, sur la période 1990-2015, tous secteurs confondus, soit:

- les « banques » ou quantités de fluides frigorigènes contenues dans les installations formant le parc,
- les émissions totales de fluides frigorigènes par famille de fluides (CFC, HCFC, HFC et autres) et par fluide,
- les émissions exprimées en équivalent CO₂ (selon les valeurs de PRG du 4^{ème} Rapport d'évaluation du GIEC qui sont désormais les valeurs de référence pour la déclaration auprès de l'UNFCCC),
- les quantités de fluides récupérées pour 2015 lors du démantèlement des équipements,
- et la demande en fluides frigorigènes reconstituée, incluant les quantités nécessaires à la charge et la production des équipements neufs ainsi que celles nécessaires au retrofit et à la maintenance du parc d'équipements.

La demande en fluides frigorigènes reconstituée par le logiciel RIEP est comparée aux marchés déclarés par les producteurs et distributeurs de fluides frigorigènes au SNEFCCA [ROY16], ce qui, depuis une quinzaine d'années, constitue l'étape de validation de l'étude, aucune donnée n'étant disponible sur les émissions.

Parallèlement, les résultats de calculs sont également comparés aux quantités déclarées mises sur le marché à l'Observatoire des Fluides Frigorigènes (OFF) de l'ADEME [OFF16]. Un travail régulier est réalisé chaque année en collaboration avec l'ADEME afin de vérifier les données réellement comparables et détecter les éventuelles incohérences dans les déclarations.

Les résultats pour les DOM et les COM sont présentés à la suite, au niveau global.

Les chapitres suivant décrivent les hypothèses et résultats pour les 8 grands domaines du froid et de la climatisation pris en compte.

III. Rappel de la méthode de calcul générale

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 III-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 44 sous-secteurs. Le sous-secteur des tramways a été ajouté dans le domaine de la climatisation embarquée. Les résultats sont présentés selon les 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 3).

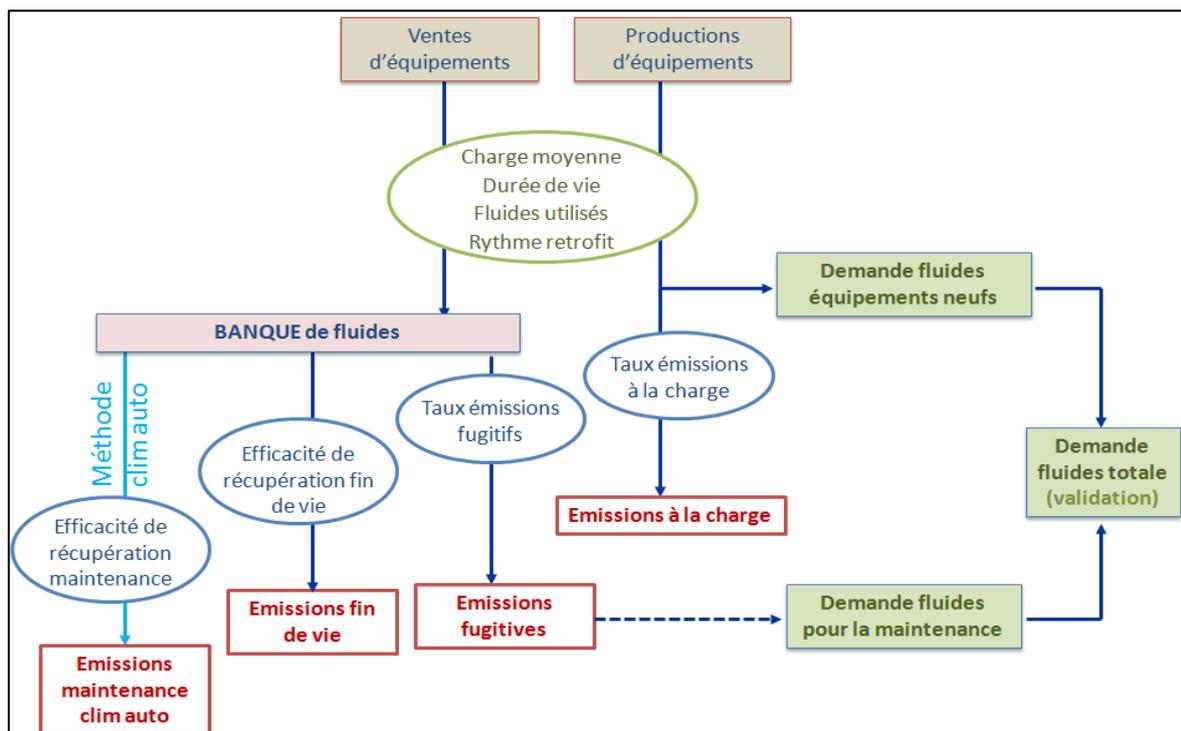


Figure III-1 - Méthode de calcul

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].

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 III-2).

Les émissions à la charge sont évaluées en fonction des quantités chargées dans les équipements produits. Il est considéré que le même type d'émissions a lieu lors de la recharge à la maintenance ou au retrofit. Ces émissions sont désormais calculées en fonction d'un coefficient propre à chaque secteur, de façon à pouvoir prendre en compte les spécificités de chaque application et notamment un niveau moindre pour les équipements chargés d'usine. Les taux d'émissions à la charge varient entre 2 et 5 % selon les domaines.

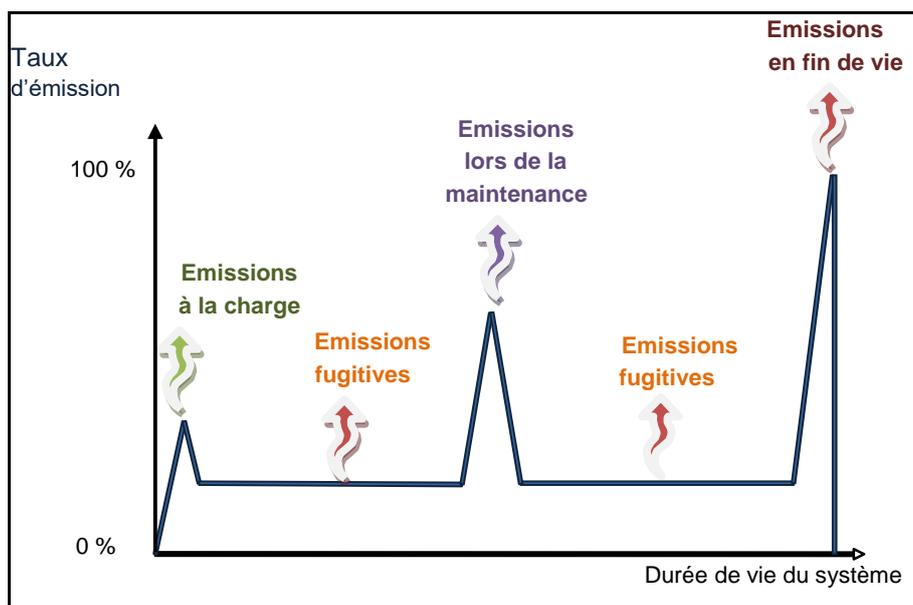


Figure III-2 – Emissions au cours de la vie de l'équipement

La « banque » de fluides frigorigènes est constituée des quantités de 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 retrofit, 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 retrofitée, et ce pour chaque fluide.

La méthode de calcul des opérations de retrofit est une approche simplifiée (Figure III-3). L'équipement en lui-même n'est pas pris en compte, les hypothèses concernent la part de la banque qui est modifiée par des retrofits 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.

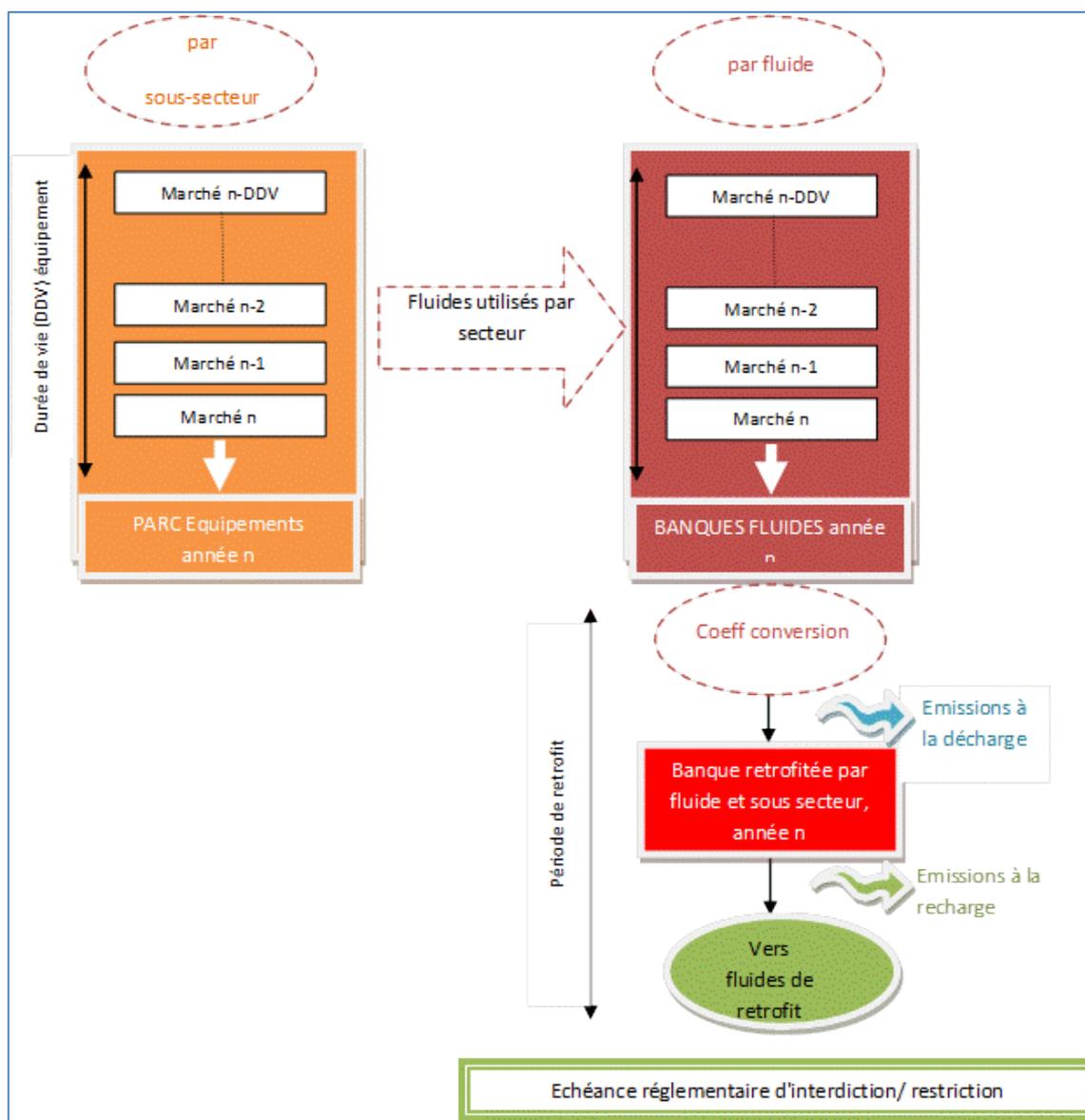


Figure III-3 - Méthode de calcul du retrofit

Il convient de souligner que la méthode de retrofit 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 retrofit » puisque des émissions de type « fin de vie » peuvent se produire peu de temps après le retrofit, à la place d'émissions fugitives.

Les émissions liées aux « talons de charge » sont 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 CES ([SOU08]). L'estimation du marché de R-134a dédié à la maintenance automobile en 2008-2009 avait permis de déterminer les niveaux de dégradation du taux d'émissions fugitives; il serait utile d'en connaître l'évolution afin de vérifier la validité du niveau de dégradation fixé.

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 III-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 [ROY16] (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 sont jugées représentatives par l'ADEME. Une étude plus détaillée des données, en collaboration avec l'ADEME permet de mieux comprendre les chiffres déclarés et de mettre en évidence les données qui peuvent être rapprochées de la demande calculée par RIEP. Depuis 2013, les quantités utilisées par les opérateurs pour la maintenance des installations sont également déclarées et communiquées dans le rapport de l'OFF au niveau global.

IV. RESULTATS GLOBAUX

Cette partie présente les résultats d'inventaires 2015 au niveau global, c'est-à-dire incluant toutes les applications de la réfrigération et de la climatisation.

IV.1 - Résultats globaux inventaires 2015 métropole

IV.1.1 - Banque des fluides frigorigènes

La banque de fluides frigorigènes correspond aux quantités totales de fluides frigorigènes contenues dans l'ensemble des équipements installés sur le sol français. Son calcul dépend de la durée de vie des équipements, de leur charge, des marchés annuels et des fluides utilisés.

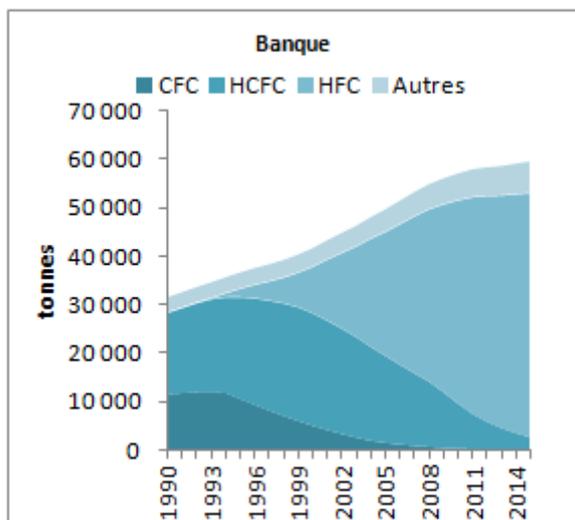


Figure IV-1 Evolution de la banque de fluides frigorigènes en France métropole (tonnes)

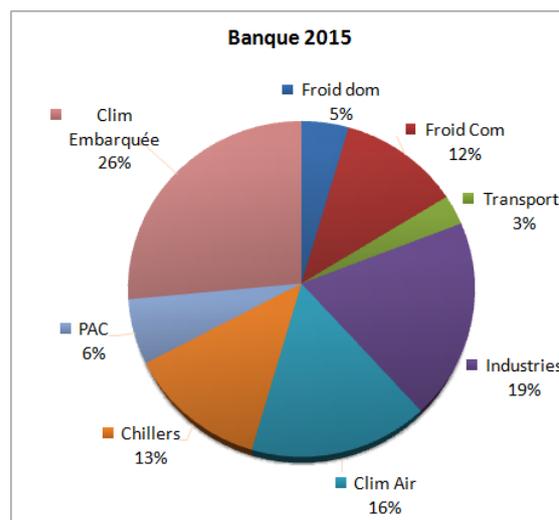


Figure IV-2 Répartition sectorielle de la banque de fluides frigorigènes en 2015

Comme le montre la Figure IV-1, la banque, en tonnes de fluides frigorigènes, est en croissance continue depuis 1990. Depuis quelques années, cette croissance est ralentie, la réduction des charges des installations compensant la croissance du parc d'équipements. En 2015, **la banque totale** de fluides frigorigènes en France métropole est stable par rapport à 2014 (+0,8 %) et estimée à **59 500 tonnes dont 85 % de HFC**.

La banque majoritaire est celle du R-134a (Tableau IV-2) fortement utilisé en climatisation automobile mais aussi dans le secteur des chillers et, progressivement, dans ceux du froid commercial et industriel, avec la mise en place d'installations de type cascade (CO2/R-134a).

Le règlement CE 2037/2000 prévoyant l'interdiction d'utilisation des HCFC vierges puis recyclés (1^{er} Janvier 2015) pour la maintenance des installations, la période 2010-2015 a été marquée par de nombreux retrofits et fins de vie d'installations qui aboutissent à une banque de HCFC réduite à 2500 tonnes en 2015 ; elle concerne principalement l'industrie et le transport maritime (international).

D'un point de vue sectoriel (Figure IV-2), la climatisation embarquée, composée à 96 % de la climatisation automobile, domine la banque, son parc étant en croissance. Le R-134a y est dominant même si le R-1234yf commence à être significatif et représente 7 % de la banque de la climatisation embarquée en 2015. Le froid industriel, dont les installations ont des charges élevées, tient également une place importante dans la banque de fluides frigorigènes mais près de 40 % de sa banque est composée d'ammoniac.

Tableau IV-1 - Evolution de la banque en tonnes de fluides frigorigènes de 1990 à 2015

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	11 462	17 009	-	3 008	31 478
1991	11 677	17 803	-	3 065	32 544
1992	11 935	18 542	2	3 104	33 583
1993	12 030	19 225	165	3 142	34 563
1994	11 653	20 022	746	3 197	35 618
1995	10 440	21 241	1 654	3 266	36 602
1996	9 219	22 194	2 727	3 352	37 492
1997	8 034	22 923	3 877	3 438	38 272
1998	6 917	23 443	5 289	3 540	39 189
1999	5 877	23 651	7 141	3 645	40 315
2000	4 879	23 421	9 577	3 759	41 636
2001	3 999	22 779	12 593	3 898	43 269
2002	3 207	21 927	15 593	4 045	44 771
2003	2 446	20 872	18 763	4 206	46 287
2004	1 797	19 547	22 318	4 378	48 041
2005	1 368	18 099	25 611	4 559	49 637
2006	1 021	16 633	29 002	4 747	51 403
2007	738	15 153	32 396	4 927	53 215
2008	500	13 650	35 584	5 096	54 829
2009	310	11 674	38 779	5 274	56 037
2010	174	9 464	41 946	5 478	57 062
2011	78	7 377	44 806	5 661	57 922
2012	20	5 809	46 701	5 812	58 342
2013	0	4 506	48 125	5 983	58 614
2014	-	3 428	49 461	6 201	59 091
2015	-	2 570	50 541	6 441	59 551

Tableau IV-2 - Décomposition de la banque de fluides frigorigènes 2015 par fluide (tonnes)

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	2 527	2 570
	R-408A	27	
	R-401A	16	
HFC	R-134a	22 756	50 541
	R-404A	9 219	
	R-407C	5 715	
	R-410A	10 144	
	R-507	293	
	R-417A	251	
	R-422A	62	
	R-422D	571	
	R-427A	165	
	R-407A	36	
	R-407F	157	
	R-32	37	
	R-1234ze	2	
R-1234yf	1 134		
Autres	R-290	99	6 441
	R-600a	1 870	
	R-717	4 255	
	R-744	218	
TOTAL			59 551

IV.1.2 - Emissions des fluides frigorigènes

Les émissions totales de fluides frigorigènes incluent les émissions à la charge de l'équipement, les émissions fugitives lors du fonctionnement de l'équipement, celles liées aux opérations de maintenance, ainsi que les émissions se produisant lors du retrofit ou du démantèlement des installations ayant atteint leur fin de vie.

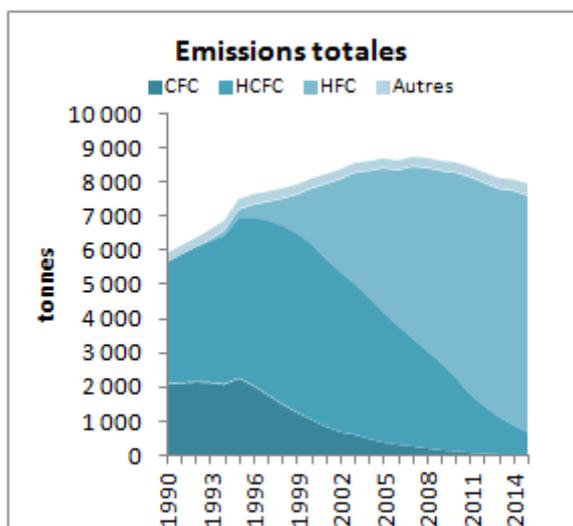


Figure IV-3 Evolution des émissions de fluides frigorigènes en France métropole

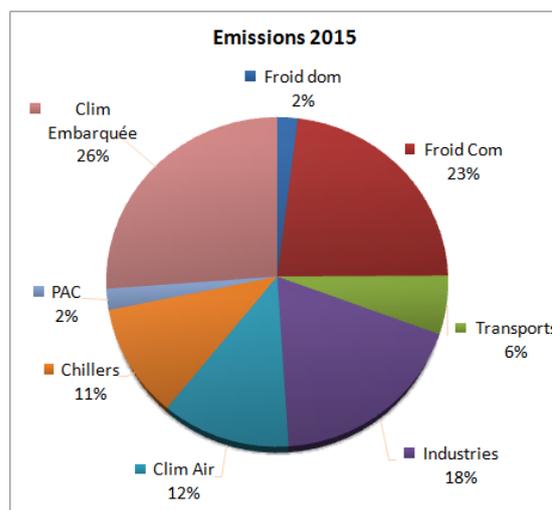


Figure IV-4 Répartition sectorielle des émissions de fluides frigorigènes en 2015

Les émissions totales sont en lente décroissance depuis 2007, de 1,6 % entre 2014 et 2015, grâce au renouvellement du parc d'équipements vers des équipements souvent de charge plus faible, moins émissifs et grâce à l'amélioration des pratiques de maintenance et des filières de fin de vie. Elles sont évaluées à près 8 000 t de fluides frigorigènes pour 2015, constituées à 88 % de HFC.

Les émissions de HCFC liées aux derniers retrofits et fins de vie ne constituent plus que 8 % des émissions totales en 2015. A l'image de la banque, les émissions totales sont dominées par celles des HFC et du R-134a en particulier, à 40 % en 2015.

La répartition sectorielle des émissions (Figure IV-2) montre que le froid commercial est responsable de près d'un quart des émissions alors que sa banque (Figure IV-1) ne représente que 12 % de la banque des fluides frigorigènes totale. En revanche, le froid domestique et les PAC sont des secteurs peu émetteurs.

Tableau IV-3 - Evolution des émissions en tonnes de fluides frigorigènes de 1990 à 2015

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	2 084	3 547	-	273	5 904
1991	2 113	3 747	-	277	6 138
1992	2 139	3 939	0	277	6 355
1993	2 128	4 128	65	278	6 599
1994	2 070	4 352	169	283	6 874
1995	2 253	4 698	267	284	7 502
1996	2 032	4 935	392	285	7 644
1997	1 763	5 118	557	281	7 719
1998	1 490	5 239	803	280	7 811
1999	1 248	5 255	1 145	275	7 923
2000	1 038	5 156	1 636	270	8 100
2001	825	4 931	2 204	268	8 228
2002	669	4 704	2 731	264	8 368
2003	593	4 429	3 273	263	8 558
2004	469	4 138	3 740	261	8 608
2005	361	3 809	4 257	261	8 688
2006	298	3 498	4 574	261	8 630
2007	246	3 177	5 054	262	8 739
2008	186	2 863	5 394	264	8 706
2009	132	2 570	5 647	269	8 618
2010	99	2 172	6 027	278	8 576
2011	63	1 714	6 393	282	8 452
2012	37	1 386	6 567	287	8 278
2013	12	1 103	6 703	296	8 115
2014	0	862	6 903	313	8 079
2015	-	659	6 966	326	7 951

Tableau IV-4 - Décomposition des émissions de fluides frigorigènes 2015 par fluide (tonnes)

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	641	659
	R-408A	12	
	R-401A	6	
HFC	R-134a	3 210	6 966
	R-404A	2 041	
	R-407C	535	
	R-410A	669	
	R-507	101	
	R-417A	44	
	R-422A	13	
	R-422D	128	
	R-427A	33	
	R-407A	8	
	R-407F	57	
	R-32	2	
	R-1234ze	0	
R-1234yf	124		
Autres	R-290	3	326
	R-600a	43	
	R-717	262	
	R-744	18	
TOTAL			7 951

En rapportant les émissions à la banque, sur l'ensemble des secteurs, le **taux d'émissions global** équivalent, incluant tous les types d'émissions est de **13,4 % en 2015**, en constante diminution. Il était de 19 % en 2000.

IV.1.3 - Emissions équivalentes CO₂ des fluides frigorigènes

Les émissions totales en équivalent CO₂ sont calculées sur la base des PRG publiés dans 4^{ème} Rapport d'évaluation du GIEC (Annexe 1).

Tout comme les émissions totales, les émissions CO₂ équivalents sont en décroissance continue, de 3,4 % entre 2014 et 2015. Elles sont estimées à **17 millions de tonnes de CO₂ pour la France métropole en 2015**.

Le froid commercial reste le secteur principalement contributeur aux émissions CO₂ des fluides frigorigènes, responsable de 37 % des émissions même si les taux d'émissions des installations commencent à baisser et les installations de type cascade R-134a/CO₂ à être plus largement utilisées. Le R-404A reste dominant et est responsable de 46 % des émissions CO₂ de 2015, tous secteurs confondus. Le froid industriel a un impact moindre sur les émissions CO₂, car l'usage du R-404A est compensé, en termes d'équivalent CO₂, par celui de l'ammoniac en agroalimentaire.

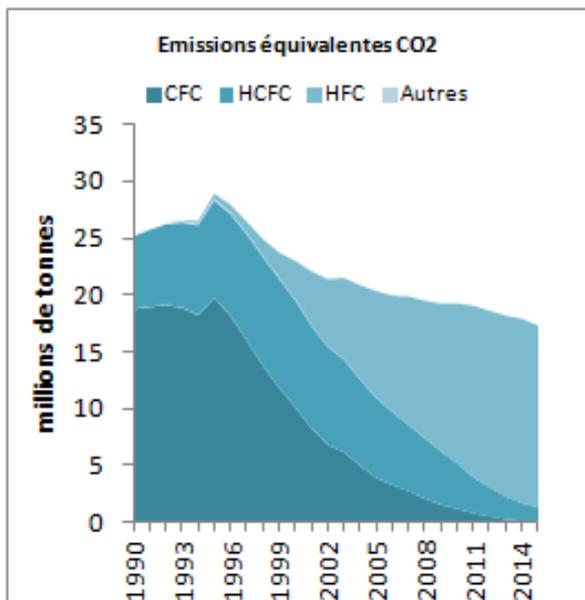


Figure IV-5 Evolution des émissions CO₂ équivalentes de fluides frigorigènes en France métropole (en millions de tonnes)

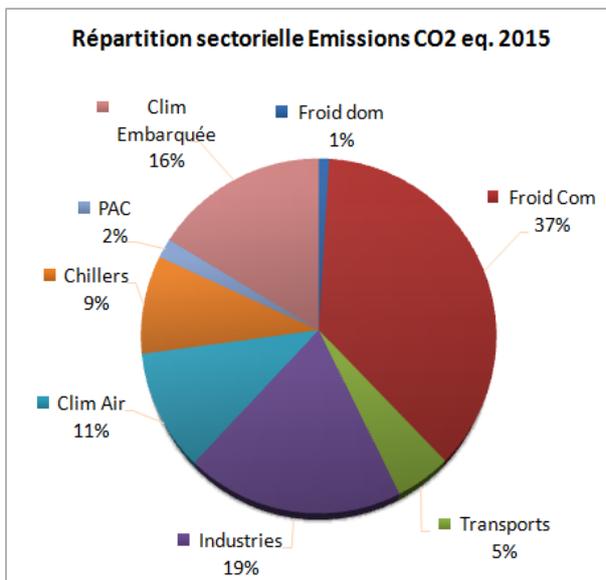


Figure IV-6 Répartition sectorielle des émissions CO₂ équivalentes de fluides frigorigènes en 2015

Les émissions du froid domestique ne représentent plus que 1 % des émissions totales équivalentes CO₂ de la France métropole grâce à une filière de fin de vie efficace et un renouvellement du parc de réfrigérateurs et congélateurs au R-12 pour des équipements utilisant le R-134a et surtout le R-600a. Les émissions de la climatisation embarquée sont en retrait d'un point par rapport au niveau 2014 : la progression du R-1234yf et l'amélioration de la filière VHU devraient permettre de réduire plus significativement l'impact de ce secteur dans les années à venir.

Tableau IV-5 - Evolution des émissions CO₂ équivalentes de fluides frigorigènes de 1990 à 2015 (en millions de tonnes de CO₂) selon le 4^{ème} rapport d'évaluation du GIEC

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	18 772	6 421	-	-	25 193
1991	18 974	6 783	-	-	25 757
1992	19 130	7 130	0	-	26 260
1993	18 914	7 477	93	-	26 484
1994	18 241	7 919	261	-	26 422
1995	19 798	8 573	436	0	28 807
1996	18 162	9 019	671	0	27 852
1997	16 001	9 367	993	0	26 361
1998	13 774	9 596	1 464	0	24 834
1999	11 803	9 635	2 213	0	23 652
2000	10 071	9 457	3 379	0	22 907
2001	8 209	9 054	4 738	0	22 001
2002	6 758	8 648	5 906	0	21 312
2003	6 106	8 153	7 156	0	21 416
2004	4 896	7 626	8 253	0	20 775
2005	3 829	7 028	9 387	0	20 244
2006	3 178	6 457	10 210	0	19 845
2007	2 637	5 866	11 271	0	19 775
2008	1 996	5 287	12 122	0	19 405
2009	1 431	4 743	12 985	0	19 159
2010	1 078	4 009	14 093	0	19 180
2011	682	3 166	15 114	0	18 962
2012	408	2 557	15 562	0	18 527
2013	135	2 032	15 923	0	18 090
2014	1	1 583	16 230	0	17 814
2015	-	1 204	16 001	0	17 205

Tableau IV-6 - Décomposition des émissions CO₂ équivalentes de fluides frigorigènes 2015 par fluide (tonnes de CO₂)

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	1160	1 204
	R-408A	37	
	R-401A	8	
HFC	R-134a	4590	16 001
	R-404A	7961	
	R-407C	964	
	R-410A	1405	
	R-507	403	
	R-417A	101	
	R-422A	40	
	R-422D	346	
	R-427A	67	
	R-407A	18	
	R-407F	104	
	R-32	2	
	R-1234ze	0	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	0
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			17 205

Les HFC constituent désormais 93 % des émissions CO₂ équivalentes de fluides frigorigènes. Le R-404A, du fait de son Potentiel de Réchauffement Global élevé (PRG = 3 900) domine les émissions de HFC avec 8 millions de tonnes de CO₂ eq. émises en 2015, suivi par le R-134a (PRG = 1 430) et 4,6 millions de tonnes de CO₂ eq.

IV.1.4 - Demande totale en fluides frigorigènes

Dans le cadre des études d'inventaires, la demande en fluides frigorigènes est reconstituée par RIEP afin de permettre la comparaison entre les marchés calculés et déclarés, ce qui constitue l'étape de validation de l'étude. La demande totale correspond à la somme de :

- La demande pour les équipements neufs, soit les quantités de fluides frigorigènes nécessaires à la charge des installations neuves sur site ou en usine ; 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) et le marché français, pour les équipements chargés sur site.
- La demande pour la maintenance des installations formant le parc français.
- La demande pour le retrofit des installations, c'est-à-dire pour les installations converties d'un fluide frigorigènes vers un autre.

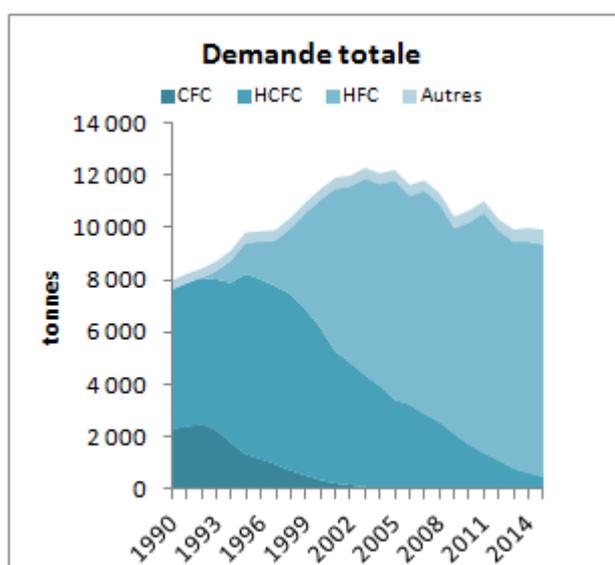


Figure IV-7 Evolution de la demande (en tonnes) de fluides frigorigènes en France métropole

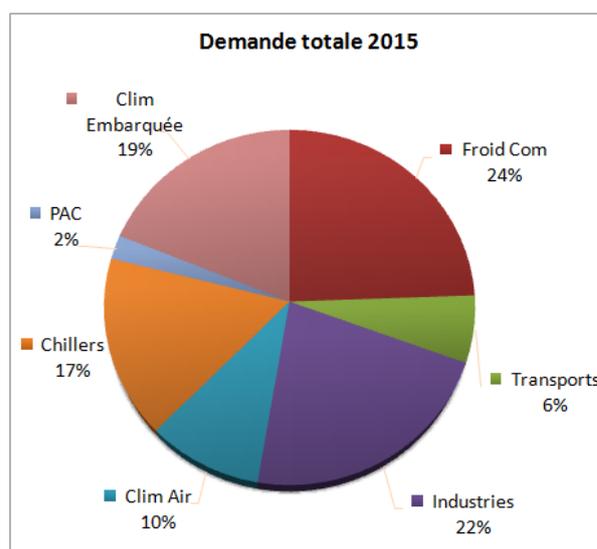


Figure IV-8 Répartition sectorielle de la demande de fluides frigorigènes en 2015

La tendance de la demande est à la décroissance. Elle est estimée, par le calcul RIEP à environ 9 900 tonnes dont **8 860 tonnes de HFC en 2015**. La demande de HCFC (490 t) correspond au besoin évalué pour la maintenance du parc résiduel d'installations utilisant des HCFC qui ne sera pas satisfait en 2015 étant donné la réglementation en vigueur.

Le secteur du froid commercial domine la demande totale (2 400 t) et en particulier la demande pour la maintenance des installations (1 750 t). La demande pour le froid industriel, étant donné les charges élevées des installations, est forte également, notamment pour la maintenance.

Plus de la moitié de la demande en fluides frigorigènes est liée au R-134a (climatisation automobile) et R-404A (froid commercial et industriel).

Le marché des fluides "de remplacement" en baisse depuis 2010, se stabilise à environ 330 tonnes en 2015, tous fluides confondus.

Tableau IV-7 - Evolution de la demande totale en tonnes de fluides frigorigènes de 1990 à 2015

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	2 292	5 316	-	349	7 957
1991	2 372	5 478	-	367	8 218
1992	2 478	5 589	-	350	8 417
1993	2 249	5 761	328	353	8 690
1994	1 769	6 112	858	379	9 119
1995	1 332	6 883	1 209	386	9 810
1996	1 156	6 842	1 451	405	9 854
1997	956	6 784	1 763	402	9 906
1998	717	6 723	2 518	420	10 379
1999	535	6 355	3 643	421	10 954
2000	362	5 814	4 872	426	11 474
2001	244	5 028	6 204	440	11 916
2002	166	4 681	6 717	435	11 998
2003	104	4 264	7 497	436	12 301
2004	56	3 901	7 702	435	12 093
2005	38	3 386	8 368	434	12 227
2006	25	3 220	7 962	438	11 644
2007	17	2 873	8 494	434	11 817
2008	9	2 585	8 310	428	11 331
2009	3	2 129	7 839	449	10 421
2010	1	1 721	8 465	479	10 666
2011	1	1 398	9 148	470	11 015
2012	0	1 123	8 744	446	10 313
2013	0	808	8 634	486	9 928
2014	-	644	8 798	542	9 984
2015	-	486	8 858	574	9 917

Tableau IV-8 - Décomposition de la demande totale de fluides frigorigènes 2015 par fluide (tonnes)

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	472	486
	R-408A	10	
	R-401A	4	
HFC	R-134a	3 014	8 858
	R-404A	2 648	
	R-407C	591	
	R-410A	1 271	
	R-507	102	
	R-417A	46	
	R-422A	18	
	R-422D	98	
	R-427A	17	
	R-407A	22	
	R-407F	132	
	R-32	19	
	R-1234ze	8	
R-1234yf	872		
Autres	R-290	30	574
	R-600a	4	
	R-717	460	
	R-744	79	
TOTAL			9 917

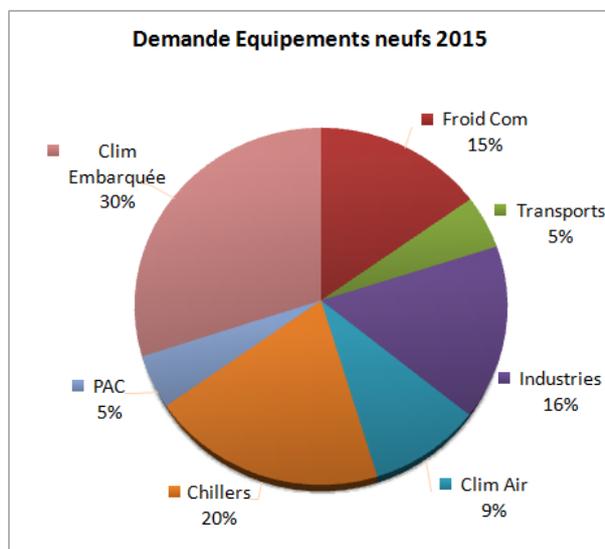


Figure IV-9IV-10 Répartition sectorielle de la demande en fluides frigorigènes pour les équipements neufs

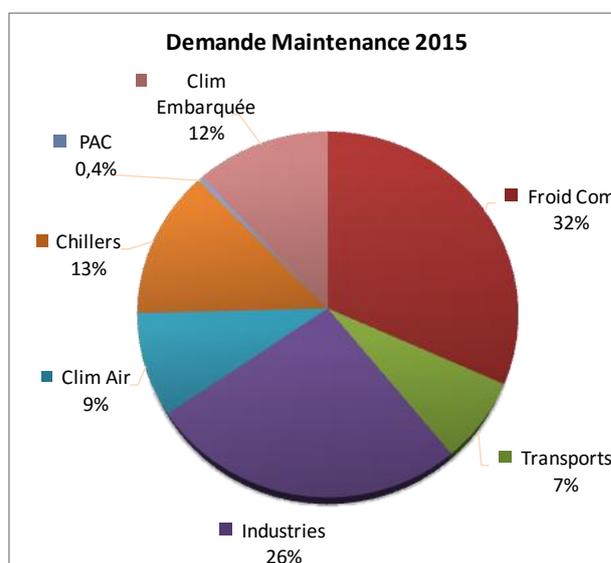


Figure IV-11 Répartition sectorielle de la demande en fluides frigorigènes pour la maintenance

La demande 2015 se décompose en :

- 4 060 t chargés dans les équipements neufs (chargés d'usine et produits en France ou chargés sur site en France) ;
- 5520 t pour la maintenance du parc
- 340 t pour le retrofit des installations aux HCFC.

Les figures suivantes présentent l'évolution de la demande en fonction des différents types d'utilisation du fluide. On observe que la demande liée à la maintenance est toujours dominante, représentant entre la moitié et les deux tiers de la demande totale selon les années. La période 2009-2015 fait apparaître une demande supplémentaire liée aux retrofits des installations aux HCFC qui a quasiment fait disparaître la banque de HCFC.

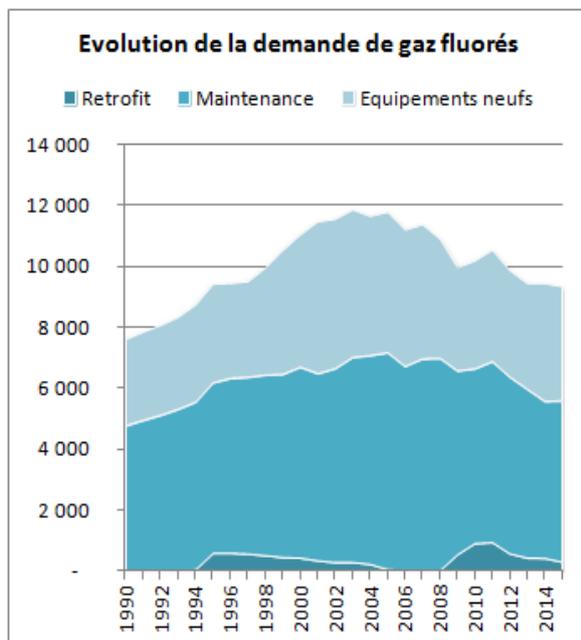


Figure IV-12 Evolution de la demande en tonnes de gaz fluorés (CFC, HCFC et HFC) par type d'utilisation en France métropole

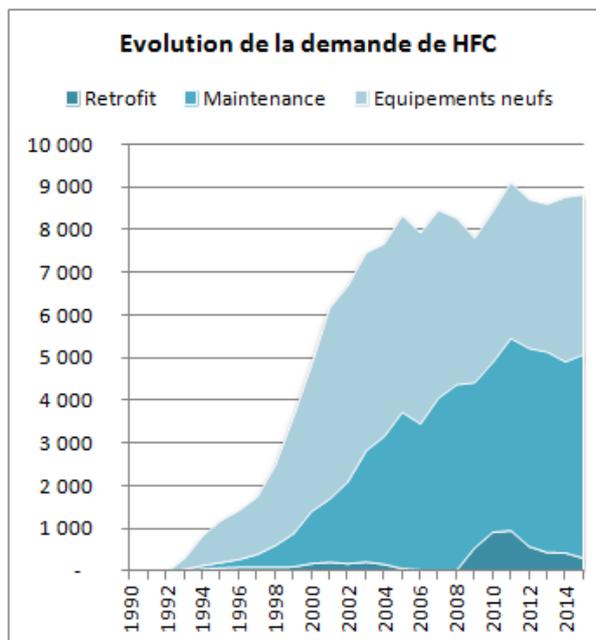


Figure IV-13 Evolution de la demande de HFC par type d'utilisation en France métropole (tonnes)

IV.1.5 – Comparaison de la demande calculée et des marchés déclarés

La méthode de calcul de RIEP permet de reconstituer le besoin en fluides frigorigènes pour les équipements neufs (production en France et charges sur site), les conversions d'installations et la maintenance des équipements formant le parc français. Le SNEFCCA [ROY16] recense les déclarations de mises sur le marché des producteurs et distributeurs de fluides frigorigènes depuis 2000. Ces déclarations correspondent à la demande estimée par RIEP: il s'agit des quantités de fluides bruts mises sur le marché français, incluant les ventes aux producteurs pour la production de pré-chargés en France mais excluant les quantités mises sur le marché français par le biais des équipements pré-chargés (vendus). Historiquement, la comparaison de la demande totale reconstituée par RIEP (demande pour les équipements neufs ajoutée à celle pour la maintenance et le retrofit des installations) avec les marchés déclarés au SNEFCCA a permis de montrer la cohérence des résultats du calcul d'inventaires et en a constitué la principale étape de validation (Figure IV-14).

Les déclarations SNEFCCA correspondent aux quantités mises sur le marché, hors effet de stocks, et devraient être équivalentes à la demande (ou besoin) calculée par RIEP lorsque les stocks varient peu d'une année sur l'autre.

En 2015 le marché déclaré au SNEFCCA est de 8 520 tonnes de HFC et la demande calculée par RIEP est de 8 858 t, présentant donc un écart de 4 %.

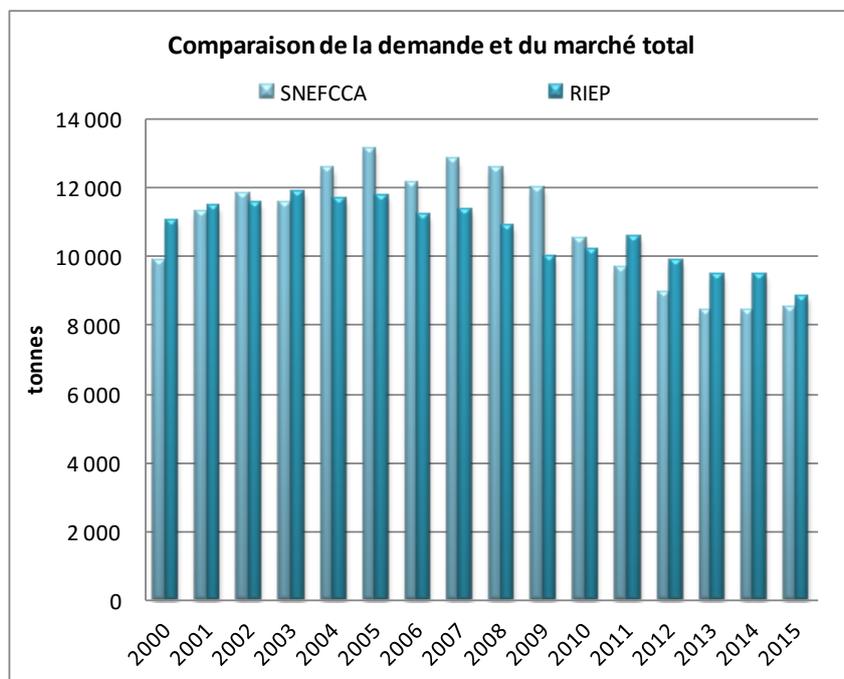


Figure IV-14 - Comparaison des marchés déclarés (SNEFCCA) et des demandes calculées (RIEP)

Le marché déclaré par les producteurs de fluides frigorigènes au SNEFCCA et la demande évaluée par RIEP sont globalement cohérents, de 2000 à 2015. L'écart maximum de 17 % en 2009 s'explique par un niveau élevé du marché déclaré des HCFC, lié à un stockage très probable dû à l'interdiction d'utilisation de HCFC vierges pour la maintenance des installations au 1er Janvier 2010. Au cumulé depuis 2000, l'écart avec les déclarations SNEFCCA est de seulement 2 %.

Depuis 2009, l'OFF (Observatoire des Fluides Frigorigènes) de l'ADEME centralise également des déclarations de mises sur le marché et, depuis 2013, dans un nouveau de système déclaratif (SYDEREP). Depuis 2010, les déclarations faites auprès de l'Observatoire des Fluides Frigorigènes sont jugées représentatives par l'ADEME, mise à part l'année 2013 du fait du nouveau système déclaratif mis en place. Cependant des écarts incohérents ont été notés entre les déclarations OFF et l'estimation RIEP mais aussi entre les déclarations OFF et celles du SNEFCCA.

Les quantités mises sur le marché sont définies dans des cadres différents: dans le cas des déclarations à l'OFF, elles englobent à la fois les fluides bruts et les fluides mis sur le marché dans les équipements pré-chargés. De plus, les déclarations de mises sur le marché de fluides bruts sont faites par les producteurs de fluides, mais aussi par les producteurs d'équipements qui peuvent importer ou introduire des fluides pour la fabrication d'équipements pré-chargés en France. Cependant, les producteurs d'équipements pré-chargés déclarent aussi les quantités mises sur le marché par le biais des équipements pré-chargés, ce qui n'est pas pris en compte dans la "demande" estimée par RIEP puisqu'elle traduit seulement le besoin pour la production, la charge et la maintenance en France. Avant 2013, les déclarations des producteurs d'équipements pré-chargés étaient constituées d'une seule indication de mise sur le marché globale. Depuis 2013, les producteurs d'équipements dissocient les volumes de brut et de pré-chargés dans leurs déclarations: il est donc possible d'isoler les quantités de fluides bruts introduites et importées pour la production des équipements de pré-chargés en France de celles contenues dans les équipements mis sur le marché. La "demande" évaluée par RIEP peut donc être reconstituée à partir des données décomposées des déclarations à l'OFF à partir de 2014. Auparavant, les données n'étaient en fait pas comparables.

Par ailleurs, les exportations sont incluses dans les déclarations de mises sur le marché déclarées à l'OFF, ce qui n'est pas le cas, ni dans les déclarations SNEFCCA, ni dans les calculs RIEP.

Se pose également la question des stocks. En considérant que le stock de l'année en cours est soustrait du marché car il ne correspond pas au besoin calculé par RIEP et que le stock de l'année précédente est utilisé pour satisfaire le besoin de l'année en cours, on peut calculer une « demande-OFF-équivalent-RIEP » par :

$$(1) \text{ Demande-OFF}_{\text{RIEP}} = (\text{fabrication} + \text{introduction} + \text{importation} - \text{exportations} + \text{stock}_{n-1} - \text{stock}_n)_{\text{prod fluides}} + (\text{introduction} + \text{importation} - \text{exportations} + \text{stock}_{n-1} - \text{stock}_n)_{\text{producteurs pré-chargés}}$$

En excluant les quantités contenues dans les équipements pré-chargés. Les fichiers détaillés transmis par l'OFF montrent que, ponctuellement, pour certains fluides et certaines années, les stocks peuvent être importants et varier d'une année sur l'autre. Les données sur les stocks fournis par l'OFF pourraient être utilisés pour évaluer également une Demande SNEFCCA corrigée telle que :

$$(2) \text{ Demande-SNEFCCA}_{\text{RIEP}} = \text{Marché-SNEFCCA} + \text{stock}_{n-1} - \text{stock}_n$$

Cependant, les sources étant différentes, pour cette édition d'inventaires, il est choisi de maintenir la comparaison avec les données déclarées par le SNEFCCA et de n'utiliser l'écart des stocks que de façon indicative.

Les figures suivantes permettent de comparer la demande reconstituée par RIEP avec les déclarations au SNEFCCA depuis 2000 ainsi qu'avec la valeur déclarée à l'OFF en 2015.

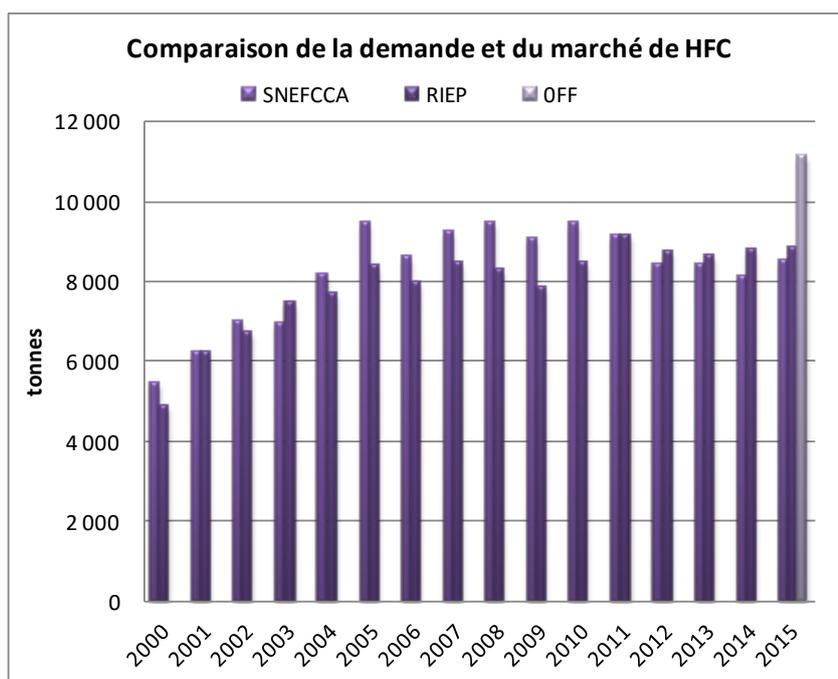


Figure IV-15 - Comparaison de la demande de HFC calculée par RIEP avec les marchés déclarés à l'OFF et au SNEFCCA

Sur l'historique, la demande et le marché de HFC déclaré au SNEFCCA sont cohérents et présentent un écart de seulement 4 % de 2015. En revanche, l'estimation OFF pour l'année 2015 paraît très élevée et demande à être vérifiée. Comme le montre la Figure IV-6 Répartition sectorielle des émissions CO₂ équivalentes de fluides frigorigènes en 2015, l'écart peut provenir d'une erreur de déclaration OFF sur le R-134a car le marché déclaré à l'OFF est supérieur de 80 % au marché déclaré au SNEFCCA.

Depuis 2013, la demande RIEP surestime le marché SNEFCCA de R-134a mais l'estimation 2015 est meilleure, ne présentant un écart que de 16 % avec la valeur déclarée. L'effet de stock sur

2014-2015, de l'ordre de 340 t et pourrait expliquer l'écart (selon (2)).

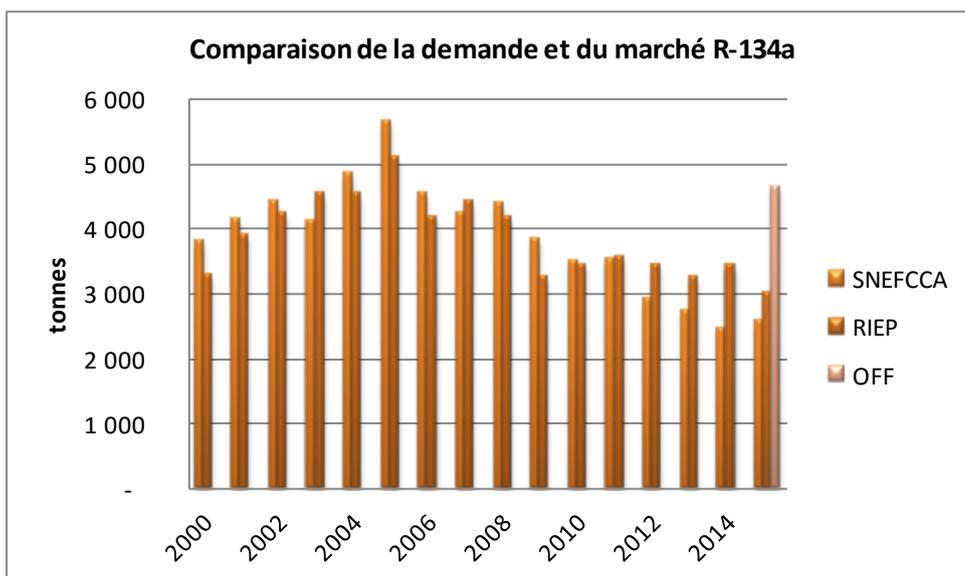


Figure IV-16 – Comparaison du marché et de la demande de R-134a

Les valeurs des déclarations SNEFCCA et OFF sont cohérentes dans le cas du R-404A & R-507. Elles montrent que la demande calculée par RIEP est sous-estimée, de 10 à 15 %. Bien que la tendance de réduction de l'utilisation du R-404A dans les installations neuves de froid commercial et industriel ait été ralentie sur 2014-2015, cette comparaison tend à montrer que les hypothèses considérées sont encore trop optimistes.

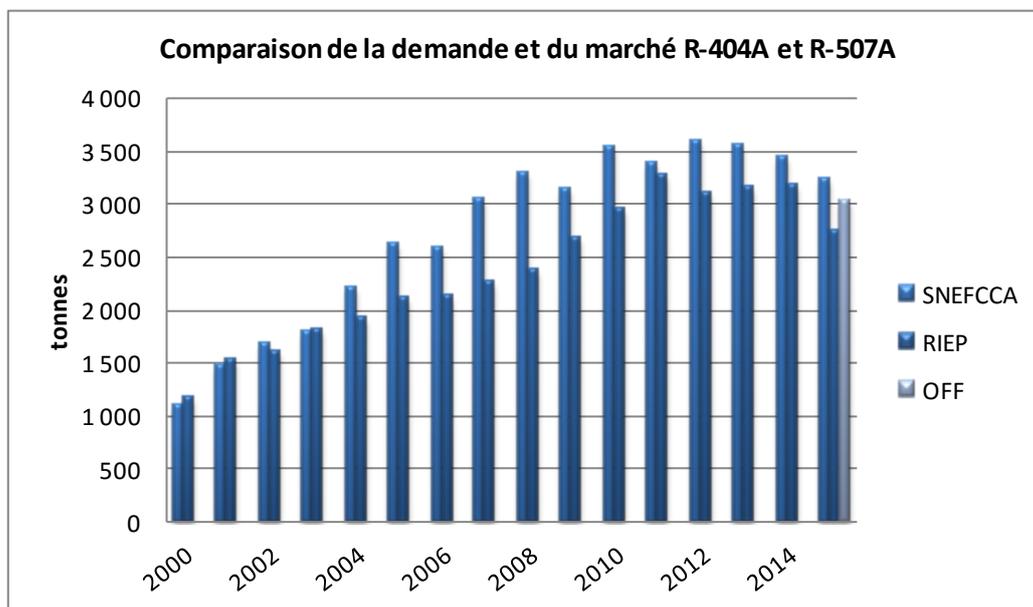


Figure IV-17 - Comparaison de la demande estimée au marché déclaré de R-404A et de R-507A

Les précédentes études d'inventaires ont montré que les niveaux de marchés pour les autres HFC étaient assez bien représentés par le calcul RIEP. Cependant, en 2014, les demandes de R-407C et R-410A calculées par RIEP sous-estimaient les marchés déclarés au SNEFCCA de 10 et 21 % respectivement. Les écarts ont été en partie atténués et les niveaux 2015 sont bien représentés par RIEP comme le montrent les figures suivantes. En revanche, les données OFF font apparaître des marchés déclarés plus faibles pour les deux fluides en 2015.

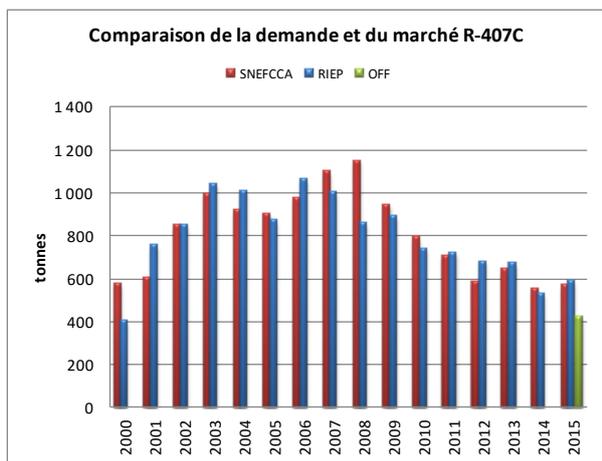


Figure IV-18 — Comparaison de la demande estimée aux marchés déclarés de R-407C

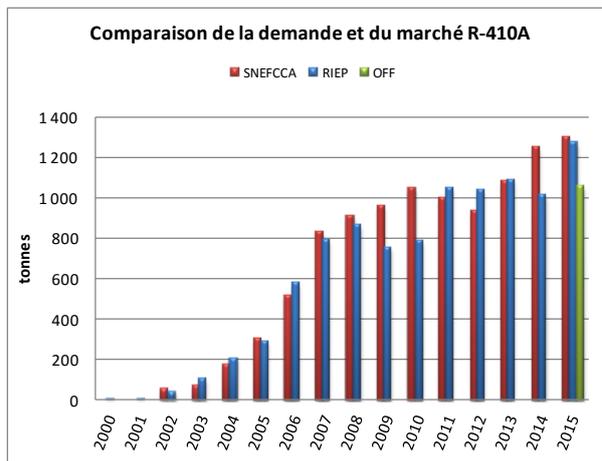


Figure IV-19 — Comparaison de la demande estimée au marché déclaré de R-410A

Depuis 2013, les déclarations faites à l'OFF par les opérateurs distinguent les quantités chargées lors de la mise en service des équipements de celles utilisées pour la maintenance des équipements. L'écart entre les quantités déclarées et calculées de 10 % observé sur 2013-2014 se maintient en 2015 avec un marché déclaré de 6107 t et une demande estimée de 5523 t. Ceci tend à montrer que globalement, les hypothèses prises pour les taux d'émissions des installations sont cohérentes.

IV.1.5 - Récupération des fluides frigorigènes

Les quantités récupérées en fin de vie des équipements sont calculées en fonction de l'estimation de l'efficacité des filières de récupération par secteur, laquelle est basée sur les résultats d'enquête, le plus souvent qualitatifs. A noter, le calcul des quantités récupérées ne peut prendre en compte la part éventuelle des quantités qui pourrait être recyclées par les opérateurs pour la maintenance d'installations sans retour aux distributeurs. Par conséquent, cette estimation est marquée d'une forte incertitude et présente, historiquement, des écarts importants avec les quantités effectivement retournées aux distributeurs. L'écart n'est pas nécessairement émis.

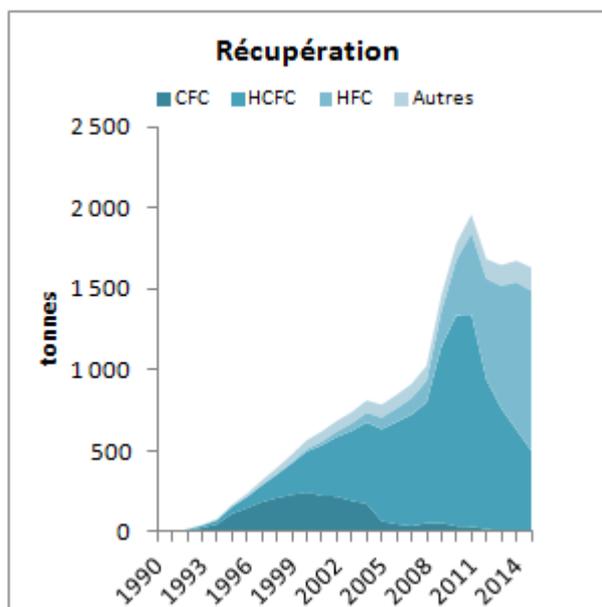


Figure IV-20 Evolution des quantités de fluides frigorigènes récupérées en fin de vie des équipements en France métropole

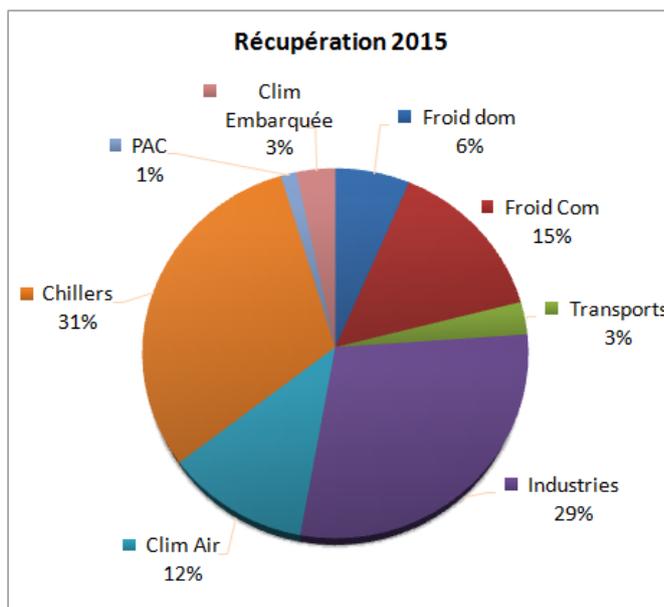


Figure IV-21 Répartition sectorielle des quantités de fluides frigorigènes récupérées en France métropole en 2015

Tableau IV-9 - Evolution quantités de fluides frigorigènes récupérées (en tonnes) en fin de vie des équipements en France métropole

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	-	-	-	-	-
1991	0	0	-	-	0
1992	9	7	-	2	18
1993	26	15	-	4	45
1994	50	25	1	7	82
1995	114	43	2	11	170
1996	148	69	3	18	238
1997	186	103	5	27	320
1998	211	144	7	35	397
1999	230	194	10	47	480
2000	245	252	15	57	568
2001	225	310	24	63	622
2002	220	366	34	67	687
2003	193	429	47	72	742
2004	175	500	61	78	814
2005	69	566	72	82	788
2006	51	628	84	86	849
2007	39	685	102	90	916
2008	55	743	135	95	1 028
2009	58	1 088	219	102	1 467
2010	37	1 299	342	109	1 787
2011	33	1 307	502	120	1 962
2012	20	918	624	125	1 687
2013	8	753	758	132	1 651
2014	0	630	910	137	1 677
2015	-	501	987	147	1 635

Tableau IV-10 - Décomposition des quantités de fluides frigorigènes récupérées de fluides frigorigènes 2015 par fluide (tonnes)

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	486	501
	R-408A	11	
	R-401A	4	
HFC	R-134a	356	987
	R-404A	236	
	R-407C	161	
	R-410A	50	
	R-507	24	
	R-417A	30	
	R-422A	10	
	R-422D	76	
	R-427A	30	
	R-407A	2	
	R-407F	12	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	147
	R-600a	28	
	R-717	116	
	R-744	2	
TOTAL			1635

En 2015, selon les résultats de calcul RIEP, la récupération des fluides frigorigènes concerne majoritairement les HFC (à 60 %). Les secteurs qui apparaissent dominants (Figure IV-21) sont ceux aux installations classées IPCE des chillers et du froid industriel, pour lesquels l'efficacité de récupération a été corrigée lors des inventaires 2014 et est de l'ordre de 95 %.

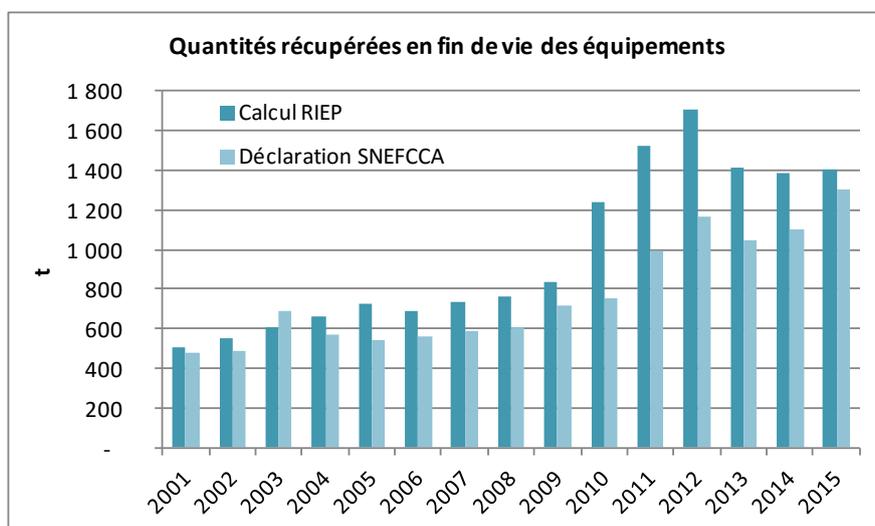


Figure IV-22 Comparaison des quantités récupérées calculées et déclarées de gaz fluorés

En 2015, les quantités récupérées de fluides frigorigènes sont estimées à 1 635 t selon le calcul RIEP et, en ne considérant que les gaz fluorés récupérés dans la filière générale (hors VHU et DEEE), à **1 408 t**. Cette estimation reflète la déclaration SNEFCCA qui évalue à 1 300 t les quantités de HCFC & HFC retournées aux distributeurs en 2015 alors que depuis 2010 le calcul surestimait de plus de 25 % les quantités déclarées (Figure IV-22). Selon les déclarations à l'OFF, les quantités retournées aux distributeurs et fabricants de pré-chargés représentent 1 632 t en 2015. Le rapport de l'observatoire mentionne un écart de 27 % entre les quantités déclarées remises aux distributeurs et les quantités annuelles traitées ou stockées. Par ailleurs, il est nécessaire de vérifier que les quantités déclarées au SNEFCCA tiennent compte des retours au sein des préchargés.

IV.4 – Résultats globaux inventaires 2015 DOM COM

Les modèles de base pris en compte pour les territoires des DOM COM ont été présentés dans le rapport d'Inventaires 2010 [BAR11] et ont peu évolué. Les courbes des modèles "métropole décalé" et "Economy In Transition" ont été maintenues, prolongées sur 2010-2015 et adaptées en fonction des corrections appliquées à la métropole. Les principales mises à jour statistiques concernent les secteurs du froid domestique (mises à jour des recensements INSEE et taux d'équipements en appareil électroménager), du froid commercial (ouvertures de super ou hypermarchés recensées), froid agroalimentaire (mise à jour des productions par le site FAO [FAO15]) et climatisation automobile (données marchés pour les DOM [CCF16]). Les résultats présentés dans cette section concernent la demande totale, la banque et les émissions totales, pour les DOM puis pour les COM, les évolutions des fluides utilisés dans les deux entités étant très différentes. Les résultats communiqués par territoire au CITEPA tiennent compte des résultats total DOM et total COM auxquels est appliqué un ratio basé sur celui des populations.

IV.4.1 - Banque de fluides frigorigènes dans les DOM COM

La banque totale de fluides frigorigènes dans les DOM est estimée à 1 500 t réparties majoritairement dans les secteurs de la climatisation à air (34 %), de la climatisation automobile (25 %) et du froid commercial (19 %). Les fluides les plus utilisés sont le R-134a (32 %), le R-410A (23 %) et le R-404A (19 %).

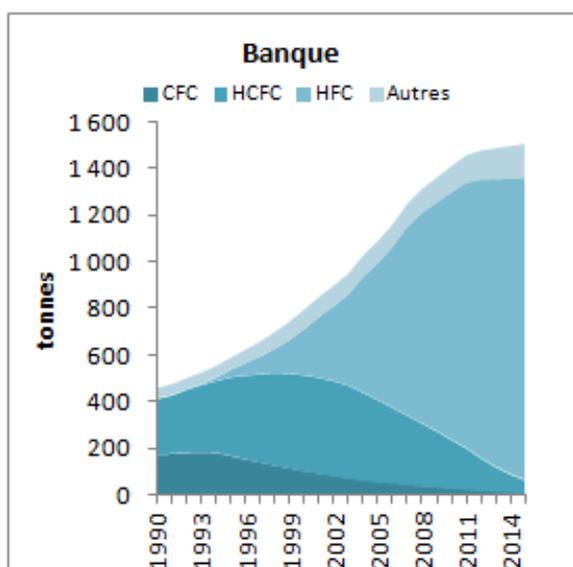


Figure IV-23 Banque de fluides frigorigènes dans les DOM

Tableau IV-11 Banque en tonnes de fluides frigorigènes dans les DOM

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	176	235	-	44	456
1991	179	248	-	46	472
1992	185	266	-	47	498
1993	187	283	3	48	522
1994	183	305	15	49	552
1995	169	334	34	51	587
1996	154	356	54	57	621
1997	141	376	77	63	656
1998	128	394	104	72	698
1999	115	403	146	79	743
2000	102	409	200	84	796
2001	91	409	263	87	850
2002	82	404	323	89	898
2003	72	396	392	90	950
2004	63	374	500	93	1 029
2005	56	349	590	95	1 090
2006	50	323	692	98	1 162
2007	44	296	810	101	1 251
2008	38	268	904	106	1 315
2009	32	240	981	109	1 363
2010	27	209	1 062	115	1 413
2011	23	178	1 138	121	1 460
2012	18	140	1 194	128	1 480
2013	14	106	1 234	135	1 490
2014	11	79	1 268	142	1 499
2015	8	57	1 294	149	1 509

Tableau IV-12 Banque de fluides frigorigènes dans les COM

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	45	70	-	13	129
1991	47	74	-	14	135
1992	50	80	-	14	145
1993	54	85	-	15	154
1994	57	91	0	16	164
1995	61	100	0	16	178
1996	65	106	1	21	193
1997	69	111	2	26	208
1998	72	118	6	34	229
1999	73	123	14	38	248
2000	71	131	26	41	268
2001	66	142	42	41	292
2002	61	151	59	40	311
2003	55	161	78	38	331
2004	49	180	98	36	361
2005	43	191	119	34	386
2006	34	207	144	33	417
2007	27	226	170	32	455
2008	22	237	194	31	484
2009	19	245	214	31	509
2010	15	251	234	33	533
2011	14	255	250	33	552
2012	12	255	263	33	563
2013	10	253	273	34	570
2014	8	249	282	34	574
2015	7	246	291	35	579

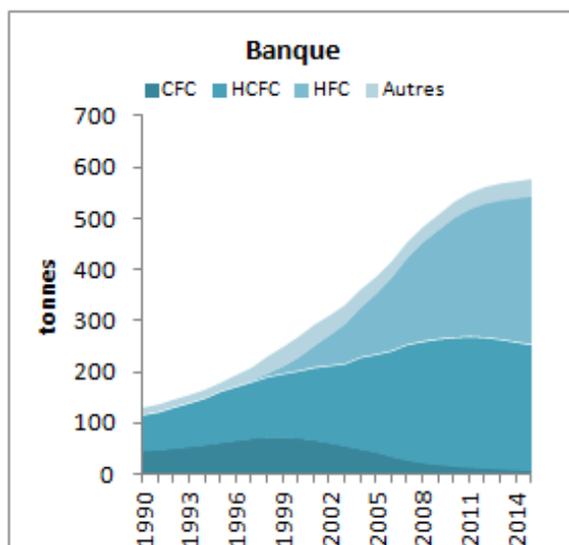


Figure IV-24 Banque de fluides frigorigènes dans les COM

Dans les territoires des COM, la banque des fluides frigorigènes est faible, de seulement 580 t en 2015 réparties majoritairement sur les secteurs de la climatisation automobile (27 %) et climatisation à air (30 %). Elle est majoritairement constituée de R-22 (42 %) et de R-134a (38 %).

IV.4.3 - Emissions totales de fluides frigorigènes dans les DOM COM

Les émissions de fluides frigorigènes dans les DOM représentent 3 % du niveau de la métropole, soit environ 250 t, constituées majoritairement de R-134a (26 %), R-404A (27 %) et R-410A (18 %). Les secteurs les plus émissifs sont le froid commercial (31 %), la climatisation à air (31 %) et la climatisation automobile (20 %).

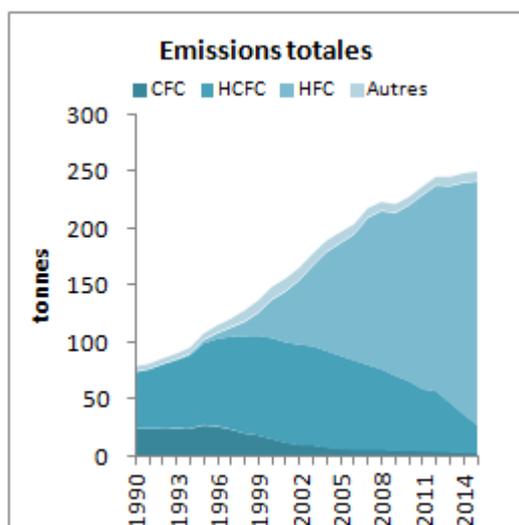


Figure IV-25 Emissions totales en tonnes de fluides frigorigènes dans les DOM.

Tableau IV-13 Emissions totales (tonnes) de fluides frigorigènes dans les DOM

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	25	49	-	4	78
1991	25	52	-	4	81
1992	25	56	-	4	85
1993	25	60	0	5	90
1994	25	64	1	5	95
1995	28	71	3	5	107
1996	27	77	5	6	114
1997	24	81	8	7	120
1998	21	85	13	9	128
1999	19	88	20	10	136
2000	15	89	33	11	148
2001	12	89	44	11	156
2002	10	89	56	10	165
2003	10	88	71	10	178
2004	8	85	87	9	189
2005	6	82	99	9	196
2006	6	79	110	8	203
2007	6	75	129	8	217
2008	6	71	139	7	223
2009	5	66	143	7	221
2010	5	62	154	7	227
2011	5	55	170	7	236
2012	4	54	180	7	245
2013	4	44	190	7	245
2014	3	34	203	8	248
2015	3	25	214	8	249

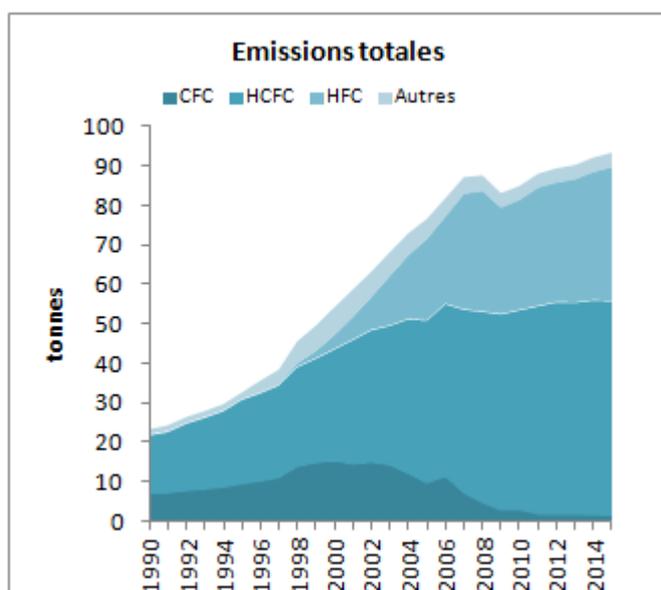


Figure IV-26 Emissions totales en tonnes de fluides frigorigènes dans les COM

Tableau IV-14 Emissions totales (tonnes) de fluides frigorigènes dans les COM

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	7	15	-	1	23
1991	7	16	-	1	24
1992	8	17	-	1	26
1993	8	18	-	1	28
1994	9	19	0	2	29
1995	9	21	0	2	32
1996	10	22	0	3	35
1997	11	23	0	4	38
1998	14	25	1	6	45
1999	15	26	2	7	49
2000	15	28	3	7	54
2001	14	31	6	7	59
2002	15	33	8	7	63
2003	14	35	12	6	68
2004	12	39	16	6	73
2005	10	41	21	5	77
2006	11	44	22	5	82
2007	7	46	29	4	87
2008	5	48	31	4	88
2009	3	50	27	4	83
2010	3	50	28	4	85
2011	2	53	30	4	88
2012	2	54	30	4	89
2013	2	53	31	4	90
2014	2	54	32	4	92
2015	1	54	34	4	93

Les émissions de fluides frigorigènes dans les COM sont évaluées à 1 % du niveau de la métropole, soit environ 93 t, constituées majoritairement de R-22 (58 %) et de R-134a (27 %). Les secteurs les plus émissifs sont le froid commercial (31 %), la climatisation à air (29 %) et la climatisation automobile (23 %).

IV.4.4 - Emissions CO₂ équivalentes de fluides frigorigènes dans les DOM COM

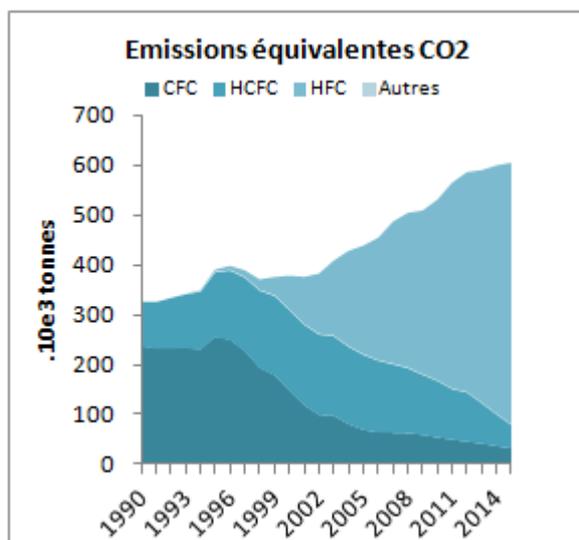


Figure IV-27 Emissions totales équivalentes CO₂ de fluides frigorigènes (milliers de tonnes de CO₂) dans les DOM

Tableau IV-15 Emissions totales équivalentes CO₂ de fluides frigorigènes (milliers de tonnes de CO₂) dans les DOM

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	237	89	-	-	326
1991	232	94	-	-	326
1992	232	102	-	-	334
1993	233	108	0	-	342
1994	230	117	2	-	349
1995	255	130	4	-	390
1996	250	140	8	-	397
1997	227	148	13	-	388
1998	193	156	21	-	370
1999	179	160	36	-	375
2000	148	162	67	0	378
2001	119	161	95	0	375
2002	99	162	121	0	382
2003	98	160	150	0	408
2004	81	155	191	0	427
2005	70	151	218	0	438
2006	64	144	245	0	454
2007	64	137	285	0	486
2008	63	130	311	0	504
2009	59	121	328	0	508
2010	54	113	363	0	530
2011	50	101	413	0	564
2012	46	99	441	0	585
2013	42	81	467	0	589
2014	37	63	499	0	599
2015	32	47	525	0	604

Tableau IV-16 Emissions totales équivalentes CO₂ de fluides frigorigènes (milliers de tonnes de CO₂) dans les COM

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	54	22	-	-	76
1991	54	23	-	-	78
1992	58	26	-	-	84
1993	62	27	-	-	89
1994	65	29	0	-	94
1995	71	32	0	-	104
1996	77	34	0	-	111
1997	84	35	1	-	120
1998	106	38	1	-	145
1999	114	40	3	-	157
2000	118	42	5	-	166
2001	112	47	8	-	167
2002	116	50	12	-	178
2003	111	53	18	-	181
2004	94	58	24	-	176
2005	75	61	30	-	166
2006	90	65	32	-	187
2007	56	69	42	-	168
2008	38	72	44	-	155
2009	23	74	39	-	137
2010	24	76	41	-	140
2011	14	79	44	-	138
2012	15	80	45	-	141
2013	14	80	47	-	142
2014	13	81	49	-	143
2015	12	81	51	0	144

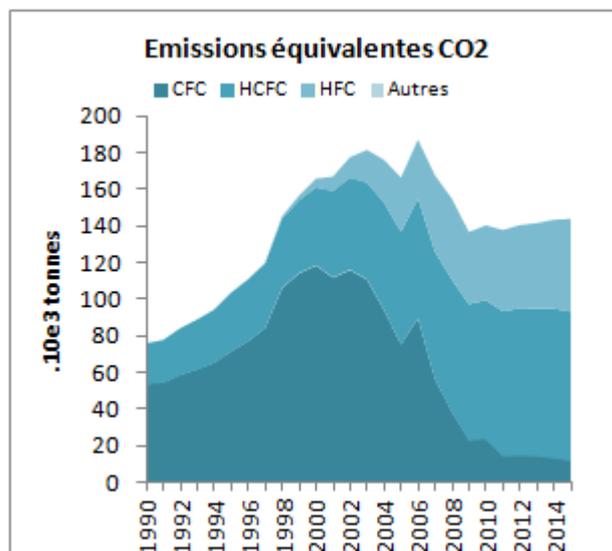


Figure IV-28 Emissions totales équivalentes CO₂ de fluides frigorigènes (milliers de tonnes de CO₂) dans les COM

En équivalent CO₂, les émissions totales des DOM sont estimées à 600 000 tonnes, en tenant compte des PRG du 4^{ème} rapport du GIEC, soit 3,6 % du niveau de la métropole. Pénalisé par son PRG, le R-404A domine les émissions CO₂ à 43 % et le froid commercial la répartition sectorielle à 43 %.

Dans les COM, les émissions de fluides frigorigènes sont estimées à 145 000 tonnes de CO₂ équivalent, soit moins de 1 % des émissions de la métropole. Elles sont dominées à 56 % par le R-22 et, d'un point de vue sectoriel à parts égales par la climatisation à air et le froid commercial.

IV.4.1 - Demande totale en fluides frigorigènes dans les DOM COM

La demande totale en fluides frigorigènes pour les DOM est estimée à 235 tonnes en 2015, correspondant à 2 % du niveau de la métropole.

Tableau IV-17 Demande totale en tonnes de fluides frigorigènes dans les DOM

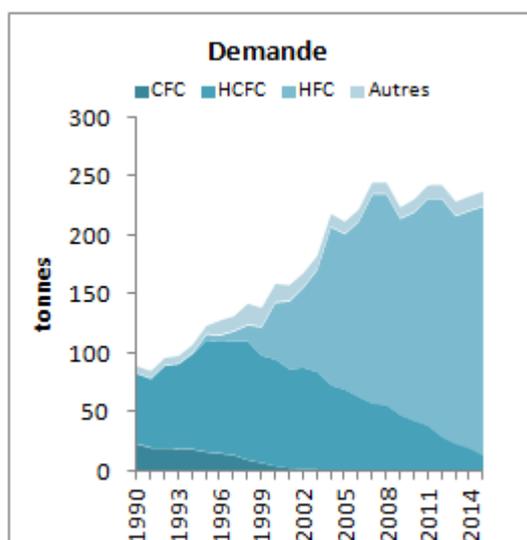


Figure IV-29 Demande totale en tonnes de fluides frigorigènes dans les DOM

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	23	59	-	6	88
1991	19	59	-	6	84
1992	19	70	-	6	95
1993	19	72	0	6	97
1994	18	81	1	6	106
1995	16	96	5	6	122
1996	14	95	5	12	127
1997	13	98	8	12	130
1998	9	102	13	17	141
1999	6	92	24	15	138
2000	3	91	48	15	158
2001	2	85	57	13	157
2002	1	87	67	12	167
2003	0	84	86	11	182
2004	0	73	134	11	217
2005	0	69	132	10	211
2006	0	63	149	10	221
2007	0	57	178	9	244
2008	-	56	179	9	244
2009	-	48	166	9	223
2010	-	43	176	10	230
2011	-	39	193	10	242
2012	-	29	202	11	242
2013	-	23	193	12	228
2014	-	20	201	12	232
2015	-	13	211	12	236

Tableau IV-18 Demande totale en tonnes de fluides frigorigènes dans les COM

	CFC	HCFC	HFC	Autres	Total
1990	7	18	-	2	26
1991	7	18	-	2	27
1992	8	21	-	2	31
1993	8	22	-	2	32
1994	8	24	0	2	34
1995	9	29	0	2	40
1996	9	27	0	8	44
1997	10	27	0	7	45
1998	10	32	2	13	57
1999	10	30	3	11	53
2000	11	34	4	10	60
2001	10	40	5	9	63
2002	10	41	7	7	65
2003	9	41	13	6	70
2004	6	53	19	6	84
2005	4	49	25	5	83
2006	4	58	22	5	89
2007	1	60	33	5	99
2008	0	60	31	5	96
2009	0	60	21	5	85
2010	0	57	22	6	84
2011	0	57	25	4	87
2012	0	58	25	4	88
2013	-	50	26	4	80
2014	-	53	25	4	82
2015	-	54	25	4	84

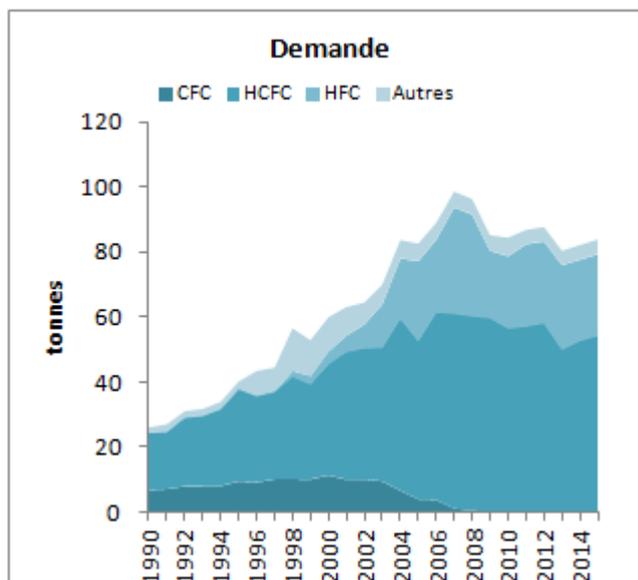


Figure IV-30 Demande totale de fluides frigorigènes dans les COM

Dans les COM la demande est de l'ordre de 80 tonnes par an, soit moins de 1% du niveau de la métropole. La demande en HCFC est encore dominante (64%) car les territoires ne sont pas assujettis à la réglementation nationale. Dans le DOM comme dans les COM, ce sont les secteurs de la climatisation et du froid commercial qui sont les plus consommateurs de fluides frigorigènes et les trois quarts de la demande sont utilisés pour la maintenance du parc d'installation.

IV.4.5 - Quantités de fluides frigorigènes récupérées dans les DOM COM

Les quantités de fluides frigorigènes récupérées dans les DOM et dans les COM sont très faibles, estimées à 1 t en 2015 pour les COM et 9 t pour les DOM, les filières de récupération n'étant pas mises en place ou peu efficaces.

V. LE FROID DOMESTIQUE

V.1 - Méthode de calcul

En froid domestique, deux types d'équipements sont pris en compte :

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

La méthode de calcul générale est appliquée (Figure V-1).

Dans ce domaine, la charge est caractérisée par la donnée :

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

Etant donné que la technologie de ce type d'appareil n'évolue pas, les ratios de charges et volumes moyens sont considérés constants au cours du temps.

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.

Le calcul de la banque s'appuie alors sur :

- la donnée des marchés d'équipements (importations incluses) ;
- l'estimation des parts de marchés des fluides sur le marché neuf des équipements (répartition massique);

Les émissions sont calculées en considérant que:

- le niveau des émissions à la charge est constant, égal à **2%** de la charge, ces équipements étant chargés d'usine;
- le taux d'émissions fugitives est équivalent au taux de panne des appareils, les systèmes étant hermétiques et la maintenance 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, donc très faible dans ce secteur.

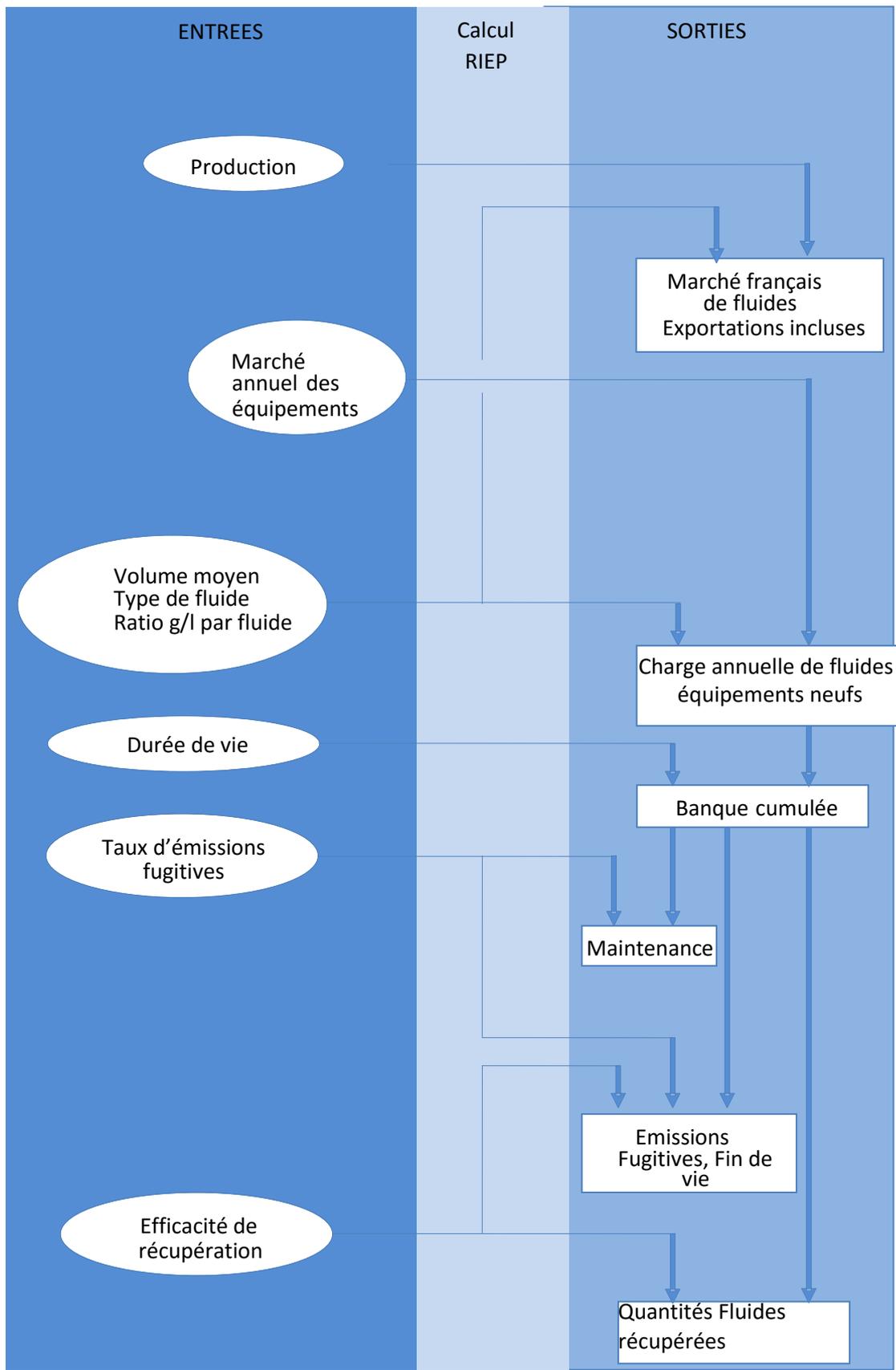


Figure V-1 - Organigramme de la méthode de calcul utilisée pour le froid domestique

V.2 - Le froid domestique en France en 2015

V.2.1 - Contexte

La réglementation européenne CE 517/2014 interdit la mise sur le marché des réfrigérateurs et congélateurs domestiques contenant un fluide frigorigène de PRG supérieur à 150 depuis 1er Janvier 2015. En France, ce secteur était fortement utilisateur d'hydrocarbures (R-600a) depuis plusieurs années et la transition s'est rapidement faite du R-134a au R-600a.

V.2.2 - La production

Le froid domestique est un secteur dont la production a cessé en France en 2005, la production française des réfrigérateurs et congélateurs est donc nulle.

V.2.3 - Les ventes

L'estimation du marché d'équipements de froid domestique est basée sur les statistiques du GIFAM (Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'Équipement Ménager) [GIF15] qui donne chaque année 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.

En 2015, le marché des réfrigérateurs est en augmentation de 1 % par rapport à 2014 et celui des congélateurs de 0,5 %. Il est largement dominé par les congélateurs de type armoire.

Tableau V-1 – Ventes des constructeurs aux réseaux de distribution [GIF15]

Marchés équipements neufs	2014	2015	2014/2015
Réfrigérateurs	2 594 000	2 620 000	+ 1 %
Congélateurs	707 000	711 000	+0,5 %

Les statistiques du Tableau V-1 sont celles publiées par le GIFAM et tiennent compte des ventes aux territoires des DOM COM. La part relative à la métropole est estimée en fonction des populations et représente environ 96 % des ventes.

V.2.4 - Les fluides utilisés

Depuis l'entre en vigueur de la nouvelle réglementation F-Gas, les fluides de PRG supérieur à 150 ne sont plus autorisés à être mis sur le marché des équipements de froid domestique. En 2015, tous les équipements utilisent du R-600a.

V.2.5 - Evaluation de la charge

Dans le secteur du froid domestique, la charge moyenne des appareils est considérée constante. 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 V-2.

Tableau V-2 – Caractéristiques des équipements de froid domestique pris en compte dans le calcul

	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

V.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 V-2) ; elle permet de répartir sur 10 ans la fin de vie d'un millésime d'équipements.

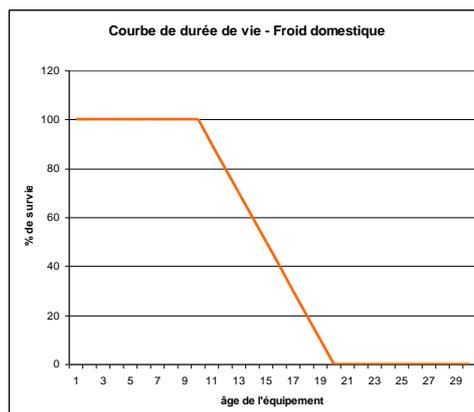


Figure V-2 – Courbe de durée de vie des équipements de froid domestique

V.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 un défaut initial de brasure. Le taux d'émissions fugitives est donc assimilé à la fréquence de défaillance des équipements : il est considéré stable, de l'ordre de 0,01 % correspondant à 1 défaillance sur 10 000 appareils. Cette hypothèse est assez ancienne, basée sur une enquête auprès du service après vente. A la suite de la revue d'experts de la CNUCCC, il a été suggéré de réaliser une nouvelle enquête, lors de la prochaine étude d'inventaires afin de vérifier cette hypothèse.

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

Depuis la mise en place de la filière DEEE depuis 2007 imposée par la réglementation [DEC05], des éco-organismes assurent la collecte, le recyclage et le suivi des quantités récupérées. Les résultats de la filière sont publiés par l'ADEME [FAN16]. Les quantités cumulées de CFC, HCFC, HFC et HC extraits en première phase de dépollution des appareils de froid domestique sont récapitulées depuis 2007 au Tableau V-3.

Tableau V-3 – Quantités annuelles de CFC, HCFC, HFC et HC extraits en première phase de dépollution des appareils de froid domestique déclarées par l'ADEME

Valeurs DEEE	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Quantités récupérées (t)	137	235	151	103	124	122	137	127	136

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. En se basant sur une durée de vie moyenne de 15 ans, on peut donc estimer l'efficacité de récupération de la filière à 40 % pour 2015. Les valeurs calculées sont présentées au Tableau V-4.

Tableau V-4 - Efficacité de récupération

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Efficacité de récupération	2,2 %	2,5 %	5 %	15 %	26 %	26 %	36 %	35 %	40 %	37 %	40 %

V.3 - Résultats Froid domestique Inventaires métropole 2015

V.3.1. La banque

Le parc des appareils de froid domestique se renouvelle progressivement et est désormais dominé par les appareils utilisant des hydrocarbures (R-600a). Le ratio de charge de ces appareils étant plus faible que ceux fonctionnant au R-12 ou R-134a, la banque totale de fluides frigorigènes est en décroissance (Figure V-3), d'environ 5 % par an. Elle est estimée à 2 700 t en 2015, composée à plus de deux tiers de R-600a (Tableau V-5).

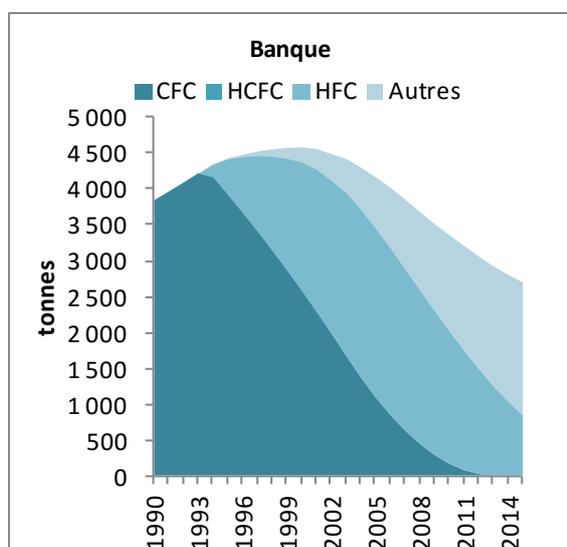


Figure V-3 – Evolution de la banque de fluides frigorigènes en froid domestique

Tableau V-5 – Banque 2015 (tonnes) en Froid Domestique

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	0	0
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	838	838
	R-404A	0	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
	R-1234yf	0	
	Autres	R-290	
R-600a		1 861	
R-717		0	
R-744		0	
TOTAL			2 699

V.3.2. La demande

La demande est constituée des faibles quantités nécessaires à la maintenance des équipements (300 kg), la demande pour les équipements neufs étant nulle puisque la production d'équipements de froid domestique s'est arrêtée en France en 2005.

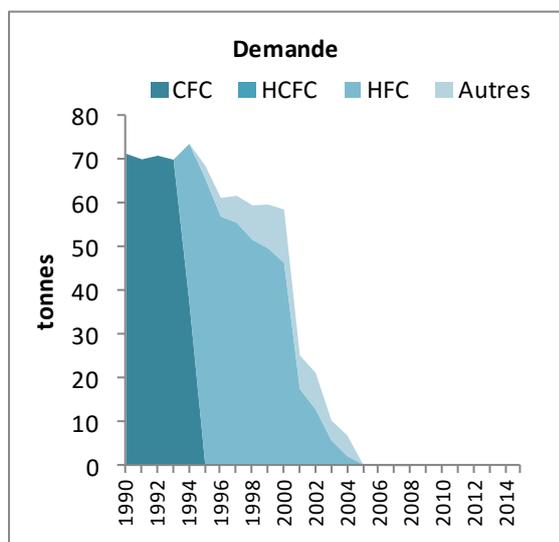


Figure V-4 - Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes en froid domestique

Tableau V-6 - Demande totale 2015 (tonnes) – Froid domestique

CFC	R-12	0,0	0,0
HCFC	R-22	0,0	0,0
	R-408A	0,0	
	R-401A	0,0	
HFC	R-134a	0,1	0,09
	R-404A	0,0	
	R-407C	0,0	
	R-410A	0,0	
	R-507	0,0	
	R-417A	0,0	
	R-422A	0,0	
	R-422D	0,0	
	R-427A	0,0	
	R-407A	0,0	
	R-407F	0,0	
	R-1234yf	0,0	
Autres	R-290	0,0	0,21
	R-600a	0,2	
	R-717	0,0	
	R-744	0,0	
TOTAL			0,30

V.3.3. Les émissions totales

Les émissions sont constituées à 99,8% par les émissions de fin de vie des équipements, les systèmes étant hermétiques. Elles sont faibles, de l'ordre de 158 tonnes en 2015, étant donnée l'efficacité croissante de la filière DEEE.

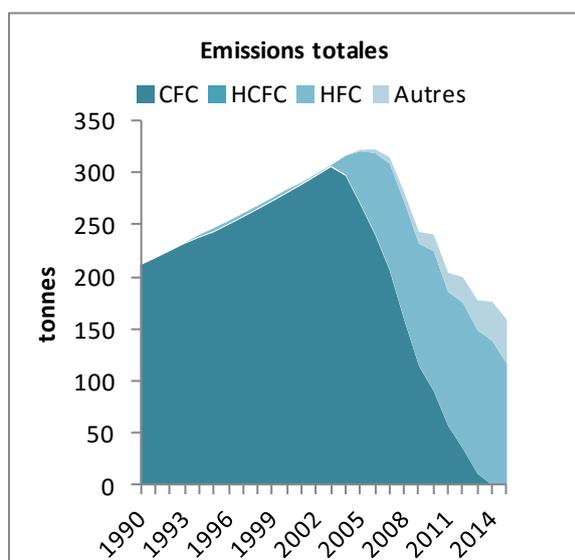


Figure V-5 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes du froid domestique

Tableau V-7 - Emissions totales 2015 (tonnes) – Froid domestique

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	0	0
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	116	116
	R-404A	0	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
	R-1234yf	0	
Autres	R-290	0	42
	R-600a	42	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			158

V.3.4. Les émissions en équivalent CO₂

Alors qu'elles culminaient à plus de 3,3 millions de tonnes de CO₂ en 2003, les émissions du froid domestique ne représentent plus en 2015 que 190 000 tonnes de CO₂ et sont amenées à décroître encore avec la généralisation de l'utilisation du R-600a (Figure V-6).

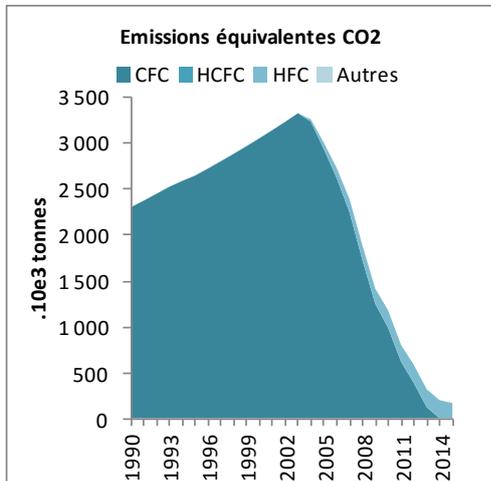


Figure V-6 - Evolution des émissions totales en éq. CO₂ en froid domestique

Tableau V-8 - Emissions totales en milliers de tonnes équivalentes CO₂ 2015 – Froid domestique

CFC	R-12	0	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	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
	R-1234yf	0	
Autres	R-290	0	0
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			166

V.3.5. Les quantités récupérées

Une erreur concernant l'efficacité de récupération 2014 s'était glissée dans la base de données. Les quantités de fluides frigorigènes récupérées en fin de vie des équipements de froid domestique sont en forte augmentation. Elles sont estimées à 112 t et désormais dominées par le R-134a à 79 %.

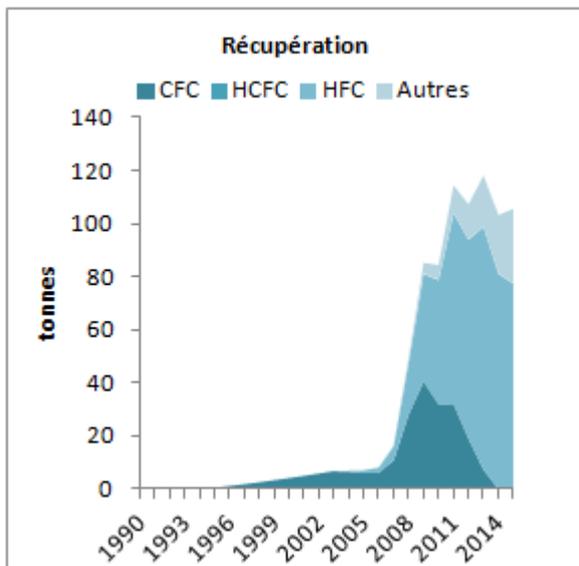


Figure V-7 - Evolution des quantités récupérées en froid domestique

Tableau V-9 - Quantités récupérées 2015 (tonnes) – Froid domestique

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	0	0
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	77	77
	R-404A	0	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
	R-1234yf	0	
Autres	R-290	0	28
	R-600a	28	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			105

VI. LE FROID COMMERCIAL

VI.1 - Méthode de calcul et hypothèses

VI.1.1. 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. Un nouveau groupe de magasins, s'apparentant aux entrepôts, est pris en compte depuis les inventaires 2012, son parc devenant significatif. Il s'agit des magasins "Drive" [LSA13].

Tableau VI-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	Groupe 4 Drive
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*	Magasins Drive

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

VI.1.2. Résumé de la méthode

Les installations de froid commercial sont chargées sur site, sauf les armoires et vitrines utilisant des groupes hermétiques, qui 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 du froid commercial sont rappelés Figure VI-1 pour le cas des super et hypermarchés. Dans le cas des petits commerces, les principes sont les mêmes, sauf 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 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 est associée aux quantités résiduelles dans les équipements 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 retrofit 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 retrofits 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.

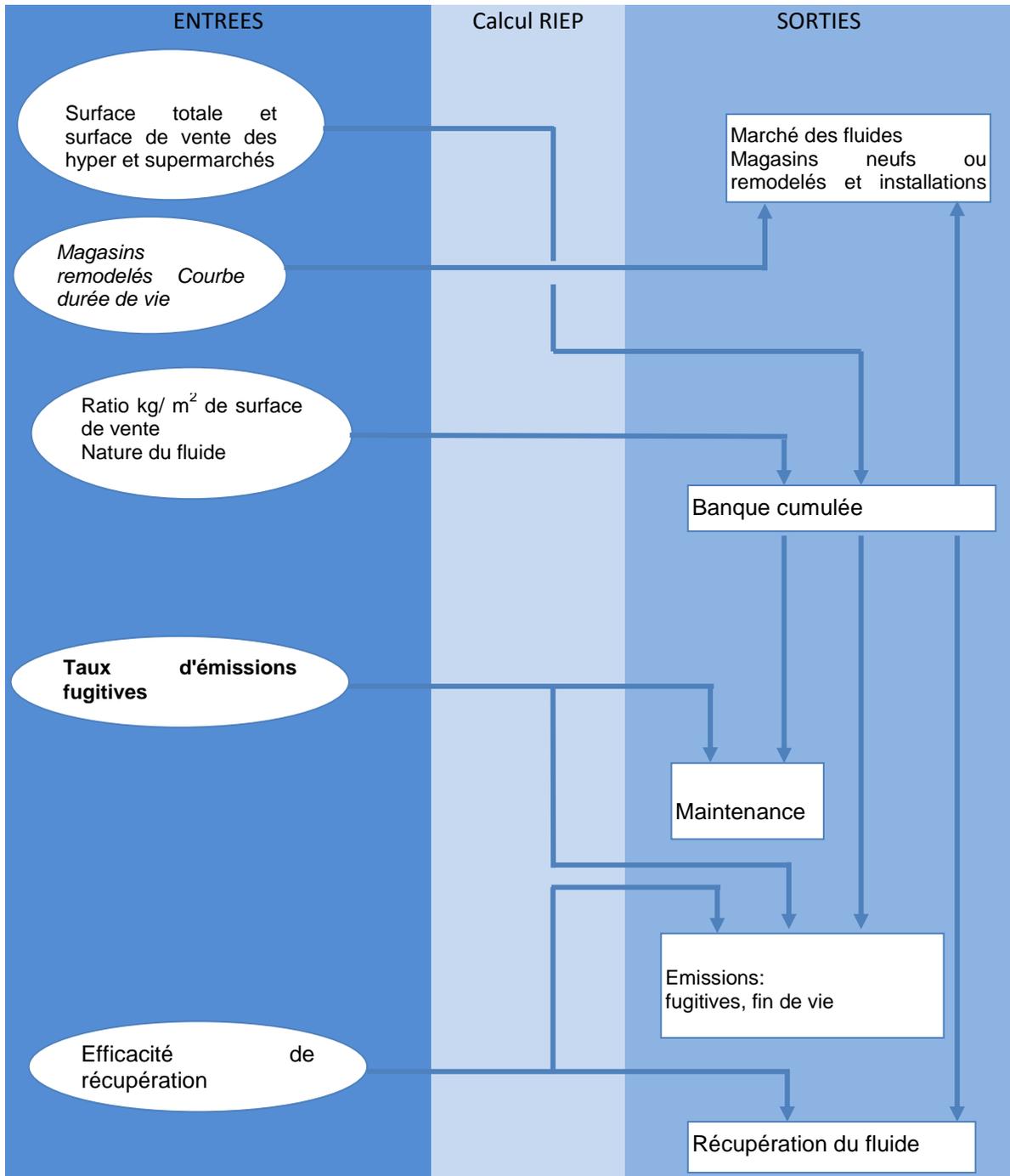


Figure VI-1 - Organigramme de la méthode utilisée pour le secteur du froid commercial

VI.2. Le froid commercial en France en 2015

VI.2.1. Evolution du parc

Petits commerces

Plusieurs sources de données sont utilisées sur l'historique afin de retracer l'évolution du parc et estimer chaque année les nouvelles installations liées aux créations ou agrandissements de magasins: l'INSEE et sa Base Permanente des Equipements, la CGAD (Confédération Générale de l'Alimentation en Détail) et ses rapports de branche, LSA et l'Atlas de la distribution, l'OPC (Observatoire Prospectif du Commerce), notamment.

En 2015, les marchés ont été estimés en se basant sur les sources:

- LSA pour le nombre de supérettes et magasins de surgelés [LSA16]
- Themavision pour le parc de maxidiscomptes et des magasins drives [THE16],
- Les données globales de la CGAD pour les petits commerces; l'estimation de ce marché est marqué d'une plus grande incertitude;
- l'ordre de grandeur du parc de distributeurs automatiques réfrigérés publié en 2012 sur le site de la NAVSA (chambre syndicale Nationale de Vente et Services Automatiques) [NAV12]

L'évolution du parc, associée à une hypothèse de renouvellement des équipements tous les 15 ans permet d'estimer les marchés d'équipements en 2015 (Tableau VI-2).

Tableau VI-2 – Marchés d'équipements pour les petits commerces en 2015

2015	Groupe 1 Type supérette	Groupe 2 Type petit commerce spécialisé	Groupe 3 Type distributeur automatique	Groupe 4 "Drive"
Nombre de nouveaux équipements (renouvellement inclus)	740	5 600	15 800	3 325

Supermarchés et hypermarchés

Dans le cas des super et hypermarchés, le calcul nécessite de connaître les nouvelles surfaces de vente. Jusqu'en 2009, l'INSEE publiait les valeurs exactes. Depuis 2010, différentes sources sont utilisées afin de reconstituer les nouvelles surfaces de vente, connaissant l'évolution du parc. Une incertitude est attribuable aux surfaces car les données disponibles concernent généralement les surfaces moyennes des magasins sur le parc et non les surfaces moyennes des nouveaux magasins. La mise à jour 2015 tient compte des données publiées par Themavision [THE16] et est présentée au Tableau VI-3.

Tableau VI-3 – Nouvelles surfaces de ventes en froid commercial centralisé en France en 2015

2015	Hypermarchés	Supermarchés
Parc de magasins	2 106	5 889
Surface moyenne par magasin (m ²)	5 344	1 285
Nouvelles surfaces de vente (m ²)	220 280	121 845
Nouvelles surfaces de vente incluant le renouvellement (m ²)	709 000	626 000

VI.2.3. Hypothèses concernant les fluides utilisés et les structures d'installations

Selon les résultats d'enquête, les tendances se poursuivent avec notamment:

- Des systèmes utilisant le R-744 en détente directe pour le froid négatif en cascade² sur un système au R-134a ou R-134a/eau glycolée en froid positif ;
- Des équipements avec de faibles charges de propane sont utilisés dans les vitrines réfrigérées;
- Quelques retrofits d'installations utilisant le R-404A avec des fluides à PRG inférieur à 2000 tels que le R-442A [GRO15] ou le R-407F.
- Mais encore des installations neuves ou renouvelées avec du R-404A.

Les hypothèses de calcul ont été revues sur 2013-2015 afin de prendre en compte une réduction plus progressive de l'usage du R-404A dans les installations neuves des super et hypermarchés.

Concernant les derniers renouvellements des installations aux HCFC, le retrofit du R-22 par du R-404A reste la solution la moins coûteuse puisqu'on peut changer le fluide sans modifier l'installation et tout en conservant une puissance frigorifique quasi équivalente. Les fluides de remplacement sont aussi utilisés dans cette configuration mais en froid négatif ils impliquent une perte de puissance frigorifique. Le R-407F et du R-407A, à PRG plus faibles que les R-422D, sont désormais davantage utilisés en remplacement du R-22 comme du R-404A. Les hypothèses prises pour la conversion de la banque de R-22 sont présentées au Tableau VI-5.

Tableau VI-4 – Fluides sur le marché neuf en hypermarchés

Nouvelles installations hypermarchés	R-404A/ R-507	R-134a	R-407F	CO ₂	R-717
2014	25 %	33 %	6 %	35%	1 %
2015	20 %	38 %	6 %	35%	1 %

Tableau VI-5 – Fluides utilisés pour les conversions d'installations au R-22 en hypermarchés

Conversions installations hypermarchés R-22	Part de la banque de R-22 retrofitée	Vers du R-404A	Vers des fluides de remplacement	Vers du R-407A ou R-407F	Renouvellement vers du R-134a
2015	50 %	2 %	4 %	40 %	4 %

En supermarchés, la tendance des installations centralisées des supermarchés se distingue de celles des hypermarchés par les points suivants :

- les fluides de remplacement sont davantage utilisés, notamment le R-407A et R-407F;
- pour les petites surfaces, depuis 2009, les systèmes directs au R-134a sont de plus en plus utilisés;
- les systèmes cascade CO₂ sont moins utilisés.

La prise en compte de ces éléments est présentée dans les hypothèses utilisées pour les calculs présentés Tableau VI-6 et Tableau VI-7.

² Un système cascade comporte deux fluides distincts, l'un adapté à la haute température, l'autre à la basse température, le fluide « haute température » condense le fluide basse température en s'évaporant dans un évapo-condenseur. Le système cascade utilise du CO₂ dans la centrale négative fonctionnant en cascade avec une centrale positive en détente directe ou en configuration indirecte avec un HFC ou du R-717, il forme une alternative aux systèmes classiques utilisant le R-404A.

Tableau VI-6 – Fluides sur le marché neuf en supermarchés

Nouvelles installations supermarchés	R-404A	R-134a	CO ₂	Autres
2014	25 %	45 %	25 %	5 %
2015	25 %	45 %	25 %	5 %

Tableau VI-7 – Fluides utilisés pour les conversions d'installations au R-22 en supermarchés

Conversions installations R-22 supermarchés	Part de la banque de R-22 retrofitée	Vers du R-404A	vers fluides de remplacement	Vers du R-407A ou R-407F
2015	95 %	6 %	4 %	85 %

En commerces de proximité

Dans les équipements des petits commerces, le CO₂ et les hydrocarbures (R-290, R-600a) récemment introduits sur le marché [CLO12] continuent leur progression [MAR16].

Dans les GROUPES HERMETIQUES:

- les congélateurs et distributeurs de glace utilisent le R-600a, le R-290 ou le R-134a pour les faibles puissances frigorifiques, le R-404A pour les plus grandes;
- dans les distributeurs automatiques, le R-290 et le CO₂ commencent à être significativement utilisés dans les équipements neufs;
- les vitrines réfrigérées utilisent des hydrocarbures, en général R-290 pour des charges inférieures à 1kg (petites puissances) et du R-134a ou R-404A pour les charges allant jusqu'à 2 kg.

Dans les GROUPES DE CONDENSATION

Le R-134a et R-404A sont principalement utilisés. Il existe quelques nouvelles offres d'équipements aux hydrocarbures et au CO₂.

En 2015, les hypothèses présentées au Tableau VI-7 sont prises en compte.

Tableau VI-8 Fluides utilisés dans les équipements des petits commerces en 2015

Nouveaux équipements 2015	R-404A	R-134a	R-290	R-600a	CO ₂
Groupes hermétiques	33%	42 %	15 %	10 %	-
Groupes hermétiques des distributeurs automatiques	-	86 %	9 %	-	5 %
Groupes de condensation	50 %	50 %	-	-	-

VI.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 VI-2 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.

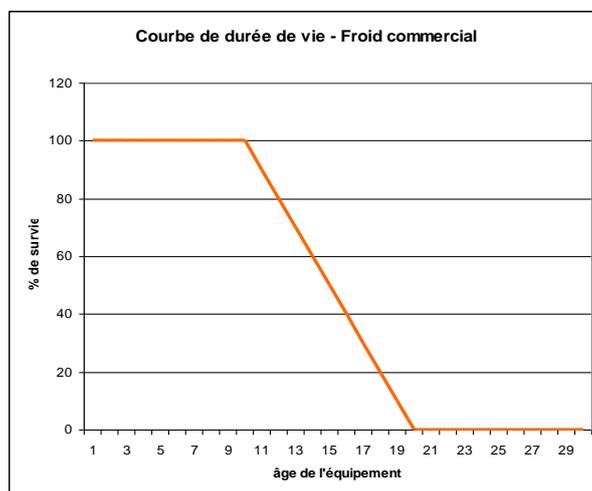


Figure VI-2 – Courbe de durée de vie des équipements de froid commercial

VI.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. Depuis le début de l'introduction des systèmes indirects et en cascade, la tendance de ce ratio est décroissante. En 2015 les systèmes en cascade et indirects représentent 90 % des installations neuves. La tendance appliquée aboutit aux ratios donnés au Tableau VI-9.

Tableau VI-9 – Correction des ratios de charge surfaciques en super et hypermarchés

	Supermarchés	Hypermarchés
2000	0,29	0,27
2008	0,23	0,19
2015	0,18	0,13

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. La dernière enquête de terrain en petits commerces avait montré une tendance nette à la réduction des charges, notamment pour les groupes de condensation équipant les supérettes dont la charge moyenne était réduite de 129 kg en 2000 à 20 kg en 2011. Le niveau est maintenu sur 2011-2015. Pour les magasins "Drive", la charge moyenne a été établie en fonction des données fournies par JCI [PHI14] lors des inventaires 2012 [BAR12] et évaluée à 200 kg.

Tableau VI-10 – Charges moyennes des systèmes frigorifiques des commerces de proximité en 2015

Charge (kg)	Groupe 1 (type supérettes)	Groupe 2 (petits commerces spécialisés)	Groupe 3 (distributeurs automatiques)	Groupe 4 (Drive)
Groupes hermétiques	2,8	1,4	0,3	0
Groupes de condensation	20	3,5	0	200

VI.2.6. Taux d'émissions

Supermarchés et hypermarchés

Lors des précédentes études d'inventaires, des données détaillées des consommations de fluides frigorigènes par magasin ont pu être obtenues sur plusieurs centaines de magasins. Par ailleurs, des données ont été obtenues du ministère, issues du contrôle de magasins choisis aléatoirement. Ces données ont permis, lors des inventaires 2012 de corriger les taux d'émissions des super et hypermarchés sur l'historique et de mieux approcher la demande déclarée de R-404A.

Depuis les inventaires 2014, étant donné les résultats positifs obtenus dans la dernière enquête, la baisse des taux d'émissions a été entamée.

En 2015, l'enquête auprès des grandes chaînes de magasins montre que la gestion des fuites s'améliore et que les magasins commencent à s'équiper de systèmes experts permettant de détecter les petites fuites et d'améliorer le suivi de l'étanchéité de l'installation [BLA16]. Les consommations de fluides frigorigènes s'en trouvent globalement améliorées.

Dans l'attente de résultats plus détaillées, la baisse des taux d'émissions est poursuivie, lentement, tel que proposé au tableau suivant.

Tableau VI-11 Correction taux d'émissions des installations centralisées de froid commercial

Taux d'émissions	Supermarchés	Hypermarchés
1990-2012	30 %	35 %
2014	29 %	34 %
2015	28 %	33 %

Commerces de proximité

Comme pour le froid centralisé, les groupes de condensation étant fortement utilisateurs de R-404A, leur taux d'émission a été corrigé et maintenu au niveau de 1990, à 15 %, à la suite de l'étude paramétrique d'impact des taux d'émissions des équipements utilisant les R-404A sur l'écart entre le marché déclaré et la demande reconstituée [BAR12]. La tendance a été maintenue sur 2015.

Tableau VI-12 –Taux d'émissions fugitives prises en compte dans le calcul 2015

Commerces de proximité	Taux d'émissions fonction de la charge nominale
Groupes hermétiques	1 %
Groupes de condensation	15 %

VI.2.7. Efficacité de récupération

Une efficacité de récupération de 80 % est considérée depuis plusieurs années pour les installations centralisées en fin de vie, traduisant l'intervention de sociétés certifiées au fait des obligations réglementaires. 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. Étant 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 VI-13.

Tableau VI-13 – Efficacités de récupération prises en compte dans le calcul

2015	Hypermarchés et supermarchés	Groupes de condensation	Groupes hermétiques
Taux de récupération fonction de la charge restante	81 %	42 %	18 %

VI.3 - Résultats Froid commercial Inventaires 2015 France métropole

VI.3.1 – La banque

La banque de froid commercial, évaluée à 6 950 t en 2015, est en croissance de 2 % par rapport à 2014, notamment du fait de la forte croissance des parcs de supermarchés, hypermarchés et magasins drive.

Le rythme régulier de retrofits des installations aux HCFC a permis d'en éradiquer quasi totalement la banque qui représente moins de 1 % de la banque de froid commercial en 2015. Le R-404A constitue désormais les trois quarts de la banque, cependant la croissance de la part du R-134a se confirme (14 % de la banque 2015).

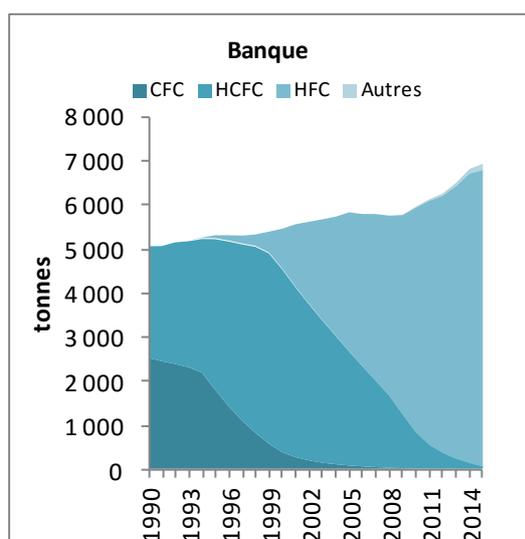


Figure VI-3 - Evolution de la banque (en tonnes) de fluides frigorigènes de froid commercial

Tableau VI-14 - Banque 2015 en tonnes – Froid commercial

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	24	67
	R-408A	27	
	R-401A	16	
HFC	R-134a	970	6 729
	R-404A	5 273	
	R-407C	6	
	R-410A	21	
	R-507	283	
	R-417A	3	
	R-422A	5	
	R-422D	18	
	R-427A	7	
	R-407A	10	
	R-407F	134	
	R-1234yf	0	
	Autres	R-290	
R-600a		9	
R-717		8	
R-744		121	
TOTAL			6 948

VI.3.2 – La demande

La demande totale en fluides frigorigènes est estimée à 2 400 t pour 2015, dominée à 73 % par le R-404A. En 2015, plus des deux tiers de la demande totale sont utilisés pour la maintenance des installations et seulement 2 % au retrofit des installations, une grande partie du parc ayant déjà été convertie.

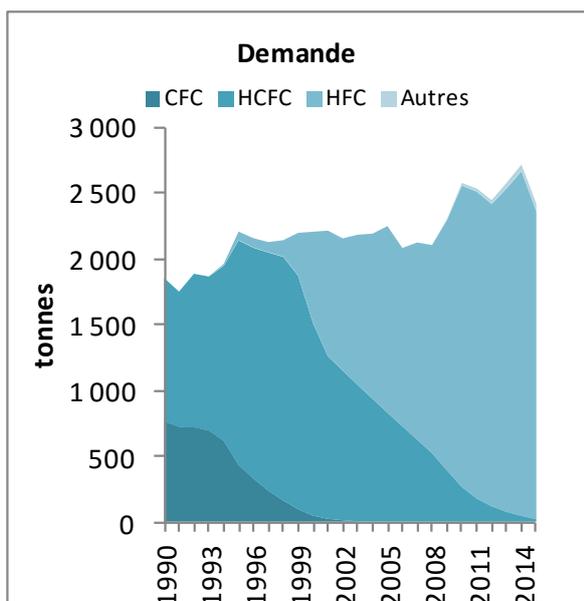


Figure VI-4 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes en froid commercial

Tableau VI-15 - Demande totale 2015 (tonnes) – Froid commercial

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	5	19
	R-408A	10	
	R-401A	4	
HFC	R-134a	330	2 347
	R-404A	1 780	
	R-407C	2	
	R-410A	8	
	R-507	100	
	R-417A	1	
	R-422A	1	
	R-422D	3	
	R-427A	2	
	R-407A	9	
	R-407F	112	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	5	57
	R-600a	4	
	R-717	2	
	R-744	46	
TOTAL			2 423

VI.3.3 – Les émissions totales

Le niveau 2015 des émissions totales dues à l'ensemble du secteur du froid commercial est estimé à environ 1 800 t de fluides frigorigènes (Tableau VI-16). Les émissions 2015 sont dominées à 80 % par les installations aux fortes charges des supermarchés et hypermarchés et quasi exclusivement constituées de HFC.

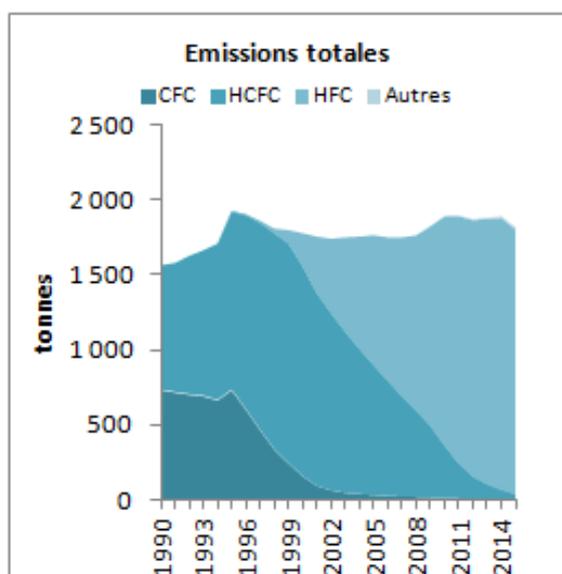


Figure VI-5 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes en froid commercial

Tableau VI-16 - Emissions totales 2015 (tonnes) – Froid commercial

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	18	36
	R-408A	12	
	R-401A	6	
HFC	R-134a	211	1 774
	R-404A	1 384	
	R-407C	2	
	R-410A	7	
	R-507	99	
	R-417A	1	
	R-422A	3	
	R-422D	9	
	R-427A	3	
	R-407A	3	
	R-407F	52	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	1	13
	R-600a	0	
	R-717	1	
	R-744	11	
TOTAL			1 822

VI.3.4 – Les émissions en équivalent CO₂

Les émissions du froid commercial sont très pénalisées par l'utilisation massive du R-404A (PRG de 3 900 selon le 4^{ème} rapport d'évaluation du GIEC), qui constitue les trois quarts de la banque du froid commercial (Tableau VI-14). Les émissions du froid commercial, sont en diminution de 5% par rapport à 2014, la baisse des taux d'émissions des super et hypermarchés ayant été amorcée depuis 2013. Elles s'élèvent cependant à 6,3 millions de tonnes de CO₂.

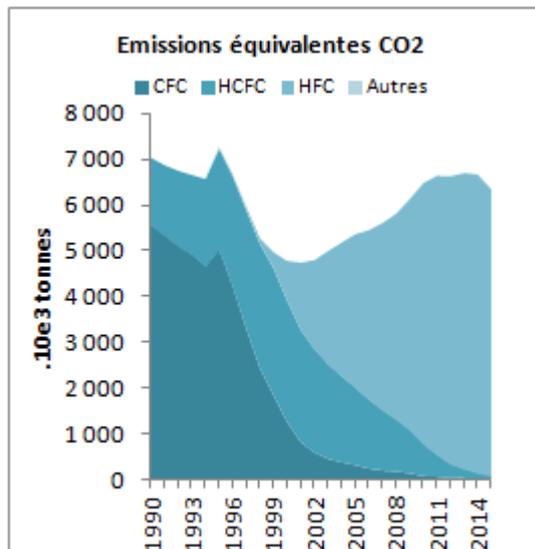


Figure VI-6 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ en froid commercial

Tableau VI-17 - Emissions totales en milliers de tonnes équivalentes CO₂ 2015 – Froid commercial

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	32	77
	R-408A	37	
	R-401A	8	
HFC	R-134a	302	6 255
	R-404A	5396	
	R-407C	4	
	R-410A	15	
	R-507	395	
	R-417A	3	
	R-422A	9	
	R-422D	24	
	R-427A	6	
	R-407A	7	
	R-407F	95	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	0
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			6 332

VI.3.5 – Les quantités récupérées

Les quantités de fluides frigorigènes récupérées lors de la fin de vie ou le retrofit des installations sont évaluées à 240 t en 2015, les HCFC issus des installations converties vers des HFC ne représentent plus que 16% des quantités. La banque étant constituée principalement de R-404A, c'est logiquement le R-404A qui domine les émissions de fin de vie et les quantités récupérées associées. Par ailleurs, les premiers retrofits d'installations au R-404A sont à noter depuis 2014.

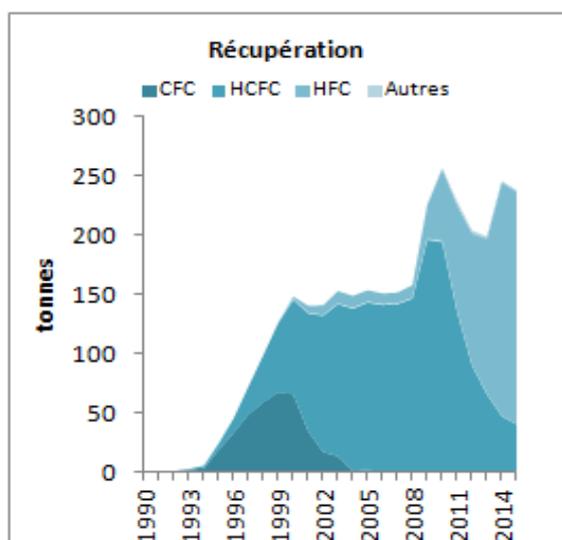


Figure VI-7 - Evolution des quantités récupérées en froid commercial

Tableau VI-18 - Quantités récupérées 2015 (tonnes) – Froid commercial

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	25	40
	R-408A	11	
	R-401A	4	
HFC	R-134a	15	197
	R-404A	138	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	22	
	R-417A	1	
	R-422A	2	
	R-422D	6	
	R-427A	2	
	R-407A	1	
	R-407F	10	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	2
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	2	
TOTAL			238

VII. LES TRANSPORTS FRIGORIFIQUES

VII.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).

VII.2- Méthode de calcul et données nécessaires

Pour le secteur des transports frigorifiques, la méthode générale est utilisée, elle est rappelée à la Figure VII-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 et, bien qu'il existe quelques cas particuliers, dans la méthode de calcul il est supposé que :

- les systèmes de type « poulie-courroie » sont chargés sur le site de production des camionnettes ; le calcul de la demande en fluides se base 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 prend en compte le parc circulant en France basé sur les marchés annuels de camions frigorifiques.

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.

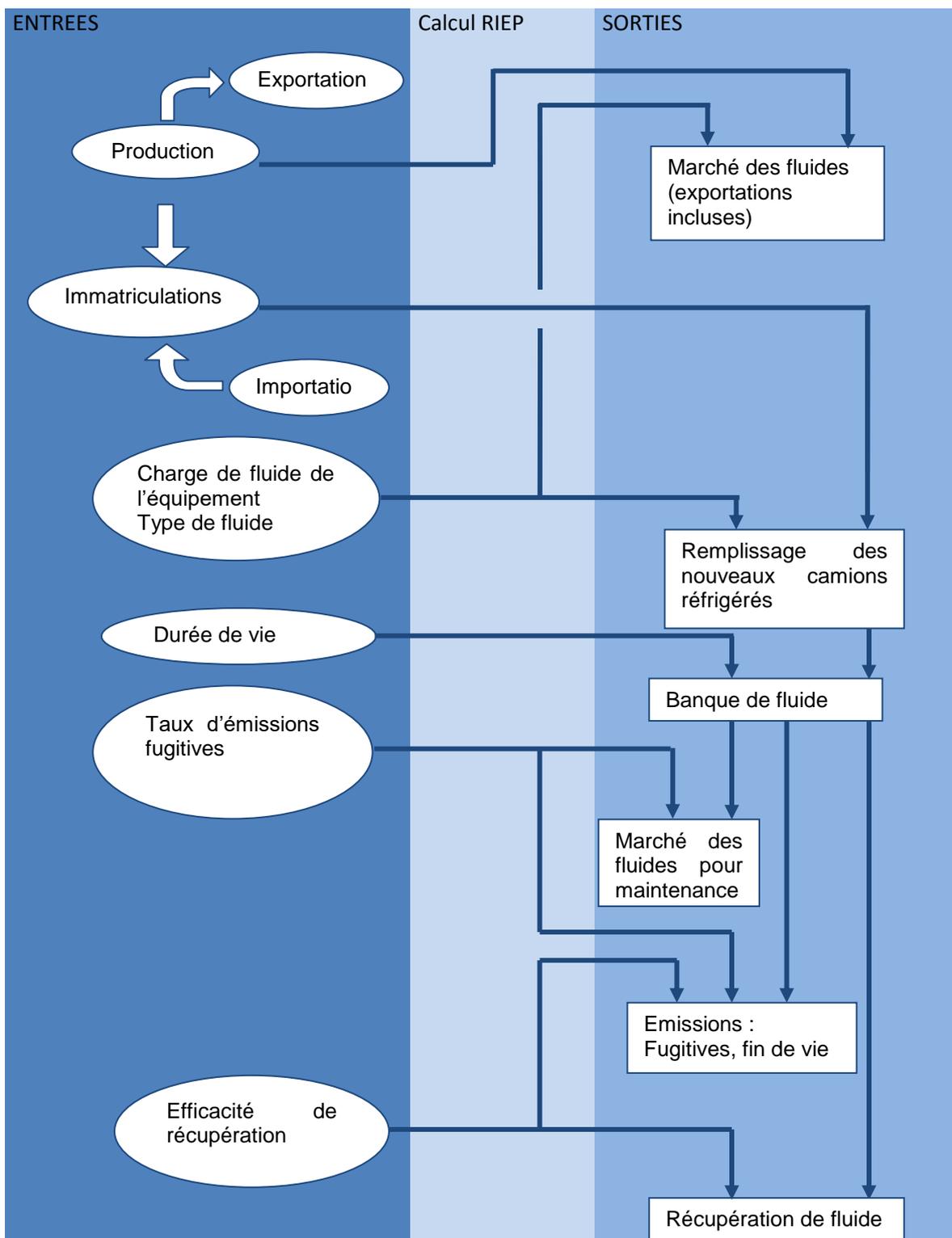


Figure VII-1– Organigramme de la méthode utilisée pour le secteur des transports frigorifiques

VII.3 Le transport frigorifique en France en 2015

VII.3.1 Statistiques disponibles transport routier

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.
- Les groupes de type « systèmes autonomes » sont principalement chargés d'usine ; la production n'est alors pas en lien avec celle des camions.

Production française

En transport routier, la production des systèmes de type « poulie-courroie » a été estimée en fonction des données Datafrig 2012 puis de la mise à jour des déclarations ATP communiquées par [LOG15]. 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 [MIC13].

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 VII-1).

Tableau VII-1 – Productions estimées des groupes frigorifiques pour le transport routier

Types	2000	2005	2010	2015
Camionnettes équipées de systèmes Poulie - courroie	2 690	5 600	5 570	5 100
Systèmes autonomes chargés d'usine (90 %) équipant les Camions et Semi-remorques	10 800	13 750	16 150	21 400

Marché neuf ou immatriculations

La Chambre Syndicale Nationale des Carrossiers et Constructeurs de Semi-Remorques et Conteneurs (CARCOSERCO) [CAR15] communique au CES les immatriculations des véhicules frigorifiques de type : véhicules utilitaires légers, véhicules industriels, semi-remorques et remorques, ce qui permet d'évaluer le marché des systèmes poulie-courroie et moteur thermique (Tableau VII-2).

Tableau VII-2 – Nouvelles immatriculations du transport routier en France [CAR15]

Marché transport routier	2015
Poulie - courroie	4 770
Moteur thermique	4 672

VII.3.2. Statistiques disponibles transport maritime

Dans le sous-secteur du transport maritime, 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 de conteneurs sont données jusqu'en 2009 par Worldshipping [SHI13], ainsi qu'une estimation de son évolution sur la période 2010-2015. Une mise à jour [WOR15] a été publiée cette année pour les "reefer containers" (à 2,1 million TEU) jusqu'en 2012 ainsi que des projections d'évolution de la flotte.

Tableau VII-3 – Evolution de la flotte et du marché des conteneurs frigorifiques (en TEU)

Conteneurs	2004	2009	2010	2015
Flotte	1 153 000	1 689 000	1 702 000	2 500 000
Marché	143 000	138 000	91 000	250 000

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. Une production de 2 bateaux réfrigérés est prise en compte pour 2015.

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 VII-3.

VII.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 2000-2012 et prolongée sur 2015.

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]. Par ailleurs, l'extraction Datafrig 2012 [MIC13] a permis de conforter la tendance présentée au Tableau VII-4 des fluides utilisés sur le marché neuf.

Carrier développe actuellement des prototypes de moteur semi-remorque avec du CO₂ [LOG15].

Tableau VII-4 – Fluides utilisés sur le marché neuf du transport routier

Transport routier	Poulie-moteur	Moteur thermique
2015	10 % R-134a 90 % 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 quasiment que le R-134a dans les équipements neufs; il convient cependant de noter le début de la production des conteneurs maritimes utilisant du CO₂ depuis 2011 (estimée à 3 % en 2015).

VII.3.4 Charges de référence

La charge des équipements du transport routier était considérée constante jusqu'en 2006. La tendance est, comme dans la plupart des secteurs, à la réduction, tel que précisé au Tableau VII-5.

Tableau VII-5 – Charges des équipements du transport routier

Charge moyenne (kg)	Valeurs jusqu'en 2006	2015
Poulie - courroie	2,5	1,6
Moteur thermique	7,2	6,4

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 2010-2015. Les charges des conteneurs sont supposées constantes.

Tableau VII-6 – Charges des équipements dans le transport maritime

Charge	Reefers	Conteneurs autonomes
2015	1 t	4,6 kg

VII.3.5 Durée de vie

Les figures Figure VII-2 à Figure VII-4 présentent les courbes de durée de vie utilisées pour les trois sous-secteurs du transport frigorifique. Cette hypothèse n'a pas évolué.

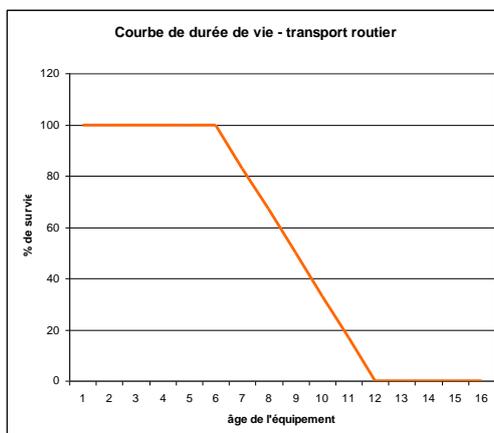


Figure VII-2 - Courbe de durée de vie pour les systèmes du transport routier

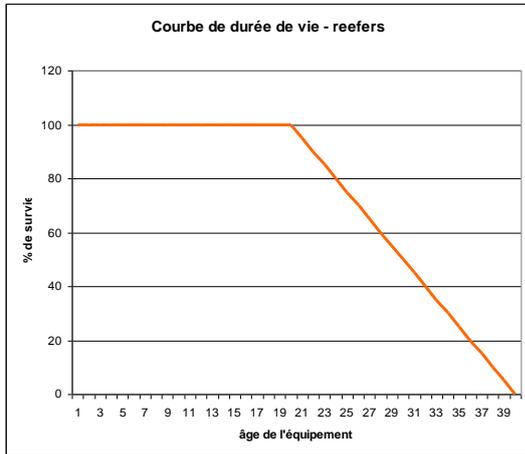


Figure VII-3 – Courbe de durée de vie des reefers

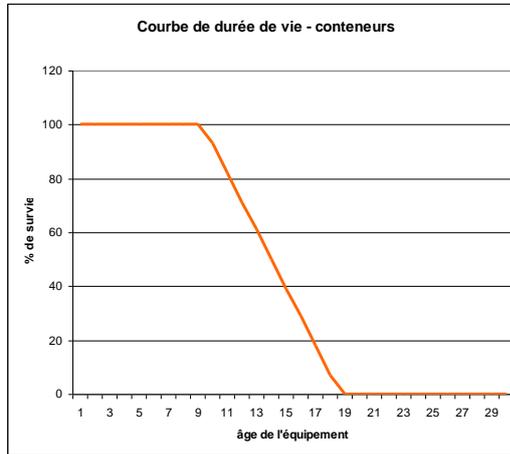


Figure VII-4 – Courbe de durée de vie des conteneurs

VII.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 VII-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 entre 5 et 10 % contre 20 % pour les systèmes indirects [TOC10].

Tableau VII-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		
2015	11 %	20 %	15 %	20 %

VII.3.7 Efficacité de récupération

Peu d'informations sont disponibles dans le secteur du transport frigorifique pour estimer l'efficacité de récupération. Les valeurs de la filière du transport routier ont été réduites de 10 % à la suite d'informations tendancielle du Cemafruid qui restent à confirmer, la correction pourrait être plus forte.

Tableau VII-8 – Efficacité de récupération

Efficacité de récupération	Transport routier	Reefers	Conteneurs autonomes
2015	70 %	29 %	37 %

VII.4 Résultats Transports Frigorifiques – Inventaires métropole 2015

VII.4.1 – La banque

La banque du transport frigorifique est en légère croissance : la forte croissance de la banque des conteneurs maritimes compense les baisses observées dans les autres secteurs. Elle est estimée à 1 700 t en 2015 dominée aux deux tiers par le secteur des conteneurs et le R-134a. La banque du transport routier est d'environ 300 t, composée à 95 % de R-404A.

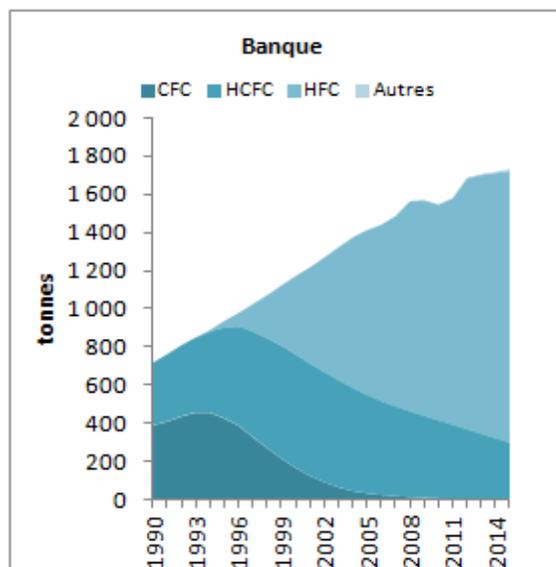


Figure VII-5- Evolution de la banque de fluides frigorigènes du transport frigorifique

Tableau VII-9 - Banque 2015 (tonnes) – Transport Frigorifique

CFC	R-12	0	0
	R-22	298	298
	R-408A	0	
R-401A	0		
HFC	R-134a	1 106	1 420
	R-404A	313	
	R-407C	0	
	R-410A	1	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
	R-1234yf	0	
Autres	R-290	0	14
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	14	
TOTAL			1 732

VII.4.2 – La demande

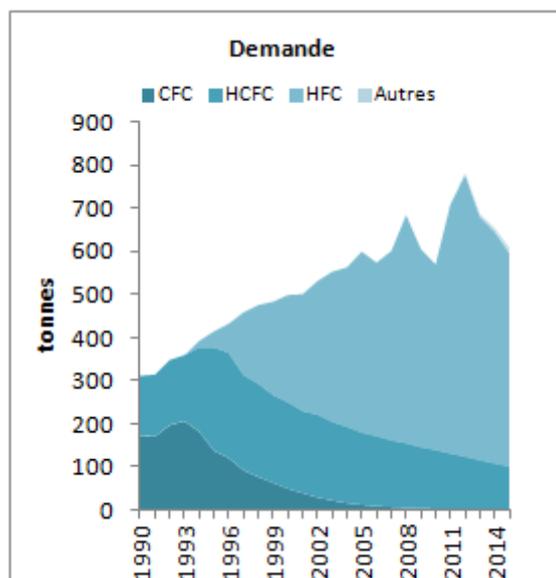


Figure VII-6 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes en transport frigorifique

Tableau VII-10 - Demande totale 2015 (tonnes) – Transport Frigorifique

CFC	R-12	0	0
	R-22	101	101
	R-408A	0	
R-401A	0		
HFC	R-134a	376	498
	R-404A	121	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
	R-1234yf	0	
Autres	R-290	0	8
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	8	
TOTAL			607

La demande totale en fluides frigorigènes est estimée à 600 t en 2015, en légère décroissance du fait de la réduction du marché et des charges du transport routier

Les variations observées Figure VII-6 sont principalement dues aux variations du niveau de production des conteneurs réfrigérés (chute 2010) et à la fluctuation de la demande pour la maintenance.

Le marché de HCFC constituant 16 % de la demande totale provient du fait que ce secteur est traité au niveau mondial et qu'une part de 10 % est attribuée à la France.

VII.4.3 – Les émissions totales

Le niveau 2015 des émissions totales dues à l'ensemble du secteur du transport frigorifique est estimé à 460 t, dont 85 % sont liées au transport maritime. Les émissions sont relativement stables depuis 2008, les taux d'émissions du transport maritime étant considérés constants. Ce secteur est traité au niveau mondial et peu d'informations sont disponibles. Les émissions dues au transport routier ne sont que de 64 t en 2015, mais essentiellement constituées de R-404A.

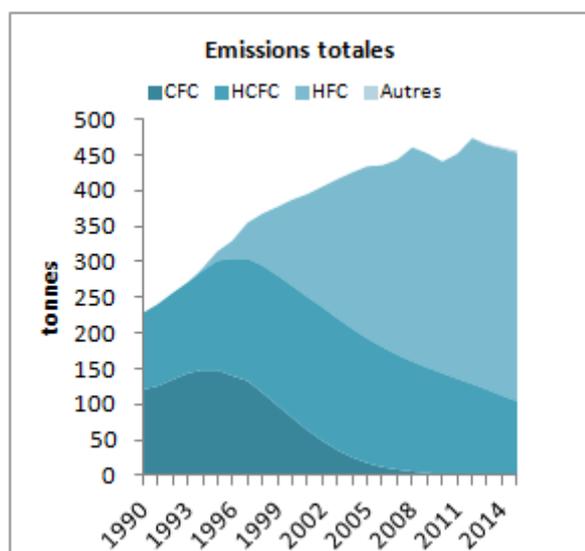


Figure VII-7 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes en transport frigorifique

Tableau VII-11 - Emissions totales 2015 (tonnes) – Transport Frigorifique

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	105	105
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	281	348
	R-404A	67	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
	R-1234yf	0	
Autres	R-290	0	3
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	3	
TOTAL			455

VII.4.4 – Les émissions en équivalent CO2

Les conteneurs frigorifiques représentent une part de plus en plus significative de la banque du transport frigorifique, dont les émissions CO₂ eq. diminuent et ne représentent plus que 850 000 t de CO₂ en 2015. Le transport routier, responsable de 14 % des émissions de fluides frigorigènes du transport, représente 28 % des émissions équivalentes CO₂ à cause de la forte utilisation du R-404A.

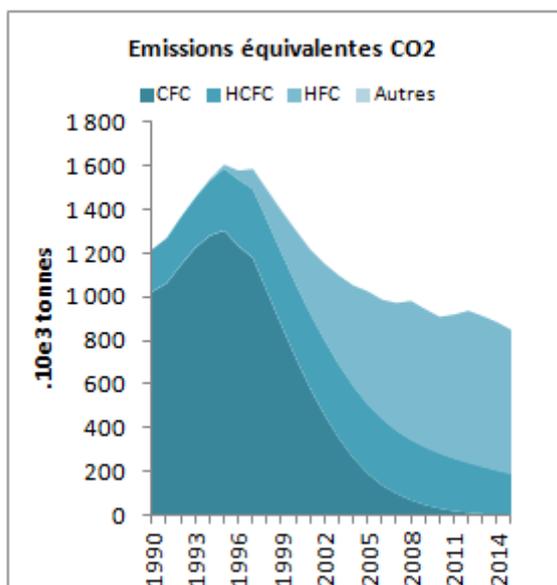


Figure VII-8 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ en transport frigorifique

Tableau VII-12- Emissions totales en milliers de tonnes équivalentes CO₂ 2015 – Transport Frigorifique

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	189	189
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	401	662
	R-404A	261	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
Autres	R-1234yf	0	0
	R-290	0	
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			851

VII.4.5 – Les quantités récupérées

Les quantités de fluides frigorigènes récupérées lors de la fin de vie des équipements s'élèvent à seulement 47 t étant donné une banque peu élevée et une faible efficacité de récupération associée au transport maritime.

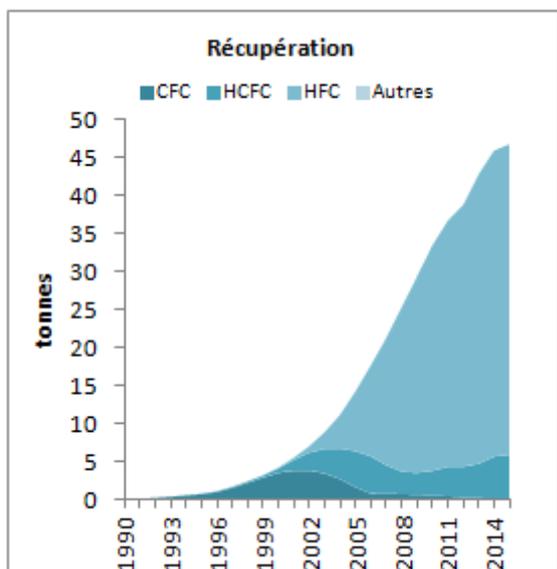


Figure VII-9 - Evolution des quantités récupérées en transport frigorifique

Tableau VII-13 - Quantités récupérées 2015 (tonnes) – Transport Frigorifique

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	6	6
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	17	41
	R-404A	24	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
Autres	R-1234yf	0	0
	R-290	0	
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			47

VIII. LE FROID INDUSTRIEL

VIII.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.

VIII.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. 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

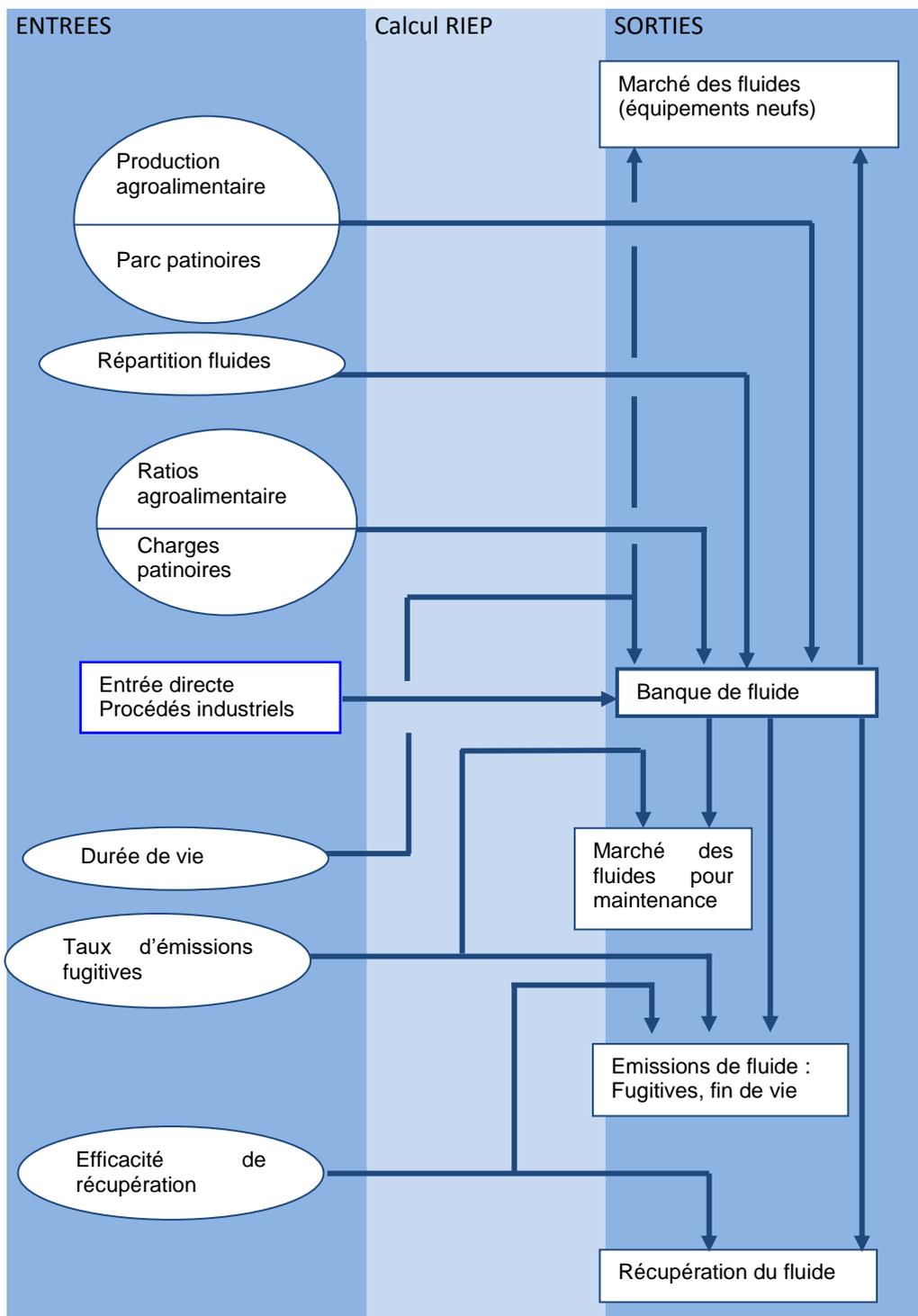


Figure VIII-1 - Organigramme de la méthode de calcul utilisée pour le sous-secteur du froid industriel

VIII.3 Données Industries en France métropole en 2015

VIII.3.1 Production française ou parc

Industries Agroalimentaires

La base de données FAO (Food & Agriculture Association) [FAO15] permet d'obtenir les principales productions françaises des secteurs agroalimentaires. Au moment du calcul d'inventaires, les données 2015 ne sont pas encore publiées sur le site; en revanche dans la plupart des secteurs, des mises à jour apparaissent sur la période 2009-2014. Les productions 2015 ont donc été estimées à partir de la tendance 2010-2014 ; elles sont présentées au Tableau VIII-1.

Tableau VIII-1 – Productions de l'industrie agroalimentaire basées sur données FAO

Secteurs	Viande (t)	Produits laitiers (t)	Vin et Bière (t)	Glace hydrique pour le poisson (t)
Production 2015	5 632 000	24 535 000	5 634 000	559 000

La production des surgelés n'étant plus suivie par la base de la FAO, la production est estimée en fonction des marchés de congélateurs. 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 VIII-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 2015 ont été estimées en prenant une progression de 3 % par an [COC10].

Tableau VIII-2– Productions de l'industrie agroalimentaire estimées

Secteurs	Surgelés (t)	Chocolat (t)	Boissons gazeuses (t)	Entrepôts (m ³)	Plats cuisinés (t)
2015	2 153 000	994 000	3 472 000	17 180 000	820 000

Le volume d'entrepôts est estimé en fonction de la population et de la production totale agroalimentaire. L'approche permet de recouper l'ordre de grandeur donné par [GOU13] pour 2010.

Depuis les inventaires 2012, la production des plats cuisinés non surgelés est également prise en compte. Selon [ALI13] se basant sur une étude ADEME, en 2007 la production de "produits traiteurs" était de 700 000 t. L'évolution de cette production a été reconstituée en se basant sur celle des produits surgelés en attendant des données plus précises.

Patinoires

Le nombre de patinoires fixes installées en France est stable, évalué à 160 en 2015 selon l'annuaire du Syndicat national des patinoires [SYN14].

Les patinoires mobiles (ou démontables) sont de plus en plus nombreuses, utilisées seulement une partie de l'année dont le parc est difficile à estimer mais ces systèmes utilisent des chillers, dont le marché est déjà comptabilisé dans le domaine des chillers dans les inventaires.

Un niveau de 15 nouvelles patinoires annuel est pris en compte dans ces inventaires pour 2015, incluant les patinoires mobiles et les renouvellements des systèmes des patinoires existantes.

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 stable, estimée à 780 000 tonnes en France en 2015 [CAO16].

VIII.3.2 Fluides utilisés

Industries Agroalimentaires

D'après JCI [MAR16]:

- En froid négatif, les systèmes cascade (R-744 / R-717) ou cascade (R-744 / eau glycolée) avec chillers R-717 ou R-134a sont de plus en plus utilisés.
- pour les faibles puissances frigorifiques on rencontre des systèmes au R-410A ou R-407F.
- Le R-407F est utilisé en retrofit du R-404A depuis 2014
- Le R-404A n'est plus utilisé, excepté pour les extensions d'installations existantes.

La tendance observée l'an dernier se poursuit donc et les premiers retrofits d'installations au R-404A se produisent. Le R-407A et R-407F sont envisagés pour les besoins à court terme de retrofit des installations au R-22 ou au R-404A. De plus en plus de retrofits d'installations au R-22 sont faits vers des installations à l'ammoniac grâce à l'assouplissement de la réglementation. Cependant, l'ammoniac pose des contraintes particulières liées à sa toxicité et inflammabilité (classe B2) qui conduisent certains industriels à préférer d'autres alternatives tels que les systèmes cascade R-134a/CO₂. En froid négatif, le CO₂ est en effet de plus en plus utilisé.

Les données récapitulées au Tableau VIII-3 correspondent aux hypothèses du calcul 2015 et montrent pour les principales industries la forte évolution 2010/2015.

Tableau VIII-3 – Fluides utilisés dans les installations neuves des industries agroalimentaires en 2015

Secteurs		R-134a	R-404A	R-717 (NH ₃)	R-744 (CO ₂)	R-407A ou F
Viande	2010	10 %	49 %	40 %	1 %	
	2015	15 %	20 %	45 %	15 %	5 %
Produits laitiers	2010	10 %	50 %	40 %	-	
	2015	25 %	19 %	55 %		1 %
Entrepôts	2010	5 %	35 %	60 %	-	
	2015	10 %	17 %	61 %	10 %	2 %

Dans les hypothèses de calcul, le rythme des conversions d'installations d'industrie agroalimentaire ralentit en 2015, et est équivalente à 5 à 10 % de la banque de HCFC (Tableau VIII-4) selon les secteurs.

Tableau VIII-4 - Retrofit ou accélération de conversion des principales industries agroalimentaires en 2015

Secteurs		Part de la banque retrofitée	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 %
	2015	5 %	-	5 %	-	-	-
Produits laitiers	2010	10 %	2 %	2 %	1 %	-	5 %
	2015	5 %	-	5 %	-	-	3 %
Entrepôts	2010	10 %	2 %	3 %	-	-	5 %
	2015	10 %	2	3 %	1	4 %	-

Patinoires

Les installations indirectes se sont quasiment généralisées dans le secteur des patinoires. Les nouveaux systèmes sont le plus souvent de type R-134a avec distribution d'eau glycolée dans la piste ou ammoniac/eau glycolée pour des quantités n'excédant pas 150 kg [MAR16]. Les patinoires mobiles utilisent des chillers au R-134a. Une répartition stable par rapport à 2012 est prise en compte (Tableau VIII-5).

Les retrofits 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.

Tableau VIII-5 – Fluides utilisés sur le marché neuf et retrofit des patinoires

Patinoires	Fluides sur le marché neuf	Fluides utilisés pour le retrofit des installations
2015	75 % R-134a 25 % R-717	10 % de la banque de R-22 retrofitée par du R-507 ou des fluides de remplacement

Autres procédés industriels

Selon JCI [PHI14], dans les autres industries, le R-134a est principalement utilisé dans les installations neuves. Une communication récente, qui n'a pu être prise dans les hypothèses de calcul, mentionne l'existence d'installations d'industries pétrochimiques avec du R-410A pour le froid négatif et, en cas de zone ATEX, l'utilisation du propane et du propylène. Ces informations seront quantifiées dans les prochains inventaires. Pour le calcul 2015, les hypothèses du Tableau VIII-6 ont été prises en compte.

Tableau VIII-6 Fluides utilisés sur le marché neuf des procédés industriels

Procédés industriels	Chimique	Caoutchouc	Plasturgie et autres
2015	78 % R-134a 15 % R-404A 5 % R-717 2% R-407A	95 % R-134a 5 % R-717	70 % R-134a 30 % R-717

Les retrofits sont supposés moins nombreux et concernent :

- 5 % de la banque de R-22 vers du R-134a dans l'industrie du caoutchouc
- 10 % de la banque de R-22 vers des fluides de remplacement dans les autres procédés.

VIII.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 VIII-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 VIII-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 VIII-8), est considéré constant tant qu'il ne se produit pas d'évolution technologique majeure dans le secteur considéré.

Tableau VIII-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 sont en augmentation significative, les niveaux 2015 sont récapitulés au Tableau VIII-9.

Tableau VIII-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 %
2015	80 %	66 %	90 %	66 %

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

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

Ratio de charge	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, soit environ 12 kg pour le modèle standard de 6000 l.

Patinoires

La charge moyenne des patinoires est un paramètre variant de façon annuelle et en fonction du fluide utilisé. Le Tableau VIII-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 VIII-11 – Charge moyenne des patinoires

Patinoires	R-134	R-507	R-404A	R-717
Charge (t) 2015	0,35	0,64	0,64	0,32

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.

VIII.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 VIII-3). Pour les autres industries (Figure VIII-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.

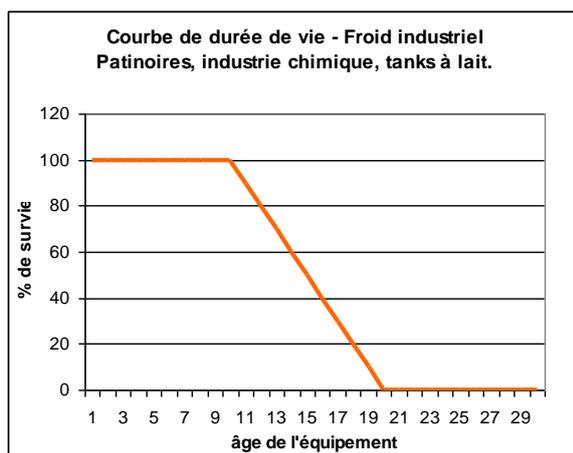


Figure VIII-2 - Courbe de durée de vie pour les secteurs des patinoires, tanks à lait et de l'industrie chimique

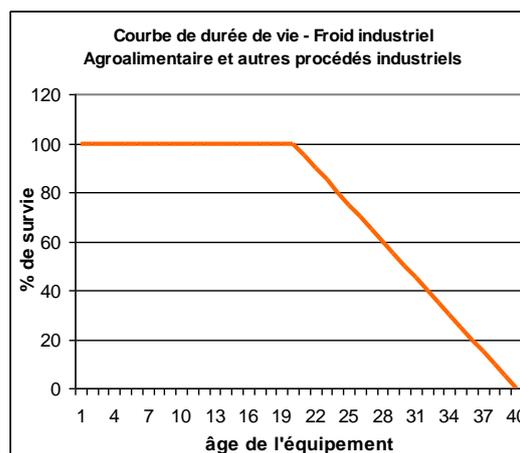


Figure VIII-3 - Courbe de durée de vie pour les secteurs de l'agroalimentaire et autres procédés industriels

VIII.3.5 Les taux d'émissions

A la suite de l'étude paramétrique de l'impact des taux d'émissions des installations utilisant le R-404A sur l'écart entre la reconstitution de la demande et le marché déclaré réalisée lors des Inventaire des émissions de fluides frigorigènes, France et DOM COM, année 2015
 Rapport final, Février 2017. S. Barrault, D. Clodic

inventaires 2012 [BAR12], les taux d'émissions des installations utilisatrices sont supposés constants depuis 1990. Les niveaux corrigés sont présentés au Tableau VIII-12. En revanche, une courbe « en S » de décroissance des taux d'émissions a été introduite pour les patinoires et les tanks à lait.

Tableau VIII-12 – Taux d'émissions Froid industriel

Taux d'émissions	Agroalimentaire	Tanks à lait	Patinoires	Industrie chimique	Industrie caoutchouc
Niveaux constants 1990- 2015	15 %	10 %	9 %	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 VIII-12.

VIII.3.6 L'efficacité de récupération

A la suite d'une remarque de Climafort [ROB15] sur les hypothèses prises dans les précédents inventaires, les efficacités de récupérations des secteurs comportant des installations classées ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) ont été modifiées. Selon le guide Environnement & risques industriels des métiers de l'agroalimentaire de 2009, les entreprises de froid industriel font partie (excepté certains entrepôts) des installations ICPE et l'efficacité de récupération dans ce secteur a été augmentée à 95 % [ROB15].

Les niveaux de récupération dans les patinoires ont beaucoup progressé ces dernières années et les valeurs prises en compte jusqu'à présent dans les hypothèses d'inventaires étaient trop faibles, les systèmes étant désormais bien entretenus et les quantités récupérées élevées [PHI14]. Une correction a donc été appliquée sur l'historique depuis 2010 afin de traduire cette progression.

Tableau VIII-13 - Efficacité de récupération Froid industriel

Efficacité de récupération (%)	Agroalimentaire	Patinoires	Tanks à lait	Autres procédés industriels
2015	80 à 95 %	80 %	50 %	95 %

VIII.4 - Résultats Froid Industriel Inventaires 2015

VIII.4.1 – La banque

La banque du froid industriel est stable, estimée à 11 400 t en 2015. Elle est désormais dominée par les HFC à 56 %, la banque de R-22 se réduisant progressivement par les fins de vie et retrofit d'installations pour ne plus représenter que 7 % de la banque du froid industriel. Secteur traditionnellement utilisateur d'ammoniac, sa part est croissante, du fait de la nouvelle réglementation F-Gas, et sa banque représente 36 % de la banque totale du froid industriel en 2015.

D'un point de vue sectoriel, les entrepôts constituent la banque la plus importante avec près de 30 % de la banque de froid industriel en 2015.

Tableau VIII-14 - Banque 2015 (tonnes) – Froid Industriel

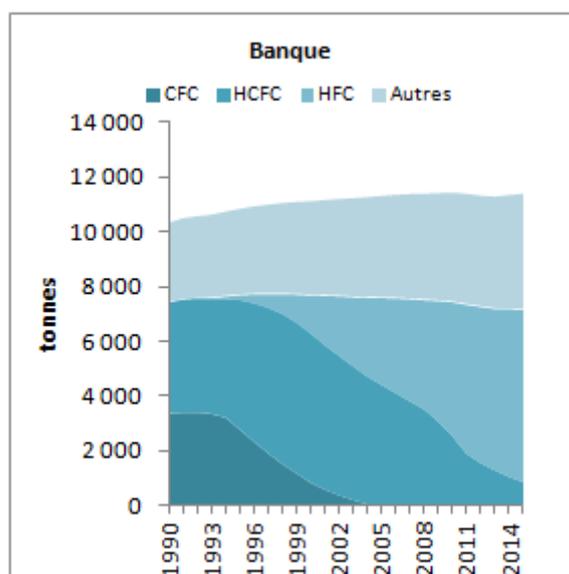


Figure VIII-4 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes du froid industriel

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	814	814
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	2 342	6 361
	R-404A	3 633	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	10	
	R-417A	63	
	R-422A	56	
	R-422D	159	
	R-427A	48	
	R-407A	27	
	R-407F	23	
Autres	R-1234yf	0	4 240
	R-290	0	
	R-600a	0	
	R-717	4 157	
	R-744	83	
TOTAL			11 415

VIII.4.2 – La demande

Après une période de forte croissance, liée à une forte demande pour le retrofit des installations au R-22 sur 2009-2011, la baisse de la demande en fluides frigorigènes, liée à l'attente de la nouvelle réglementation F-Gas, s'est maintenue jusqu'en 2013. En 2015, la demande est stable par rapport à 2014.

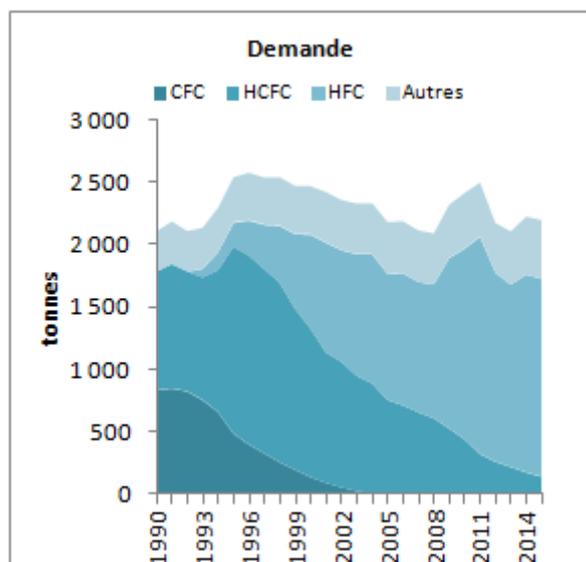


Figure VIII-5 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes en froid industriel

Tableau VIII-15 - Demande totale 2015 (tonnes) – Froid Industriel

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	141	141
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	710	1 587
	R-404A	747	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	2	
	R-417A	20	
	R-422A	17	
	R-422D	42	
	R-427A	15	
	R-407A	14	
	R-407F	20	
Autres	R-1234yf	0	467
	R-290	0	
	R-600a	0	
	R-717	442	
	R-744	25	
TOTAL			2 194

Globalement, la demande totale du froid industriel (Tableau VIII-15) est dominée par les HFC. La part du R-134a devient équivalente à celle du R-404A à cause de l'augmentation du nombre d'installations de type cascade R-134a/CO₂ ou ammoniac.

Les résultats en termes de tonnages de CO₂ semblent faibles et les hypothèses concernant ce fluide devront être revues.

Le secteur des entrepôts utilise à lui seul 30% de la demande totale en fluides un quart de la demande en R-404A de l'industrie.

VIII.4.3 – Les émissions totales

Le niveau 2015 des émissions totales du secteur du froid industriel est estimé à près de 1 400 t, à 90 % constituées des émissions fugitives du parc des installations. Les taux d'émissions des installations utilisant de l'ammoniac sont plus bas étant données les mesures de sécurité liées à ce type d'installation. Plus le parc d'installations à l'ammoniac augmente, plus le taux d'émission moyen diminue, ce qui explique une tendance à la baisse observée depuis 2011. Par ailleurs, à l'image de la banque, les émissions de R-22 sont en forte baisse et ne représentent plus que 10 % des émissions totales en 2015.

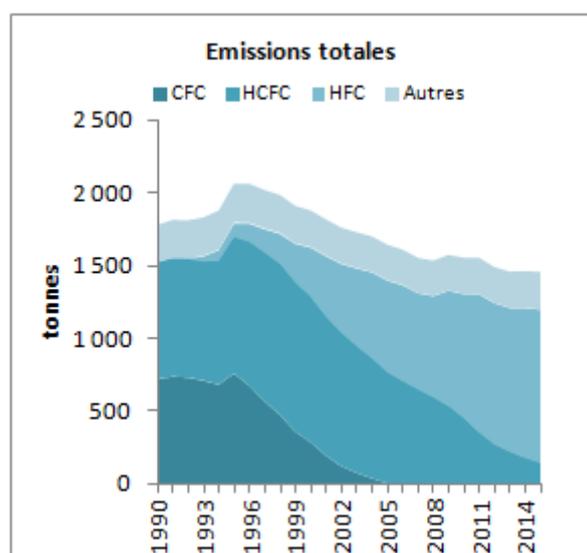


Figure VIII-6 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes en froid industriel

Tableau VIII-16 - Emissions totales 2015 (tonnes) – Froid Industriel

CFC	R-12	0	0	
	R-22	146	146	
HCFC	R-408A	0		
	R-401A	0		
	R-134a	396	1 056	
HFC	R-404A	591		
	R-407C	0		
	R-410A	0		
	R-507	2		
	R-417A	11		
	R-422A	10		
	R-422D	28		
	R-427A	9		
	R-407A	5		
	R-407F	5		
	R-1234yf	0		
	Autres	R-290		0
		R-600a	0	
R-717		252		
R-744		3		
TOTAL			1 458	

VIII.4.4 – Les émissions en équivalent CO₂

Le froid industriel est responsable de plus de 3 millions de tonnes d'émissions de CO₂ équivalent en 2015, dues à 92 % aux HFC et à 68 % au R-404A (PRG de 3900 selon le 4^{ème} rapport du GIEC).

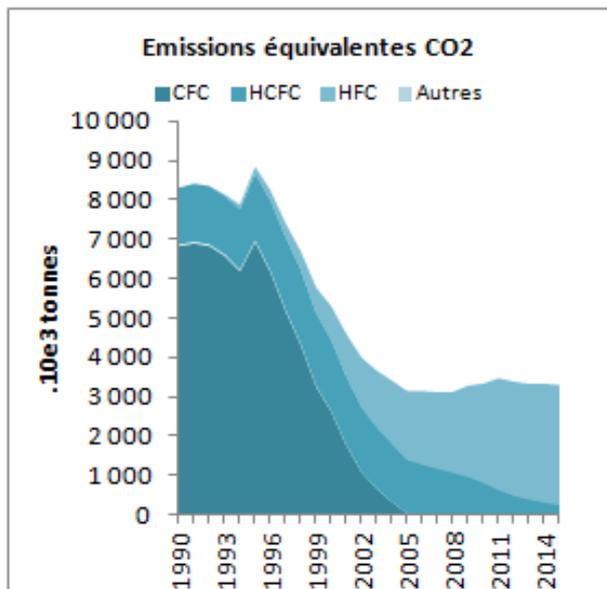


Figure VIII-7 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ en froid industriel

Tableau VIII-17- Emissions totales en milliers de tonnes équivalentes CO₂ 2015 – Froid Industriel

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	265	265
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	566	3 048
	R-404A	2304	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	8	
	R-417A	26	
	R-422A	31	
	R-422D	76	
	R-427A	17	
	R-407A	11	
	R-407F	9	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	0
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			3 313

Une grande part des émissions CO₂ peut être attribuée à l'industrie chimique (29 %) et aux entrepôts (24 %).

VIII.4.5 – Les quantités récupérées

Les quantités de fluides frigorigènes récupérées sont en diminution par rapport à la période 2010-2012 (Figure VIII-8) de retrofits et conversions d'installations aux HCFC. En 2015, le R-22 représente encore 32 % des 500 t de fluides récupérés pour ce secteur.

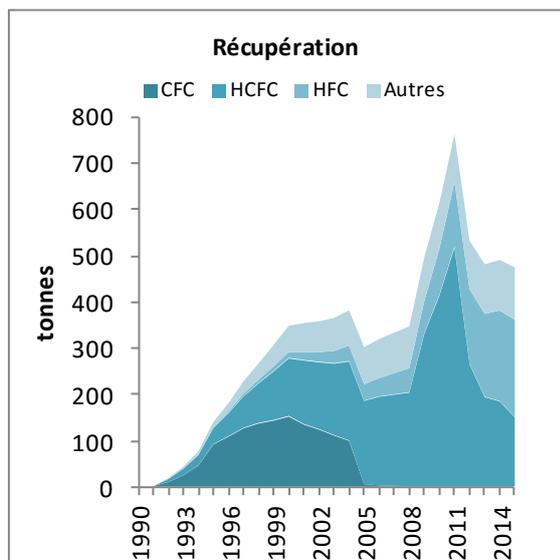


Figure VIII-8 - Evolution des quantités récupérées en froid industriel

Tableau VIII-18 - Quantités récupérées 2015 (tonnes) – Froid Industriel

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	150	150
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	97	210
	R-404A	73	
	R-407C	0	
	R-410A	0	
	R-507	2	
	R-417A	8	
	R-422A	8	
	R-422D	13	
	R-427A	7	
	R-407A	1	
	R-407F	1	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	113
	R-600a	0	
	R-717	112	
	R-744	1	
TOTAL			473

IX. LES GROUPES REFROIDISSEURS D'EAU (GRE)

IX.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 IX-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 IX-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)	

IX.2 Données nécessaires au calcul

La méthode de calcul est rappelée Figure IX-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.

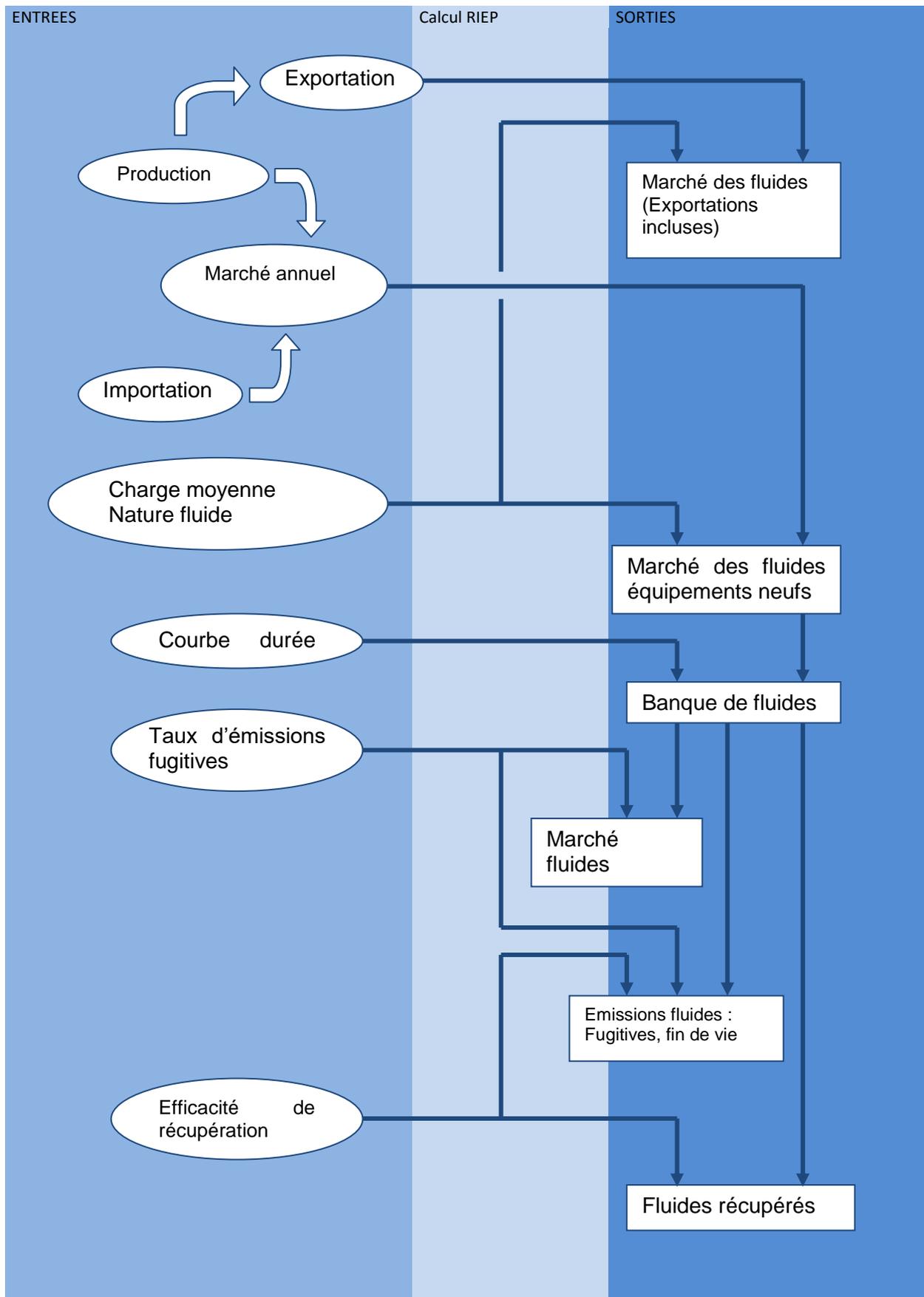


Figure IX-1 - Organigramme de la méthode utilisée pour le secteur des GRE

IX.3 Les GRE en France en 2015

IX.3.1 Le marché

Depuis deux ans, Clim'Info n'a pas communiqué les données détaillées confidentielles qu'il transmettait habituellement pour la réalisation des inventaires ([OHL13, DUP13]), notamment les marchés par gamme de puissance. Les marchés ont été estimés à partir des données globales publiées par Clim Info en considérant la même répartition par puissance qu'en 2013.

Le Tableau IX-2 présente les marchés de chillers pour les trois gammes de puissances confondues afin de préserver les informations confidentielles. Une incertitude persiste sur les données concernant les chillers de faible puissance sur la période 2005-2007 car les statistiques pourraient inclure celles des PAC [DUP13]. Les estimations 2014 et 2015 sont également à confirmer avec les données détaillées par gamme de puissance fournies par Clim Info (les informations ont été communiquées après la réalisation du calcul d'émissions, elles seront intégrées dans la prochaine étude d'inventaires).

Tableau IX-2 Evolution des marchés GRE et données 2015

Marchés (nombre unités)	2000	2005	2010	2015
GRE toutes puissances	9 830	13 510	7 380	6 424
Estimation Compresseurs centrifuges	49	53	56	50

IX.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 IX-3– Estimation de la production française des GRE

Productions (nombre unités)	2000	2005	2010	2015
GRE toutes puissances	17 680	23 580	12 780	11 075
Compresseurs centrifuges	0	195	200	210

IX.3.3 Les fluides utilisés

Les tendances de progression du R-410A et du R-407C sur le marché des chillers à compresseurs volumétriques de petites et moyennes puissances sont prolongées, telles qu'au Tableau IX-4 en tenant compte des données 2013 de Clim Info [OHL13].

Concernant les chillers centrifuges, le R-1234ze commence à être introduit ; le R-1234ze et le R-1233yd sont à l'étude [ROB15] pour le retrofit des installations mais ils ne sont pas encore utilisés par crainte d'une perte de puissance.

Tableau IX-4 - Fluides utilisés sur le marché neuf des GRE 2010-2015

Fluides utilisés	2010	2015
GRE P < 50 kW	R-407C (31 %) R-410A (69%)	R-407C (5 %) R-410A (95 %)
GRE 50 < P < 350 kW	R-407C (45 %) R-410A (53 %) R-717 (2 %)	R-407C (5 %) R-410A (94 %) R-717 (1 %)
GRE P > 350 kW	R-407C (22,5 %) R-410A (25,5 %) R-134a (50 %) R-717 (2 %)	R-407C (10 %) R-410A (49 %) R-134a (40 %) R-717 (1 %)
Compresseurs centrifuges	R-134a (100 %)	R-134a (95 %) R-1234ze (5 %)

IX.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].

Climafort transmet chaque année l'évolution de son parc d'installations, ce qui permet de traduire l'évolution des ratios de charge, des fluides utilisés et des taux d'émissions pour les chillers centrifuges [ROB15].

Les ratios de charge sont récapitulés au Tableau IX-5.

Tableau IX-5 – Ratios de charge des groupes refroidisseurs à eau mis sur le marché en 2015

RATIOS DE CHARGES (kg/ kW) 2015			
Petites puissances	Moyennes puissances	Fortes puissances	Centrifuges
0,3	0,3	0,2	0,3

Lors des inventaires 2011, la puissance moyenne des chillers volumétriques de forte puissance a été corrigée à la suite de la communication de données détaillées par Clim'Info [OHL13] et est maintenue à 800 kW.

Les valeurs moyennes pour les autres gammes sont n'ont pas évolué et 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.

IX.3.5 Courbes de durée de vie

Les courbes de durée de vie sont présentées Figure IX-2 à Figure IX-4. 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.

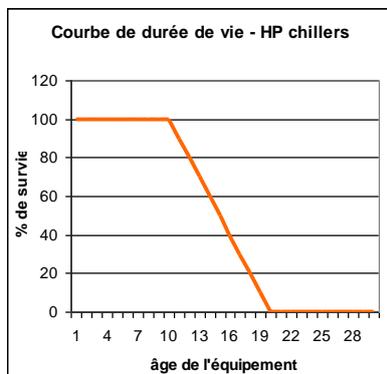


Figure IX-2 – Courbe de durée de vie des GRE de petites et moyennes puissances

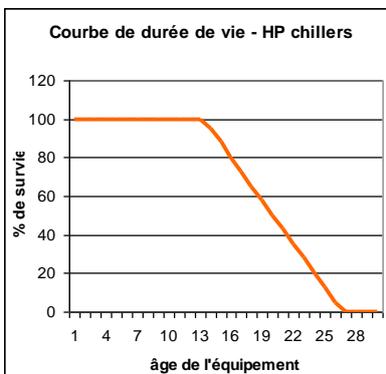


Figure IX-3 – Courbe de durée de vie des GRE de fortes puissances

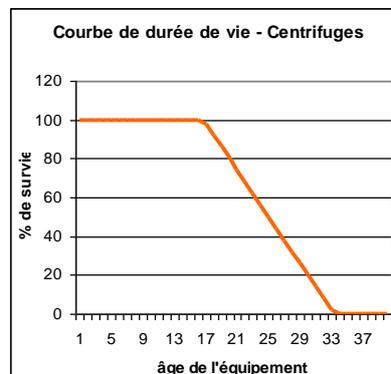


Figure IX-4 – Courbe de durée de vie des GRE centrifuges

IX.3.6 Niveaux d'émissions

Les caractéristiques de taux d'émissions fugitives dépendent des niveaux de puissance des équipements. Peu de données soient disponibles excepté pour les centrifuges [ROB15], les niveaux d'émissions des équipements neufs sont supposés stables sur 2010-2015. Une remarque de Climafort concernant les contraintes des installations classées ICPE a conduit à la correction sur l'historique de l'efficacité de récupération dans le secteur des chillers centrifuges. Pour les autres applications, une poursuite de la tendance à l'amélioration de la récupération en fin de vie des équipements est prise en compte (Tableau IX-6).

Tableau IX-6– Taux d'émissions et efficacité de récupération en fin de vie des GRE en 2015

GRE	Petite puissance	Moyenne puissance	Forte puissance	Centrifuges
Taux d'émission (%)	9,5 %	4,5 %	5 %	3,5 %
Récupération fin de vie (%)	78 %	78 %	78 %	95 %

IX.4 Résultats GRE – Inventaires 2015

IX.4.1 – La banque

La banque du secteur des GRE est estimée à 7 600 t en 2015. Du fait de la diminution des ratios de charge des équipements neufs, elle est en décroissance continue, de 3 % par rapport à 2014. Bien que le R-410A soit en forte progression sur le marché neuf, étant données les durées de vie élevées des installations, la banque est encore majoritairement constituée de R-407C. La banque de R-22 est réduite à 850 t du fait de nombreux retrofits et renouvellements d'installations depuis 2009.

Etant donné leur charge moyenne élevée et leur parc, la banque totale des GRE est dominée par les chillers volumétriques de puissance supérieure à 350 kW à 60 %.

Tableau IX-7 - Banque 2015 (tonnes) – Chillers

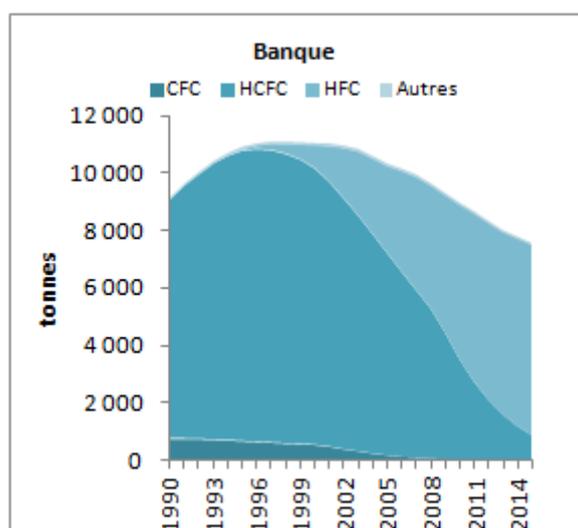


Figure IX-5 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes des GRE

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	843	843
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	2 293	6 665
	R-404A	0	
	R-407C	2 482	
	R-410A	1 532	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	248	
	R-427A	110	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	89
	R-600a	0	
	R-717	89	
	R-744	0	
TOTAL			7 597

IX.4.2 – La demande

La demande totale pour les GRE est globalement en baisse (Figure IX-6), les niveaux des marchés et productions étant significativement inférieurs 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 1 600 t pour les GRE, cependant, cette valeur est à confirmer car les marchés détaillés par gamme de puissance n'ont pu être intégrés dans les hypothèses et les calculs devront être revus sur la base de la communication détaillée fournie en 2017 par Clim Info .

Tableau IX-8 - Demande totale 2015 (tonnes) – Groupes Refroidisseurs à Eau

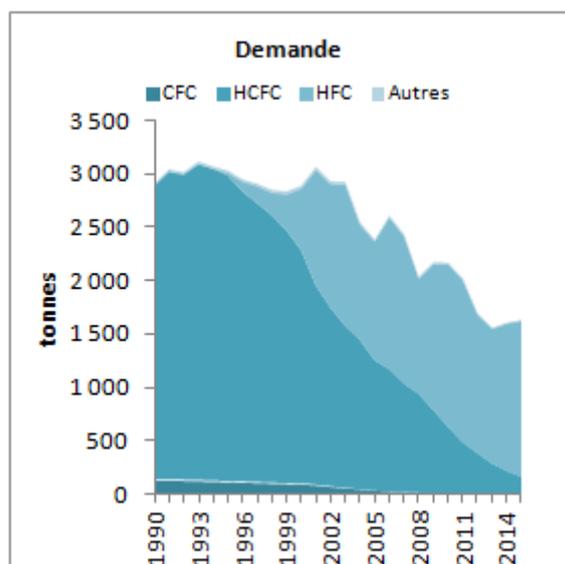


Figure IX-6 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes pour les GRE

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	154	154
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	529	1 457
	R-404A	0	
	R-407C	386	
	R-410A	542	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	17
	R-600a	0	
	R-717	17	
	R-744	0	
TOTAL			1 628

L'allure irrégulière de la demande est liée à celle du marché neuf, fortement impacté par le marché irrégulier des chillers de forte puissance.

Le besoin en R-22 nécessaire à la maintenance des chillers fonctionnant encore avec des HCFC est évalué à 150 t en 2015 et représente 9 % de la demande totale.

IX.4.3 – Les émissions totales

Les émissions de ce secteur sont en diminution continue depuis 2000 car les taux d'émissions des installations neuves se sont fortement améliorés et que le parc s'est progressivement renouvelé. Les émissions totales sont estimées à 870 t en 2015, soit 8 % de moins qu'en 2014. C'est le secteur des chillers de forte puissance qui, à l'image de la banque, domine les émissions.

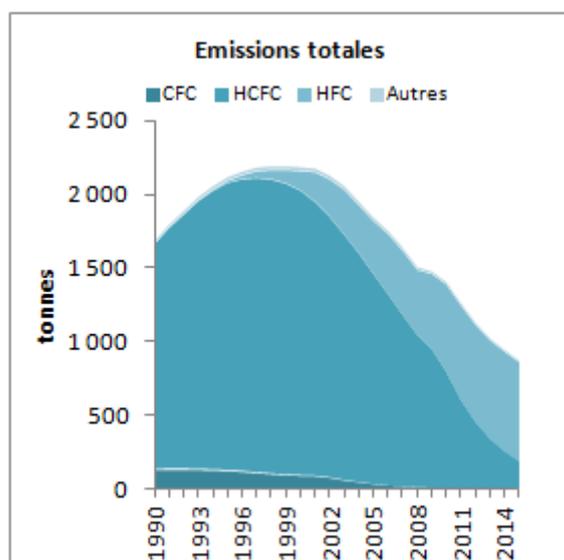


Figure IX-7 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes pour les GRE

Tableau IX-9 - Emissions totales 2015 (tonnes) – Groupes Refroidisseurs à Eau

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	186	186
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	236	674
	R-404A	0	
	R-407C	243	
	R-410A	126	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	48	
	R-427A	21	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
	R-1234yf	0	
Autres	R-290	0	9
	R-600a	0	
	R-717	9	
	R-744	0	
TOTAL			869

IX.4.4 – Les émissions en équivalent CO₂

Les émissions du secteur des GRE s'élèvent à 1,5 millions de tonnes d'équivalent CO₂ en 2015, également en baisse de 8 % par rapport à 2014. Les fluides utilisés dans le secteur des chillers ayant des PRG relativement proches, la répartition sectorielle des émissions équivalentes CO₂ est assez similaire à celles des émissions totales, dominée par les chillers de forte puissance.

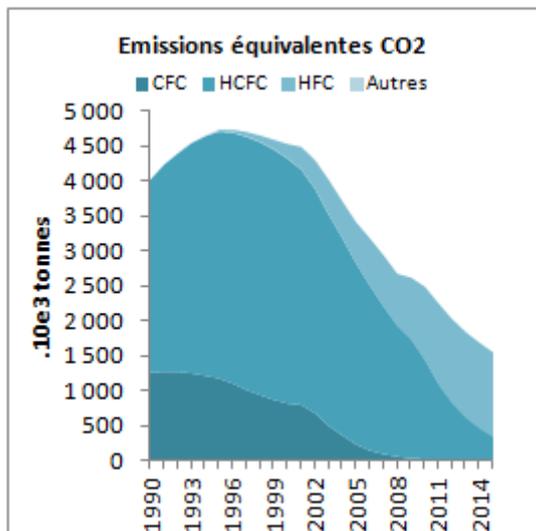


Figure IX-8 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ pour les GRE

Tableau IX-10 - Emissions totales en milliers de tonnes équivalentes CO₂ 2015 – GRE

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	337	337
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	337	1 212
	R-404A	0	
	R-407C	437	
	R-410A	264	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	131	
	R-427A	43	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	0
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			1 549

IX.4.5 – Les quantités récupérées

Les quantités de fluides frigorigènes récupérées sont à nouveau en légère baisse par rapport à 2014, les retrofits d'installations étant moins nombreux. Les quantités récupérées s'équilibrent désormais entre les HCFC et les HFC.

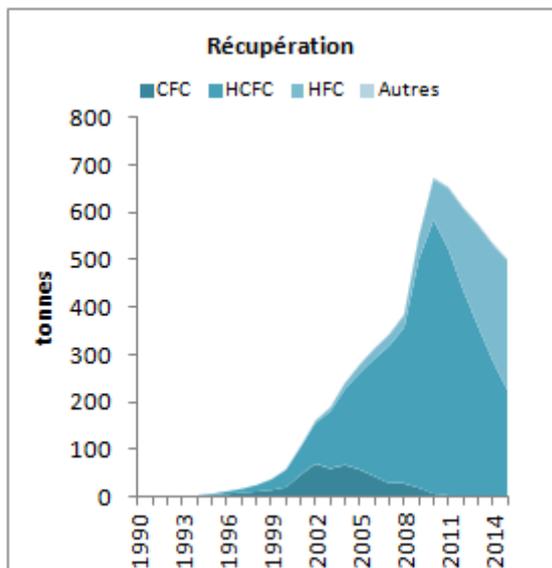


Figure IX-9 - Evolution des quantités récupérées pour les GRE

Tableau IX-11 - Quantités récupérées 2015 (tonnes) – Groupes Refroidisseurs à Eau

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	223	223
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	100	276
	R-404A	0	
	R-407C	94	
	R-410A	12	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	48	
	R-427A	21	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	4
	R-600a	0	
	R-717	4	
	R-744	0	
TOTAL			503

X. LA CLIMATISATION A AIR

X.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 X-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 X-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.

X.2 - Données nécessaires au calcul

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

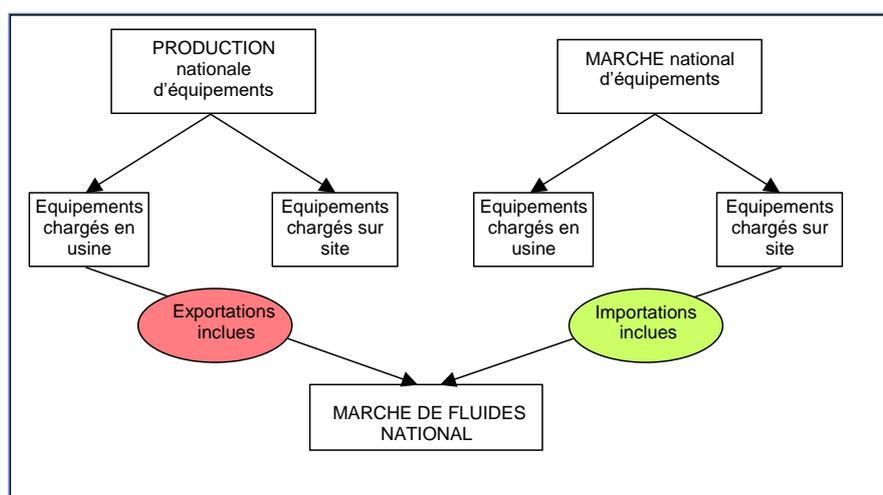


Figure X-1 – Prise en compte des lieux de charge dans le calcul du marché des fluides frigorigènes, pour le secteur de la climatisation à air

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

X.3 - La climatisation à air en 2015 en France

X.3.1 - Le marché

Les statistiques de marchés publiées par Uniclimate [UNI16] sont utilisées. Les données non publiées ont été estimées en fonction des marchés des années 2013-2014 et sont à confirmer, marquées d'un astérisque dans le tableau suivant. Par ailleurs, 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. Les marchés sont estimés en fonction des ordres de grandeurs communiqués par Uniclimate mais présentent une forte incertitude. Le Tableau X-2 récapitule les statistiques de marchés disponibles et les valeurs estimées pour 2015.

Tableau X-2– Marchés des équipements de la climatisation à air

Marchés	Climatisation individuelle				Climatisation autonome				
	Mobile**	Clim. fenêtre	Split system	Multi split system	DRV	Split et multi split	Roof top	Armoire spéciale	Armoires verticales
2013	70 000	685	272 879	79 295	15 071	3 546	996	1 000	1 206
2014	70 000*	484*	268 747	77 290	15 881	4 065	1 651 *	1 000*	1 085*
2015	70 000*	342*	311 346	78 063	17 537	4 792	1 320 *	1 075*	1 000*

* valeurs estimées.

** données marchés ayant une incertitude élevée.

X.3.2 - La production

Le Tableau X-3 rappelle les modes de charge des différents équipements de la climatisation à air.

Tableau X-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 en usine & complément de charge 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

De façon générale, la tendance est que 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.

Le Tableau X-4 présente les estimations des productions des équipements en 2015. 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.

Tableau X-4 – Estimation de la production française des principaux équipements

Production	Données BSRIA année 2004	Estimation 2015
Climatiseurs mobiles	6 900	3 200
Climatiseurs fenêtre	2 760	150
Mono split	28 500	17 670
Roof top	4 237	820

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

X.3.3- Les fluides utilisés

Le R-32, utilisé depuis plusieurs années au Japon, est récemment introduit sur le marché européen notamment sur les équipements de type splits [DHO15]. Sa part de marché sera confirmée ultérieurement si des données par fluide peuvent être communiquées par Clim Info. Les premiers équipements utilisant du R-290 apparaissent sur le marché français, tel que les climatisations de type mobile chez Delhongji [DEL15] mentionnant un label "ECO No CFC-HCFC-HFC". La croissance de la part des hydrocarbures est prise en compte pour ce type d'équipement.

Les estimations sont récapitulées Tableau X-5, le R-410A reste toujours fortement dominant.

Tableau X-5– Fluides sur le marché neuf de la climatisation à air en 2015

Fluides	2010	2015
Climatiseurs mobiles	100 % R-410A	90 % R-410A, 10% R-290
Climatisation de fenêtre	100 % R-410A	100 % R-410A
Mono split	2 % R-407C, 98 % R-410A	1 % R-407C, 94 % R-410A, 5% R-32
Multi split	14 % R-407C, 86 % R-410A	1 % R-407C, 94 % R-410A, 5% R-32
Armoires spéciales	26 % R-407C, 55 % R-410A, 19 % R-134a	1 % R-407C, 99 % R-410A
DRV	25 % R-407C, 57 % R-410A, 18 % R-134a	18 % R-407C, 65 % R-410A, 17 % R-134a
Split et Multi split	5 % R-407C, 95 % R-410A	5 % R-407C, 95 % R-410A
Roof top	27 % R-407C, 73 % R-410A	15 % R-407C, 85 % R-410A
Armoires verticales	1% R-134a 99% R-410A	1% R-134a 99% R-410A

X.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]. Celles valeurs avaient été revues et validées par les fabricants d'équipements lors de l'étude d'inventaires européens réalisée par le CES et EReI en 2011 [CLO11]. Ces valeurs sont supposées constantes par catégorie (Tableau X-6) cependant :

- Dans le cas des rooftops, une réduction de la charge liée à l'utilisation du R-410A est prise en compte. 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 à partir de 2006 en fonction de la progression du R-410A.
- Dans le cas des VRV, une communication récente de Daikin [PIG16] a conduit à augmenter la charge moyenne de ces équipements. Jusqu'à présent, seule la charge d'usine était prise en compte. La charge complémentaire sur site n'avait pu être évaluée. **La charge moyenne des VRV est corrigée de 9 à 13,5 kg sur l'historique.**

Tableau X-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	13,5	5	17 à 26	18

X.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 caractérisent jusqu'à présent les équipements. Elles sont présentées Figure X-2 à Figure X-4. Ces hypothèses n'ont pas évolué.

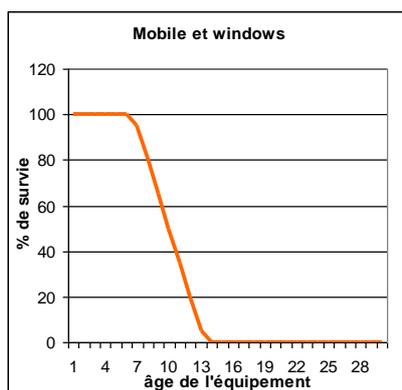


Figure X-2– Courbe de durée de vie des équipements de type mobile et climatisation fenêtre

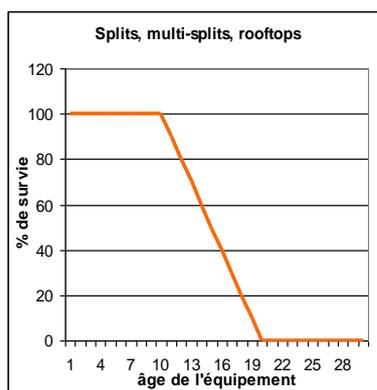


Figure X-3 – Courbe de durée de vie des équipements de type split, multi split et roof top

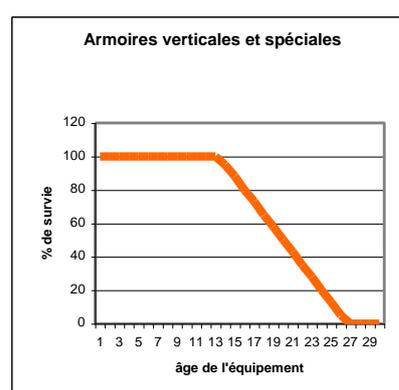


Figure X-4– Courbe de durée de vie des équipements de type armoire

X.3.6 - Facteurs d'émissions

Les taux d'émissions caractérisant les équipements neufs de climatisation à air sont présentés Tableau X-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. Pour cette étude d'inventaires 2015, les taux d'émissions des équipements de type DRV ont été corrigés et abaissés à 5 % à la suite de la communication de retours fabricants [PIG16].

Tableau X-7– Facteurs d’émissions des équipements de la climatisation à air

Facteurs d’émissions climatisation à air 2015									
	Mobile	Clim. de fenêtre	Split system	Multi split system	Armoires verticales	DRV	Split et multi split	Roof top	Armoires spéciales
Taux d’émissions	2 %	2 %	4 %	5 %	5 %	5 %	5,5 %	5 %	5 %
Récupération fin de vie	22 %	18 %	19 %	27 %	25 %	77 %	70 %	77 %	22%

X.4 - Résultats de la climatisation à air – Inventaires 2015

X.4.1 – La banque

Lors de cette étude d’inventaires, une correction a été apportée à la charge moyenne des équipements de type VRV afin de tenir compte du complément de charge sur site qui était négligé jusqu’à présent. La banque s’est trouvée affectée et est ré-évaluée à 9 600 t pour 2015.

La banque des équipements de climatisation à air reste en croissance continue, de 3 % par rapport 2014. Elle est constituée aux deux tiers par le R-410A. La banque d’hydrocarbures est faible et ne concerne en 2015 que les équipements hermétiques de type mobile.

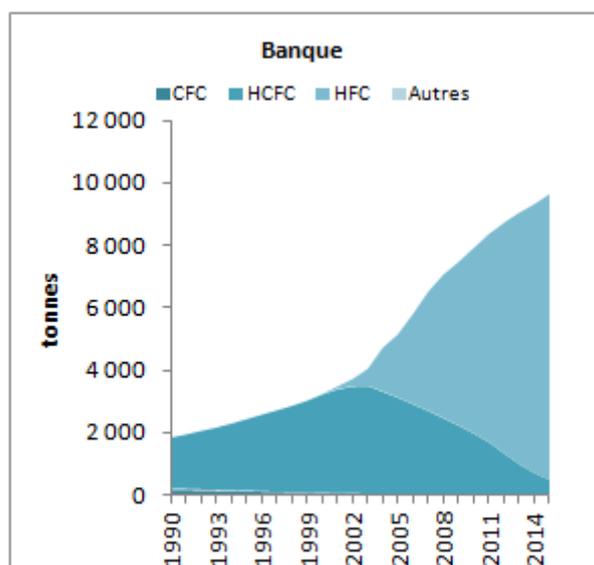


Figure X-5 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes de la climatisation à air

Tableau X-8 - Banque 2015 (tonnes) – La climatisation à air

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	455	455
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	392	9 153
	R-404A	0	
	R-407C	2 059	
	R-410A	6 433	
	R-507	0	
	R-417A	123	
	R-422A	0	
	R-422D	146	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
Autres	R-1234yf	0	4
	R-290	4	
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			9 612

Etant donné leurs parcs importants, les parts des banques des équipements de type splits (39 %) et multisplits (20 %) sont les plus élevées. La charge moyenne corrigée du VRV conduit à une ré-estimation de la banque de ce secteur qui compte désormais pour près d’un quart de la banque de la climatisation à air.

X.4.2 – La demande

La demande totale du secteur de la climatisation à air est évaluée à 970 t en 2015. Les oscillations observées sur la demande totale (Figure X-6) sont liées à la demande estimée pour les besoins de maintenance du parc. Le modèle de calcul imposant le respect d'un seuil à atteindre pour qu'un équipement subisse une opération, cela conduit à une demande pour la maintenance oscillante qui ne correspond pas nécessairement à la réalité du marché. Ce point de la modélisation pourra être ré-étudié. La demande pour la maintenance des installations concerne principalement les applications splits (22 %), VRV (38 %) et multisplits (24 %).

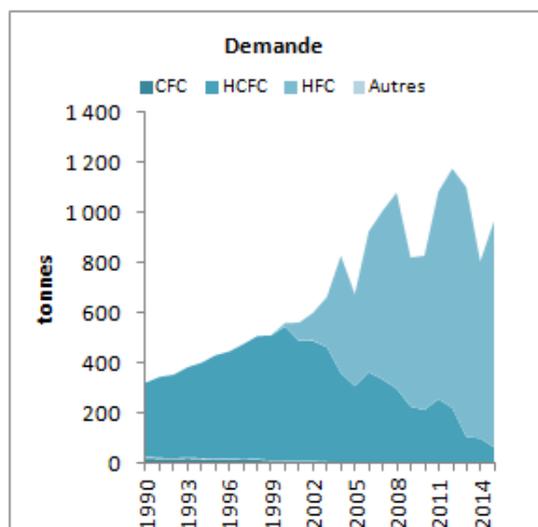


Figure X-6 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes pour la climatisation à air.

Tableau X-9 - Demande totale 2015 (tonnes) – Climatisation à air

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	60	60
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	56	889
	R-404A	0	
	R-407C	169	
	R-410A	586	
	R-507	0	
	R-417A	25	
	R-422A	0	
	R-422D	53	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	0
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			948

X.4.3 – Les émissions totales

Les émissions totales du secteur de la climatisation à air sont estimées à 940 t pour 2015, en croissance de 1 % par rapport à 2014.

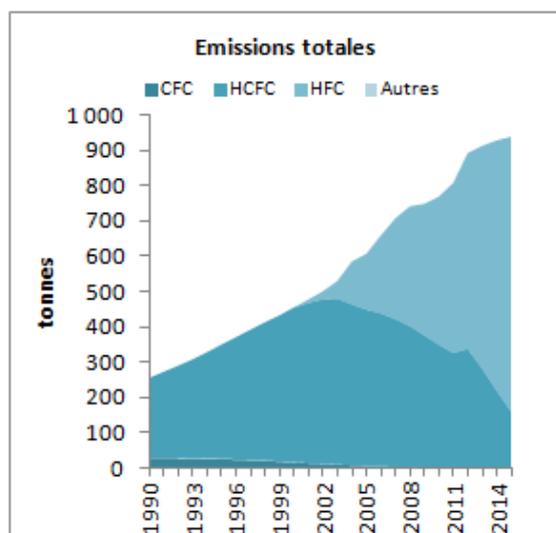


Figure X-7 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes des équipements de climatisation à air.

Tableau X-10 - Emissions totales 2015 (tonnes) de la climatisation à air

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	160	160
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	32	778
	R-404A	0	
	R-407C	205	
	R-410A	471	
	R-507	0	
	R-417A	27	
	R-422A	0	
	R-422D	43	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	0
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			938

Les émissions sont désormais dominées par le R-410A, à 50 %. Le parc d'installations au R-22 n'étant pas encore totalement converti ou parvenu à sa fin de vie, ayant un taux d'émissions plus élevé du fait de l'âge des équipements, les émissions de R-22 représentent encore 17 % du total (Tableau X-2).

X.4.4 – Les émissions en équivalent CO₂

En équivalent CO₂, les émissions du secteur de la climatisation à air s'élèvent à 1,9 million de tonnes. Les PRG des principaux fluides utilisés dans ce secteur sont proches, ce qui explique que les évolutions des émissions CO₂ (Figure X-8) et des émissions totales (Figure X-7) aient la même allure. Les émissions équivalentes CO₂ sont dominées, à l'image des émissions en tonnes, par le R-410A (PRG=2 100 selon le 4^{ème} rapport du GIEC) à 53 %.

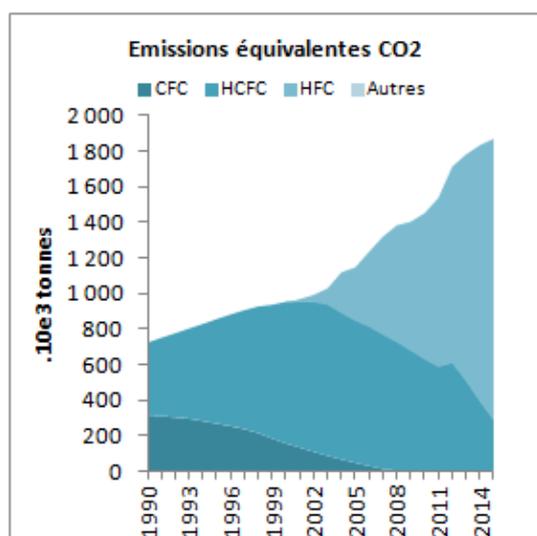


Figure X-8 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ de la climatisation à air

Tableau X-11 - Emissions totales en milliers de tonnes éq. CO₂ 2015 – Climatisation à air

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	289	289
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	45	1 583
	R-404A	0	
	R-407C	369	
	R-410A	990	
	R-507	0	
	R-417A	62	
	R-422A	0	
	R-422D	116	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	0
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			1 872

X.4.5 – Les quantités récupérées

Le niveau des quantités récupérées est faible, de l'ordre de 190 tonnes en 2015, certaines filières de fin de vie, telle que celle de la climatisation domestique, n'ayant pas encore de bons niveaux de récupération. La croissance observée Figure X-9 est liée essentiellement aux retrofits d'équipements de la climatisation tertiaire qui utilisaient des HCFC, notamment les rooftops.

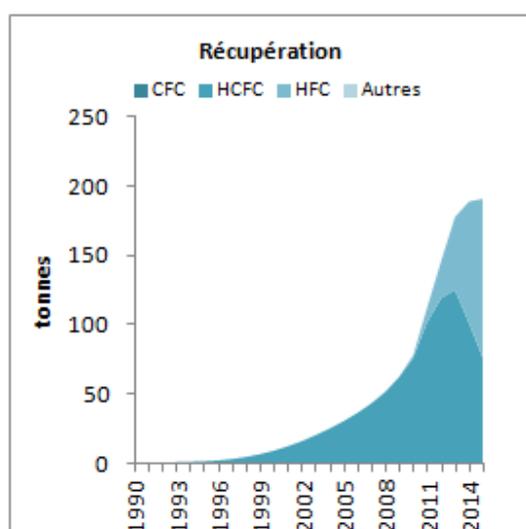


Figure X-9 - Evolution des quantités récupérées de la climatisation à air

Tableau X-12 - Quantités récupérées 2015 (tonnes) – Climatisation à air

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	76	76
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	5	115
	R-404A	0	
	R-407C	45	
	R-410A	35	
	R-507	0	
	R-417A	22	
	R-422A	0	
	R-422D	9	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	0	0
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			191

XI. LES POMPES A CHALEUR RESIDENTIELLES (PAC)

XI.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 regroupant tous les autres types de PAC en quatre sous-secteurs :

- les PAC air/eau, secteur connaissant le développement le plus grand; ce secteur inclut aussi les PAC Haute Température et les PAC hybrides;
- les PAC eau/eau et eau glycolée/eau
- les PAC sol/eau et les PAC sol/sol qui sont désormais regroupées, présentant des caractéristiques proches et leurs statistiques de marchés n'étant plus différenciées;
- les chauffe-eaux thermodynamiques, nouvelle catégorie introduite depuis les inventaires 2014, du fait de la forte croissance de son marché.

XI.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 IX-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

XI.3 Les PAC en France en 2015

Ce secteur n'est pas traité au niveau des DOM COM.

XI.3.1 - Le marché et la production

Les marchés 2015 s'appuient sur les données communiquées par l'AFPAC [PAC16] et sont présentés au Tableau XI-1. Une très forte augmentation du marché des PAC air/eau est à noter en 2014-2015 après plusieurs années de stagnation autour des 50/55 000 unités. En revanche, le secteur géothermique est toujours en baisse.

Tableau XI-1 – Marché des PAC résidentielles

PAC	2010	2013	2014	2015
Air/ eau	53 854	53 925	69 671	75 273
Eau/eau	6 658	3 693	3 007	2376
Sol/sol et sol/eau	2 299	1 231	706	703
Chauffe-eaux thermodynamiques	20 844	45 950	72 539	76 250

Faute 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 depuis 2008 [DUP11].

XI.3.2 - Les fluides utilisés

Dans le cadre des inventaires 2012, des données détaillées de marchés de PAC par type de fluide ont été communiquées au CES par Clim Info. Elles ont conduit à des corrections dans l'évolution des fluides utilisés et à montrer l'introduction des premières PAC utilisant des hydrocarbures (propane). Ces tendances ont été prolongées sur 2013-2015. Les chauffe-eaux thermodynamiques utilisent uniquement le R-134a, en système hermétique. Les hypothèses 2015 sont récapitulées au Tableau XI-2.

Tableau XI-2– Fluides utilisés sur le marché neuf des PAC résidentielles en 2010-2015

Fluides utilisés 2015	R-410A	R-407C	R-134a	R-290
PAC air/eau	84 %	3 %	5 %	8 %
PAC eau/eau	40 %	55 %	5 %	-
PAC sol/eau et PAC sol/sol	40 %	55 %	5 %	-
Chauffe-eaux thermodynamiques	-	-	100 %	-

XI.3.3 - La charge moyenne

Les hypothèses n'ont pas évolué dans le cadre des inventaires 2015, le paramètre de la charge moyenne étant supposé constant dans la méthode, et sont rappelées au Tableau XI-3. Ce point pourra être revu dans les prochains inventaires si des données détaillées peuvent être obtenues, les charges tendant à décroître sur certains équipements pour être en-deçà du seuil des 5 t CO₂ eq.

Tableau XI-3– Charges moyennes des PAC résidentielles

PAC	Air/eau	Eau/ eau	Sol/ eau et sol/sol	Chauffe-eaux thermodynamiques
Charge moyenne	3,5 kg	2,5 kg	15 kg	0,5 kg

XI.3.4 - Courbe de durée de vie

Pour les quatre types d'équipements du secteur des PAC, il est pris en compte la courbe de durée de vie présentée ci-dessous, basée sur une durée de vie moyenne de 15 ans. Cette hypothèse n'a pas évolué.

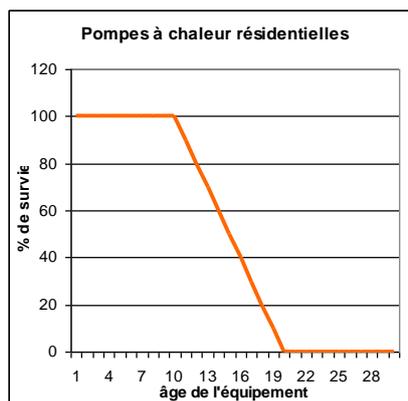


Figure XI-1 - Courbe de durée de vie des pompes à chaleur résidentielles

XI.3.5 Facteurs d'émissions

Les taux d'émissions associés aux PAC sont faibles. Dans le cas des PAC air/eau et eau/eau, les circuits sont compacts et brasés limitant les risques d'émissions. Pour les PAC à capteurs enterrés, les taux d'émissions sont considérés plus élevés. Les valeurs présentées au Tableau XI-4 tiennent compte des défaillances et pertes accidentelles. Dans le cas des chauffe-eaux thermodynamiques, les systèmes étant hermétiques, le taux très faible considéré jusqu'à présent, de même ordre que le taux de défaillance des réfrigérateurs, pourra être revu lors des prochains inventaires si des retours sur les taux de panne peuvent être obtenus.

Tableau XI-4– Taux d'émissions des PAC résidentielles

PAC	Air/eau et Eau/eau	Sol/eau et sol/sol	Chauffe eaux thermodynamiques
Taux d'émissions 2015	2 %	5 %	0,01 %
Efficacité de récupération 2015	35 %	35 %	30 %

Dans tous les cas, il est pris en compte une progression de l'efficacité de récupération en fin de vie des PAC selon une courbe « en S », débutée en 2003.

XI.4 Résultats des PAC – Inventaires 2015

XI.4.1 – La banque

La banque des PAC est en croissance régulière, de 8 % par rapport à 2014, et estimée à 3 700 t en 2015. Elle représente actuellement seulement 6 % de la banque totale de fluides frigorigènes en France. Elle est dominée par le R-410A à 58 %. La progression des PAC utilisant le propane est relativement lente, la banque d'hydrocarbures ne représente que 2 % de la banque des PAC 2015.

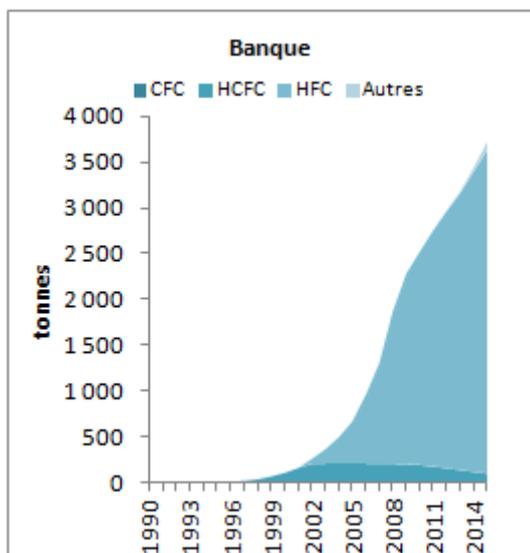


Figure XI-2 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes des PAC

Tableau XI-5 - Banque 2015 (tonnes) – PAC

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	86	86
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	311	3 551
	R-404A	0	
	R-407C	1 023	
	R-410A	2 158	
	R-507	0	
	R-417A	59	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	81	81
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			3 719

XI.4.2 – La demande

Après la forte croissance du marché sur 2005-2008, la demande totale est plus faible, mais croissante par rapport à 2014. Son niveau est à confirmer, les données de production d'équipement n'étant pas précisément connues.

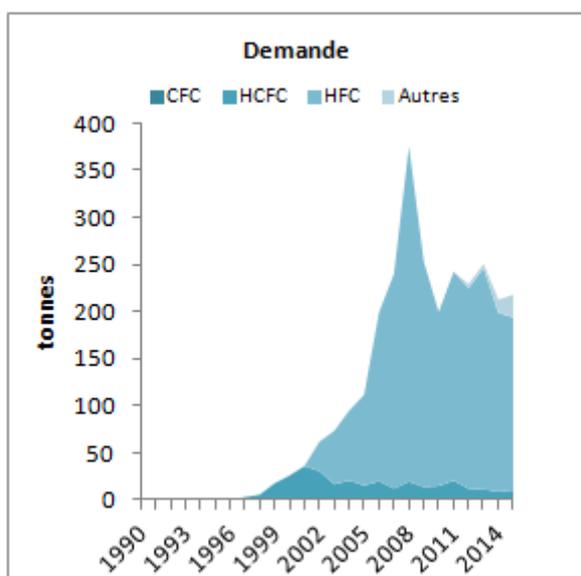


Figure XI-3 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes pour les PAC

Tableau XI-6 - Demande totale 2015 (tonnes) – PAC

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	11	11
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	31	183
	R-404A	0	
	R-407C	17	
	R-410A	135	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	24	24
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			218

Dans ce secteur, la maintenance des équipements n'étant pas annuelle, la demande en fluides frigorigènes pour la maintenance annuelle est très variable. Les taux d'émissions étant par ailleurs faibles, le besoin pour la maintenance l'est aussi ; il est estimé à seulement 22 t en 2015, et à 74 t en moyenne sur 2010-2015.

XI.4.3 – Les émissions totales

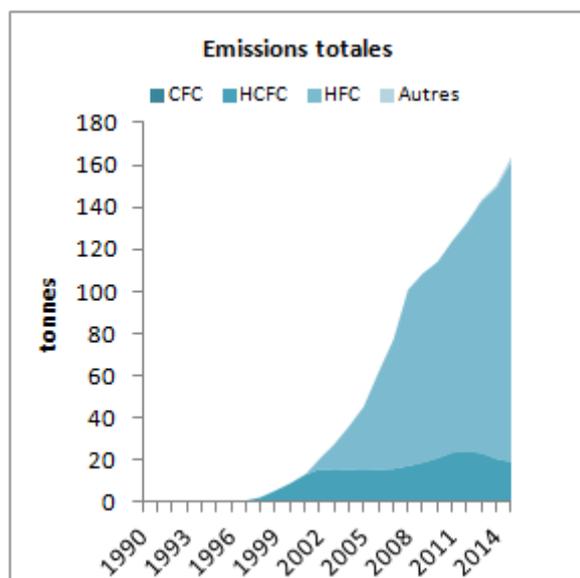


Figure XI-4 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes du secteur PAC

Tableau XI-7 - Emissions totales 2015 (tonnes) – PAC

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	19	19
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	8	143
	R-404A	0	
	R-407C	68	
	R-410A	64	
	R-507	0	
	R-417A	2	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
R-1234yf	0		
Autres	R-290	3	3
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			164

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, le nombre d'équipements parvenant en fin de vie est encore faible en 2015. Les émissions présentées Figure XI-4 sont donc essentiellement des émissions fugitives (74 %), ce qui explique que le niveau soit bas, les taux d'émissions étant faibles.

XI.4.4 – Les émissions en équivalent CO2

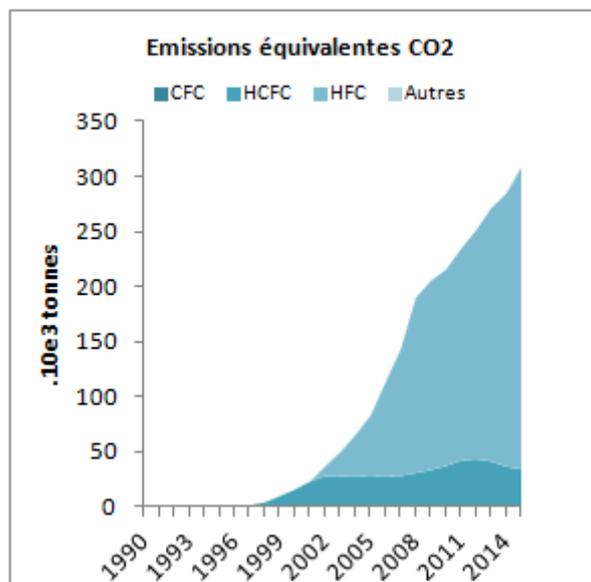


Figure XI-5 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ secteur PAC

Tableau XI-8 - Emissions totales en milliers de tonnes équivalentes CO₂ 2015 – PAC

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	35	35
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	12	274
	R-404A	0	
	R-407C	123	
	R-410A	135	
	R-507	0	
	R-417A	4	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
Autres	R-1234yf	0	0
	R-290	0	
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			308

L'impact du secteur des PAC sur les émissions CO₂ équivalentes est faible, de seulement 308 000 t, peu d'équipements étant parvenus en fin de vie et les taux d'émissions et charges étant faibles.

XI.4.5 – Les quantités récupérées

Pour les mêmes raisons, peu d'équipements sont concernés par une récupération de fin de vie, ce qui explique en partie le niveau très faible de la récupération, de l'ordre de 22 t en 2015.

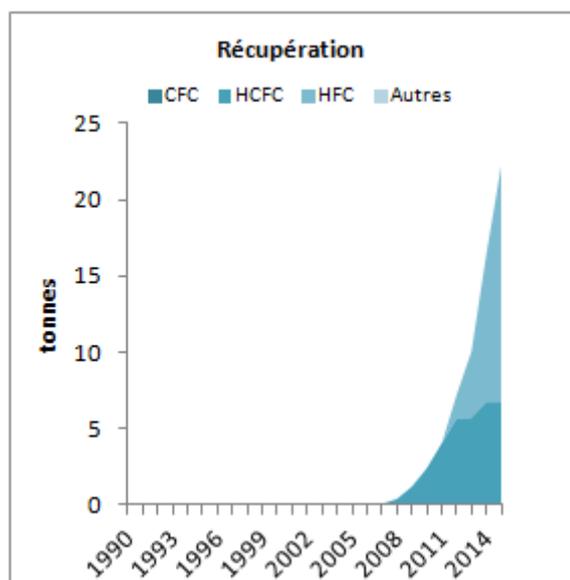


Figure XI-6 - Evolution des quantités récupérées dans le secteur PAC

Tableau XI-9 - Quantités récupérées 2015 (tonnes) – PAC

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	7	7
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	1	15
	R-404A	0	
	R-407C	12	
	R-410A	3	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
Autres	R-1234yf	0	0
	R-290	0	
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			22

XII. LA CLIMATISATION EMBARQUEE

XII.1 Structuration du secteur

Le secteur de la climatisation embarquée se divise en cinq 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 climatisée, 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.
- Le secteur des tramways climatisés est introduit cette année à la demande du ministère. Ces équipements sont peu nombreux, les quantités de fluides frigorigènes en jeux sont très faibles.

XII.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 3.

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, assimilés à ceux des véhicules
- les taux de climatisation des véhicules produits et mis sur le marché
- 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
- les taux d'émissions : décomposé pour ce secteur en un taux d'émissions fugitives régulières et celui des émissions irrégulières.

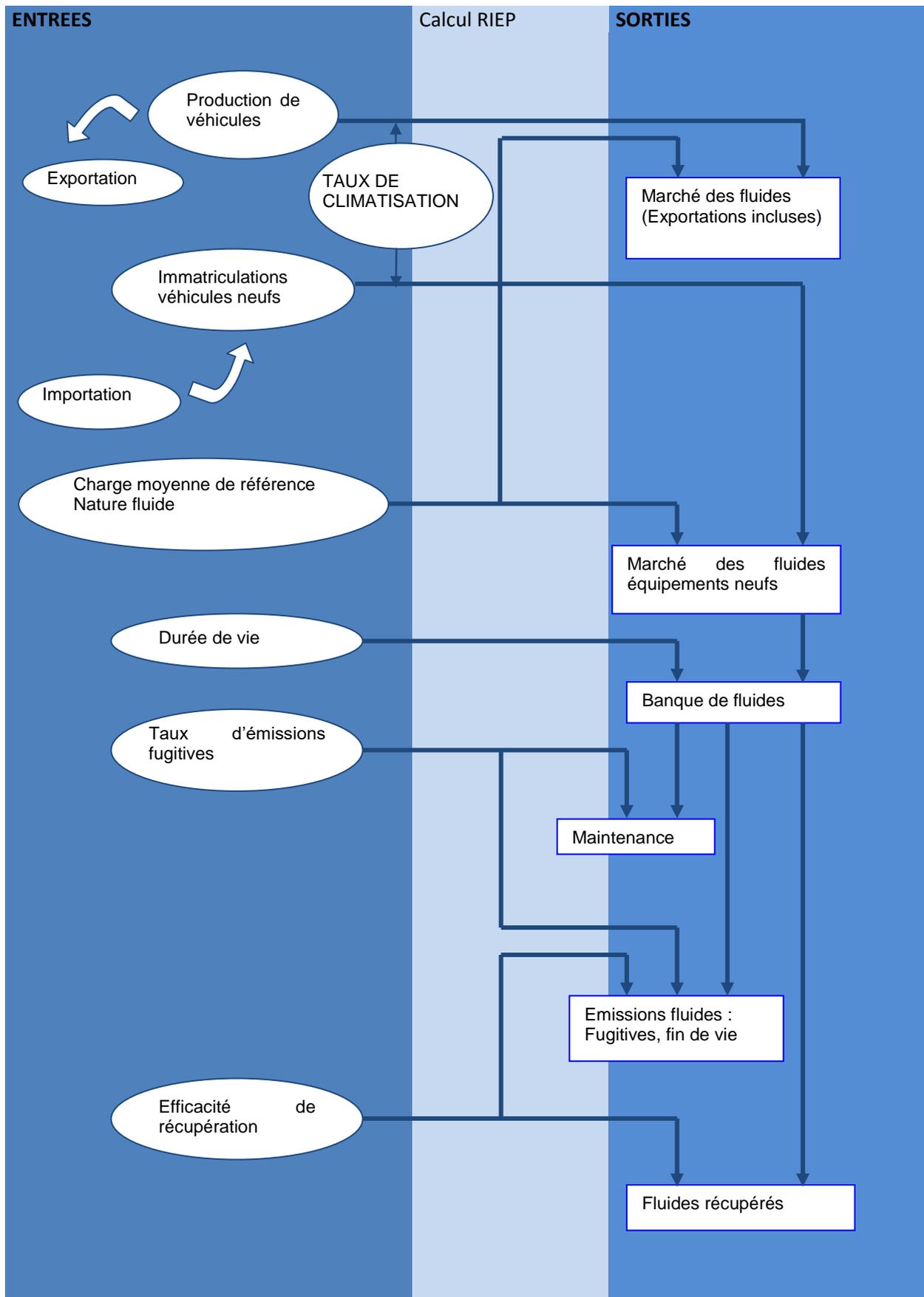


Figure XII-1– Organigramme de la méthode utilisée pour le secteur de la climatisation embarquée

XII.3 La climatisation embarquée en France en 2015

XII.3.1 La production et le marché

Chaque année, les données publiées par le CCFA, Comité des Constructeurs Français d'Automobiles [CCF16] et l'OICA, Organisation Internationale des Constructeurs Automobiles, [OIC15] sont utilisées pour la mise à jour des statistiques de marchés et productions de véhicules. Cependant, pour l'année 2015, l'OICA n'a pas communiqué d'informations concernant les productions de bus et de véhicules industriels. Elles ont été estimées par rapport au marché en supposant que le ratio entre marché et production était identique à l'an dernier. Les données présentées Tableau XII-1 et Tableau XII-2 correspondent à l'ensemble des véhicules produits et immatriculés, sans distinction de climatisation.

Tableau XII-1– Production de véhicules en France

PRODUCTION	Véhicules particuliers et VUL jusqu'à 5 t	Véhicules Industriels	Cars et bus	Tramways
2010	1 908 826	29 702	3 475	68
2015	2 334 000	28 550	4 030	93

Tableau XII-2– Nouvelles immatriculations de véhicules

MARCHES	Véhicules particuliers et VUL jusqu'à 5 t	Véhicules Industriels	Cars et bus	Tramways
2010	2 669 281	41 773	5 382	68
2015	2 792 000	41 710	6 724	93

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 XII-2. Cette courbe a été lissée, dans le cadre des inventaires 2011 et conduit à un taux de pénétration de la climatisation automobile de 94,5 % en 2015.

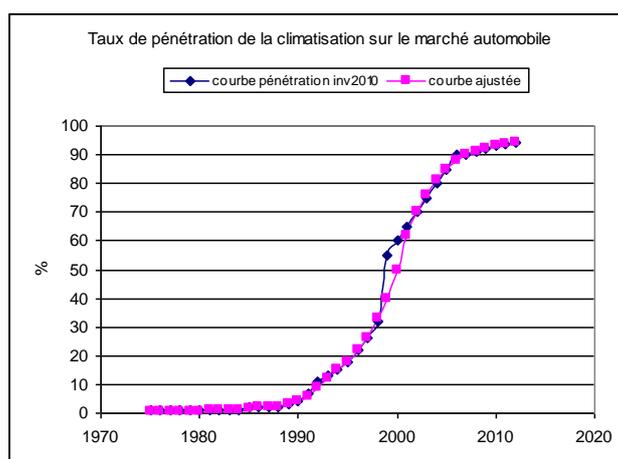


Figure XII-2 – Lissage de la courbe de pénétration de la climatisation sur le marché automobile

Pour les trains, le taux de climatisation est de 100 % du marché neuf. L'évolution du parc des trains climatisés a été réactualisée à la suite d'un bilan sur l'état du parc de la SNCF [PAS14].

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 2015.

Les tramways ont été introduits en appliquant la même méthode de calcul que pour les trains et en utilisant les données fournies par la SNCF [PAS15]. La structure "classique" d'une rame de tramway, en termes de systèmes de climatisation associés, est schématisée Figure XII-3.

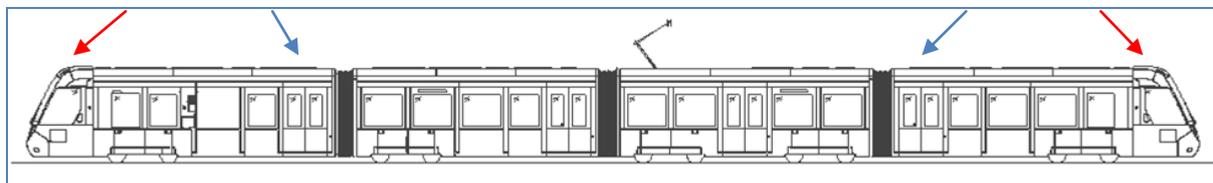


Figure XII-3 - Répartition des systèmes de climatisation sur une rame de tramways.

Les tramways en France sont généralement construits sur la plateforme CITADIS de chez Alstom. Les Citadis ont une climatisation par cabine et une pour 2 remorques (sur le schéma, flèches rouges pour les climatisations cabine et bleues pour les groupes voyageurs), avec au total généralement 5 remorques.

Les tramways sont recensés en termes de nombres de rames. Le marché est reconstitué à partir des statistiques disponibles sur l'évolution du parc. Le CEREMA [TRE15] nous a communiqué l'évolution du parc de tramways par ville à partir de 1995 et les parcs d'Ile de France pour 2011 et 2015. Ces données concordent avec celles publiées dans l'annuaire statistique des transports collectifs urbains [CER13]. Le parc total 2015 est estimé à 1 163 rames. L'historique a été reconstitué en considérant que le 1er tramway "moderne" a été introduit à Nantes en 1992 et le renouveau du tramway d'Ile de France date de 1995 (Bobigny) [HIS15]. Une courbe de pénétration "en S" de la climatisation sur le marché est prise en compte en considérant une introduction de la climatisation en 1992 et un taux de pénétration de 95 % en 2015.

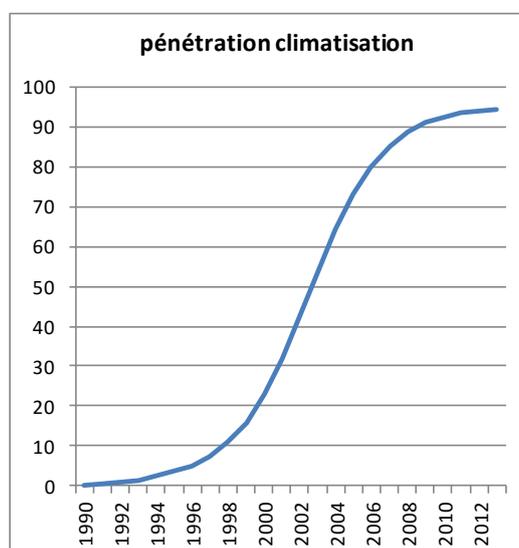


Figure XII-4 - Courbe de pénétration de la climatisation sur le marché neuf des tramways

Un renouvellement des équipements tous les 15 ans est pris en compte dans l'évaluation du marché.

XII.3.2 La répartition annuelle des fluides

En climatisation automobile, seul le R-134a était utilisé sur le marché neuf depuis 1994. La transition du R-12 au R-134a a été très rapide, en deux ans environ. L'introduction du R-1234yz sur les nouvelles plateformes de production automobile qui devait débiter en 2011 est plus lente que prévue. Elle est cependant amorcée, avec 3 millions de véhicules sur le marché mondial en 2015

[DUP14]. Le niveau de la production française utilisant le R-1234yf est en progression, estimé à 30% en 2015, ce niveau étant à confirmer.

Pour les bus, tous les systèmes neufs fonctionnent au R-134a. Une progression du R-1234yf est prise en compte pour le VI, son niveau reste à confirmer.

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. Globalement, selon la SNCF, la banque est constituée, en 2013, à 50 % de R-134a et 50 % de R-407C. Le R-407C a aussi été utilisé pour les retrofits d'équipement au R-22. Fin 2013, il n'y a plus de R-22 dans les installations de la SNCF [PAS14].

Dans les tramways, deux types de groupes de climatisation sont possibles: les groupes de cabine de marques Soprano, Faiveley ou King (Shijiazhuang king transportation equipment) utilisent une charge d'environ 1,3 kg de R-134a; les groupes voyageurs de marques Soprano ou Thermoking utilisent une charge d'environ 10,5 kg de R-407C. Faute de données sur l'historique, dans un premier temps, les fluides pris en compte sont ceux utilisés sur les systèmes neufs: le R-134a et le R-407C, dans la proportion de 11 et 89 %, étant donnée la répartition des groupes par rame (Figure XII-3).

XII.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 de véhicules [CCF16] et les charges nominales associées, basées sur les données Valéo Clim Service [VAL15]. La charge moyenne des véhicules neufs continue de décroître.

Tableau XII-3– Charges moyennes

Charges (kg)	Climatisation automobile	Véhicules Industriels	Cars et bus	Trains	Tramways
2010	0,46	0,77	12,1	10,9	23,6
2015	0,5	0,73	10	10,3	23,6

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. Pour les bus et VI, une tendance à la décroissance des charges est prise en compte, faute d'information plus précise. Dans les tramways, la description de la configuration type donnée par la SNCF conduit à estimer la charge globale moyenne par rame à 23,6 kg; elle est supposée constante dans un premier temps

XII.3.4 La courbe de durée de vie

Les courbes de durée de vie (Figure XII-5 et Figure XII-6) 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.

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 peut être 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. Les résultats comparés aux parcs de véhicules climatisés publiés par l'étude TNS Worldpanel [RAP12] pour les années 2003 et 2008 ont montré des écarts de l'ordre de 7 %.

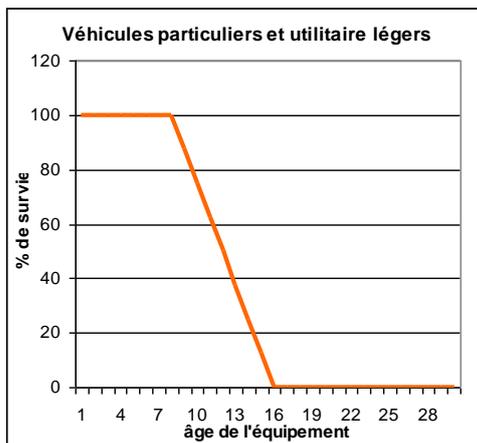


Figure XII-5– Courbe de durée de vie des véhicules particuliers et utilitaires légers ainsi que véhicules industriels

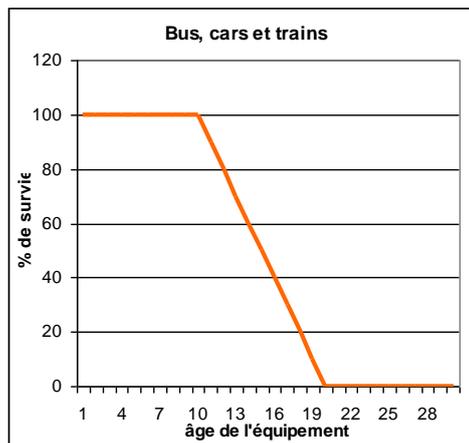


Figure XII-6– Courbe de durée de vie des cars et bus et des trains

On suppose la durée de vie des systèmes équipant les tramways équivalente à celles des trains, de 15 ans.

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 XII-4.

Tableau XII-4– Durées de vie des systèmes de climatisation

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

XII.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'informations sont disponibles étant donné que la plateforme déclarative "Syderep" de l'ADEME ne suit pas les quantités de fluides frigorigènes récupérées lors de la dépollution des véhicules. Cependant, plus d'un million de véhicules sont réceptionnés annuellement par des centres VHU agréés qui ont l'obligation réglementaire de récupérer le fluide frigorigène des circuits de climatisation.

Le tableau suivant récapitule les données issues des rapports VHU de l'ADEME [VHU16]. Les données 2015 ne sont pas encore disponibles. Aucune donnée concernant le nombre de véhicules climatisés ou les quantités de fluides frigorigènes récupérées des circuits de climatisation n'est actuellement disponible. L'ADEME prévoit de réaliser en 2018 une enquête approfondie sur la filière qui devrait permettre d'obtenir ces informations.

Tableau XII-5 – Informations sur la performance de la filière VHU issues du rapport ADEME [VHU16]

Données VHU	Nombre total de véhicules pris en charge	Taux de récupération par rapport au « gisement »	Total VP pris en charge	Age moyen
2013	1 114 867	54%	1 038 273	16,8 ans
2014	1 084 766	58%	1 006 372	17,5 ans

En 2014, l'âge moyen de véhicules est de 18 ans, soit une mise sur le marché en 1996. Or en 1996, selon la courbe de pénétration, seulement 22 % des véhicules étaient climatisés.

Faute d'informations plus précise, l'efficacité de récupération de la filière ne peut être corrigée significativement. Cependant, étant donné la tendance croissante du nombre de véhicules démantelés, la courbe d'amélioration de l'efficacité de récupération en fin de vie des véhicules est poursuivie (Tableau XII-6). Son niveau pourra être corrigé si le suivi des quantités récupérées est mis en place par l'ADEME.

Tableau XII-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 et tramways
2010	2 %	0,5 %	0,5 %	59 %
2015	8 %	3 %	3 %	75 %

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 XII-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 %
2015	80 %	65 %	70 %	95 %

XII.3.6 Le taux d'émissions

Les niveaux d'émissions caractérisant les véhicules neufs sont maintenus en 2015, 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 2010-2015.

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

Tableau XII-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 et tramways (% de la charge)
2015	25 g/an	35 g/an	12%	5 %

XII.4 Résultats climatisation embarquée – Inventaires 2015 France métropole

XII.4.1 – La banque

La banque de la climatisation embarquée est stable depuis 2012, la croissance du parc étant compensée par la réduction des charges moyennes des véhicules. Elle est estimée à 15 800 t en 2015, constituée quasi exclusivement de HFC, la banque de CFC étant éliminée depuis 2006. La banque de R-1234yf, remplaçant du R-134a, se constitue progressivement depuis 2012 et représente environ 7 % de la banque de climatisation embarquée en 2015.

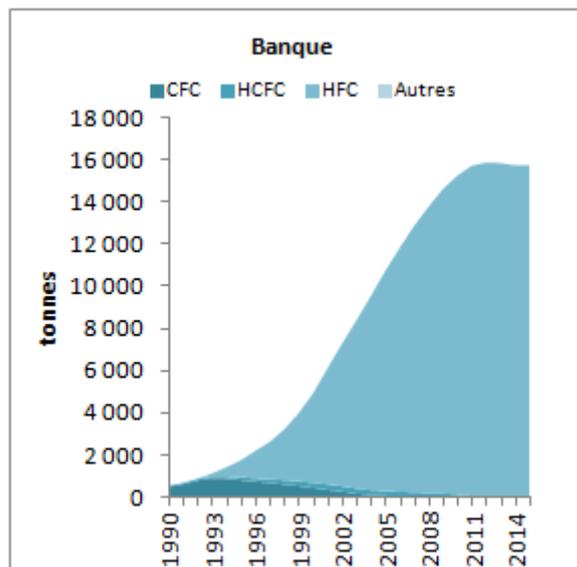


Figure XII-7 - Evolution de la banque de fluides frigorigènes de la climatisation embarquée

Tableau XII-9 - Banque 2015 (tonnes) – Climatisation embarquée

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	6	6
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	14 502	15 784
	R-404A	0	
	R-407C	144	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A	3	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
Autres	R-1234yf	1 134	0
	R-290	0	
	R-600a	0	
	R-717	0	
	R-744	0	
TOTAL			15 790

XII.4.2 – La demande

Selon le modèle RIEP développé pour la climatisation automobile, la demande totale de fluides frigorigènes pour le secteur de la climatisation embarquée a subi une forte décroissance à partir de 2008-2009 (Figure XII-8) liée à la diminution de la demande pour la maintenance du parc. En effet, les véhicules équipés de systèmes de climatisation aux taux de fuite très bas, mis sur le marché à partir de 2004, mettent beaucoup plus de temps à atteindre le niveau seuil à partir duquel une maintenance est prévue par le modèle. Depuis 2012, la demande en R-134a fait apparaître un écart significatif avec les marchés déclarés et très élevé en 2015. L'écart est atténué en 2015 mais il serait utile de connaître le marché maintenance de R-134a dédié à la climatisation automobile pour pouvoir conclure sur le fait que le modèle développé en 2009 et les niveaux de dégradation de l'étanchéité associés sont toujours valables.

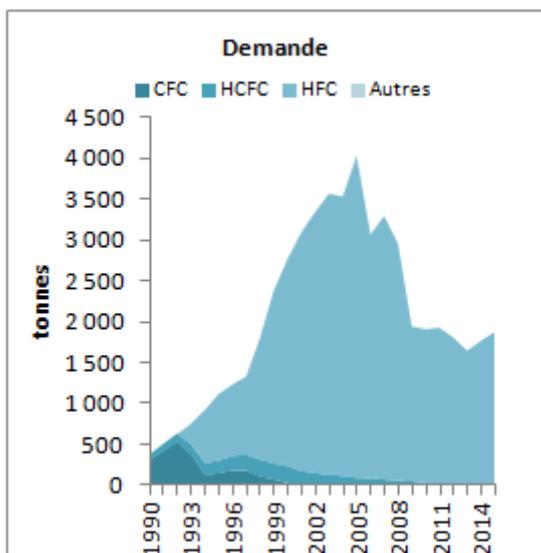


Figure XII-8 – Evolution de la demande totale de fluides frigorigènes en climatisation embarquée

Tableau XII-10 - Demande totale 2015 (tonnes) – Climatisation embarquée

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	1	1
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	982	1 871
	R-404A	0	
	R-407C	17	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A	1	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
Autres	R-1234yf	872	0
	R-290	0	
	R-600a	0	
	R-717	0	
TOTAL	R-744	0	1 872

XII.4.3 – Les émissions totales

Les émissions sont en décroissance depuis 2008, le parc étant renouvelé et de moins en moins émissif. Elles sont estimées à 2 080 t en 2015.

Les émissions en fin de vie des équipements présentent une incertitude forte car, même si le nombre de véhicules dépollués est connu, le suivi des quantités récupérées n'est pas assuré. Ces émissions constituent environ 25 % des émissions totales, une partie des équipements y parvenant vide ou faiblement chargée.

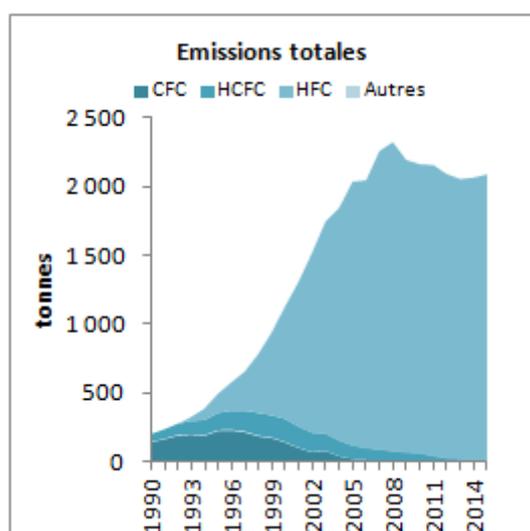


Figure XII-9 - Evolution des émissions totales de fluides frigorigènes en Climatisation embarquée

Tableau XII-11 - Emissions totales 2015 (tonnes) – Climatisation embarquée

CFC	R-12	0	0
HCFC	R-22	7	7
	R-408A	0	
	R-401A	0	
HFC	R-134a	1 931	2 075
	R-404A	0	
	R-407C	17	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A	3	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
Autres	R-1234yf	124	0
	R-290	0	
	R-600a	0	
	R-717	0	
TOTAL	R-744	0	2 082

XII.4.4 – Les émissions en équivalent CO₂

La pénétration du R-1234yf sur le parc automobile est encore trop faible pour impacter significativement les émissions CO₂ équivalentes du secteur de la climatisation automobile, lesquelles sont évaluées à 2,8 millions de tonnes de CO₂ en 2015 ; ce qui représente encore 16,3 % des émissions de fluides frigorigènes de la France métropole en équivalent CO₂.

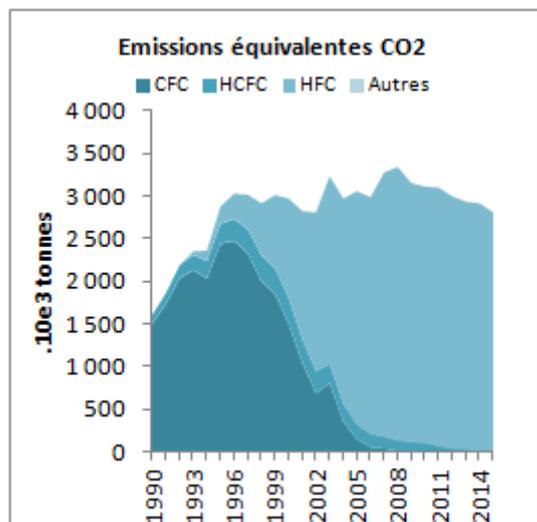


Figure XII-10 - Evolution des émissions totales en équivalent CO₂ en Climatisation embarquée

Tableau XII-12 - Emissions totales en milliers de tonnes équivalentes CO₂ 2015 – Climatisation embarquée

CFC	R-12	0	0
	R-22	13	
	R-408A	0	
HCFC	R-401A	0	13
	R-134a	2761	
HFC	R-404A	0	2 799
	R-407C	31	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A	7	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
	R-1234yf	0	
	Autres	R-290	
R-600a		0	
R-717		0	
R-744		0	
TOTAL			2 812

XII.4.5 – Les quantités récupérées

Les quantités récupérées en fin de vie des équipements sont faibles, de l'ordre de 55 t en 2015, les résultats de la filière VHU n'étant pas réellement connus et son efficacité pouvant être sous-estimée dans les hypothèses de calcul actuelles. Le secteur des trains qui a une bonne efficacité de récupération en fin de vie des systèmes, impacte l'allure de la courbe Figure XII-11 avec notamment en 2011 la fin de la conversion du parc d'installations au R-22.

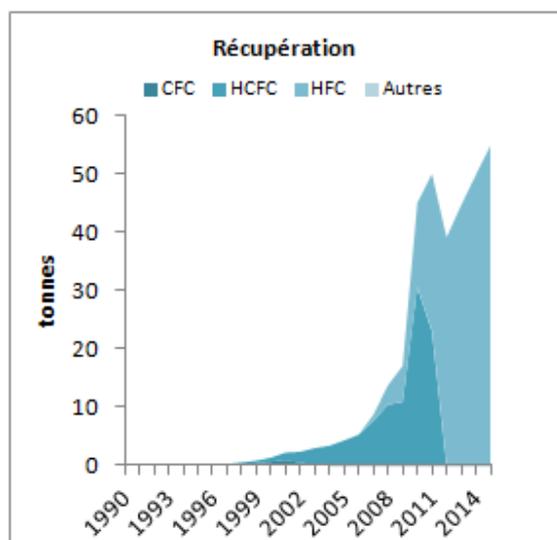


Figure XII-11 - Evolution des quantités récupérées en Climatisation embarquée

Tableau XII-13 - Quantités récupérées (tonnes) 2015 – Climatisation embarquée

CFC	R-12	0	0
	R-22	0	
	R-408A	0	
HCFC	R-401A	0	0
	R-134a	44	
HFC	R-404A	0	55
	R-407C	10	
	R-410A	0	
	R-507	0	
	R-417A	0	
	R-422A	0	
	R-422D	0	
	R-427A	0	
	R-407A	0	
	R-407F	0	
	R-1234yf	0	
	Autres	R-290	
R-600a		0	
R-717		0	
R-744		0	
TOTAL			55

XIII. Perspectives d'amélioration

Les études d'inventaires sont améliorées chaque année, enrichies de nouvelles informations, références, données d'enquêtes ; les données historiques et la cohérence des résultats sont vérifiées. L'étape de comparaison de la demande reconstituée par RIEP permet de mettre en évidence les secteurs, utilisateurs de certains fluides, pour lesquels une amélioration doit être apportée. Depuis 3 ans, l'estimation de la demande de R-134a présente des écarts avec les marchés déclarés. Ce fluide est fortement utilisé en climatisation automobile mais également en froid commercial et industriel, dans les systèmes de type cascade R-134a/CO₂, dans les conteneurs frigorifiques en transport frigorifique, dans les chillers, et d'une façon moindre, certains équipements de climatisation et pompes à chaleur. Améliorer l'estimation de la demande de R-134a nécessiterait :

- De pouvoir comparer le marché maintenance de climatisation automobile avec l'estimation de la demande pour la maintenance et d'ainsi vérifier la cohérence des paramètres du modèle avec les technologies actuelles ;
- D'améliorer la connaissance des marchés et productions d'équipements : les données de production sont confidentielles et rarement communiquées par les fabricants et sont une perspective d'amélioration dans de nombreux secteurs. Les marchés sont généralement publiés mais, au niveau mondial (conteneurs), les publications sont plus rares et, dans certains secteurs tels que celui des chillers, une connaissance des marchés par gamme de puissance et par fluide permettrait d'être beaucoup plus précis sur l'évaluation de la demande. Cette amélioration devrait être facilement apportée à la prochaine étude d'inventaires, Clim Info nous ayant récemment apporté de nouveaux éléments qui n'ont pas été pris en compte dans le calcul (communication postérieure à la communication des résultats au CITEPA) ;
- De vérifier certaines hypothèses qui n'ont pas été revues depuis plusieurs années telle que la part forfaitaire que représentent le transport frigorifique maritime par rapport au niveau mondial, estimée à 10 % à partir de données de production communiquées dans les années 2000 ;
- De mieux estimer la pénétration des systèmes cascade R-134a/CO₂ en froid commercial et industriel en élargissant l'enquête à plus de détenteurs et d'opérateurs ; il s'avère que parfois, les résultats d'enquête ne sont pas représentatives du niveau national ;
- De mieux connaître les mécanismes de la filière VHU (véhicules hors d'usage) et d'évaluer la part de R-134a récupérées des véhicules démantelés qui pourrait être directement recyclée par les démolisseurs broyeurs pour réaliser des maintenances de véhicules. Une étude approfondie de la filière VHU est prévue par l'ADEME en 2018.

De manière générale, pour tous les secteurs, les données de production sont marquées d'une forte estimation. Si elles impactent fortement le marché reconstitué, elles ont une influence moindre sur les émissions car les taux d'émissions à la charge des équipements sont faibles.

De manière générale également, l'efficacité de récupération en fin de vie des équipements est un paramètre difficile à estimer et présente une incertitude élevée. Certains taux ont récemment été revus, pour les installations classées ICPE par exemple, d'autres nécessitent davantage d'enquête : en transport frigorifique, en climatisation embarquée (automobile et autres sous secteurs) notamment.

L'évolution des charges est prise en compte dans la modélisation. Pour certains types d'équipement, il s'agit de connaître les nouvelles technologies sur le marché et, associées à la connaissance du marché d'équipements par fluide, l'estimation des émissions est réaliste. Des échanges réguliers avec les fabricants doivent permettre de mettre à jour les informations. Cette étude d'inventaires a montré que, pour certains équipements de climatisation, il existe un complément de charge réalisé sur site alors que la charge principale est faite en usine, qui est non négligeable. Une correction a été

apportée à la charge des équipements de type DRV, il est nécessaire de vérifier les autres équipements de climatisation dans la prochaine étude d'inventaires. De plus, les taux d'émissions des équipements neufs, qui avaient été validés par les fabricants d'équipements en 2011 peuvent avoir été réduits, comme c'est le cas pour les DRV. Peu d'évolutions ont été prises en compte depuis 2011, les dernières communications de Daikin montrent qu'il est nécessaire de vérifier que les hypothèses sont bien cohérentes avec les dernières données disponibles.

XIV. REFERENCES

- [BAR 11] Barrault, S., Clodic, D., CEP MINES-ParisTech. Rapport final - Inventaires DOM COM pour l'année 2010. Novembre 2011.
- [BAR12] Barrault, S., CES MINES-ParisTech, , Clodic, D., EReIE. Rapport final - Inventaires d'émissions de fluides frigorigènes, France métropole et DOM COM, pour l'année 2012. Décembre 2013.
- [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.
- [OFF16] Rapport annuel de l'Observatoire des Fluides frigorigènes et Gaz Fluorés. Données 2015. Juin 2016. Réalisé par Deloitte Développement Durable pour le compte de l'ADEME.
- [ROY16] Fluides frigorigènes : Statistiques consommation / Récupération / Destruction. Communication de Philippe Roy, SNEFCCA pour le CES, Octobre 2016.
- [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.

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
- [FAN16] Communication chiffres provisoires 2015 de la filière DEEE, Erwan Fangeat ADEME, Octobre 2015.
- [GIF14] Site internet du GIFAM (www.gifam.fr).

Références froid commercial

- [CLO12] Clodic, Denis. Commercial Refrigeration - refrigerant choices. CCAC - 8th December 2013.
- [GRO15] Communications d'Alexandra Grotto et Jean-Michel Deroo pour le groupe Auchan, 2015-2016.
- [INS13] INSEE, Base Permanente des Equipements.
http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?reg_id=99&ref_id=fd-bpe11
- [LSA13] La France des Drives. LSA, 1er Juillet 2013.
<http://www.lsa-conso.fr/la-france-des-drives,144353>
- [LSA14] L'Atlas de la distribution Alimentaire, LSA, Edition 2015.
- [MAR16] Communications d'Eric Martin, JCI, pour le CES, 2016.
- [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
- [THE16] Les Chiffres clés 2013 de la distribution. Themavision.
http://www.themavision.fr/jcms/rw_407532/distribution-les-chiffres-clefs-2013?hlText=distribution%3A+les+chiffres+2013&portal=c_224282&cid=c_192389
- [PHI14] Entretiens avec Bernard Philippe, Réfrigération Industrielle, JCI (Jonhson Controls Industries), 2015.

Références Transports Frigorifiques

- [CAR15] www.carcoserco.org
- [LOG15] http://issuu.com/logistique-froid-routier/docs/froid_news_numero_2
- [MIC13] Inventaire des productions d'engins autonomes de non autonomes 2013. Masses de fluides associées. Thomas Michineau, Eric Devin, Cemafroid. Novembre 2013.
- [REF07] <http://www.reefertrends.com>
- [SHI13] World Shipping Councils.
<http://www.worldshipping.org/about-the-industry/containers/global-container-fleet>
- [WOR15] Mise à jour Worldshipping 2012- projections 2015, 2015.
- [STU12] Entretien JP.Stumpf, Carrier, 2011-2013.
- [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
- [ALI13] L'industrie agroalimentaire, des métiers à votre goût.
<http://alimetiers.com/>
- [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.
- [CAO16] <http://www.lecaoutchouc.com/economie/production>
- [COC10] <http://cocacolatpe.e-monsite.com/rubrique,coca-cola-en-chiffres,171566.html>
- [FAO15] Banque de données statistiques FAO (Food Agriculture Organization) sur www.fao.org
- [GOU13] <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/CS334.pdf>
- [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.
- [MAR16] Communications d'Eric Martin, JCI, pour le CES, 2016.
- [PHI14] Communications de Bernard Philippe, Réfrigération Industrielle, Jonhson Controls Industries, 2010-2015.
- [ROB15] Communication d'Olivier Robert, Enertherm pour le CES, 2015.
- [SAY07] Carine Sayon, CEP, 2007.
- [SYN14] 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.
- [DUP13] Communications de G.N.Dupré, Uniclimate, pour le CES, 2013-2013.
- [OHL13] Violaine Ohl-Gasteau, PAC&Clim'Info. Communications de données confidentielles sur les marchés de chillers par gamme de puissance, pour le CES, 2011-2013.
- [ROB15] Communications d'Olivier Robert pour le groupe Climafort, 2008-2015.

Références Climatisation à Air

- [BSR08] World Market for Air Conditioning 2008, BSRIA Report 19947/2, 2008.
- [CAR08] Entretien JM.Carré, Lennox Europe, 2008-2009.
- [CLI15] La Climatisation, les pompes à chaleur. Les chiffres du marché français de janvier à août 2015. PAC & Clim'Info. Septembre 2015.
- [DEL15] <http://www.delonghi.com/en-au/products/comfort/air-conditioning/portable-air-conditioners/pinguino-water-to-air-pac-we112eco-0151483009?TabSegment=key-features#key-features>
- [DHO15] Refrigerant R-32 for air conditioners and heat pumps, Hilde Dhont, Environment Research Center, Daikin Europe, Politecnico di milano, Juin 2015.
- [PIG16] Communication de F.Pignard, Daikin, pour le CES.
- [UNI16] Bilan 2015 et perspectives 2016 du génie climatique. Dossier de presse. Uniclimate. 1er février 2016.

Références PAC

- [CLO11] Clodic D., Pan X., Barrault S. EReIE and CES MINES-ParisTech/ARMINES. European Refrigerant inventories for 1990 to 2010 and emission prevision scenarios for 2010 to 2030 - Report for EPEE – October 2011.
- [DUP11] Communication de Guy-Noel Dupré, Uniclimate, pour le CEP, 2011.
- [PAC16] Lettre d'information de l'AFPAC, février 2016.

Références climatisation embarquée

- [CCF16] Site du Comité des Constructeurs Français d'Automobiles : www.cdfa.fr
- [CER13] L'annuaire statistique des transports collectifs urbains. Evolution 2007-2012. Certu. Les données. Direction générale des Infrastructures des Transports et de la Mer.
- [DUP14] <http://www.supplierbusiness.com/news/27991/duPont-expects-rapid-transition-to-new-hfo-1234yf-refrigerant-in-vehicle-air-conditioning->
- [HIS15] Histoire du tramway.
<http://www.linternaute.com/savoir/grands-chantiers/06/dossier/tramway-paris/rappel-histoire.shtml>
- [LEG11] Communication de Michel Legros, Atelier Climatisation de la RATP pour le CEP, 2011.
- [OIC15] Organisation Internationale des Constructeurs Automobiles (OICA) : www.oica.net
- [PAS14] Données confidentielles de la SNCF sur l'état du parc. Communication confidentielle pour le CES, Gianni PASCOLO, Pôle ingénierie climatisation, Technicentre de Périgueux, SNCF, 2015.
- [PAS15] Communication de G.Pascolo pour le CES, 2015.
- [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.
- [TRE15] Communication d'Isabelle Trève du CEREMA pour le CES, 2015.
- [VAL15] Fichier 2015-2016 « Fluide Réfrigérant et Huile » www.valeoservice.com
- [VHU16] Rapport annuel de l'observatoire de la filière des véhicules hors d'usage. Données 2014. Rapport réalisé pour le compte de l'ADEME par Deloitte. Octobre 2016.

XV. ANNEXES

Annexe 1 – PRG (Potentiel de Réchauffement Global) ou GWP (Global Warming Potential) selon les 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} Rapports d'évaluation du GIEC

Type	Nom	Formule	PRG		
			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	4
NH ₃	R-717		0	0	<1
CO ₂	R-744		1	1	1

Pour la déclaration des émissions de la France à l'UNFCCC, depuis les inventaires 2013, les PRG donnés par le 4^{ème} rapport d'évaluation du GIEC font référence et sont utilisés dans le calcul.

Annexe 2 : 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.

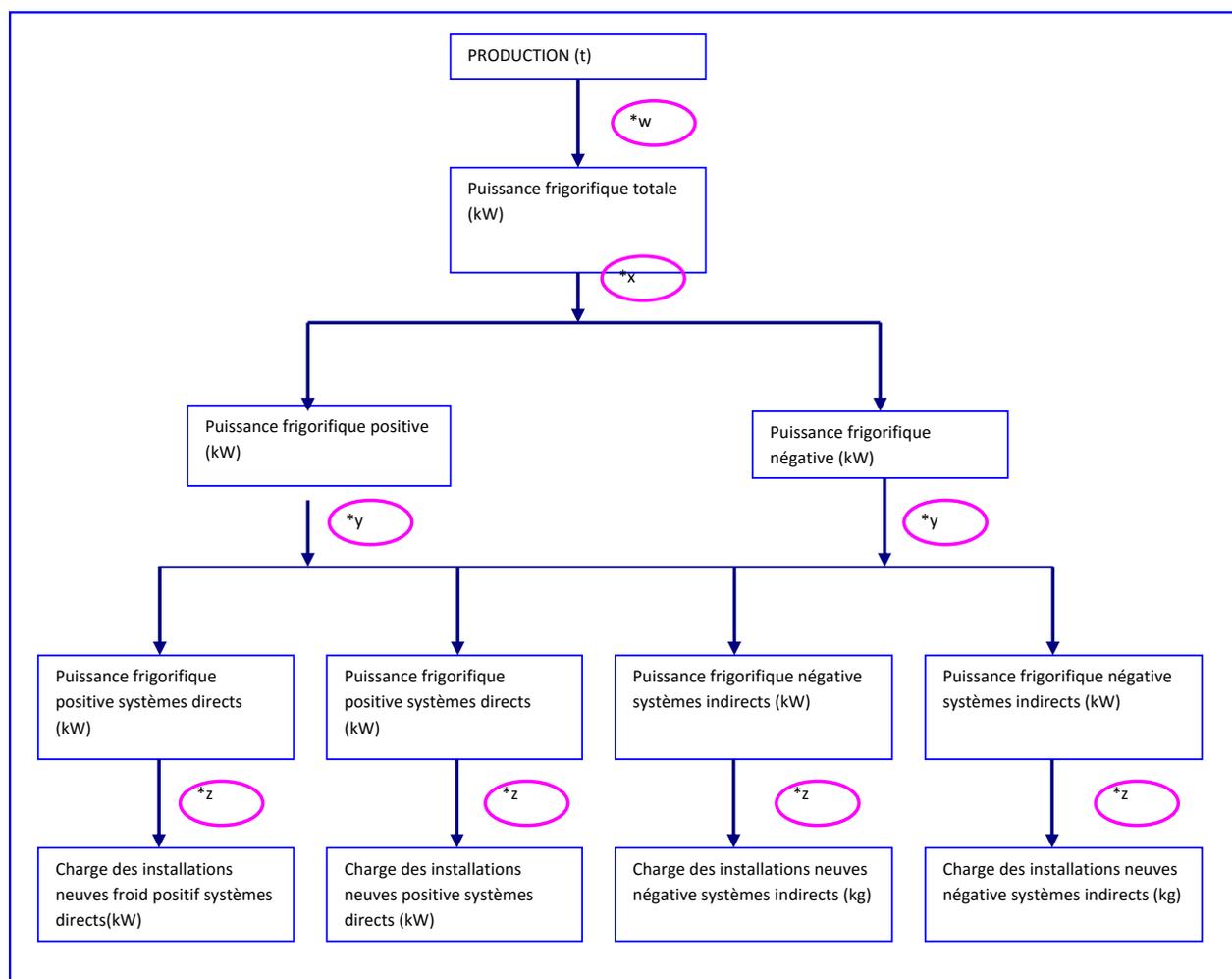


Figure A – Obtention de la banque de fluides associée à l'industrie agroalimentaire

Annexe 3 - 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 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.

Contacts

Stéphanie Barrault

Ingénieur de recherche, MINES-ParisTech, PSL - Research University, CES - Centre d'Efficacité énergétique des Systèmes, Z.I. Les Glaises - 5, rue Léon Blum, 91120 Palaiseau;

01 69 19 42 41

stephanie.barrault@mines-paristech.fr

<http://www.ces.mines-paristech.fr/Themes-de-recherche/PolEnerg/FluidesFrig/>