

---

# **EVOLUTION DES EMISSIONS DE GES LIEES AUX FLUIDES FRIGORIGENES. LE CONTEXTE FRANÇAIS ET LES EMISSIONS DE FLUORES.**

**Par Stéphanie BARRAULT,  
Centre Efficacité énergétique des Systèmes (CES) MINES-ParisTech/ ARMINES**

Les résultats présentés sont issus de la dernière étude d'inventaire d'émissions de fluides frigorigènes pour la France en 2014 réalisée par le CES en collaboration avec EReIE pour le compte du Ministère de l'Environnement et parue en Mars 2016 ainsi que sur le *Rapport National d'Inventaire pour la France au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques et du Protocole de Kyoto 2013* publié par le CITEPA en Octobre 2015.

Le rapport complet d'inventaires 2014 de fluides frigorigènes et sa synthèse sont disponibles à cette adresse:

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

Le CES remercie le CITEPA pour sa contribution.

## **1. Les Gaz à Effet de Serre (GES )**

### **1.1 Les principaux GES**

Parmi les gaz à effet de serre (GES), certains sont naturellement présents dans l'atmosphère: la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), l'ozone (O<sub>3</sub>). Parmi eux, le CO<sub>2</sub>, le méthane et le protoxyde d'azote ont vu leur concentration atmosphérique fortement augmentée par l'activité humaine comme le montrent les graphes de la figure 1 (source GIEC). Cette forte croissance est due:

- au CO<sub>2</sub> provenant de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz), mais aussi de certaines industries (production de ciment par exemple) et de la déforestation;

- au méthane ( $\text{CH}_4$ ), qui a pour origine principale l'élevage des ruminants, la culture du riz, les décharges d'ordures ménagères, les exploitations pétrolières et gazières et les mines de charbon;

- au protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) provenant de l'utilisation des engrais et pesticides azotés et de certains procédés chimiques;

Ces émissions, dites anthropiques (d'origine humaine), sont responsables d'une partie de l'effet de serre additionnel provoquant le changement climatique. L'effet de serre "additionnel" est également provoqué par certains gaz synthétiques, n'existant naturellement pas dans l'atmosphère et dont les émissions sont donc uniquement anthropiques. Il s'agit:

- de l'hexafluorure de soufre ( $\text{SF}_6$ ) utilisé comme gaz d'isolation notamment dans les transformateurs électriques;

- des halo-carbures, utilisés notamment en tant que réfrigérants dans la climatisation et le froid, que gaz propulseurs pour certains aérosols, dans les mousses d'isolation ou dans certains extincteurs, regroupant quatre familles de gaz: les CFC (Chloro Fluoro Carbures), les HCFC (Hydro Chloro Fluoro Carbures), les HFC (Hydro Fluoro Carbures) et les PFC (Per Fluoro Carbures).

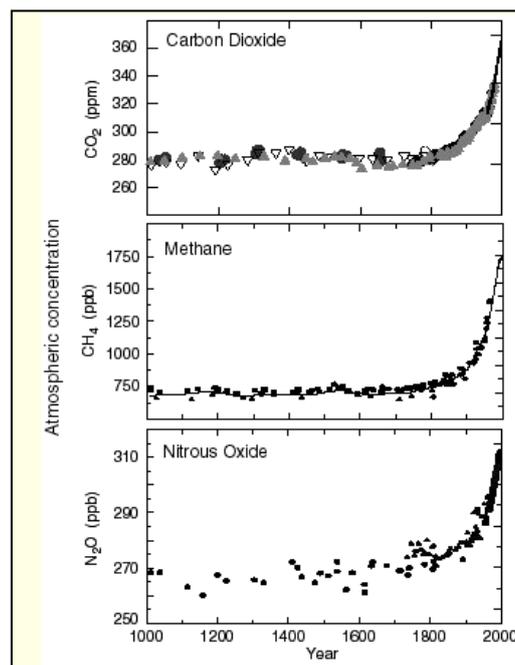


Figure 1 - Variation des teneurs de l'atmosphère en gaz à effet de serre depuis 1750 (Source: GIEC 2001)

Les émissions directes de vapeur d'eau des hommes (provenant des centrales électriques, de l'irrigation, des barrages, de la déforestation...) ne contribuent pas à augmenter l'effet de serre de manière décelable, et ont un impact négligeable sur le réchauffement climatique.

La contribution de ces différents gaz à l'effet de serre peut être évaluée en fonction de leur PRG (Potentiel de Réchauffement Global), un indice évaluant pour chaque gaz son impact sur le réchauffement climatique comparativement à celui du  $\text{CO}_2$  sur une

période donnée. Les valeurs de référence sont celles données par le 4ème rapport du GIEC pour une période d'intégration de 100 ans (figure 2) .

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency (W m <sup>-2</sup> ppb <sup>-1</sup> )	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAR <sup>1</sup> (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	See below <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 1.4x10 <sup>-5</sup>	1	1	1	1
Methane <sup>c</sup>	CH <sub>4</sub>	12 <sup>d</sup>	3.7x10 <sup>-4</sup>	21	72	25	7.6
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	114	3.03x10 <sup>-3</sup>	310	289	298	153
<b>Substances controlled by the Montreal Protocol</b>							
CFC-11	CCl <sub>3</sub> F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
CFC-13	CClF <sub>3</sub>	640	0.25		10,800	14,400	16,400
CFC-113	CCl <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub>	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
CFC-114	CClF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	300	0.31		8,040	10,000	8,730
CFC-115	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1,700	0.18		5,310	7,370	9,990
Halon-1301	CBrF <sub>3</sub>	65	0.32	5,400	8,480	7,140	2,760
Halon-1211	CBrClF <sub>2</sub>	16	0.3		4,750	1,890	575
Halon-2402	CBrF <sub>2</sub> CBrF <sub>2</sub>	20	0.33		3,680	1,640	503
Carbon tetrachloride	CCl <sub>4</sub>	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Methyl bromide	CH <sub>3</sub> Br	0.7	0.01		17	5	1
Methyl chloroform	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	5	0.06		506	146	45
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	12	0.2	1,500	5,160	1,810	549
HCFC-123	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1.3	0.14	90	273	77	24
HCFC-124	CHClCF <sub>3</sub>	5.8	0.22	470	2,070	609	185
HCFC-141b	CH <sub>3</sub> CCl <sub>2</sub> F	9.3	0.14		2,250	725	220
HCFC-142b	CH <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub>	17.9	0.2	1,800	5,490	2,310	705
HCFC-225ca	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1.9	0.2		429	122	37
HCFC-225cb	CHClCF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	5.8	0.32		2,030	595	181
<b>Hydrofluorocarbons</b>							
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	270	0.19	11,700	12,000	14,800	12,200
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	4.9	0.11	650	2,330	675	205
HFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	29	0.23	2,800	6,350	3,500	1,100
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	14	0.16	1,300	3,830	1,430	435
HFC-143a	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	52	0.13	3,800	5,890	4,470	1,590
HFC-152a	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	1.4	0.09	140	437	124	38
HFC-227ea	CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub>	34.2	0.26	2,900	5,310	3,220	1,040
HFC-236fa	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	240	0.28	6,300	8,100	9,810	7,660
HFC-245fa	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	7.6	0.28		3,380	1030	314
HFC-365mfc	CH <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	8.6	0.21		2,520	794	241
HFC-43-10mee	CF <sub>3</sub> CHFCFCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	15.9	0.4	1,300	4,140	1,640	500
<b>Perfluorinated compounds</b>							
Sulphur hexafluoride	SF <sub>6</sub>	3,200	0.52	23,900	16,300	22,800	32,600
Nitrogen trifluoride	NF <sub>3</sub>	740	0.21		12,300	17,200	20,700
PFC-14	CF <sub>4</sub>	50,000	0.10	6,500	5,210	7,390	11,200
PFC-116	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	10,000	0.26	9,200	8,630	12,200	18,200
PFC-218		2,600	0.26	7,000	6,310	8,830	12,500
PFC-318		3,200	0.32	8,700	7,310	10,300	14,700
PFC-3-1-10		2,600	0.33	7,000	6,330	8,860	12,500
PFC-4-1-12		4,100	0.41		6,510	9,160	13,300
PFC-5-1-14		3,200	0.49	7,400	6,600	9,300	13,300
PFC-9-1-18		>1,000d	0.56		>5,500	>7,500	>9,500
trifluoromethyl sulphur pentafluoride		800	0.57		13,200	17,700	21,200

Figure 2 - Valeurs des PRG des principaux GES données par le 4ème rapport du GIEC

Il existe également des gaz à effet de serre indirect:

- les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>),

- le monoxyde de carbone (CO),
- les Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM),
- le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>).

Ils agissent indirectement sur l'effet de serre en ce sens qu'ils produisent des polluants qui, eux, ont un impact sur l'effet de serre.

## 1.2 Accords, réglementations et obligations

La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) adoptée à Rio en 1992 a pour but de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre à "un niveau qui évite toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique" et invite les pays industrialisés à stabiliser leurs émissions de GES au niveau de celles comptabilisées en 1990. Elle couvre l'ensemble des GES non couverts par le Protocole de Montréal. Elle comporte les dispositions relatives à la communication des informations portant sur les émissions de six gaz ou familles de gaz à effet de serre direct (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>) et les gaz à effet de serre indirect (NO<sub>x</sub>, CO, COVNM et SO).

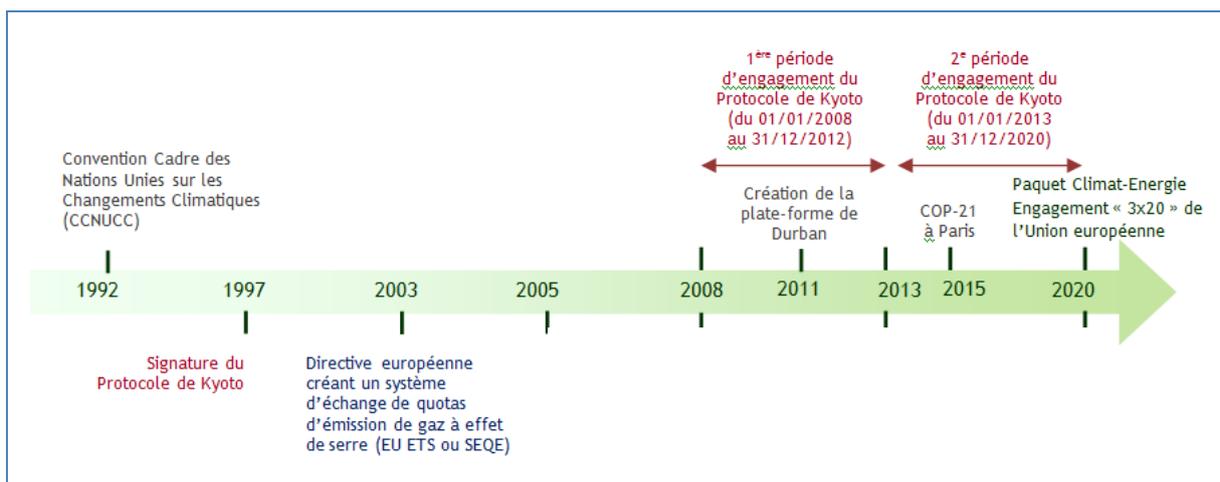


Figure 3 : Réglementations liées au réchauffement climatique

Le Protocole de Kyoto, adopté le 11 décembre 1997 et entré en vigueur le 16 février 2005, renforce les engagements de la Convention et précise les engagements assignés à chaque Etat signataire. Il fixe un objectif de réduction pour les émissions agrégées de l'ensemble des gaz à effet de serre direct (dit "panier Kyoto"). La France et l'Union européenne l'ont approuvé le 31 mai 2002. L'Union Européenne s'est engagée à réduire de 8 % ses émissions de GES par rapport à 1990. L'accord européen de Juin 1998 fixe la répartition des efforts de réduction par pays: pour la France, l'objectif est de stabiliser les émissions sur la période 2008-2012 au niveau de 1990. La réglementation F-Gaz découle du Protocole de Kyoto: elle concerne les gaz fluorés listés à l'annexe A (HFC, PFC, SF<sub>6</sub>).

Dans le prolongement des accords de Kyoto, l'amendement de Doha a pour objectif d'ouvrir une seconde période d'engagements de réduction d'émissions de GES sur la période 2013-2020. La loi n° 2014-1753 du 30 décembre 2014 autorise la ratification par la France de cet amendement. L'Union Européenne et les états membres se sont engagés, sur la période 2013-2020, à réduire de 20 % leurs émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990. Le trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub> de PRG égal à 17 200), utilisé comme graveur chimique en micro-électronique et comme substitut au SF<sub>6</sub> et à certains PFC, a été ajouté au panier des six gaz à effet de serre direct initialement pris en compte.

Lors de la COP 21, l'Europe s'est engagée à réduire de 40 % ses émissions de GES en 2030 par rapport au niveau de 1990.

En vertu de ses engagements au Protocole de Kyoto et à la CCNUCC, la France doit réaliser chaque année son inventaire d'émissions de GES et le soumettre à la CCNUCC et la Commission Européenne. Cet inventaire doit présenter les émissions des six gaz à effet de serre direct concernés par le Protocole de Kyoto et, à titre indicatif, des informations sur les émissions des gaz à effet de serre indirect. Les CES de MINES-ParisTech est en charge de la réalisation des inventaires de HFC pour les secteurs du froid et de la réfrigération, le CITEPA réalise les inventaires de l'ensemble des autres GES tout en prenant en compte le Système d'Echange de Quotas d'Emission (SEQE) de gaz à effet de serre (GES) régi par la directive européenne 2003/87/CE.

## **2 Evolution des émissions de GES depuis 1990**

### **2.1 - Tendances 1990 - 2014**

Le CITEPA établit les inventaires nationaux en s'appuyant sur les lignes directrices du GIEC, à partir de différentes méthodologies, selon les secteurs: bottom-up (mousses, aérosols, production de gaz fluorés, production d'aluminium, semi-conducteurs, etc.), top-down (solvants), données brutes provenant de fédérations, déclarations annuelles d'industrielles, etc. Les émissions de HFC provenant des secteurs de la réfrigération et de la climatisation sont évaluées selon une méthode bottom-up par le CES. Les résultats d'inventaires d'émissions de HFC sont communiqués au CITEPA qui les agrège avec les émissions des autres GES selon différents secteurs (résidentiel, industrie, transport), par exemple aux figures 4 et 5, selon les catégories SECTEN (SECTeurs Economiques et Energie) définies dans le Plan Climat de la France.

L'ensemble des émissions de GES couverts par le Protocole de Kyoto est en décroissance depuis 2005 et est évalué à 477 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> équivalentes en 2013, soit en réduction de 12 % par rapport au niveau de 1990. Dans le cadre du Protocole de Kyoto, le périmètre des émissions est le France métropole et les

territoires faisant partie de l'Union Européenne (Mayotte, Guadeloupe, Guyane, Martinique, Réunion, St Martin). Dans le cadre de la convention (CCNUCC), le périmètre est la France entière (France métropole + tous les territoires outre-mer). Dans cette publication, seules les émissions de la métropole sont indiquées (constituant plus de 95 % des émissions).

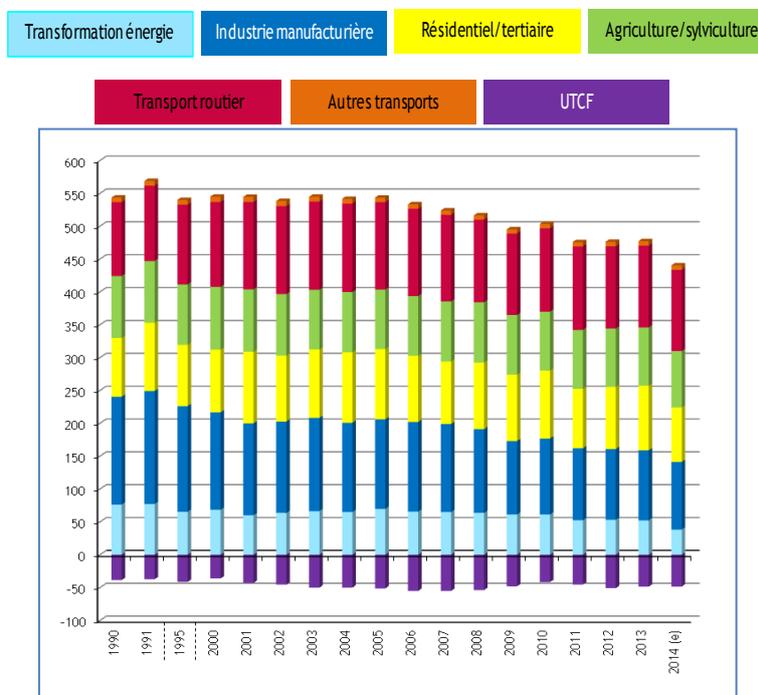


Figure 4 : Evolution des émissions de GES par secteur SECTEN en Mt CO<sub>2</sub> eq. (source: CITEPA)

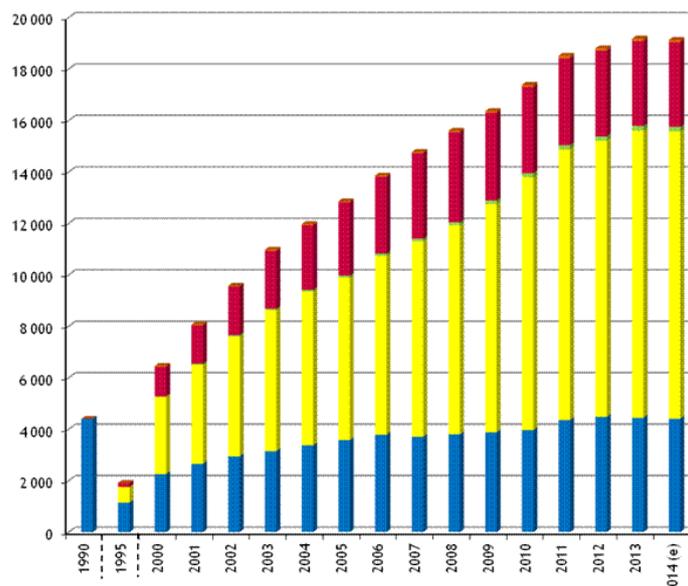


Figure 5 : Evolution des émissions de HFC par secteur SECTEN en kt CO<sub>2</sub> eq. (source: CITEPA)

Selon les résultats d'inventaires nationaux de GES publiés par le CITEPA, les évolutions importantes remarquables sur la période 1990-2013 sont:

- une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> liées au transport (+9 %) avec une stabilisation depuis 2008;
- une baisse considérable des émissions de N<sub>2</sub>O de la chimie (-96 %) et, à un degré moindre, des sols agricoles (-9 %);
- une baisse des émissions fugitives de CH<sub>4</sub> consécutivement à l'arrêt de l'exploitation des mines de charbon;
- le déclin de l'utilisation des PFC (-88 % en masse) au bénéfice des HFC;
- l'augmentation très importante des émissions de HFC (+1 325 % en masse).

En ce qui concerne les émissions des gaz à effet de serre indirect, elles sont en baisse significative entre 1990 et 2013 selon les données du CITEPA: de -82% en masse pour le dioxyde de soufre, de -70 % pour le monoxyde de carbone, de -46 % pour les oxydes d'azote et de -61 % pour les composés organiques volatils non méthaniques.

## 2.2 - Part des HFC et des secteurs du froid et de la climatisation

Les HFC constituent une faible part des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes de GES mais en forte croissance ((+336 %) depuis 1990 (figure 6). En 2013, les gaz fluorés représentaient 5 % des émissions de gaz à effet de serre direct et les HFC environ 4 % (figure 7).

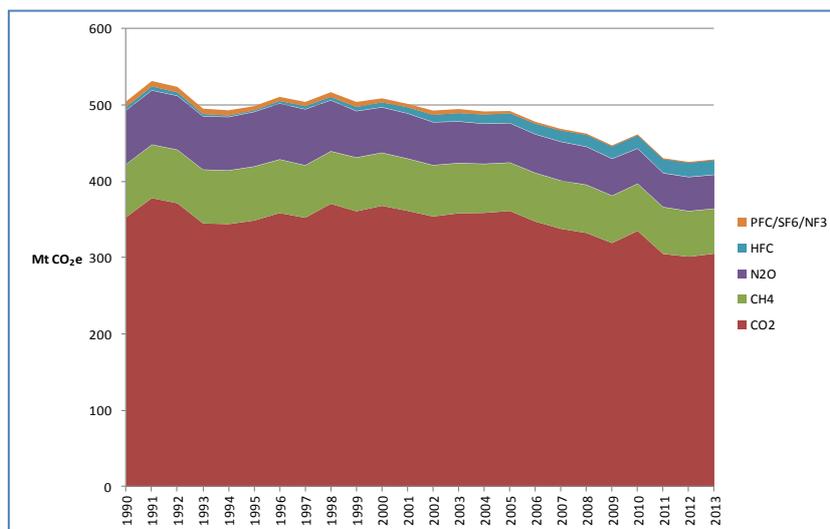


Figure 6 : Evolution de la part des HFC au sein des émissions de GES du panier KYOTO (source: CITEPA)

Tableau 1 : Evolution des émissions de GES par famille (panier Kyoto, source: CITEPA)

Substance	Unité	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	Ecart 1990 - 2013 (%)
<i>Effet de serre hors UTCF (a)</i>										
CO <sub>2</sub>	Mt	393	392	406	414	378	352	353	355	-10
CH <sub>4</sub>	kt	2 719	2 781	2 735	2 488	2 427	2 407	2 346	2 306	-15
N <sub>2</sub> O	kt	236	239	198	172	153	148	148	148	-37
SF <sub>6</sub>	kt CO <sub>2</sub> e	2 209	2 619	2 373	1 352	846	631	645	577	-74
HFC	kt CO <sub>2</sub> e	4 402	1 912	6 455	12 861	17 391	18 517	18 803	19 183	336
PFC	kt CO <sub>2</sub> e	5 190	3 069	2 985	1 748	605	762	778	658	-87
NF <sub>3</sub>	kt CO <sub>2</sub> e	16	27	20	31	32	31	20	11	-36
PRG	Mt CO <sub>2</sub> e	543	540	545	543	503	476	476	477	-12

(a) Utilisation des Terres, leur Changement et la Forêt

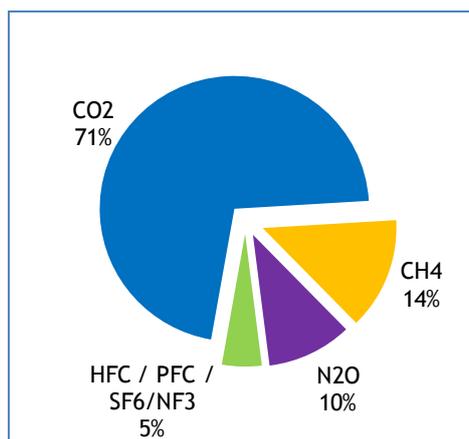


Figure 7 - Répartition des émissions de GES direct en 2013 (données CITEPA)

Parmi les secteurs utilisateurs de gaz fluorés (figure 7), ceux de la climatisation et de la réfrigération sont responsables de 79 % des émissions.

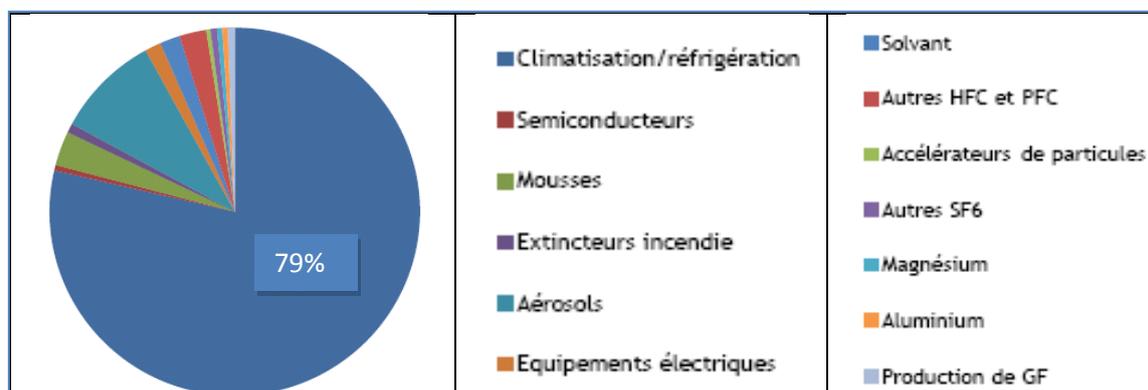


Figure 8 - Répartition sectorielle des émissions CO2 eq. de gaz fluorés (HFC/ PF/ SF6/ NF3) (Source: CITEPA).

### 3 - Les émissions de fluides frigorigènes

Afin de contribuer aux inventaires nationaux, le CES réalise, en collaboration avec EReIE, l'évaluation annuelle des émissions de HFC pour les secteurs du froid et de la réfrigération. Il est pour cela nécessaire de considérer l'ensemble des équipements et des fluides frigorigènes.

#### 3.1 - Méthode de calcul pour les inventaires de fluides frigorigènes

La méthode de calcul utilisée 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 présentes dans l'ensemble des équipements installés sur le sol français (le parc). 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.

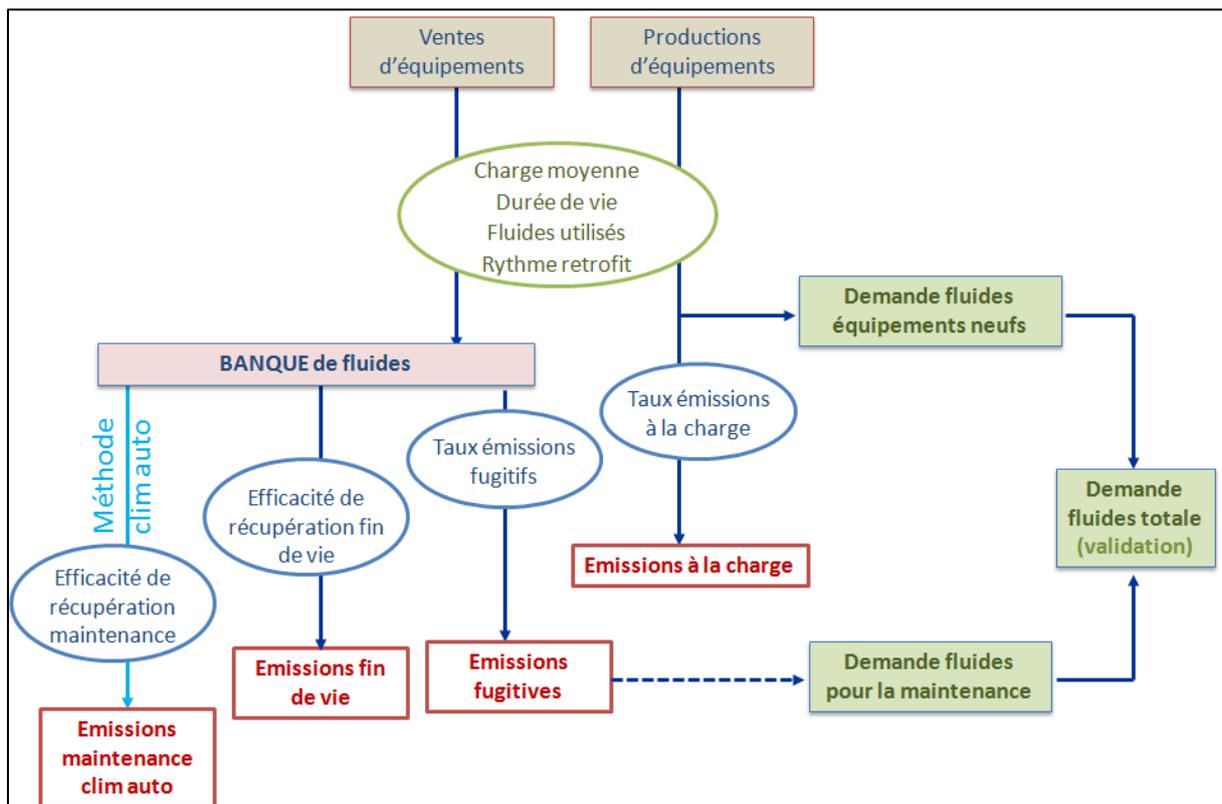


Figure 9 - Méthode de calcul d'inventaire des émissions de fluides frigorigènes

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 (report of the Refrigeration air conditioning and heat pumps Technical Option Committee) de l'UNEP sont pris en compte et décomposés en quarante-quatre applications.

### **3.2 - Mise à jour annuelle**

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.

La collaboration des associations de professionnels, de détenteurs d'installations, d'opérateurs, de fabricants et d'experts techniques est fondamentale pour la bonne réalisation des inventaires. En effet, un grand nombre de paramètres nécessite une connaissance de terrain, notamment pour l'estimation des taux d'émissions, la charge des installations, l'évolution des fluides utilisés et l'efficacité de récupération lors des opérations de maintenance ou en fin de vie des équipements. Des enquêtes de terrain sont menées pour affiner ou mettre à jour l'évaluation d'un paramètre.

Les membres de l'AFCE sont régulièrement sollicités et apportent de nombreuses informations utiles à l'établissement des hypothèses. Par exemple, l'association Climafort communique régulièrement l'évolution des fluides utilisés et les taux d'émissions de son parc de chillers centrifuges. Les opérateurs de chez JCI transmettent chaque année des tendances sur les fluides utilisés dans les nouveaux équipements ou pour le retrofit des installations de froid commercial, industriel et patinoires. Les tendances des charges des systèmes de climatisation automobile et la pénétration du R-1234yf sur le marché neuf sont évaluées en fonction des données transmises par Valéo. Uniclimate communique chaque année des statistiques de marchés d'équipements, la SNCF nous permet de suivre l'évolution du parc de climatisation des trains, etc.

Des groupements de détenteurs tels que les grandes chaînes d'hypermarchés sont également sollicités pour participer aux enquêtes de terrain afin d'avoir une représentativité des consommations de fluides frigorigènes pour la maintenance des installations et de pouvoir évaluer les taux d'émissions.

Pour la validation des résultats, le SNEFCCA et l'ADEME communiquent également les chiffres déclarés et collaborent à l'analyse des comparaisons.

Chaque année, 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.

### **3.3 - Résultats d'inventaires France 2014**

En 2014, les émissions de fluides frigorigènes en France métropole sont estimées à environ 8 000 tonnes et près de 18 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> équivalentes. Depuis 2010, les émissions CO<sub>2</sub> eq. de fluides frigorigènes sont globalement en baisse,

d'environ 2 % par an. Les HFC constituent désormais 90 % des émissions CO<sub>2</sub> équivalentes de fluides frigorigènes. En prenant en compte l'ensemble des fluides frigorigènes, les émissions CO<sub>2</sub> équivalentes ont baissé de 30 % par rapport à 1990.

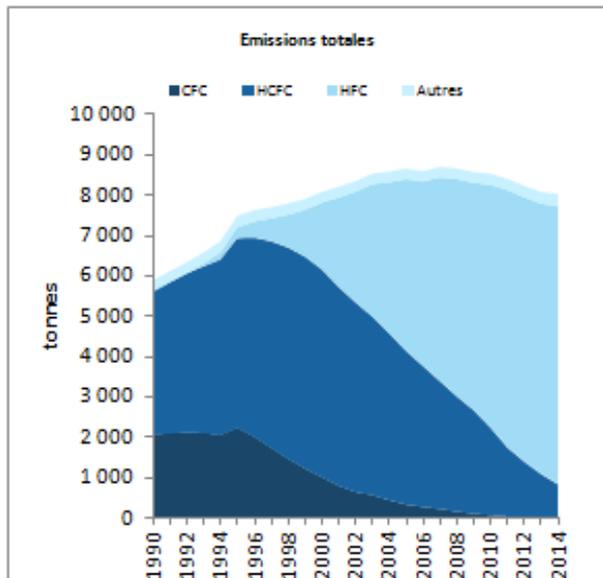


Figure 10 - Emissions totales de fluides frigorigènes en France métropole.

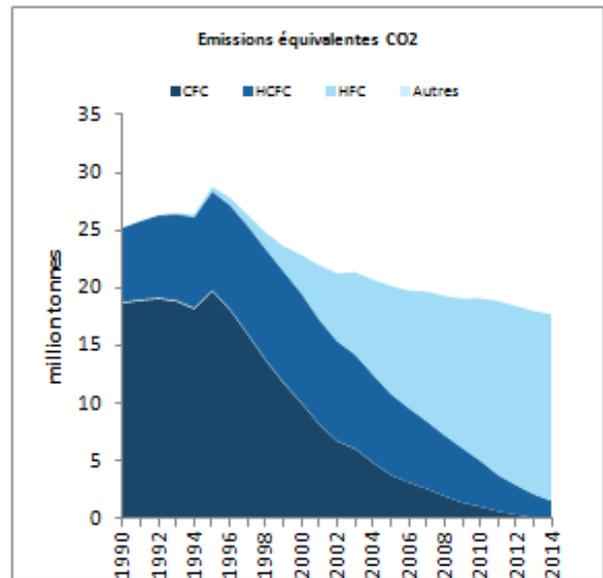


Figure 11 - Emissions totales CO<sub>2</sub> équivalentes de fluides frigorigènes en France métropole.

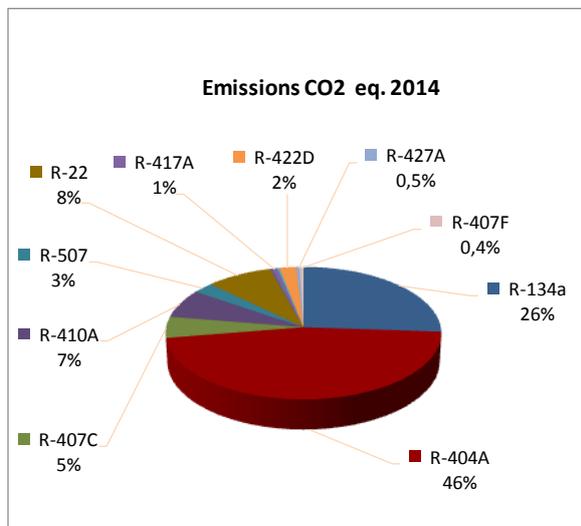


Figure 12 - Répartition par fluide des émissions de fluides frigorigènes en eq. CO<sub>2</sub> en France métropole en 2014

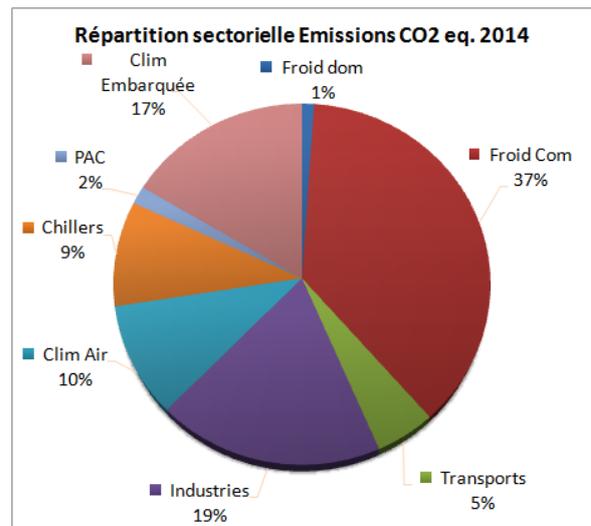


Figure 13 - Répartition sectorielle des émissions de fluides frigorigènes en eq. CO<sub>2</sub> en France métropole en 2014.

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 CO<sub>2</sub> eq. émises en 2014, suivi par le R-134a (PRG = 1 430) et 4,5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> eq. Les émissions de R-22, en baisse de 20 % par rapport à 2013, sont évaluées à 1,5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> pour 2014 et liées essentiellement aux démantèlements d'installations (chillers, froid industriel et climatisation à air).

D'un point de vue sectoriel, les émissions en équivalent CO<sub>2</sub> de fluides frigorigènes sont toujours dominées par le secteur du froid commercial du fait de l'utilisation massive du R-404A et de taux d'émissions élevés. Le froid industriel est également concerné mais son impact sur les émissions CO<sub>2</sub> eq. est plus faible grâce à l'utilisation importante de l'ammoniac. La part de la climatisation embarquée (composée à 97 % de la climatisation automobile) est stable autour de 16 % car l'introduction du R-1234yf sur le marché neuf est lente et le parc de véhicules utilisant ce HFO encore très faible.

### **3.4 - Validation des résultats et rapprochement avec les données de l'OFF**

Plus qu'une étape de validation, il s'agit d'une étape de vérification de cohérence des résultats et des hypothèses de calcul. En effet, valider les résultats en termes d'émissions de fluides frigorigènes au niveau national n'est pas possible. Des tentatives de rapprochement ont été faites, lors des estimations mondiales, avec des mesures de concentrations atmosphériques mais la comparaison reste délicate. La méthode de calcul de RIEP permet de reconstituer le besoin en fluides frigorigènes pour les équipements neufs, les retrofits d'installations et pour la maintenance des équipements formant le parc français. Ce besoin devrait, aux effets de stocks près, être équivalent aux quantités déclarées de mise sur le marché français. Il est comparé aux quantités déclarées au SNEFCCA (Syndicat National des Entreprises du Froid, des équipements de Cuisines professionnelles et du Conditionnement de l'Air) depuis 2000 et à l'OFF (Observatoire des Fluides Frigorigènes) de l'ADEME depuis 2009. En effet, 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: 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 et excluant les quantités mises sur le marché français par le biais des équipements pré-chargés.

Historiquement, la comparaison avec les données déclarées au SNEFCCA a montré une bonne estimation d'ensemble (figure 14). Certains écarts s'expliquent: par exemple en 2005 sur le R-134a à la suite d'un problème survenu sur une usine de production; en 2009 sur les HCFC à cause de l'interdiction d'utilisation des HCFC vierges pour la maintenance des installations à partir du 1er Janvier 2010 et du stockage du R-22.

L'analyse d'autres écarts a conduit, au fur et à mesure des mises à jour d'inventaires, de remettre en question certaines hypothèses. En effet, certaines tendances dans les hypothèses sont impactées par des communications pour lesquelles il est difficile de savoir si elles représentent le comportement moyen de l'ensemble d'un secteur. Par exemple, une décroissance des taux d'émissions en froid commercial et industriel avait été envisagée depuis 2005 à la suite de communication de certaines chaînes de magasins. Progressivement, les comparaisons de la demande évaluée pour le R-404A

et du marché déclaré ont fait apparaître un écart de plus en plus important. La comparaison a permis d'attirer notre attention et de remettre en question les hypothèses des secteurs fortement utilisateurs de ce fluide. Confortés par ailleurs par des retours de contrôles d'installations de la part du ministère, les taux d'émissions ont été corrigés et les comparaisons ont été améliorées.

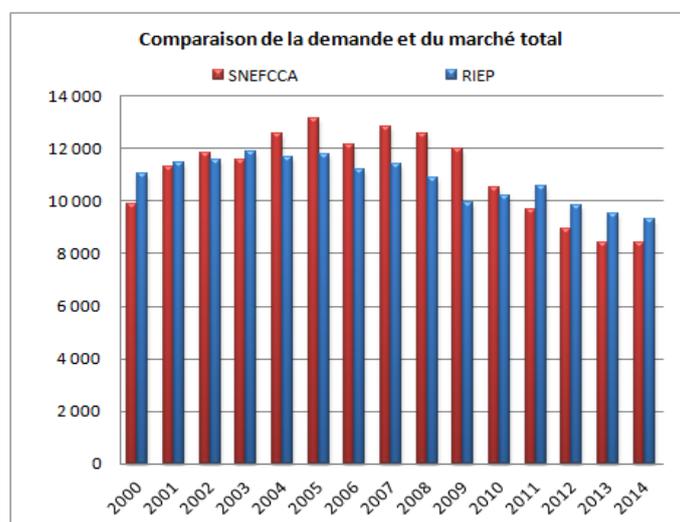
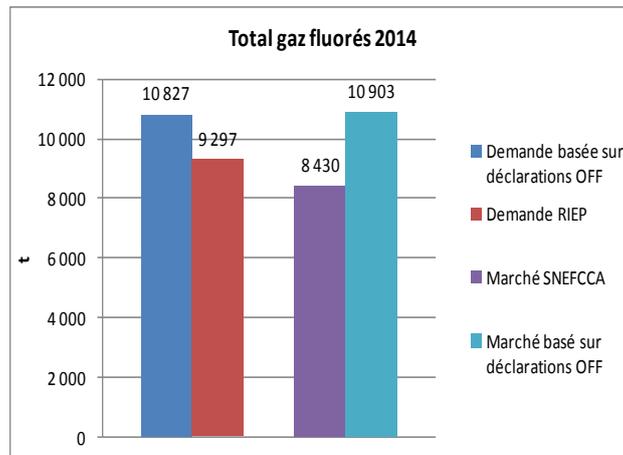


Figure 14 Comparaison de la demande totale de gaz fluorés calculée par RIEP avec le marché total déclaré au SNEFCCA de 2000 à 2014

Une étude détaillée en collaboration avec l'OFF a permis cette année de comprendre les données réellement utilisables pour la vérification de cohérence des résultats d'inventaires. En effet, les quantités mises sur le marché déclarées à l'OFF sont définies dans un cadre différent de celui du SNEFCCA et ne correspondent pas exactement au besoin évalué par RIEP. Il est apparu qu'on pouvait reconstituer à partir des données OFF un "besoin équivalent" à celui estimé par RIEP en tenant compte des quantités de fluides BRUTS fabriquées, introduites et importées à la fois par les producteurs de fluides mais aussi par les producteurs d'équipements pré-chargés. Mais il est pour cela nécessaire de distinguer, dans le cas des équipements pré-chargés, le fluide introduit brut du fluide introduit au sein d'un équipement pré-chargé. Or, cette distinction n'a été rendue obligatoire que depuis la mise en place du nouveau système (Syderep) en 2013. Avant 2013, les producteurs d'équipements ne dissociaient pas les volumes de brut et de pré-chargé dans les déclarations. La comparaison de la demande RIEP et de la demande reconstituée avec les données OFF n'est donc possible qu'à partir de 2014, les données 2013 n'étant pas considérées représentatives par l'ADEME du fait d'erreurs liées à la mise en place du nouveau système de déclaration.

L'ADEME nous ayant communiqué des données détaillées, pour ces inventaires, la comparaison a été réalisée en tenant compte des stocks (il est supposé que le stock de l'année n-1 est utilisé pour satisfaire le besoin de l'année n contrairement au stock de l'année n qui doit être retranché du besoin de l'année n). Un marché équivalent est également évalué (figure 15) afin de comparer les données OFF et SNEFCCA.

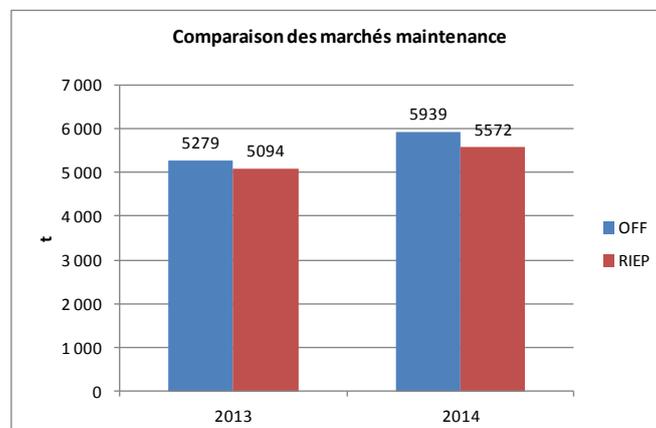
En 2014, la demande RIEP surestime le marché SNEFCCA de 10 %, et sous-estime la demande reconstituée à partir des données de l'OFF de 14 %.



**Figure 14 Comparaison de la demande HFC calculée par RIEP et du marché SNEFCCA avec les demandes et marchés équivalents, basés sur les déclarations OFF.**

Le rapport présente également les comparaisons par fluide. Si sur certains fluides tels que le R-404A les résultats concordent de façon très satisfaisante, la comparaison de la demande reconstituée par RIEP fait apparaître cette année un écart significatif avec le marché déclaré du R-134a. Ce point n'a pu être totalement justifié et devra être approfondi lors des inventaires 2015. Les variations de stocks peuvent l'expliquer en partie. Le niveau de dégradation de l'étanchéité pris en compte dans le modèle de calcul de la demande pour la maintenance de la climatisation automobile pourrait aussi avoir un impact. Il convient de souligner que, pour ce fluide, les données OFF et SNEFCCA ne sont pas cohérentes.

Enfin, depuis 2013, les opérateurs déclarant à l'OFF doivent renseigner les quantités de fluides frigorigènes chargées pour la maintenance des installations. La comparaison avec la demande estimée par RIEP fait apparaître une cohérence des niveaux globaux sur 2013 et 2014 qui tend à montrer que les taux d'émissions fugitives des installations sont globalement bien évalués par l'étude.



**Figure 15 - Comparaison de la demande calculée pour la maintenance par RIEP et des quantités déclarées chargées pour la maintenance des installations par les opérateurs à l'OFF.**