

Inventaires des émissions des fluides frigorigènes pour l'année 2000

Denis Clodic, Lionel Palandre
Ecole des Mines de Paris, Centre d'Energétique
60, boulevard Saint-Michel – 75272 Paris Cedex 06

Introduction

Les pays ayant signé la convention sur les climats (UNFCCC) se sont engagés à déclarer annuellement leurs émissions de gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC et SF_6). Ces déclarations n'intègrent pas les émissions des gaz à effet de serre chlorés comme les CFC ou les HCFC qui sont l'objet de mesure d'arrêt de production et de consommation selon le Protocole de Montréal.

Le CITEPA est l'organisme qui effectue pour le Ministère de l'Environnement français (MEDD) les inventaires de ces 6 familles de gaz. Les émissions de HFC proviennent de différents domaines d'application : mousses alvéolaires (essentiellement les mousses en spray pour le bricolage), certains aérosols techniques et médicaux et surtout les systèmes frigorifiques et de climatisation.

La connaissance des **parcs** des équipements frigorifiques amène à analyser 6 familles d'équipements : froid domestique, commercial, industriel, transports frigorifiques, climatisation fixe y compris les groupes refroidisseurs d'eau et climatisation embarquée. La reconstitution des parcs d'équipements sur leur cycle de vie est indispensable pour le calcul des émissions annuelles. Le Centre d'Energétique effectue ces inventaires depuis 1998 [1, 2, 3, 4] pour le CITEPA. Ce travail systématique d'inventaires a amené à créer des outils, en particulier une base de données (RIEP) permettant de garder la mémoire des inventaires précédents et d'améliorer la qualité au cours du temps. Le Centre d'Energétique s'est d'autre part appuyé sur un réseau d'entreprises principalement regroupées dans l'AFCE, qui ont permis l'accès aux données essentielles que sont les marchés annuels des différents types d'équipement. Le recours complémentaire à des statistiques publiées par des organismes professionnels (GIFAM, UNICLIMA, SNEFFCA...) sont aussi essentielles pour la qualité des données.

Résultats globaux et vérification de la cohérence des données

La méthode de calcul suit les recommandations du groupe d'experts du GIEC [5] et la complète par des vérifications croisées. En utilisant les données des marchés annuels des différents types d'équipements, il est possible de calculer :

- la masse totale de fluide frigorigène chargée dans les équipements neufs, vendus soit sur le marché français, soit exportés ;
- la masse totale (banque) dans l'ensemble des équipements frigorifiques vendus et utilisés en France sur leur durée de vie ;
- pour chaque type d'équipements, les émissions sont la somme des émissions pendant la durée de vie (le taux de fuite annuel), les émissions lors de la charge ou de la recharge incluant les pertes par talon de charge, et les émissions en fin de vie de l'équipement lors de sa mise au rebut.

La reconstitution du marché annuel et des parcs d'équipements permet alors de calculer le marché annuel des fluides frigorigènes (pour chaque type de frigorigène) utilisés pour la charge des équipements neufs et pour la recharge des équipements lors de la maintenance. La somme des deux constitue le marché annuel des fluides frigorigènes et ce calcul effectué du "bas vers le haut" peut être confronté à la déclaration annuelle des distributeurs de fluides frigorigènes. En effet, en France les chiffres du marché des CFC (jusqu'à 2000), HCFC et HFC sont publiés chaque année et envoyés au Ministère de l'Environnement, sous l'égide de la SNEFFCA. **Les chiffres des émissions calculées par RIEP [2] sont donc indirectement validés par les données du marché de fluides frigorigènes.**

Marché des fluides frigorigènes

La figure 1 indique, pour la période 1995 – 2000, la comparaison entre le marché des fluides frigorigènes déclarés par la SNEFFCA et le marché des fluides frigorigènes calculés par RIEP. Dans tous les cas, les valeurs sont proches à $\pm 5\%$.

Par contre, pour l'année 2000 le marché de HFC calculé par RIEP est supérieur d'environ 1 200 t comparativement au marché déclaré.

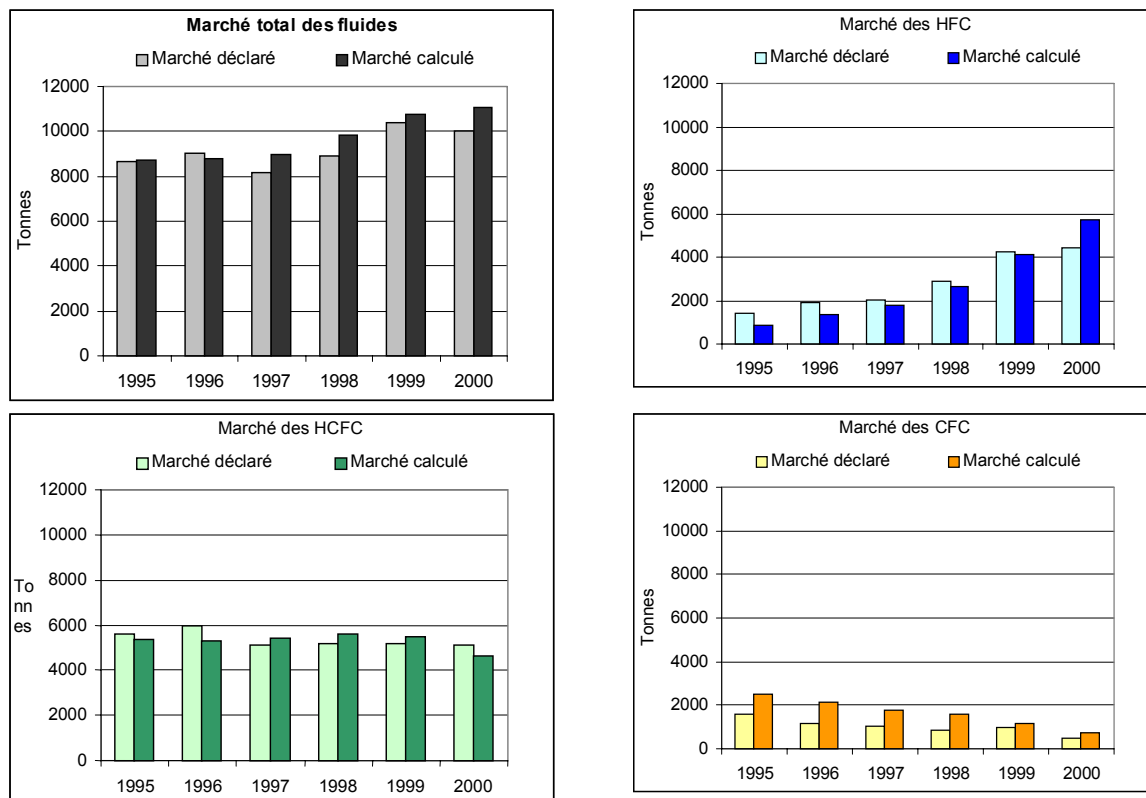


Figure 1 - Croisement du marché déclaré et du marché calculé par RIEP

La progression des ventes plausibles est vraisemblablement au-dessus du chiffre déclaré (cf. fig. 1, marché des HFC). Ceci peut être dû à des ventes directes des producteurs des fluides frigorigènes aux groupes automobiles qui ne sont pas comptabilisées dans la déclaration annuelle de la SNEFFCA. Complémentairement, il est possible que les politiques de limitation des émissions commencent à porter leurs fruits et que le marché de la maintenance soit déjà un peu inférieur au marché calculé par RIEP. Pour les inventaires 2001, des travaux complémentaires seront réalisés qui permettront d'évaluer plus précisément les taux annuels de fuites, en particulier en climatisation automobile et en froid commercial.

Banque des fluides frigorigènes

La figure 2 indique que la banque totale est de l'ordre de 40 000 t et que les HCFC en constituent la moitié.

En 2000, les CFC représentaient encore 18 % de la banque totale. Les HFC ne constituent encore qu'un peu plus du quart de cette banque.

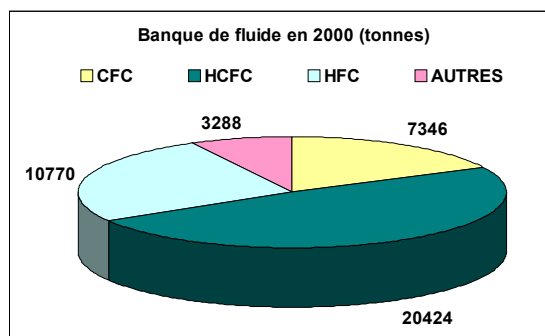


Figure 2 - Répartition de la banque de fluide en 2000

Récupération

Les chiffres de la récupération (cf. tableau 1) supposent que la réglementation française soit effectivement respectée et que, selon les secteurs, l'efficacité de récupération se situe entre 50 et 70 %. Ces chiffres incluent la récupération des talons résiduels dans les capacités de fluides neufs et la récupération en fin de vie des équipements.

Compte tenu des déclarations disponibles, qui indiquent un niveau de récupération tous fluides confondus de l'ordre de 700 t pour 2000 et inférieur à 300 t pour les seuls CFC, plusieurs éléments doivent être pris en compte pour expliquer cet écart.

Tableau 1 – Récupération des fluides frigorigènes

Année	CFC (t)	HCFC (t)	HFC (t)	HC (t)	NH3 (t)
1999	563	900	358	1	102
	29%	47%	19%	0%	5%
2000	565	942	496	1	89
	27%	45%	24%	0%	4%

Les chiffres déclarés par la SNEFFCA sur les quantités de fluides récupérés portent sur les quantités récupérées et redirigées vers les distributeurs de fluides, alors qu'il existe un cycle court entre la récupération et la réutilisation. Cependant, il semble que par rapport au potentiel de récupération calculé de 2 000 t pour l'année 2000, une telle efficacité de récupération soit loin d'être atteinte. Des efforts sont encore nécessaires pour convaincre tous les opérateurs de respecter la réglementation.

Emissions de fluides frigorigènes

Tableau 2 – Emission de l'ensemble des fluides frigorigènes

Année	CFC (t)	HCFC (t)	HFC (t)	HC (t)	NH3 (t)
1999	1862	3964	1375	0	565
	24%	51%	18%	0%	7%
2000	1534	3958	2003	0	547
	19%	49%	25%	0%	7%

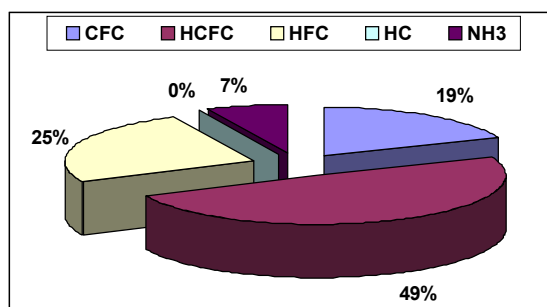


Figure 3 – Emissions de l'ensemble des fluides frigorigènes en 2000

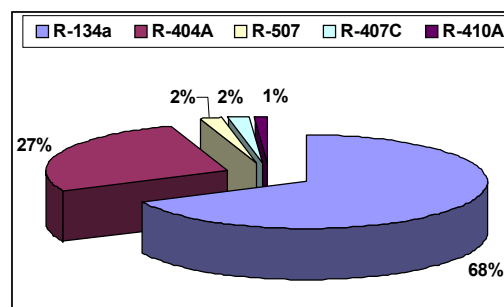


Figure 4 – Répartition des émissions des fluides HFC en 2000

Pour l'année 2000 et pour l'ensemble des fluides (cf. tableau 2 et figure 3), les émissions prépondérantes sont à l'image de la banque des fluides et donc 50 % de ces émissions proviennent des HCFC.

Emissions en équivalent CO₂ des fluides HFC

Tableau 3 – Répartition des émissions eq. CO₂ des fluides HFC

Année	R-134a (milliers de t.)	R-404A (milliers de t.)	R-507 (milliers de t.)	R-407C (milliers de t.)	R-410A (milliers de t.)
1999	1381	1058	57	21	9
	55%	42%	2%	1%	0%
2000	1782	2023	166	62	31
	44%	50%	4%	2%	1%

L'analyse des émissions de HFC (cf. figure 4) montre que les émissions prépondérantes en masse sont celles du R-134a, dues en particulier à la climatisation automobile. Les émissions de R-134a représentent presque 70 % des émissions de HFC.

Par contre, comme l'indique la figure 5, compte tenu du GWP élevé du R-404A (3780) comparativement à celui du R-134a (1 300), l'équivalent CO₂ des émissions de R-134a ne représente plus que 44 % du total et celles de R-404A, 50 % du total.

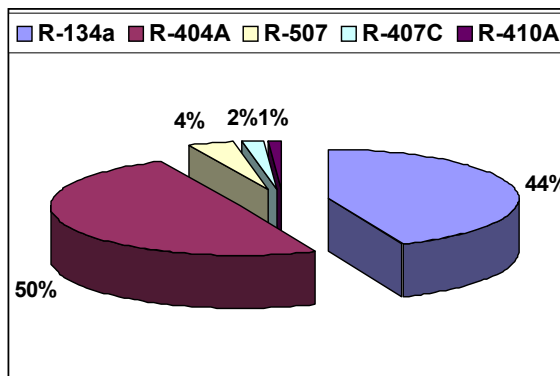


Figure 5 – Répartition des émissions des HFC en équivalent CO₂ en 2000

Répartition des fluides frigorigènes par application

Tableau 4 – Répartition des fluides frigorigènes chargés dans les équipements neufs

Année	Domestique (t)	Commercial (t)	Transport (t)	Industrie (t)	Clim. Fixe (t)	Clim. Auto (t)
1999	64	1260	141	657	892	1855
	1,3%	26%	3%	13%	18%	38%
2000	34	1315	147	746	817	2045
	0,7%	26%	3%	15%	16%	40%

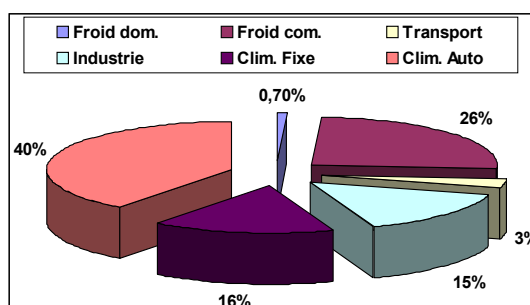


Figure 6 – Répartition des fluides frigorigènes dans les équipements, en 2000

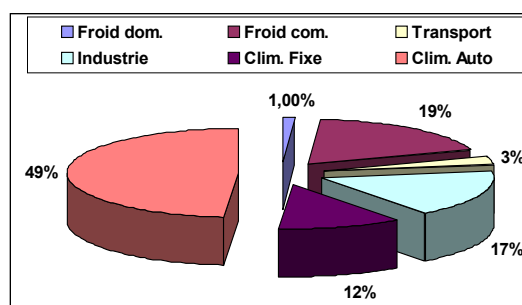


Figure 7 – Répartition des fluides HFC dans les équipements, en 2000

Tableau 5 – Répartition des fluides HFC dans les équipements neufs

Année	Domestique (t)	Commercial (t)	Transport (t)	Industrie (t)	Clim. Fixe (t)	Clim. Auto (t)
1999	54	557	81	212	318	1845
	2%	18%	3%	7%	10%	60%
2000	28	781	113	695	498	2036
	1%	19%	3%	17%	12%	49%

Le tableau 4 et la figure 6 présentent le marché des fluides chargés dans les équipements neufs tous fluides confondus. Le tableau 5 et la figure 7 présentent le marché des seuls HFC. La répartition des fluides frigorigènes selon les secteurs comparativement à la répartition des seuls HFC montre que les proportions de la climatisation fixe et du froid commercial sont différentes dans les deux figures car le R-22 ou les mélanges à base de R-22 sont encore utilisés dans ces deux secteurs. On note aussi la forte progression des tonnages de HFC dans le froid industriel ce qui est un résultat direct de la réglementation.

Enfin, la production du froid domestique s'est très fortement réduite en France puisque 90 % des réfrigérateurs sont importés en 2000.

Au contraire, pour la climatisation automobile, la proportion de fluide frigorigène chargé dans les équipements est particulièrement forte parce que la France est un exportateur net de véhicules climatisés. Pour donner deux chiffres typiques, seulement 28 t de R-134a ont été utilisées pour charger les équipements de froid domestique en France et plus de 2 000 t pour les systèmes de climatisation automobile.

Marché des fluides frigorigènes par application pour la maintenance des équipements

En comparant les chiffres indiqués pour la charge des équipements neufs (tableau 4) et ceux pour les charges utilisées en maintenance (tableau 6), la répartition des fluides s'avère particulièrement différente. L'analyse des chiffres du marché de la maintenance tous fluides confondus permet de vérifier le rôle prépondérant des quantités utilisées en froid industriel et en froid commercial.

Tableau 6 – Répartition des fluides frigorigènes pour la maintenance des équipements

Année	Domestique (t)	Commercial (t)	Transport (t)	Industrie (t)	Clim. Fixe (t)	Clim. Auto (t)
1999	0,5 0%	2009 30%	373 6%	2240 34%	1205 18%	818 12%
2000	0,5 0%	1977 30%	374 6%	2149 33%	1236 19%	837 13%

Tableau 7 – Répartition des fluides HFC pour la maintenance des équipements

Année	Domestique (t)	Commercial (t)	Transport (t)	Industrie (t)	Clim. Fixe (t)	Clim. Auto (t)
1999	0,2 0%	219 21%	28 3%	79 8%	80 8%	645 61%
2000	0,2 0%	386 25%	47 3%	177 11%	133 9%	810 52%

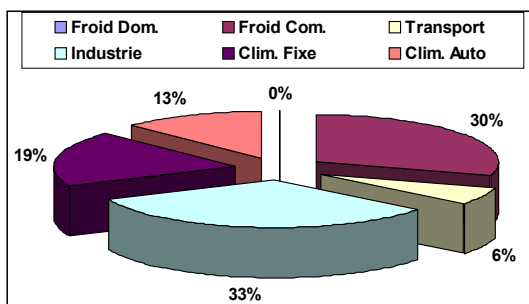


Figure 8 – Répartition des fluides frigorigènes pour la maintenance des équipements en 2000

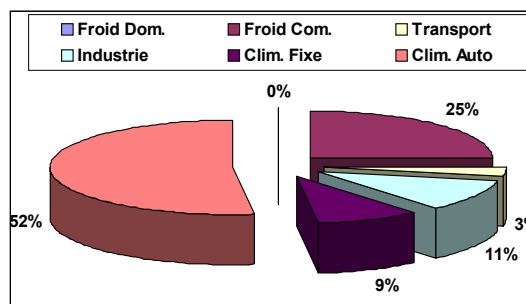


Figure 9 - Répartition des fluides HFC pour la maintenance des équipements en 2000

La figure 9 (comparativement à la figure 8) indique que la répartition entre les secteurs d'application est complètement différente lorsque les HFC seuls sont pris en compte, les secteurs les plus utilisateurs étant la climatisation automobile et le froid commercial. Les quantités de HFC utilisées en maintenance en l'an 2000 pour la climatisation automobile sont de l'ordre de 800 t et de 390 t pour le froid commercial.

Répartition des émissions par application

Tableau 8 – Emission des fluides frigorigènes

Année	Domestique (t)	Commercial (t)	Transport (t)	Industrie (t)	Clim. Fixe (t)	Clim. Auto (t)
1999	269 3%	2311 30%	471 6%	2323 30%	1290 17%	1102 14%
2000	276 3%	2288 28%	484 6%	2390 30%	1319 16%	1286 16%

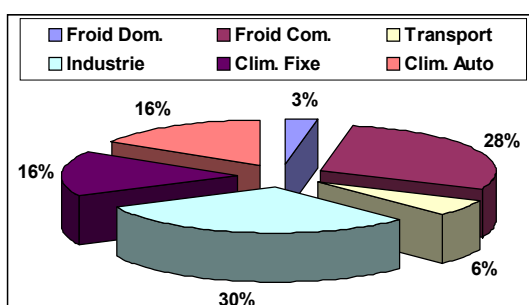


Figure 10 – Emissions des fluides frigorigènes en 2000

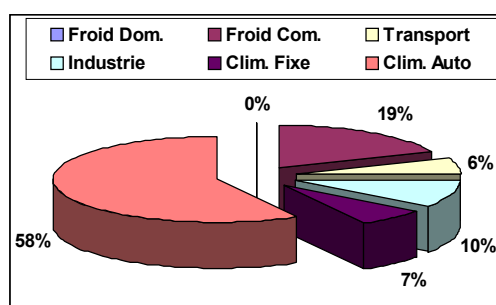


Figure 11 - Emissions des fluides HFC en 2000

Tableau 9 – Répartition des émissions des fluides HFC

Année	Domestique (t)	Commercial (t)	Transport (t)	Industrie (t)	Clim. Fixe (t)	Clim. Auto (t)
1999	2,5 0%	225 16%	95 7%	81 6%	87 6%	884 64%
2000	1,4 0%	387 19%	126 6%	192 10%	143 7%	1154 58%

Les émissions tous fluides confondus par application montrent que :

- les émissions en fin de vie des réfrigérateurs contribuent à 3 % des émissions,
- les émissions de la climatisation automobile sont relativement faibles (16 %) compte tenu du développement récent (depuis 1996) de cette application
- les quantités émises les plus significatives proviennent du froid industriel (2 400 t) et du froid commercial (environ 2 300 t).

Par contre, pour les émissions des seuls HFC, les proportions deviennent totalement différentes, les émissions prépondérantes provenant de la climatisation automobile puis du froid commercial. Ceci reflète l'état de la banque des différents fluides dans les différentes applications.

Emissions équivalent CO₂ par application

En prenant en compte le GWP des CFC, des HCFC et des HFC, les proportions en équivalent CO₂ sont relativement peu différentes des proportions des émissions des fluides, à l'exception du froid commercial qui, compte tenu de la nature des fluides utilisés, devient prépondérant par rapport aux émissions dues au froid industriel.

Tableau 10 – Emissions équivalentes CO₂ des fluides frigorigènes

Année	Domestique (10 ³ t.)	Commercial (10 ³ t.)	Transport (10 ³ t.)	Industrie (10 ³ t.)	Clim. Fixe (10 ³ t.)	Clim. Auto (10 ³ t.)
1999	2816 12%	8494 36%	1183 5%	4812 20%	3231 14%	3043 13%
2000	2906 13%	7940 35%	1168 5%	5011 22%	3195 14%	2524 11%

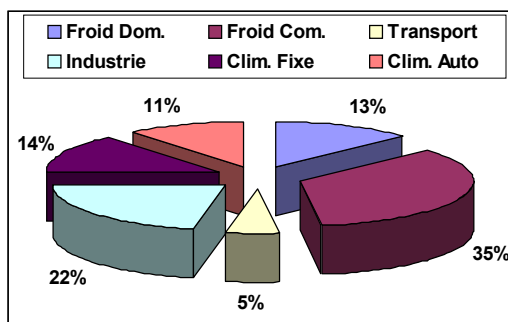


Figure 12 – Emissions des fluides frigorigènes en équivalent CO₂ en 2000

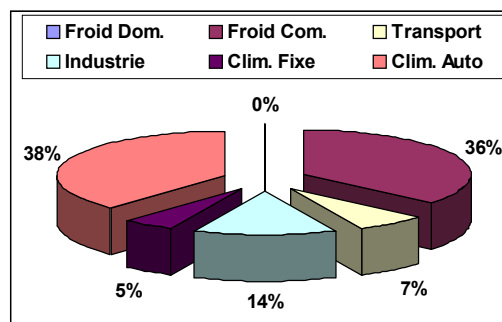


Figure 13 - Emissions des fluides HFC en équivalent CO₂ en 2000

Enfin, pour les seuls HFC, il n'est pas surprenant de constater comme précédemment, que compte tenu du GWP élevé du R-404A, les équivalents CO₂ des émissions du froid commercial et de la climatisation automobile sont comparables.

Tableau 11 – Répartition des émissions équivalentes CO₂ des fluides HFC

Année	Domestique (10 ³ t.)	Commercial (10 ³ t.)	Transport (10 ³ t.)	Industrie (10 ³ t.)	Clim. Fixe (10 ³ t.)	Clim. Auto (10 ³ t.)
1999	0,2 0%	722 33%	167 8%	191 9%	95 4%	1009 46%
2000	0,2 0%	1273 36%	242 7%	499 14%	165 5%	1340 38%

Conclusions

La méthode de reconstitution des parcs d'équipements permet un perfectionnement continu de la connaissance des fluides frigorigènes stockés dans les équipements et de l'évolution des types de fluides utilisés. L'impact des réglementations est variable selon la durée de vie des équipements mais la nature des fluides frigorigènes utilisés se modifie d'année en année et doit être régulièrement suivie.

Seule l'étude détaillée intégrant les données du marché et de la production permettent de suivre les flux entrants et sortants des frigorigènes chargés dans les équipements importés, exportés et vendus sur le territoire national.

Il reste des progrès à réaliser sur les quantités de fluides récupérés. Le calcul du gisement potentiel comparativement à la déclaration des distributeurs de fluides montre un écart significatif.

Les chiffres des émissions par secteur d'application indique là où les efforts doivent être prioritairement appliqués. C'est ainsi que le suivi régulier des émissions permettra de vérifier l'efficacité des politiques de confinement, de la limitation des charges et des évolutions dans le choix des fluides frigorigènes.

Références

- [1] D. Clodic et al. Evaluation de la consommation de fluides frigorigènes et de la consommation énergétique des applications de réfrigération et de climatisation. Report for the French Agency for Energy Management and Environment. January 1996.
- [2] L. Palandre et al. Développement d'un logiciel permettant d'établir l'inventaire annuel et la prévision à 15 ans des émissions de frigorigènes du type HFC. Report for the French Agency for Energy Management and Environment. December 2000.
- [3] L. Palandre et al. Inventaire et prévisions selon différents scénarios des émissions de HFC utilisés comme fluide frigorigènes. Report for the French Agency for Energy Management and Environment. Août 1999.
- [4] L. Palandre et al. 15-Year Projection of HFC Emissions. Report for the French Agency for Energy Management and Environment. Juin 1998.
- [5] Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Inventories : OECD / IEA Paris.

Liste des abréviations et acronymes

CFC	ChloroFluoroCarbures	CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
GWP	Global Warming Potential (Potentiel de réchauffement global)	GIFAM	Groupement Interprofessionnel des Fabricants des Appareils et équipements Ménagers
HCF C	HydroChloroFluoroCarbures	MEDD	Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable
HFC	HydroFluoroCarbures	SNEFCCA	Chambre Syndicale Nationale des Entreprises du Froid, d'Equipement des Cuisines Professionnelles et du Conditionnement
RIEP	Refrigerant Inventory and Emission Previsions	UNFCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
		UNICLIMA	Union Syndicale des Constructeurs de Matériel Aéraulique, Thermique, Thermodynamique et Frigorifique

Remerciements

Les travaux des inventaires annuels sont réalisés avec le soutien de l'ADEME. Le concours des organismes et entreprises membres de l'AFCE, permet d'améliorer la qualité des données permettant d'établir les chiffres publiés dans les rapports annuels et dans cette communication.