



## INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID

Annexes à la 35<sup>e</sup> Note d'Information sur les technologies du froid  
« L'impact du secteur du froid sur le changement climatique »

# ANNEXE A

### Émissions, tendance des émissions, GWP et part d'utilisation dans le secteur du froid de différents frigorigènes.

Le tableau ci-dessous présente un ensemble d'informations sur les gaz qui ont un impact sur le changement climatique et qui sont utilisés par le secteur du froid comme frigorigènes. Les données sur les émissions totales (tous secteurs confondus, y compris le secteur du froid), les tendances de ces émissions et les valeurs de GWP sont issues du rapport de l'Organisation météorologique mondiale (WMO) <sup>[1]</sup>. La part d'utilisation de ces gaz dans le secteur du froid a été calculée en se basant sur les données du rapport spécial GIEC/TEAP <sup>[2]</sup>.

	Substances	Émissions totales (Gg) en 2012 <sup>[1]</sup>	Tendances	GWP <sub>100</sub>	Part utilisée dans le secteur du froid (IPCC/TEAP <sup>[2]</sup> )
CFC	CFC-11	57	Diminution lente sur les dernières décennies	4 660	15,79 %
	CFC-12	40	- 7 Gg par an	10 200	86,36 %
	CFC-115	Non disponible		7 670	100 %
HCFC	HCFC-22	366	Pic en 2010 à 381 (331-431) Gg, puis diminution de 1,99% par an	1 760	98,78 %
	HCFC-123	Non disponible		79	100 %
	HCFC-124	Non disponible		527	100 %
HFC	HFC-32	19	Les émissions ont approximativement doublé (2009-2012)	677	100 %
	HFC-125	40	Les émissions ont approximativement doublé (2009-2012)	3 170	100 %
	HFC-134a	176	Augmentation de 4 % par an par rapport à 2008	1 300	93,26 %
	HFC-143a	24	Augmentation de 50 % (2009-2012)	4 800	100 %
	HFC-152a	50	Stabilisation à 50 Gg depuis 2010	138	10 %

## ANNEXE B

### Forçage radiatif

Le forçage radiatif dû au secteur du froid <sup>[1, 3, 4]</sup> a été calculé en utilisant la part d'utilisation des différents gaz par le secteur du froid <sup>[2]</sup> (voir Annexe A). Les valeurs de forçage radiatif mentionnées dans la Note d'Information concernent l'année 2015.

W.m <sup>-2</sup>	CFC <sup>[1, 2, 3, 4]</sup>	HCFC <sup>[1, 2, 3, 4]</sup>	HFC <sup>[1, 2, 3, 4]</sup>	CO <sub>2</sub> <sup>[1, 2, 3, 4]</sup>	CH <sub>4</sub> <sup>[1, 2, 3, 4]</sup>	N <sub>2</sub> O <sup>[1, 2, 3, 4]</sup>	Total
	Émissions directes			Émissions indirectes			
2005	0,1626	0,0352	0,0073	0,1085	0,0107	0,0014	0,3258
2006	0,1619	0,0368	0,0082	0,1100	0,0107	0,0015	0,3291
2007	0,1612	0,0384	0,0092	0,1116	0,0108	0,0015	0,3327
2008	0,1605	0,0400	0,0103	0,1133	0,0108	0,0015	0,3364
2009	0,1598	0,0418	0,0116	0,1149	0,0108	0,0016	0,3405
2010	0,1591	0,0436	0,0130	0,1166	0,0109	0,0016	0,3448
2011	0,1583	0,0447	0,0141	0,1183	0,0109	0,0016	0,3479
2012	0,1 74	0,0459	0,0155	0,1202	0,0110	0,0017	0,3516
2013	0,1566	0,0471	0,0168	0,1228	0,0110	0,0017	0,3560
2014	0,1558	0,0483	0,0182	0,1242	0,0111	0,0017	0,3594
2015	0,1550	0,0495	0,0198	0,1262	0,0112	0,0018	0,3635

La valeur totale du forçage radiatif, soit 2,9642 W.m<sup>-2</sup>, a été extrapolée à partir du dernier rapport du GIEC <sup>[3]</sup>.

## ANNEXE C

### Émissions directes (en CO<sub>2</sub>eq) des différents frigorigènes

Les chiffres ci-dessous ont été obtenus à partir des données fournies dans l'Annexe A.

Il est à noter que les chiffres postérieurs à 2014 comportent un degré d'incertitude important. En conséquence, ce sont les chiffres de l'année 2014 qui ont été retenus dans la Note d'Information.

**Tableau 1 : Émissions de CFC en Mt CO<sub>2</sub> eq**

	CFC-11	CFC-12	CFC-115 <sup>(1)</sup>	Total
2012	42	352	50	444
2013	42	291	44	377
2014	41	229	39	309
2015	41	167	33	242
2016	40	106	28	174

**Tableau 2 : Émissions de HCFC en Mt CO<sub>2</sub> eq**

	HCFC-22
2012	643
2013	630
2014	617
2015	605
2016	593

*Les émissions de HCFC-123 et de HCFC-124 sont négligeables en comparaison de celles générées par les autres frigorigènes*

**Tableau 3 : Émissions de HFC en Mt CO<sub>2</sub> eq**

	HFC-32	HFC-125	HFC-134a	HFC-143a	HFC-152a	Total
2012	13	127	213	115	1	469
2013	16	160	222	132	1	530
2014	20	201	231	151	1	604
2015	26	254	240	173	1	693
2016	32	320	250	198	1	800

**Tableau 4 : Émissions cumulées pour le secteur du froid en Mt CO<sub>2</sub> eq**

	CFC	HCFC	HFC	Secteur du froid
2012	444	643	469	1 556
2013	377	630	530	1 537
2014	309	617	604	1 531
2015	242	605	693	1 540
2016	174	593	800	1 567

<sup>(1)</sup> Estimation IIF



## INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID

Annexes à la 35<sup>e</sup> Note d'Information sur les technologies du froid  
« L'impact du secteur du froid sur le changement climatique »

### ANNEXE D

**Émissions indirectes : méthodologie et calcul des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation d'électricité du secteur du froid.**

<b>CO<sub>2</sub> / kWh d'électricité <sup>[5]</sup></b>	519 gCO <sub>2</sub> /kWh
<b>Production mondiale d'électricité <sup>[6]</sup></b>	23 815 TWh
<b>Émissions de CO<sub>2</sub> liées à la production d'électricité</b>	12,36 Gt CO <sub>2</sub>
<b>Part d'électricité consommé par le secteur du froid <sup>[7]</sup></b>	17 %
<b>Émissions liées à la consommation d'électricité du secteur du froid</b>	2,10 Gt CO <sub>2</sub>

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la production d'électricité sont obtenues en multipliant le facteur d'émission en CO<sub>2</sub>/kWh d'électricité <sup>[5]</sup> au niveau mondial par la production mondiale d'électricité <sup>[6]</sup>.

Selon une estimation de l'IIF <sup>[7]</sup>, le secteur du froid consomme 17 % de l'électricité utilisée dans le monde.

## ANNEXE E

### Émissions indirectes : méthodologie et calcul des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation de carburant liée à l'utilisation de la climatisation mobile.

**Tableau 1 : Nombre de véhicules climatisés en circulation dans le monde**

<b>Véhicules particuliers</b> <sup>[8]</sup>	907 051 000
<b>Véhicules utilitaires</b> <sup>[8]</sup>	329 253 000
<b>Total</b>	1 236 304 000
<b>Véhicules climatisés</b> <sup>[7]</sup> ( $N_{climatisé}$ )	700 000 000

**Tableau 2 : Émissions de CO<sub>2</sub> liées à la climatisation mobile, en gigatonnes**

<b>Transport</b> <sup>[5]</sup>	7,45
<b>Transport routier (<math>E_{total}</math>)</b> <sup>[5]</sup>	5,59
<b>Véhicules climatisés</b> <sup>1</sup>	3,27
<b>Climatisation</b> <sup>(1)</sup>	0,24

**Modèle utilisé :**

$$E_{total} = S * N_{climatisé} * X + N_{non climatisé} * X$$

Avec :

- $E_{total}$  : émissions totales de CO<sub>2</sub> liées au transport routier (Gt CO<sub>2</sub>) ;
- $S$  : facteur représentant la surconsommation liée à l'utilisation de la climatisation mobile ;
- $N_{climatisé}$  et  $N_{non climatisé}$  : respectivement le nombre de véhicules climatisés et le nombre de véhicules non climatisés ;
- $X$  : moyenne d'émissions de CO<sub>2</sub> d'un véhicule (Gt CO<sub>2</sub>).

Les émissions dues à l'utilisation de la climatisation sont alors :

$$E_{climatisation} = N_{climatisé} * X * (S-1)$$

Le même raisonnement est appliqué pour le transport frigorifique. Il y a 4 millions de « véhicules frigorifiques » selon l'IIF <sup>[7]</sup>. Cela représente seulement 1,21 % du parc de véhicules utilitaires. On peut donc estimer les émissions du transport frigorifique comme négligeables (Ordre de grandeur : 2 Mt).

<sup>(1)</sup> Estimation IIF



## INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID

Annexes à la 35<sup>e</sup> Note d'Information sur les technologies du froid  
« L'impact du secteur du froid sur le changement climatique »

### ANNEXE F

#### Émissions indirectes : émissions de méthane liées au secteur du froid

Émissions liées à l'extraction du charbon (2012) <sup>[9]</sup>	46,2 Mt CH <sub>4</sub>
Part liée à la production d'électricité (charbon) <sup>[10, 11]</sup>	25,60 Mt CH <sub>4</sub>
<b>Part liée au froid (charbon)</b>	4,35 Mt CH <sub>4</sub> 121,86 Mt CO <sub>2</sub> eq
Émissions liées à l'extraction du gaz naturel (2012) <sup>[9, 12]</sup>	67,84 Mt CH <sub>4</sub>
Part liée à la production d'électricité (gaz naturel) <sup>[10, 11]</sup>	20,62 Mt CH <sub>4</sub>
<b>Part liée au froid (gaz naturel)</b>	3,51 Mt CH <sub>4</sub> 98,17 Mt CO <sub>2</sub> eq
Émissions liées à l'extraction du pétrole <sup>[9, 12]</sup>	20,26 Mt CH <sub>4</sub>
Part liée à la production d'électricité (pétrole) <sup>[10, 11]</sup>	0,19 Mt CH <sub>4</sub>
<b>Part liée au froid (pétrole)</b>	0,03 Mt CH <sub>4</sub> 0,90 Mt CO <sub>2</sub> eq
<b>Total des émissions de méthane liées au secteur du froid (2012)</b>	7,89 Mt CH <sub>4</sub> 220,92 Mt CO <sub>2</sub> eq
<b>Total des émissions de méthane liées au secteur du froid (2013) <sup>(1)</sup></b>	7,97 Mt CH <sub>4</sub> 223,12 Mt CO <sub>2</sub> eq
<b>Total des émissions de méthane liées au secteur du froid (2014) <sup>(1)</sup></b>	8,05 Mt CH <sub>4</sub> 243,74 Mt CO <sub>2</sub> eq

<sup>(1)</sup> Estimation IIF

## ANNEXE G

### Émissions régionales

Nous donnons ici une estimation des émissions de gaz à effet de serre générées par le secteur du froid, au niveau régional et national. Ces estimations ont été réalisées à partir des données des rapports régionaux et nationaux de l'UNFCCC <sup>[13]</sup> dans le cadre du Protocole de Kyoto, et des études spécifiques de certains pays.

	Emissions directes		Emissions indirectes	
<b>UE-28</b> <sup>[14, 15]</sup>	109,59 Mt CO <sub>2</sub> eq	215,65 kgCO <sub>2</sub> /capita	174,68 Mt CO <sub>2</sub> eq	343,73 kgCO <sub>2</sub> /capita
<b>Allemagne</b> <sup>[14]</sup>	12,64 Mt CO <sub>2</sub> eq	155,26 kgCO <sub>2</sub> /capita	38,85 Mt CO <sub>2</sub> eq	477,27 kgCO <sub>2</sub> /capita
<b>France</b> <sup>[14]</sup>	18,14 Mt CO <sub>2</sub> eq	271,49 kgCO <sub>2</sub> /capita	11,66 Mt CO <sub>2</sub> eq	174,57 kgCO <sub>2</sub> /capita
<b>Islande</b> <sup>[14]</sup>	0,16 Mt CO <sub>2</sub> eq	477,86 kgCO <sub>2</sub> /capita	0,011 Mt CO <sub>2</sub> eq	32,85 kgCO <sub>2</sub> /capita
<b>Japon</b> <sup>[13]</sup>	39,78 Mt CO <sub>2</sub> eq	313,21 kgCO <sub>2</sub> /capita	91,61 Mt CO <sub>2</sub> eq	723,73 kgCO <sub>2</sub> /capita
<b>Russie</b> <sup>[13]</sup>	35,31 Mt CO <sub>2</sub> eq	240,97 kgCO <sub>2</sub> /capita	49,54 Mt CO <sub>2</sub> eq	338,09 kgCO <sub>2</sub> /capita
<b>Etats-Unis</b> <sup>[16, 17, 18]</sup>	211,36 Mt CO <sub>2</sub> eq	657,62 kgCO <sub>2</sub> /capita	528,08 Mt CO <sub>2</sub> eq	1 643,06 kgCO <sub>2</sub> /capita
<b>Chine</b> <sup>[16, 19, 20, 21]</sup>	315,92 Mt CO <sub>2</sub> eq	230,43 kgCO <sub>2</sub> /capita	710,83 Mt CO <sub>2</sub> eq	518,48 kgCO <sub>2</sub> /capita
<b>Inde</b> <sup>[16, 17]</sup>	37,66 Mt CO <sub>2</sub> eq	28,73 kgCO <sub>2</sub> /capita	144,95 Mt CO <sub>2</sub> eq	114,88 kgCO <sub>2</sub> /capita
<b>Qatar</b> <sup>[13]</sup>	3,18 Mt CO <sub>2</sub> eq	1 422,37 kgCO <sub>2</sub> /capita	7,12 Mt CO <sub>2</sub> eq	3 183,98 kgCO <sub>2</sub> /capita



## INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID

Annexes à la 35<sup>e</sup> Note d'Information sur les technologies du froid  
« L'impact du secteur du froid sur le changement climatique »

# ANNEXE H

## Prévisions sur les émissions futures

Les travaux de G. Velders <sup>[22]</sup> ont été utilisés pour réaliser ces projections. G. Velders a fait des prévisions avant que ne soit signé l'Amendement de Kigali. Il a pour cela simulé la mise en œuvre de quatre propositions formulées durant les discussions préparatoires de l'Amendement de Kigali (Amérique du Nord, États insulaires du Pacifique, Union Européenne et Inde).

Le texte final adopté est plus ambitieux que la proposition indienne mais moins sévère que les trois autres propositions. La projection de l'IIF a été réalisée sur la base de ces quatre estimations.





## INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID

### Annexes à la 35<sup>e</sup> Note d'Information sur les technologies du froid « L'impact du secteur du froid sur le changement climatique »

#### Références

- [1] WMO, UNEP, National OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, EUROPEAN COMMISSION. *Scientific Assessment of Ozone Depletion : 2014* [en ligne]. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project - Report N°. 56. Genève, 2014. 92 pages. Disponible sur : <[http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone\\_2014/documents/Full\\_report\\_2014\\_Ozone\\_Assessment.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_2014/documents/Full_report_2014_Ozone_Assessment.pdf)> (Consulté le 13/10/2017)
- [2] METZ Bert, KUIJPERS Lambert, SOLOMON S. et al. *Special report on safeguarding the ozone layer and the global climate system* [en ligne]. Paris : GIEC, 2005, 443 p. Format PDF. Disponible sur : <[https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs\\_wholereport.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf)> (Consulté le 19/10/2017)
- [3] MYRHE Gunnar, SHINDELL Drew, BRÉON François-Marie, et al. Anthropogenic and natural radiative forcing [en ligne]. In : *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. Genève, 2013. Disponible sur : <<http://bit.ly/GIEC-Anthropogenic-Natural-Radiative-Forcing>> (Consulté le 13/10/2017)
- [4] RIGBY Matt, PRINN R. G., O'DOHERTY S., et al. Recent and future trends in synthetic greenhouse gas radiative forcing. *Geophysical Research Letters* [en ligne]. 2014. Disponible sur : <<http://doi.wiley.com/10.1002/2013GL059099>> (Consulté le 13/10/2017)
- [5] IEA. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion. In : *Site de l'International Energy Agency* [en ligne]. 2016. Disponible sur : <<http://bit.ly/IEA-CO2-Emission-Fuel-2016>> (Consulté le 13/10/2017)
- [6] IEA. Key electricity trends electricity summary. In : *Site de l'International Energy Agency* [en ligne]. 2016. Disponible sur : <<http://bit.ly/IEA-Electricity-Trends-2016>> (Consulté le 13/10/2017)
- [7] IIF, COULOMB Didier, DUPONT Jean-Luc, PICHARD Audrey. Le rôle du froid dans l'économie mondiale. *29<sup>e</sup> Note d'Information sur les technologies du froid* [en ligne]. 2015. Disponible sur : <<http://bit.ly/IIF-NI-29-FR>> (Consulté le 13/10/2017)
- [8] OICA. Vehicles in Use. In : *Site de l'OICA* [en ligne]. 2015. Disponible sur : <<http://www.oica.net/wp-content/uploads//Total-in-use-All-Vehicles.pdf>> (Consulté le 13/10/2017)
- [9] SAUNOIS Marielle, BOUSQUET Philippe, POULTER Ben, et al. The global methane budget 2000-2012. *Earth System Science Data* [en ligne]. 2016. Disponible sur : <<http://www.earth-syst-sci-data.net/8/697/2016/>> (Consulté le 13/10/2017)
- [10] MCCABE David, GEERTSMA Meleah, MATTHEWS Nathan, et al. Waste not- Common sense ways to reduce methane pollution from the oil and natural gas industry. In : *Site du NRDC* [en ligne]. 2015. Disponible sur : <[https://www.nrdc.org/sites/default/files/ene\\_14111901b.pdf](https://www.nrdc.org/sites/default/files/ene_14111901b.pdf)> (Consulté le 13/10/2017)
- [11] IEA. *World: balances for 2014 in ktoe on a net calorific value basis* [en ligne]. Rapport statistique de l'IEA. Genève, 2014. Disponible sur : <<http://bit.ly/IEA-Rapport-2014>> (Consulté le 13/10/2014)
- [12] EPA. *Global Mitigation of Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases: 2010-2030* [en ligne]. Rapport de l'EPA. United States of America, 2013. 410 p. Disponible sur : <[https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/mac\\_report\\_2013.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/mac_report_2013.pdf)> (Consulté le 19/10/2017)
- [13] UNFCCC. National Reports. In : *Site de l'UNFCCC* [en ligne]. Disponible sur : <[http://unfccc.int/national\\_reports/items/1408.php](http://unfccc.int/national_reports/items/1408.php)> (Consulté le 13/10/2017)
- [14] GRAZIOSI F., ARDUINI J., FURLANI F., et al. European Emissions of the powerful greenhouse gases hydrofluorocarbons inferred from atmospheric measurements and their comparison with annual national reports to UNFCCC. *Atmospheric Environment* [en ligne]. 2017. Disponible sur : <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.029>> (Consulté le 13/10/2017)



## INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID

### Annexes à la 35<sup>e</sup> Note d'Information sur les technologies du froid « L'impact du secteur du froid sur le changement climatique »

- [15] GRAZIOSI F., ARDUINI J., FURLANI F., et al. European emissions of HCFC-22 based on eleven years of high frequency atmospheric measurements and a Bayesian inversion method. *Atmospheric Environment* [en ligne]. 2015. Disponible sur : <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.04.042>> (Consulté le 13/10/2017)
- [16] FORTEMS-CHEINEY Audrey, Saunois M., Pison I., et al. Increase in HFC-134a emissions in response to the success of the Montreal Protocol. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* [en ligne]. 2015. Disponible sur : <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2015JD023741/full>> (Consulté le 13/10/2017)
- [17] SIMMONDS Paul, DERWENT R. G., MANNING A. J., et al. USA Emissions estimates of CH<sub>3</sub>CHF<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>FCF<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>CF<sub>3</sub> and CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> based on in situ observations at Mace Head. *Atmospheric Environment* [en ligne]. 2015. Disponible sur : <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.010>> (Consulté le 13/10/2017)
- [18] MILLET Dylan, ATLAS Elliot, BLAKE Donald, et al. Halocarbon emissions from the United States and Mexico and their Global Warming Potential. *Environmental Science & Technology* [en ligne]. 2009. Disponible sur : <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es802146j>> (Consulté le 13/10/2017)
- [19] LI Zhifang, BIE Pengju, WANG Ziyuan, et al. Estimated HCFC-22 emissions for 1990-2050 in China and the increasing contribution to global emissions. *Atmosphere Environment* [en ligne]. 2016. Disponible sur : <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.02.038>> (Consulté le 13/10/2017)
- [20] FANG Xuekun, VELDEERS Guus, RAVISHANKARA A. R., et al. Hydrofluorocarbon (HFC) Emissions in China: An inventory for 2005-2013 and projections to 2050. *Environmental Science & Technology* [en ligne]. 2016. Disponible sur : <<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.5b04376>> (Consulté le 13/10/2017)
- [21] AN XingQing, HENNE Stephan, YAO Bo, et al. Estimating emissions of HCFC-22 and CFC-11 in China by atmospheric observations and inverse modeling. *Science China Chemistry* [en ligne]. 2012. Disponible sur : <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11426-012-4624-8>> (Consulté le 13/10/2017)
- [22] VELDEERS Guus, FAHEY David, DANIEL John, et al. Future atmospheric abundances and climate forcings from scenarios of global and regional hydrofluorocarbon (HFC) emissions. *Atmospheric Environment* [En ligne]. 2014. Disponible sur : <<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.071>> (Consulté le 13/10/2017)