

## EFFET DE SERRE 2013

### PRINCIPE

La moitié environ de l'énergie solaire reçue ( $340 \text{ W/m}^2$ ) est absorbée par la terre. Le sol de la terre (chauffé par le soleil) réémet un rayonnement dans l'infrarouge (de 4 à  $30 \mu\text{m}$ ). Le CO<sub>2</sub> (comme d'autres gaz : vapeur d'eau, CH<sub>4</sub>...) possède une bande d'absorption dans ce domaine (de 15 à  $18 \mu\text{m}$  pour CO<sub>2</sub>). La présence de CO<sub>2</sub> (et des autres gaz) permet le chauffage, par le sol, des basses couches de l'atmosphère (la troposphère : en dessous de 10 km en moyenne). La température moyenne au sol est de +15°C alors qu'elle ne serait que de -18°C, sans les gaz à effet de serre. L'effet de serre est donc un phénomène indispensable à la vie sur Terre, toutefois l'augmentation de la teneur, dans l'atmosphère, des gaz à effet de serre, se traduit par une élévation moyenne des températures à la surface du globe avec des conséquences climatiques importantes.

### EMISIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE

Afin de prendre en compte l'effet sur le réchauffement climatique de l'ensemble des gaz à effet de serre, un indicateur, le potentiel de réchauffement global (PRG) est utilisé. Six gaz inclus dans le protocole de Kyoto sont pris en compte : CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone), CH<sub>4</sub> (méthane), N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote), HFC (hydrofluorocarbures), PFC (perfluorocarbures, par exemple CF<sub>4</sub> et C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>), SF<sub>6</sub> (hexafluorure de soufre) et depuis 2013, NF<sub>3</sub> (trifluorure d'azote). La vapeur d'eau, non prise en compte, a un effet 2 fois plus important que le dioxyde de carbone mais sa teneur dans l'atmosphère, comprise entre 0,4 et 4 %, dépend peu des activités humaines.

Cet indicateur est exprimé en équivalent CO<sub>2</sub>, le coefficient 1 étant attribué à celui-ci.

CO <sub>2</sub>	1	PFC	9 069 en moyenne en 2013
CH <sub>4</sub>	25	SF <sub>6</sub>	22 800
N <sub>2</sub> O	298	NF <sub>3</sub>	17 200
HFC	2 093 en moyenne en 2013		

Source : Citepa

### **Contribution des différents gaz à effet de serre :**

En France, en 2013, en équivalent CO<sub>2</sub>, les émissions ont été de 429 millions de t, elles étaient de 553 millions de t, en 1991. Elles contribuent au potentiel de réchauffement global de la façon suivante :

CO <sub>2</sub>	71 %	N <sub>2</sub> O	10 %
CH <sub>4</sub>	14 %	HFC, PFC, NF <sub>3</sub> et SF <sub>6</sub>	5 %

Source : Citepa

Les émissions de CO<sub>2</sub> ont été de 306 millions de t (le maximum a été de 484 millions de t en 1973). Sa teneur dans l'atmosphère, en 2015, est de 400 ppmv (elle était de 280 ppmv en 1750). Il provient à 39 % du transport routier, 28 % du résidentiel et tertiaire, 27 % des industries manufacturières

(dont 6,2 % pour la chimie), 16 % de la transformation d'énergie, 3 % de l'agriculture et la sylviculture, 2 % des autres transports (plus de la moitié pour le transport aérien).

Les émissions de CH<sub>4</sub> ont été de 2,347 millions de t (le maximum a été de 2,863 millions de t en 1995) soit 58,675 millions de t en équivalent CO<sub>2</sub>. Sa teneur dans l'atmosphère est de 1,824 ppm (elle était de 0,722 ppmv en 1750). Il provient à 66 % de l'agriculture et la sylviculture (quasi exclusivement de l'élevage dont 57 % des fermentation entériques et 9 % des déjections animales), 28 % des industries manufacturières (quasi exclusivement du traitement des déchets), 3 % du résidentiel et du tertiaire, 2 % de la transformation de l'énergie, 0,3 % du transport routier, moins de 0,1 % des autres transports.

- Une vache laitière produit par an, 3 t d'équivalent CO<sub>2</sub> du fait de la fermentation entérique.
- Un porc produit par an 0,5 t d'équivalent CO<sub>2</sub> du fait de ses déjections.

Les émissions de N<sub>2</sub>O ont été de 148 000 t (le maximum a été de 301 000 t en 1997) soit 44,104 millions de t en équivalent CO<sub>2</sub>. Sa teneur dans l'atmosphère est de 0,326 ppm (elle était de 0,270 ppmv en 1750). Il provient à 89 % de l'agriculture et la sylviculture (dont 81 % de l'épandage d'[engrais azotés](#), de fumier et lisier), 5 % de l'industrie manufacturière (dont 2,1 pour la chimie - acide nitrique et adipique - et 2,0 % pour le traitement des déchets), 3 % des transports routiers, 1 % du résidentiel et tertiaire, 1 % de la transformation d'énergie et 0,1 % des autres transports.

Les émissions de HFC ont été de 19,183 millions de t d'équivalent CO<sub>2</sub> (en augmentation constante, le minimum avait été de 1,654 million de t, en 1994) provenant à 58 % du secteur résidentiel et tertiaire (44 % pour la réfrigération, 2,5 % pour les aérosols), 23 % des industries manufacturières (dont 8,6 % pour la chimie avec la synthèse des HFC et de l'acide trifluoroacétique), 17 % des transports routiers (climatisation), 0,5 % des autres transports. Le HFC-134a remplace depuis 1993, les CFC interdits par le Protocole de Montréal. Ils remplacent depuis 2003 les HCFC interdits dans l'expansion des mousses de [polystyrène](#) extrudé et de polyuréthane.

Les émissions de PFC ont été de 658 000 t d'équivalent CO<sub>2</sub> (le maximum a été de 4,293 millions de t éq CO<sub>2</sub> en 1990), provenant à 99 % de l'industrie manufacturière (métallurgie de l'[aluminium](#), fabrication de l'acide trifluoroacétique, fabrication de semi-conducteurs).

Les émissions de SF<sub>6</sub> ont été de 577 000 t d'équivalent CO<sub>2</sub> (le maximum a été de 2,318 millions de t éq CO<sub>2</sub> en 1998), provenant à 60 % de l'industrie manufacturière (métallurgie du [magnésium](#)), 34 % de la transformation d'énergie (dans les disjoncteurs et interrupteurs pour haute tension) et moins de 6 % du résidentiel et tertiaire.

Les émissions de NF<sub>3</sub> ont été de 11 000 t d'équivalent CO<sub>2</sub> (le maximum a été de 90 000 t éq CO<sub>2</sub> en 1998), provenant totalement de l'industrie manufacturière et plus précisément de l'industrie des semi-conducteurs.

Dans l'Union européenne, en 2013, les émissions, en équivalent CO<sub>2</sub>, ont été de 4 477 millions de t dont, en millions de t équivalent CO<sub>2</sub> :

CO <sub>2</sub>	3 320	SF <sub>6</sub>	6
CH <sub>4</sub>	468	PFC	4
N <sub>2</sub> O	258	NF <sub>3</sub>	0,07
HFC	104		

Source : Agence Européenne pour l'Environnement

Par pays : en 2013, en millions de t équivalent CO<sub>2</sub> :

Allemagne	950,7	Espagne	322,0
Royaume Uni	572,1	Pays Bas	195,8
France	490,2	République tchèque	127,1
Italie	437,3	Belgique	119,4
Pologne	394,9	Roumanie	110,9

Source : Agence Européenne pour l'Environnement

Dans le monde, en 2010, CO<sub>2</sub> compte pour 65 %, CH<sub>4</sub> pour 16 %, N<sub>2</sub>O pour 6 %, les composés fluorés pour 2 % et la déforestation pour 11 %.

### Origine des gaz à effet de serre :

L'agriculture et la sylviculture produisent particulièrement du N<sub>2</sub>O et du CH<sub>4</sub>, le transport routier surtout du CO<sub>2</sub>.

- En France métropolitaine, sur un total de 429 millions de t d'équivalent CO<sub>2</sub>, en 2013.

Transport routier	26 %	Agriculture, sylviculture	19 %
Industrie manufacturière	22 %	Transformation de l'énergie	11 %
Résidentiel, tertiaire	21 %	Autres transports	1 %

Source : Citepa

- Dans l'Union européenne, sur un total de 4 477 millions de t d'équivalent CO<sub>2</sub>, en 2013.

Energie	78,7 %	Industrie	8,0 %
Agriculture	9,9 %	Déchets	3,4 %

Source : Agence européenne pour l'environnement

- Dans le monde, en 2010, sur un total de 49 milliards de t d'équivalent CO<sub>2</sub>.

Energie : production et transformation	29 %	Résidentiel et tertiaire	8 %
Industrie	18 %	Energie : torchage et émissions fugitives	6 %
Transports	13 %	Déchets	4 %
Agriculture	11 %	Feux de forêts	3 %
Sylviculture	8 %		

Source : PNUE

## EMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE

### Données mondiales :

Le principal gaz à effet de serre est le CO<sub>2</sub>. Sa teneur dans l'atmosphère est, en 2015, de 400 ppm, en volume. Il est produit par les activités industrielles, les transports, le chauffage, ainsi que par les

feux de forêt. Sa teneur dans l'atmosphère, avant la révolution industrielle, était, en 1750, de 280 ppmv.

Quelques exemples de production de CO<sub>2</sub>, en France, en 2013.

- Production d'acier : 1,10 t de CO<sub>2</sub>/t d'acier.
- Production de verre : 0,64 t de CO<sub>2</sub>/t de verre.
- Production de ciment : 0,9 t de CO<sub>2</sub>/de clinker.

Par sources d'énergie, dans le monde, les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent, en 2013, à 45 % du charbon, 34 % du pétrole, 20 % du gaz naturel.

Emissions de CO<sub>2</sub> dues à l'utilisation de combustibles, en 2014, en millions de t et en t par habitant, sur un total mondial de 35,89 millions de t et de 4,5 t/habitant, en 2013 dont, en 2013, 3,34 millions de t dans l'Union européenne et 6,6 t/habitant :

	Total	t éq CO <sub>2</sub> /ha		Total	t éq CO <sub>2</sub> /ha
Chine	9 680	7,1	Canada	558	15,7
Etats-Unis	5 561	17,4	Brésil	507	2,5
Inde	2 597	2,0	Afrique du Sud	476	7,9
Russie	1 595	11,2	Mexique	457	3,6
Japon	1 332	9,7	Royaume Uni	428	6,6
Allemagne	789	9,8	Australie	382	16,2
Indonésie	641	2,5	Turquie	373	4,8
Iran	616	7,9	Thaïlande	337	5,0
Arabie Saoudite	602	19,5	France	331	5,2
Corée du Sud	599	12,0	Italie	327	5,5

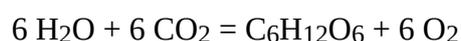
Source : Global Carbon Project

Par habitant, les émissions les plus élevées sont au Qatar : 46 tCO<sub>2</sub>/ha, à Trinidad et Tobago : 35 tCO<sub>2</sub>/ha, au Koweït : 27 tCO<sub>2</sub>/ha, au Brunei : 24 tCO<sub>2</sub>/ha...

## Cycle du CO<sub>2</sub>

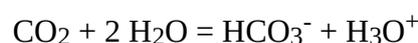
Fixation du dioxyde de carbone : une partie des émissions est absorbée par :

- La végétation lors de la photosynthèse :



Pour fixer le CO<sub>2</sub> émis, en France, par la combustion des combustibles fossiles, il faudrait reboiser 1/10 du territoire (1/4 du reboisement du pays pour les émissions des États-Unis).

- Les océans, qui dissolvent de 30 à 50 % des émissions de dioxyde de carbone. La dissolution et l'émission du gaz par les océans dépendent de la température. Les régions intertropicales émettent du gaz, les régions froides dissolvent le gaz.



- Une partie des ions carbonates des océans précipitent dans les sédiments sous forme de [carbonate de calcium](#).

Cycle du CO<sub>2</sub> : en milliards de t de CO<sub>2</sub>.

#### Stocks :

- Océans : 142 570 à 90 % sous forme d'ion hydrogénocarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 9 % sous forme d'ion carbonate et 1 % sous forme de dioxyde de carbone dissous.
- Biosphère : 13 000 à 17 000.
- Réserve d'énergie fossile : de 2 300 à 5 700.
- Atmosphère : 3 040.

#### Échanges :

- Les océans échangent, de façon équilibrée, avec l'atmosphère 100 milliards de t/an, la biomasse, 60 milliards de t/an.

- Entre 2000 et 2009, les activités humaines ont libéré 340 milliards de t d'équivalent CO<sub>2</sub>.

L'atmosphère a absorbé 160 milliards de t, les océans 90 milliards de t. Les forêts séquestrent 9,2 milliards de t/an.

## **CONSEQUENCES CLIMATIQUES**

La conséquence de l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre est l'échauffement global de la terre. Le taux de gaz carbonique est passé de 280 ppm en 1750 à 400 ppm en 2015. D'après le groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), ce taux pourrait atteindre une valeur comprise entre 540 et 970 ppm en 2100 avec, comme conséquence, une hausse moyenne des températures de 3°C.

Au XX<sup>ème</sup> siècle, en France, l'augmentation des températures a été de 0,7°C dans le nord-est et 1,1°C dans le sud-ouest.

Cette hausse de la température aura de nombreuses conséquences :

- Fonte des glaciers et dilatation de l'eau de mer qui entraîneront une hausse du niveau des mers. Entre 1901 et 2010, le niveau moyen des mers s'est élevé, en moyenne, de  $1,7 \pm 0,3$  mm/an et entre 1993 et 2010, cette hausse a été de  $3,2 \pm 0,4$  mm/an.
- Baisse du niveau des fleuves.
- Acidification des océans.
- Épidémies liées aux grandes chaleurs.
- Famines liées à la disparition de terres arables qui pourraient créer de gigantesques déplacements de "réfugiés du climat".

## **DIRECTIVES ET INITIATIVES MONDIALES**

### **Le protocole de Kyoto**

La conférence de Kyoto sur le réchauffement de la Terre a eu lieu à la fin de l'année 1997. En 2001, 180 pays se sont mis d'accord sur l'application du protocole de Kyoto limitant les émissions de gaz à effet de serre. Ce traité fixe une injonction : "les pays industrialisés doivent diminuer leurs émissions".

de gaz à effet de serre d'au moins 5 % par rapport au niveau de 1990 au cours de la période d'engagement allant de 2008 à 2012".

Parmi les pays ayant refusé de signer ce protocole on trouve les Etats-Unis, l'Australie, ainsi que l'Égypte et l'Indonésie. Ce protocole est entré en vigueur au début de l'année 2005, il fixe comme priorité les économies d'énergie.

A Durban, en 2012, le protocole de Kyoto a été prolongé jusqu'en 2020.

### **Les bourses d'échange.**

Pour atteindre les objectifs de réduction d'émission de CO<sub>2</sub>, les pays signataires du protocole de Kyoto ont mis en place une "bourse d'échange" du CO<sub>2</sub>.

Kyoto et la commission de Bruxelles ont fixé un prix à la tonne de CO<sub>2</sub>, ou plus exactement aux tonnes d'émission de CO<sub>2</sub> évitées. Il est donc désormais possible de vendre les tonnes de CO<sub>2</sub> non émises par une entreprise à une autre entreprise.