

## EFFET DE SERRE 2011

### Principe

La moitié environ de l'énergie solaire reçue ( $342 \text{ W/m}^2$ ) 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 qui peuvent être néfastes.

### Emissions des gaz à 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	7 292 en moyenne en 2011
CH <sub>4</sub>	21	SF <sub>6</sub>	23 900
N <sub>2</sub> O	310	NF <sub>3</sub>	16 100
HFC	1 949 en moyenne en 2011		

Source : Citepa

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

En France, en 2011, en équivalent CO<sub>2</sub>, les émissions ont été de 424 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>	73,9 %	HFC	3,2 %
N <sub>2</sub> O	12,2 %	PFC	0,1 %
CH <sub>4</sub>	10,5 %	SF <sub>6</sub>	0,1 %

Source : Citepa

Les émissions de CO<sub>2</sub> ont été de 296 millions de t (le maximum a été de 484 millions de t en 1973). Sa teneur dans l'atmosphère est de 391 ppmv (elle était de 280 ppmv en 1750). Il provient à 35 % du transport routier, 23 % des industries manufacturières (dont 6,9 % pour la chimie), 22 % du résidentiel et tertiaire, 14 % 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 2,423 millions de t (le maximum a été de 2,863 millions de t en 1995) soit 50,883 millions de t en équivalent CO<sub>2</sub>. Sa teneur dans l'atmosphère est de 1,803 ppm (elle était de 0,722 ppmv en 1750). Il provient à 76 % de l'agriculture et la sylviculture (quasi exclusivement de l'élevage dont 56 % des fermentation entériques et 20 % des déjections animales), 20 % des industries manufacturières (quasi exclusivement du traitement des déchets), 2 % 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 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 196 000 t (le maximum a été de 301 000 t en 1997) soit 60,760 millions de t en équivalent CO<sub>2</sub>. Sa teneur dans l'atmosphère est de 0,324 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), 7 % de l'industrie manufacturière (dont 2,6 pour la chimie - acide nitrique et adipique - et 2,0 % pour le traitement des déchets), 3 % du résidentiel et tertiaire, 2 % des transports routiers, 1 % de la transformation d'énergie et 0,1 % des autres transports.

Les émissions de HFC ont été de 15,428 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 46 % du secteur résidentiel et tertiaire (réfrigération, aérosols), 29 % des industries manufacturières (principalement la chimie avec la synthèse des HFC et de l'acide trifluoroacétique), 19 % des transports routiers (climatisation), 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 429 000 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 totalement 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 546 000 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 59 % de l'industrie manufacturière (métallurgie du [magnésium](#)), 40 % de la transformation d'énergie (dans les disjoncteurs et interrupteurs pour haute tension) et moins de 1 % du résidentiel et tertiaire.

Dans l'Union européenne, en 2011, les émissions, en équivalent CO<sub>2</sub>, ont été de 4 260 millions de t dont :

- CO<sub>2</sub>, 3 445 millions de t,
- CH<sub>4</sub>, 389 millions de t,
- N<sub>2</sub>O, 335 millions de t,
- Gaz fluorés : 91 millions de t.

#### **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 424 millions de t d'équivalent CO<sub>2</sub>, en 2011.

Transport routier	26 %	Résidentiel, tertiaire	18 %
-------------------	------	------------------------	------

Industrie manufacturière	22 %	Transformation de l'énergie	11 %
Agriculture, sylviculture	21 %	Autres transports	2 %

Source : Citepa

- Dans l'Union européenne, sur un total de 4 260 millions de t d'équivalent CO<sub>2</sub>, en 2011.

Energie	33 %	Résidentiel, tertiaire	12 %
Transport	20 %	Agriculture	10 %
Industrie	20 %	Déchets	3 %

Source : Agence européenne pour l'environnement

- Dans le monde, en 2010.

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 2012, de 394 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 2011.

- Production d'acier : 1,32 tCO<sub>2</sub>/t d'acier.
- Production de verre : 0,51 tCO<sub>2</sub>/t de verre.
- Production de ciment : 0,89 tCO<sub>2</sub>/de clinker.

Par sources d'énergie\*, dans le monde, les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent, en 2011, à 44 % du charbon, 35 % du pétrole, 20 % du gaz naturel.

Emissions de CO<sub>2</sub> dues à l'utilisation de combustibles\*, en 2011, en millions de t et en t par habitant. Monde : 31 342 et 4,5 tCO<sub>2</sub>/ha, Union européenne : 3 543 et 7,0 tCO<sub>2</sub>/ha.

	Total	tCO <sub>2</sub> /ha		Total	tCO <sub>2</sub> /ha
Chine	8 000	5,9	Royaume Uni	443	7,1
Etats-Unis	5 287	16,9	Mexique	432	4,0
Inde	1 745	1,4	Indonésie	426	1,8

Russie	1 653	11,6	Australie	397	17,4
Japon	1 186	9,3	Italie	393	6,5
Allemagne	748	9,1	Afrique du Sud	368	7,3
Corée du Sud	588	11,8	France	328	5,0
Canada	530	15,4	Pologne	300	7,8
Iran	521	7,0	Turquie	286	3,9
Arabie Saoudite	457	16,3	Ukraine	285	6,2

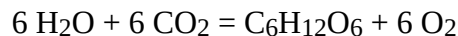
\*Source : CO2 Emissions from Fuel Combustion: Highlights ©OECD/IEA, 2013, p. [16, 101-103], modifié par le Centre de Ressources Pédagogiques en Chimie :  
Economie et Industrie

Par habitant\*, les émissions les plus élevées sont dans les pays du Golfe : Qatar : 38,2 tCO<sub>2</sub>/ha, Koweït : 30,1 tCO<sub>2</sub>/ha... et aux Antilles : Trinidad et Tobago : 30,3...

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

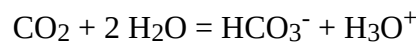
Fixation du dioxyde de carbone : une partie des émissions est absorbée par :

- 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 (ils fixent environ 2 milliards de t C/an). 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 C.

Stocks :

- Lithosphère : 80 000 000 sous forme, principalement, de carbonate de calcium, 27 000 sous forme de matière organique fossile (charbon, pétrole, gaz naturel) et 2 600 provenant de débris de la biosphère.

- Hydrosphère : 39 000 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.

- Atmosphère : 770.

- Biosphère : 600.

Échanges :

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

- Les activités humaines libèrent 7 milliards de t/an, dont 3 se retrouvent dans l'atmosphère, 2 dans les océans, 2 dans la biosphère.

## Conséquences climatiques

La conséquence de l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère est l'échauffement global de la terre. Le taux de gaz carbonique est passé de 280 ppm en 1750 à 394 ppm en 2012. 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.

Cette hausse de la température aura de nombreuses conséquences :

- Fonte des glaciers et dilation de l'eau de mer qui entraînent une hausse du niveau des mers.
- Baisse du niveau des fleuves.
- Epidémies 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 (plus gros pollueur mondial), l'Australie, ainsi que l'Egypte et l'Indonésie. Ce protocole est entré en vigueur au début de l'année 2005, il fixe comme priorité les économies d'énergie.

Le protocole de Kyoto est donc une étape dans la lutte contre l'augmentation des gaz à effet de serre mais le chemin est encore long, car si une politique de développement durable s'instaure actuellement en Europe on ne peut pas en dire autant de pays comme les Etats-Unis ou la Chine. Ce protocole doit être complété par les initiatives locales.

### *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.