

EFFET DE SERRE 2019

Principe

La moitié environ de l'énergie solaire reçue (340 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 μm de longueur d'onde). Le CO₂ (comme d'autres gaz : vapeur d'eau, CH₄...) possède une bande d'absorption dans ce domaine de longueur d'onde (de 15 à 18 μm pour CO₂). La présence de CO₂ (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.

Émissions 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 : CO₂ (dioxyde de carbone), CH₄ (méthane), N₂O (protoxyde d'azote), HFC (hydrofluorocarbures), PFC (perfluorocarbures, par exemple CF₄ et C₂F₆), SF₆ (hexafluorure de soufre) et depuis 2013, NF₃ (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 CO₂, le coefficient 1 étant attribué à celui-ci.

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

Source : Citepa

Contribution des différents gaz à effet de serre

En France, en 2018, en équivalent CO₂, les émissions ont été de 433 millions de t, elles étaient de 553 millions de t, en 1991. Elles contribuent au potentiel de réchauffement global de la façon suivante :

CO ₂ 74 %	PFC 0,2 %
CH ₄ 12 %	SF ₆ 0,1 %
N ₂ O 9 %	NF ₃ 0,002 %
HFC 4 %	

Source : Citepa, inventaire CCNUCC, périmètre Kyoto, hors UTCATF

- Les émissions nettes de CO₂ ont été, en 2018, de 317 millions de t (le maximum a été de 485 millions de t en 1973). Sa teneur dans l'atmosphère est, en 2017, de 405,5 ppmv (elle était

- de 280 ppmv en 1750). Il provient, en 2017, à 39 % du transport routier, 26 % des combustions dans le résidentiel, tertiaire et agriculture, 14 % des combustions dans les industries manufacturières et la construction, 13 % des combustions dans la transformation d'énergie, 2,8 % des procédés industriels et produits minéraux.
- Les émissions nettes de CH₄ ont été, en 2017, de 2,181 millions de t (le maximum a été de 2,856 millions de t en 1995) soit 57 millions de t en équivalent CO₂. Sa teneur dans l'atmosphère est, en 2017, de 1,859 ppmv (elle était de 0,722 ppmv en 1750). Il provient, en 2016, à 62 % des fermentations entériques, 20 % du stockage des déchets non dangereux, 7,2 % de la gestion des déjections animales, 3,9 % du traitement des eaux usées, 2,5 % des combustions dans le résidentiel, tertiaire et l'agriculture.
 - Une vache laitière produit par an, 3 t d'équivalent CO₂ du fait de la fermentation entérique.
 - Un porc produit par an 0,5 t d'équivalent CO₂ du fait de ses déjections.
 - Les émissions nettes de N₂O ont été de 137 000 t (le maximum a été de 238 000 t en 1997) soit 41 millions de t en équivalent CO₂. Sa teneur dans l'atmosphère est, en 2017, de 0,3299 ppmv (elle était de 0,270 ppmv en 1750). Il provient, en 2016, à 80 % des émissions des sols agricoles, 6,4 % de la gestion des déjections animales, 2,9 % des transports, 3,7 % des combustions dans le résidentiel, tertiaire et l'agriculture, 2,2 % des procédés de l'industrie chimique.
 - Les émissions nettes de HFC ont été de 8 994 t soit 19 millions de t d'équivalent CO₂ (en augmentation constante, le minimum avait été de 1,858 million de t d'équivalent CO₂, en 1995) provenant à 42 % de la réfrigération et l'air conditionné, 12 % de l'agroalimentaire, 12 % des véhicules diesel, 11 % du résidentiel, 10 % de la chimie. 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 59 t soit 540 000 t d'équivalent CO₂ (le maximum a été de 5,202 millions de t éq CO₂ en 1990), provenant à 99 % de l'industrie manufacturière dont 15 % pour les procédés de l'industrie de l'électronique, 16 % pour les procédés de l'industrie métallurgique (métallurgie de l'[aluminium](#), fabrication de l'acide trifluoroacétique, fabrication de semi-conducteurs).
 - Les émissions de SF₆ ont été de 23 t soit 518 000 t d'équivalent CO₂ (le maximum a été de 2,752 millions de t éq CO₂ en 1998), provenant à 100 % de l'industrie manufacturière dont 40 % pour la production d'électricité, 22 % les équipements électriques (disjoncteurs et interrupteurs pour haute tension), 7 % pour les procédés de l'industrie métallurgique (métallurgie du [magnésium](#)).
 - Les émissions de NF₃ ont été de 0,6 t soit 11 000 t d'équivalent CO₂ (le maximum a été de 46 000 t éq CO₂ en 2008), provenant totalement de l'industrie manufacturière et plus précisément des procédés de l'industrie des semi-conducteurs.

Dans l'Union européenne, en 2016 les émissions, en équivalent CO₂, hors UTCE, ont été de 4 300 millions de t dont :

en millions de t équivalent CO₂

CO ₂	3 496	PFC	4
CH ₄	457	SF ₆	7
N ₂ O	248	NF ₃	0,07

Source : [Agence Européenne pour l'environnement](#)

Par pays, en 2016, sur un total de 4 291 millions de t équivalent CO₂ :

	en millions de t équivalent CO ₂ et en t/habitant			en millions de t équivalent CO ₂ et en t/habitant	
	en millions de t	en t/habitant		en millions de t	en t/habitant
Allemagne	902	11,0	Espagne	325	7,0
Royaume Uni	486	7,4	Pays Bas	195	11,5
France	465	7,0	République tchèque	130	12,3
Italie	398	7,1	Belgique	118	10,4
Pologne	395	10,4	Roumanie	113	5,7

Source : FCCC, Nations Unies

Dans quelques autres pays :

- Aux États-Unis, en 2016, les émissions ont été de 6 511 millions de t équivalent CO₂ soit 20,1 t/habitant dont à 81 % par CO₂, 10 % CH₄, 6 % N₂O, 3 % pour les gaz fluorés.
- En Russie, en 2016, les émissions ont été de 2 644 millions de t équivalent CO₂ soit 18,3 t/habitant.
- Au Japon, en 2016, les émissions ont été de 1 305 millions de t équivalent CO₂ soit 10,3 t/habitant.
- Au Canada, en 2016, les émissions ont été de 704 millions de t équivalent CO₂ soit 19,4 t/habitant.
- En Australie, en 2016, les émissions ont été de 549 millions de t équivalent CO₂ soit 22,7 t/habitant.

Dans le monde, en 2017, les émissions ont été de 49 200 millions de t équivalent CO₂, les parts des différents pays sont les suivantes :

en %			
Chine	26,8 %	Japon	3,0 %
États-Unis	13,1 %	Brésil	2,3%
Union européenne	9,0 %	Indonésie	1,7 %
Inde	7,0 %	Corée du Sud	1,6 %
Russie	4,6 %	Canada	1,6 %

Source : « [Emissions Gap Report 2018](#) », UNEP

Origine des gaz à effet de serre

L'agriculture et la sylviculture produisent particulièrement du N₂O et du CH₄, le transport routier surtout du CO₂.

En France métropolitaine, sur un total de 451 millions de t d'équivalent CO₂, en 2016.

Transport routier	28 %	Agriculture, sylviculture	20 %
Industrie manufacturière	21 %	Transformation de l'énergie	10 %
Résidentiel, tertiaire	20 %	Autres transports	1 %

Source : Citepa

Dans l'Union européenne, sur un total de 4 291 millions de t d'équivalent CO₂, en 2016.

Énergie 78,0 % Industrie 8,7 %
Agriculture 10,0 % Déchets 3,2 %

Source : [Chiffres clés du climat](#), Datalab

Aux États-Unis, sur un total de 6 511 millions de t d'équivalent CO₂, en 2016.

Production d'électricité 28 % Commercial et résidentiel 11 %
Transport 28 % Agriculture 9 %
Industrie 22 %

Source : [EPA](#)

Dans le monde, en 2010, sur un total de 49 milliards de t d'équivalent CO₂.

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

Source : *PNUE*

Émissions de dioxyde de carbone

Données mondiales :

Le principal gaz à effet de serre est le CO₂. Sa teneur dans l'atmosphère est, en 2017, de 405,5 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 CO₂, en France, en 2013.

- Production d'acier : 1,10 t de CO₂/t d'acier.
- Production de verre : 0,64 t de CO₂/t de verre.
- Production de ciment : 0,9 t de CO₂/t de clinker.

Par sources d'énergie, dans le monde, les émissions de CO₂ proviennent, en 2013, à 45 % du charbon, 34 % du pétrole, 20 % du gaz naturel.

Émissions de CO₂, en 2017, en millions de t et en t par habitant, sur un total mondial de 37 077 millions de t et de 4,9 t/habitant et dans l'Union européenne, de 3 548 millions de t et 7,0 t/habitant :

	Total	t CO ₂ /ha		Total	t CO ₂ /ha
Chine	10 877	7,7	Indonésie	511	1,9
États-Unis	5 107	15,7	Mexique	507	3,9
Inde	2 455	1,8	Brésil	493	2,4
Russie	1 765	12,3	Afrique du Sud	468	8,2
Japon	1 321	10,4	Turquie	430	5,3
Allemagne	797	9,7	Australie	402	16,5

Corée du Sud	673	13,2	Royaume Uni	379	5,7
Iran	671	8,3	Italie	361	6,1
Arabie Saoudite	639	19,4	France	338	5,2
Canada	617	16,9	Pologne	319	8,4

Source : « [Fossil CO₂ emissions of all world countries](#) », 2018 report, European Commission

Par habitant, en 2017, les émissions les plus élevées sont à Curaçao : 46,8 tCO₂/ha, au Qatar : 37,1 tCO₂/ha, à Trinidad et Tobago : 27,6 tCO₂/ha, au Bahreïn : 24,0 tCO₂/ha, au Koweït : 23,5 tCO₂/ha...

Émissions de CO₂ dues à la production d'électricité, en 2013 : monde : 12 658 millions de t de CO₂, Union européenne : 1 207 millions de t de CO₂.

en millions de t de CO₂

Chine	3 786	Japon	584
États-Unis	2 128	Allemagne	332
Inde	945	Corée du Sud	300
Russie	680	Royaume Uni	163

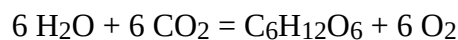
Source : AIE

Cycle du CO₂

Fixation du dioxyde de carbone

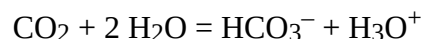
Une partie des émissions est absorbée par :

La végétation lors de la photosynthèse :



Pour fixer le CO₂ 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 précipite dans les sédiments sous forme de [carbonate de calcium](#).

Stocks

En milliards de t de CO₂.

- Océans : 142 570 à 90 % sous forme d'ion hydrogénocarbonate (HCO₃⁻), 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

Ils concernent :

- Les océans qui 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 CO₂. L'atmosphère a absorbé 160 milliards de t, les océans 90 milliards de t. Les forêts séquestrent 9,2 milliards de t/an.

Conséquences 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 405,5 ppm en 2017. 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^{ème} 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 États-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 CO₂, les pays signataires du protocole de Kyoto ont mis en place une « bourse d'échange » du CO₂.

Kyoto et la commission de Bruxelles ont fixé un prix à la tonne de CO₂, ou plus exactement aux

tonnes d'émission de CO₂ évitées. Il est donc désormais possible de vendre les tonnes de CO₂ non émises par une entreprise à une autre entreprise.