

EFFET DE SERRE 2022

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 $30 \mu\text{m}$ 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 $18 \mu\text{m}$ 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 $+15^\circ\text{C}$ 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 28	SF ₆ 23 500
N ₂ O 265	NF ₃ 16 100
HFC 2 093 en moyenne en 2013	

Source : Citepa, à l'horizon de 100 ans

Contribution des différents gaz à effet de serre

En France, en 2019, en équivalent CO₂, les émissions ont été de 436 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 74,8 %	PFC 0,1 %
CH ₄ 12,8 %	SF ₆ 0,1 %
N ₂ O 8,9 %	NF ₃ 0,002 %
HFC 3,2 %	

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

- Les émissions de CO₂ ont été, en 2019, de 327 millions de t (le maximum a été de 485 millions de t en 1973). Sa teneur dans l'atmosphère est, en avril 2021, de 419 ppmv (elle

était de 280 ppmv en 1750). Il provient, en 2019, à 40 % du transport routier, 24 % des combustions dans les industries manufacturières et la construction, 20 % des combustions dans le résidentiel, tertiaire et agriculture, 13 % des combustions dans la transformation d'énergie, 3 % de l'agriculture.

- Les émissions de CH₄ ont été, en 2019, de 2,239 millions de t (le maximum a été de 2,856 millions de t en 1995) soit 56 millions de t en équivalent CO₂. Sa teneur dans l'atmosphère est, en 2019, de 1,877 ppmv (elle était de 0,722 ppmv en 1750). Il provient, en 2019, à 67 % des élevages, 25 % du stockage des déchets non dangereux, 6 % des combustions dans le résidentiel, tertiaire, 2 % de la transformation de l'énergie.
 - 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 de N₂O ont été de 130 000 t (le maximum a été de 238 000 t en 1997) soit 39 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 2019, à 89 % de l'agriculture, 4 % de l'industrie manufacturière, 3 % des transports, 2 % des combustions dans le résidentiel, tertiaire, 1 % de la production d'énergie, 1 % des déchets.
- Les émissions de HFC ont été de 6 963 t soit 14,2 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 55 % du résidentiel et du tertiaire, 25 % des industries manufacturières, 20 % du transport. 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 69 t soit 600 000 t d'équivalent CO₂ (le maximum a été de 5,202 millions de t éq CO₂ en 1990), provenant à 97 % 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) et à 3 % du résidentiel et tertiaire.
- Les émissions de SF₆ ont été de 17 t soit 400 000 t d'équivalent CO₂ (le maximum a été de 2,752 millions de t éq CO₂ en 1998), provenant à 48 % de l'industrie manufacturière, 45 % de la production d'énergie, 7 % du résidentiel et tertiaire.
- Les émissions de NF₃ ont été de 0,6 t soit 10 000 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 à 27, en 2019, les émissions, en équivalent CO₂, hors UTCF, ont été de 3 494 millions de t avec la répartition suivante :

en %

CO ₂	82,1	N ₂ O	5,7
CH ₄	10,0	Gaz fluorés	2,2

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

Par pays, en 2019, sur un total de 3 494 millions de t équivalent CO₂ :

en millions de t équivalent CO₂

en millions de t

en millions de t

Allemagne	823	Pays Bas	197
France	424	République tchèque	138
Italie	389	Belgique	121
Pologne	379	Grèce	86
Espagne	296	Roumanie	84

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

Dans quelques autres pays :

- Aux États-Unis, en 2019, les émissions ont été de 6 558 millions de t équivalent CO₂ dont à 80 % par CO₂, 10 % CH₄, 7 % N₂O, 3 % pour les gaz fluorés.
- Au Canada, en 2020, les émissions ont été de 536 millions de t équivalent CO₂.
- En Australie, en 2020, les émissions ont été de 392 millions de t équivalent CO₂.

Dans le monde, en 2020, les émissions ont été de 34 807 millions de t équivalent CO₂, avec les valeurs suivantes pour les principaux pays :

en millions de t équivalent CO ₂			
Chine	10 668	Iran	745
États-Unis	4 713	Allemagne	644
Inde	2 442	Arabie Saoudite	626
Russie	1 577	Corée du Sud	598
Japon	1 031	Indonésie	590

Source : [Global Carbon Atlas](#)

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 396 millions de t d'équivalent CO₂, en 2020.

Transport	29 %	Agriculture, sylviculture	21 %
Industrie manufacturière	19 %	Transformation de l'énergie	10 %
Résidentiel, tertiaire	19 %	Traitement centralisé des déchets	4 %

Source : [Citepa](#)

Dans l'Union européenne, sur un total de 3 610 millions de t d'équivalent CO₂, en 2019.

Énergie	76,6 %	Industrie	9,4 %
Agriculture	10,7 %	Déchets	3,2 %

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

Aux États-Unis, sur un total de 5 216 millions de t d'équivalent CO₂, en 2019.

Transport	29 %	Commercial et résidentiel	13 %
Production d'électricité	25 %	Agriculture	10 %
Industrie	23 %		

Source : [EPA](#)

Dans le monde, en 2010, sur un total de 49 milliards de t d'équivalent CO₂ (52,4 milliards de t d'équivalent CO₂, en 2019).

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 : PNUÉ

Émissions de dioxyde de carbone

Données mondiales :

Le principal gaz à effet de serre est le CO₂. Sa teneur dans l'atmosphère est, en avril 2021, de 419 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 2019, en millions de t et en t par habitant, sur un total mondial de 38 017 millions de t et de 4,9 t/habitant/an et dans l'Union européenne à 28, de 3 304 millions de t et 6,5 t/habitant/an :

	Total	t CO ₂ /ha		Total	t CO ₂ /ha
Chine	11 535	8,1	Canada	585	15,7
États-Unis	5 107	15,5	Afrique du Sud	495	8,5
Inde	2 597	1,9	Mexique	485	3,7
Russie	1 792	12,5	Brésil	478	2,3
Japon	1 154	9,1	Australie	433	17,3
Allemagne	703	8,5	Turquie	416	5,0
Iran	702	8,5	Royaume Uni	365	5,5
Corée du Sud	652	12,7	Italie	332	5,6
Indonésie	626	2,5	Pologne	318	8,4
Arabie Saoudite	615	18,0	France	315	4,8

Source : "[Fossil CO₂ emissions of all world countries](#)", 2020 report, European Commission

Par habitant, en 2019, les émissions les plus élevées sont au Qatar : 38,8 tCO₂/ha/an, à Curaçao : 36,4 tCO₂/ha/an, à Trinidad et Tobago : 23,8 tCO₂/ha/an, au Koweït : 23,3 tCO₂/ha/an, au Bahreïn : 21,6 tCO₂/ha/an...

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

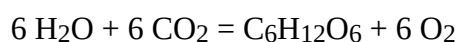
Source : AIE

Cycle du CO₂

Fixation du dioxyde de carbone

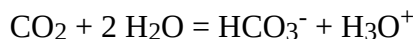
Une partie des émissions est absorbée par :

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 419 ppm, en avril 2021. 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.