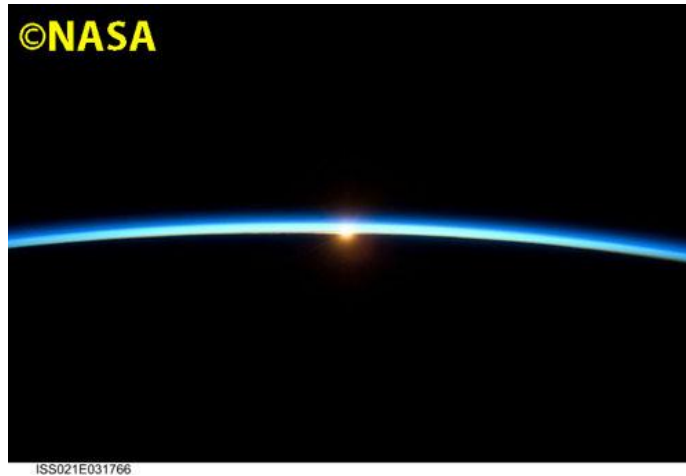




## Forçage radiatif, albédo et gaz à effet de serre



Atmosphère de la Terre.

Fine ligne due à l'atmosphère de la Terre éclairée par le Soleil, photographiée par l'équipage de la station spatiale internationale alors que la navette Atlantis était arrimée à la station lors de la mission STS-129. (Source : NASA Image of the Day Gallery-25/11/2009) [http://www.archive.org/details/407255main\\_iss021e031766\\_hires\\_full](http://www.archive.org/details/407255main_iss021e031766_hires_full)

Pour bien différencier les différentes contributions au réchauffement planétaire, il est nécessaire de définir l'apport d'une espèce chimique au bilan énergétique de la Terre. Pour cela on utilise la notion de forçage radiatif. Il s'agit du flux d'énergie (en  $W/m^2$  ou  $J/s.m^2$ ) qu'une substance a ajouté durant une certaine période au bilan énergétique de la planète. Par exemple, l'augmentation de la concentration en  $CO_2$  dans l'atmosphère a augmenté le flux d'énergie reçu par les basses couches atmosphériques (par [effet de serre](#)) de  $1,66 W/m^2$  depuis l'époque pré-industrielle. Tous les gaz à effet de serre (GES) augmentent le bilan énergétique de la Terre et on un forçage radiatif positif.

Quatre paramètres sont importants pour définir l'effet d'un GES et son « efficacité ». Le premier paramètre est que pour être un GES, l'espèce considérée doit absorber le rayonnement IR émis par la surface terrestre, c'est-à-dire que la molécule doit avoir des modes de vibration qui absorbe ces

longueurs d'ondes (voir l'article sur l'[effet de serre](#)). Par exemple, l'ozone troposphérique ( $O_3$ ) est un GES mais l'oxygène ( $O_2$ ) n'en est pas un. Le second paramètre, une grandeur moléculaire intrinsèque à une espèce, est l'efficacité d'absorption de cette espèce (elle est notée  $a_0$ )\* : une molécule qui absorbe fortement et sur une gamme de longueur d'onde large aura un impact important sur le forçage radiatif. Le troisième critère est la concentration et la vitesse à laquelle la concentration d'un GES augmente : plus un gaz est présent en grand quantité, plus forte sera son absorption. Le dernier paramètre est la stabilité du GES : une molécule très stable (c'est-à-dire dont la demi-vie est longue), et qui donc persiste longtemps dans l'atmosphère, aura une contribution durable sur le réchauffement.

Le forçage radiatif prend en compte ces différents paramètres. Il s'agit du produit entre  $a_0$  et l'évolution de la concentration sur une période donnée, en général entre 1750 et aujourd'hui. Pour évaluer



l'impact futur d'un GES sur le réchauffement planétaire, on définit le GWP\*\* d'une substance (pour *Global Warming Potential*) ou GHP (pour *Greenhouse Potential*). Cette valeur est normalisée par rapport à celle du CO<sub>2</sub> (le GWP du CO<sub>2</sub> est 1) et

est calculée sur les 100 années suivantes après qu'une certaine concentration ait été atteinte à un instant initial. Le tableau ci-dessous donne les concentrations en 1748 et en 2008 de certains GES :

**Concentrations atmosphériques de quelques composés**  
(d'après Richard Tuckett, Climate change: observed impacts on planet Earth)

Composé	Concentration en 1750 (ppmv)	Concentration en 2008 (ppmv)	Fraction molaire actuelle
N <sub>2</sub>	780 900	780 900	0.78
O <sub>2</sub>	209 400	209 400	0.21
H <sub>2</sub> O (100% d'humidité, 298K)	31 000	31 000	0.03
H <sub>2</sub> O (50% d'humidité, 298K)	16 000	16 000	0.01
Ar	9 300	9 300	0.01
CO <sub>2</sub>	280	379	3.8.10 <sup>-4</sup>
Ne	18	18	1.77.10 <sup>-5</sup>
CH <sub>4</sub>	0.72	1.77	1.8.10 <sup>-6</sup>
N <sub>2</sub> O	0.27	0.32	3.2.10 <sup>-8</sup>
O <sub>3</sub>	0.025	3.4.10 <sup>-3</sup>	3.4.10 <sup>-5</sup>
Tous les CFCs	0	8.7.10 <sup>-4</sup>	8.7.10 <sup>-10</sup>
Tous les HFFC	0	1.9.10 <sup>-4</sup>	1.9.10 <sup>-10</sup>
Tous les PFCs	0	8.3.10 <sup>-5</sup>	8.3.10 <sup>-11</sup>
Tous les HFCs	0	6.1.10 <sup>-5</sup>	6.1.10 <sup>-11</sup>

Ce tableau montre la forte augmentation de CO<sub>2</sub> et de méthane dans l'atmosphère. On voit également l'apparition de nouveaux gaz qui n'existaient pas dans l'atmosphère avant la période pré-industrielle et qui sont rejetés dans l'atmosphère par les activités humaines : chlorofluorocarbones (CFC), hydrochlorofluorocarbones (HCFC), hydrofluorocarbones (HFC), perfluorocarbones (PFC), l'ozone troposphérique. L'eau, quant à elle, voit sa concentration globale faiblement modifiée par

les activités humaines. Mais surtout, le temps de résidence de l'eau dans l'atmosphère est faible (la vapeur d'eau retombe sous forme de pluie ou de neige en 9 jours en moyenne), de sorte que son impact sur le réchauffement est négligé.

Le tableau suivant donne les différents paramètres qui définissent la contribution au réchauffement planétaire de différents GES :

**Exemples de GES et leur contribution au réchauffement planétaire**  
(d'après Richard Tuckett, Climate change: observed impacts on planet Earth)

GES	CO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	SF <sub>6</sub>	SF <sub>5</sub> CF <sub>3</sub>
Concentration en 2008 (ppmv)	379	0.034	1.77	0.32	0.0005	5.6.10 <sup>-6</sup>	1.2.10 <sup>-7</sup>
Δconcentration entre 1748 et 2008 (ppmv)	99	0.009	1.05	0.05	0.0005	5.6.10 <sup>-6</sup>	1.2.10 <sup>-7</sup>
Efficacité radiative A <sub>0</sub> (W/m <sup>2</sup> .ppbv)	1.7.10 <sup>-5</sup>	3.3.10 <sup>-2</sup>	4.6.10 <sup>-4</sup>	3.4.10 <sup>-3</sup>	0.32	0.52	0.60
Forçage radiatif (W/m <sup>2</sup> )	1.66	0.30	0.48	0.16	0.17	2.9.10 <sup>-3</sup>	7.2.10 <sup>-5</sup>
Contribution à l'effet de serre global	63 <sup>§</sup> (57) <sup>§§</sup>	(10)	18 (16)	6 (5)	6	0.1	0.003
Demi-vie τ (année)	50-200	jours	12	120	100	3 200	800
GWP (projection sur 100 ans)	1	na <sup>#</sup>	25	298	10 900	22 800	17 700

<sup>§</sup> O<sub>3</sub> non compris, <sup>§§</sup> O<sub>3</sub> compris, <sup>#</sup> non applicable (na) pour les GES à courte durée de vie



On peut noter que, malgré une efficacité radiative faible, le CO<sub>2</sub> et le CH<sub>4</sub> ont une contribution au réchauffement forte qui résulte en fait de leur concentration élevée. On peut également remarquer la longue durée de vie des GES fluorés qui sur l'avenir. Leur efficacité radiative est particulièrement élevée, ce qui en fait de puissants GES.

Il est à noter que, de façon générale, une substance peut avoir un forçage radiatif positif (contribution au réchauffement) ou un forçage radiatif négatif (contribution à un refroidissement). Le premier type de molécule est un GES, le second est une substance ou une surface qui augmente l'albédo de la planète. Par exemple, les nuages, les aérosols et les poussières présents dans l'atmosphère réfléchissent une partie de la lumière solaire qui est renvoyée directement dans l'espace et ne participe

donc pas à réchauffer la planète. Les couverts neigeux ou glacés vont réfléchir la lumière solaire beaucoup plus que le bitume. Ce dernier va absorber la lumière et la réémettre sous forme d'IR. L'albédo est la faculté d'un matériau à réfléchir la lumière du Soleil (voir l'article sur l'[effet de serre](#)). Plus un type de surface absorbe le rayonnement solaire, plus il se réchauffe, et plus va réémettre de rayonnement IR et ainsi augmenter l'effet de serre. L'albédo ou réflectance est compris entre 0 (réflexion nulle ou absorption totale) et 1 (réflexion totale ou absorption nulle). L'albédo global moyen de la Terre vaut A = 0,30. Des exemples typiques de l'albédo de certaines surfaces terrestres sont donnés dans le tableau ci-dessous :

#### Albédo de quelques types de surfaces

(d'après Villeneuve et Richard « Vivre les changements climatiques – Réagir pour l'avenir », Éd. Multimonde (2007)

Surface	Albédo
Neige fraîche, Soleil haut	0.80 - 0.85
Neige fraîche, Soleil bas	0.90 - 0.95
Vieille neige	0.50 - 0.60
Sable	0.20 - 0.30
Herbe	0.20 - 0.25
Terre humide	0.10
Terre sèche	0.15 - 0.25
Forêt	0.05 - 0.10
Eau, Soleil horizontal	0.50 - 0.80
Eau, Soleil au Zénith	0.03 - 0.05
Nuage épais	0.70 - 0.80
Nuage mince	0.25 - 0.50

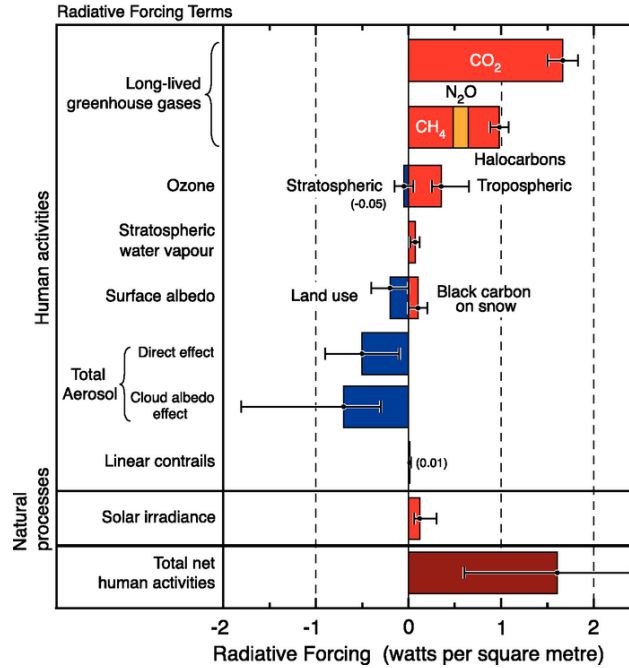
Comme on le voit, l'albédo peut être très différent selon le type de surface. Donc, tout changement de concentration des substances de l'atmosphère qui participent à l'albédo et tout changement de vocation de territoires modifient ou sont susceptibles de modifier l'albédo de la planète et donc le bilan d'énergie capturée par la planète. Par exemple, la diminution du couvert neigeux en surface ou en durée diminue l'albédo de la planète et augmente le

forçage radiatif. Par ailleurs, le faible albédo de l'asphalte, du béton et des toits conventionnels que l'on retrouve dans les zones urbaines est à l'origine des îlots de chaleur des villes.

La figure ci-dessous fait un bilan des différentes contributions au forçage radiatif des différents facteurs naturels et anthropiques (GES, albédo (surface, aérosols), traînées stratosphériques) :



### Radiative forcing of climate between 1750 and 2005



Bilan des contributions au forçage radiatif des différents gaz ou particules atmosphériques de 1750 à 2005.

#### Notes

\* L'efficacité d'absorption ou efficacité radiative  $a_0$  d'un GES est l'intégrale du coefficient d'absorption entre 400 et 2000  $\text{cm}^{-1}$  (le domaine couvert par l'émission IR de la surface terrestre) et s'exprime en  $\text{W/m}^2 \cdot \text{ppbv}$ .

Le ppbv (*parts per billion in volume* ou partie par milliards en volume) est une unité de concentration. On utilise également le sous-multiple ppmv (*parts per billion in volume* ou partie par milliards en volume). On a la relation :  $1 \text{ ppmv} = 2,46 \cdot 10^{13}$  molécules/ $\text{cm}^3$  à une pression de 1 bar et une température de 298K.

\*\* Le  $\text{GWP}_x$  d'un composé x est donné par

$$\text{l'équation : } \text{GWP}_x(t) = \frac{\int_0^t A_x(t) \cdot dt}{\int_0^t A_{\text{CO}_2}(t) \cdot dt}, \text{ où } A_x \text{ le}$$

forçage radiatif du GES x qui à un certain forçage radiatif à l'instant 0 et qui évolue avec le temps t (en général sur une période de 100 années). GWP est une mesure utilisée pour estimer le forçage radiatif

futur d'un polluant. Pour la plupart des GES, on

suppose que :  $A_x(t) = A_{0,x} \exp\left(-\frac{t}{\tau_x}\right)$ , où  $\tau_x$  est le

temps de résidence du composé x dans l'atmosphère et  $A_0$  est le forçage radiatif au temps 0.

#### Bibliographie

Richard P. Wayne "Chemical evolution of the atmosphere", *In Handbook of Atmospheric science: principles and applications* (chp. 1), Eds. C. n. Hewitt et Andrea V. Jackson (2003) Blackwell Publishing Ltd.

Hugh Coe et Ann R. Webb « Atmospheric energy and the structure of the atmosphere », *In Handbook of Atmospheric science: principles and applications* (chp. 2), Eds. C. n. Hewitt et Andrea V. Jackson (2003) Blackwell Publishing Ltd.

Richard P. Tuckett "The role of atmospheric gases in global warming", *In Climate change: observed impacts on planet Earth*, Ed. Trevor M. Letcher (2009) Elsevier



Planète  
viable

<http://planeteviable.org/> | Les résultats de la recherche en science du développement durable