

Effet de serre

L'**effet de serre** est un processus naturel résultant de l'influence de l'**atmosphère** sur les différents flux thermiques contribuant aux **températures** au sol d'une **planète**. La prise en compte de ce mécanisme est nécessaire pour expliquer les températures observées à la surface de la **Terre** et de **Vénus**. Dans le système solaire l'essentiel de l'énergie thermique reçue par une planète provient du rayonnement solaire et, en l'absence d'atmosphère, une planète rayonne idéalement comme un **corps noir**, l'atmosphère d'une planète absorbe et réfléchit une partie de ces rayonnements modifiant ainsi l'équilibre thermique. Ainsi l'atmosphère isole la Terre du vide spatial comme une serre isole les plantes de l'air extérieur.

L'expression *effet de serre* résulte d'une analogie entre l'atmosphère et les parois d'une **serre**. Son usage s'est étendu dans le cadre de la vulgarisation du **réchauffement climatique** causé par les **gaz à effet de serre** qui bloquent et réfléchissent une partie du **rayonnement thermique** ^[1]. Or le bilan thermique d'une serre s'explique essentiellement par une analyse de la **convection** et non du rayonnement : la chaleur s'accumule à l'intérieur de la serre car les parois bloquent les échanges convectifs entre l'intérieur et l'extérieur. Aussi, le terme scientifique, utilisé par la communauté des climatologues pour décrire l'influence des gaz à effet de serre, composants de l'atmosphère bloquant le rayonnement infrarouge, sur le bilan thermique de la Terre, est **forçage radiatif**.

Les températures terrestres résultent d'interactions complexes entre les apports solaires perturbés par les cycles de l'orbite terrestre, de l'effet **albédo** de l'atmosphère, des courants de convection dans l'atmosphère et les **océans**, du **cycle de l'eau** et le **forçage radiatif** de l'atmosphère notamment.

1 Historique

Dans les années 1780, Horace-Bénédict de Saussure mesure les effets thermiques du rayonnement solaire à l'aide de boîtes transparentes qu'il dispose dans la vallée et au sommet d'une montagne ^[2].

En 1824, Joseph Fourier publie *Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires* dans lesquelles il affine l'analyse des expériences de Horace-Bénédict de Saussure en concluant « la température du sol est augmentée par l'interposition de l'atmosphère, parce que la chaleur solaire trouve moins d'obstacles pour pénétrer l'air, étant à l'état de lumière,



Joseph Fourier.

qu'elle n'en trouve pour repasser dans l'air lorsqu'elle est convertie en chaleur obscure » ^[citation nécessaire].

En 1861, John Tyndall identifie les principaux responsables de ce mécanisme : la **vapeur d'eau** et le **dioxyde de carbone**. Il suggère alors qu'une modification de la composition de l'atmosphère peut avoir une influence sur l'évolution du climat ^[3].

En 1896, Svante August Arrhenius propose la première estimation de l'impact du niveau de **dioxyde de carbone** sur les températures terrestres. Il estime qu'un doublement de la quantité de **dioxyde de carbone** devrait augmenter de 4° la température moyenne ^[4]. Il espère ainsi que l'exploitation du **charbon** permettra de surmonter la prochaine ère glaciaire due à l'orbite terrestre. Le géologue américain Thomas Chamberlin (en) arrivera indépendamment aux mêmes conclusions.

En 1909, Robert Williams Wood montre que contrairement à une idée reçue le blocage du rayonnement infrarouge par le verre n'est pas le principal mécanisme qui explique le fonctionnement d'une serre ^[5]. Par conséquent le terme scientifique, adopté par le GIEC, utilisé pour décrire l'influence des composants de l'atmosphère bloquant le rayonnement infrarouge sur le bilan thermique de la Terre est **forçage radiatif** et non effet de serre.



Svante August Arrhenius.

L'expression synthétique *effet de serre* provient de la vulgarisation au début des années 1980 des résultats alarmants des recherches climatologiques. Alors que les climatologues analysent l'impact du dioxyde de carbone sur le climat sans parler d'effet de serre^[6], les premières alertes pour infléchir les décisions politiques sont lancées au début des années 1980 en utilisant cette expression^[7], reprise par la suite dans des rapports de plus en plus médiatisés, comme le rapport Brundtland (1987). En France, Jean-Marc Jancovici et Hervé Le Treut ont vulgarisé les risques liés à l'effet de serre depuis les années 1980.

2 Fonctionnement d'une serre

Articles détaillés : Serre et Robert Williams Wood.

Contrairement à une idée reçue, et comme le suggère ce nom, l'effet de serre, sous-entendu le mécanisme lié à l'absorption et à l'émission de radiations thermiques par le verre, joue un rôle négligeable dans le fonctionnement d'une serre. En 1909 Robert Williams Wood a réfuté par l'expérience cette explication^[8]. En remplaçant le verre qui recouvre une serre par du halite, un matériau totalement transparent aux infrarouges, Robert Wood mesure une augmentation similaire de température dans les deux cas. Aussi l'augmentation de température dans une serre ne s'explique pas par le fait que le verre réfléchit les infrarouges. L'expression "effet de serre" a néanmoins été conservée dans l'usage courant. Mais le terme scientifique, utilisé par la communauté scientifique pour dé-

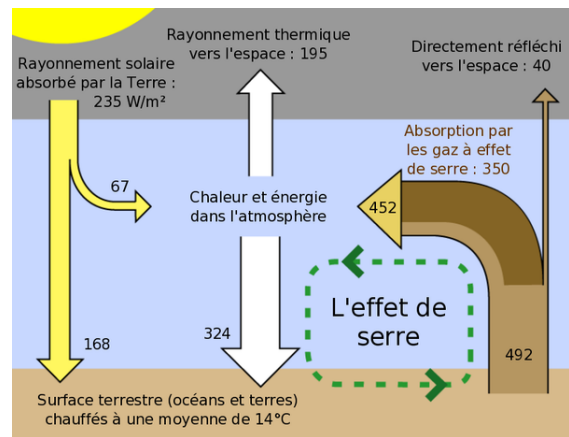
crire l'influence des composants de l'atmosphère bloquant le rayonnement infrarouge sur le bilan thermique de la Terre, est **forçage radiatif**.

Le fonctionnement d'une serre s'explique essentiellement par une analyse de la convection et non du rayonnement : la chaleur s'accumule à l'intérieur de la serre car les parois bloquent les échanges convectifs entre l'intérieur et l'extérieur.

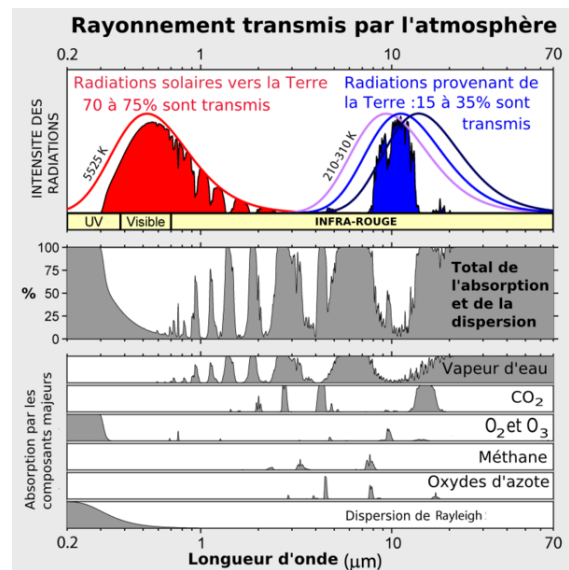
3 Mécanisme sur Terre

Article détaillé : Bilan radiatif de la Terre.

Lorsque le rayonnement solaire atteint l'atmosphère



Une représentation schématique et simplifiée des échanges d'énergie entre l'espace, l'atmosphère terrestre, et la surface de la Terre.



Si la majorité des rayonnements solaires traversent l'atmosphère pour toucher le sol (en rouge), la plus grande partie du rayonnement émis par la Terre n'est pas transmise (en bleu) mais absorbée par l'atmosphère (en gris). L'absorption des rayons infrarouges est principalement due à la vapeur d'eau.

terrestre, une partie (environ 30 %) est directement réfléchi, c'est-à-dire renvoyée vers l'espace, par l'air, les nuages blancs et la surface claire de la Terre (on pense évidemment aux régions blanches et glacées comme l'Arctique et l'Antarctique, mais il ne faut pas en surestimer le rôle : leur position aux pôles fait qu'elles reçoivent peu d'énergie solaire^[réf. souhaitée]); l'albédo est la mesure de cet effet de miroir. Les rayons incidents qui n'ont pas été réfléchis vers l'espace sont absorbés par l'atmosphère (20,7 %) et la surface terrestre (51 %).

Cette dernière partie du rayonnement absorbée par la surface du sol lui apporte de la chaleur qu'elle restitue à son tour, le jour comme la nuit, en direction de l'atmosphère. Le transfert de chaleur entre la Terre et l'atmosphère se fait, conformément au deuxième principe de la thermodynamique, du chaud (la terre) vers le froid (l'atmosphère); il se fait par convection (réchauffement et humidification de l'air au contact du sol puis ascension de cet air et libération de la chaleur latente de la vapeur d'eau lorsqu'elle se condense en nuages) et sous forme de rayonnements infrarouges lointains (dans la plage 8-13 μm principalement, correspondant au « rayonnement du corps noir » pour la température du sol). L'effet de serre ne s'intéresse qu'à ces rayonnements, qui seront absorbés en partie par les gaz à effet de serre, ce qui contribue à réchauffer l'atmosphère. Puis dans un troisième temps, cette chaleur contenue par l'atmosphère est réémise dans toutes les directions; une partie s'échappe vers l'espace, mais une autre partie retourne vers la Terre et vient en déduction de l'apport de chaleur de la surface vers l'atmosphère, donc s'oppose au refroidissement de la surface.

Sans effet de serre (ce qui implique notamment : sans vapeur d'eau et sans nuages), et à albédo constant, la température moyenne sur Terre chuterait à $-18\text{ }^\circ\text{C}$ ^[9]. Mais à cette température la glace s'étendrait sur le globe, l'albédo terrestre augmenterait, et la température se stabiliserait vraisemblablement en dessous de $-50\text{ }^\circ\text{C}$ (voir glaciation Varanger)

Répartition des gaz à effet de serre^[réf. nécessaire]

4 Les gaz à « effet de serre »

Les gaz à effet de serre sont des composants gazeux de l'atmosphère qui contribuent à l'effet de serre (sans perdre de vue que l'atmosphère contient d'autres composants non gazeux qui contribuent à l'effet de serre, comme les gouttes d'eau des nuages sur Terre). Ces gaz ont pour caractéristique commune d'absorber une partie des infrarouges émis par la surface de la Terre.

Les principaux gaz à effet de serre sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (ou protoxyde d'azote, de formule N_2O) et l'ozone (O_3). Les gaz à effet de serre industriels incluent les halocarbones lourds (fluorocarbones chlorés incluant les CFC, les molécules de HCFC-22 comme le fréon et le

perfluorométhane) et l'hexafluorure de soufre (SF_6).

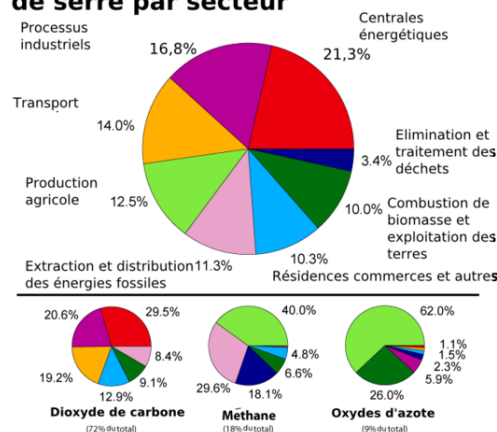
Contributions approximatives à l'effet de serre des principaux gaz, d'après le GIEC^[10] :

- vapeur d'eau : 60 %
- dioxyde de carbone : 26 %
- ozone : 8 %
- méthane et oxyde nitreux : 6 %

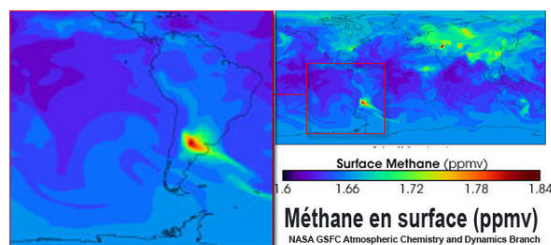
L'effet des nuages est double. Le premier est négatif car les nuages diminuent l'énergie absorbée par effet « parasol » (augmentation de l'albédo), le deuxième est positif puisqu'il traduit un effet de serre. Les deux termes sont très grands : en moyenne annuelle, environ -47 Wm^{-2} pour l'effet d'albédo et $+29\text{ Wm}^{-2}$ pour l'effet de serre. Globalement donc, l'effet d'albédo l'emporte et l'effet résultant des nuages est de refroidir la planète.

5 Effets des activités humaines

Emissions annuelles de gaz à effet de serre par secteur



Émission de gaz à effet de serre



L'élevage (bovin notamment) est une des sources de méthane, dont en Argentine (modélisation/Nasa)

La plupart des gaz à effet de serre (GES) sont d'origine naturelle. Mais certains d'entre eux sont uniquement dus

à l'activité humaine ou bien voient leur concentration dans l'atmosphère augmenter en raison de cette activité. C'est le cas en particulier de l'ozone (O₃), du dioxyde de carbone (CO₂) et du méthane (CH₄).

La preuve que l'augmentation du CO₂ atmosphérique est d'origine humaine se fait par analyse isotopique. Par contre, ce dernier gaz rejeté dans l'atmosphère ne participe que pour 40 % à l'effet de serre additionnel provenant de l'activité humaine^[11].

L'ozone est fourni en grande quantité par l'activité industrielle humaine, alors que les CFC encore largement utilisés détruisent, eux, l'ozone, ce qui fait que l'on peut constater un double phénomène :

- une accumulation d'ozone dans la troposphère au-dessus des régions industrielles ;
- une destruction de l'ozone dans la stratosphère au-dessus des pôles.

La combustion des carbones fossiles comme le charbon, le lignite, le pétrole ou le gaz naturel (méthane) rejette du CO₂ en grande quantité dans l'atmosphère : la concentration atmosphérique de gaz carbonique a ainsi augmenté de 120 ppm, passant de la valeur pré-industrielle de 280 ppm à 400 ppm aujourd'hui^[12]. Un des secteurs d'activités qui dégagent le plus de gaz à effet de serre est l'énergie : à ce sujet, voir l'article énergie et effet de serre. Ces combustibles augmentent, de plus, la concentration de gaz à effet de serre, car ils étaient enfouis dans le sol depuis des milliers d'années ce qui a rompu l'équilibre. Il s'agit d'un ajout additionnel de gaz carbonique dans l'atmosphère qui n'est pas non plus complètement compensé par une assez grande absorption : seule la moitié serait recyclée par la nature ; l'autre moitié resterait dans l'atmosphère et augmenterait l'effet de serre^[11].

La seconde cause d'émission de gaz à effet de serre est la déforestation, qui est responsable à elle seule de 20 % des émissions mondiales^[13]. Les déboisements les plus importants concernent les trois grandes forêts tropicales que sont la forêt amazonienne, la forêt du Bassin du Congo, et la forêt indonésienne. Il s'agit d'une des plus grandes causes, car tout le carbone absorbé par ces arbres est rediffusé dans l'air. S'il y avait replantation, cette quantité de dioxyde de carbone serait réabsorbée par un autre arbre, mais sans replantation, alors il n'y a qu'un ajout de la quantité de ce gaz dans l'air^[11].

Les activités humaines dégagent donc une abondance de GES : les scientifiques du GIEC qui étudient le climat estiment que l'augmentation des teneurs en gaz d'origine anthropique est à l'origine d'un réchauffement climatique.

En France, selon le groupe Facteur 4, les émissions de gaz à effet de serre proviennent des transports pour 26 %, suivis de l'industrie (22 %), de l'agriculture (19 %), des bâtiments et habitations (19 %), de la production et de la transformation de l'énergie (13 %), et du traitement des déchets (3 %). Depuis 1990, les émissions ont augmenté

de plus de 20 % pour les transports et les bâtiments. En revanche, elles ont diminué de 22 % dans l'industrie, de 10 % dans le secteur agricole, de 9 % dans le secteur de l'énergie et de 8 % pour le traitement des déchets^[14].

Article détaillé : cycle du carbone.

5.1 Hypothèse de l'emballement de l'effet de serre

On craint au pire le déclenchement d'un effet « boule de neige » (rétroaction positive), où le réchauffement conduirait à un réchauffement encore accru, via la disparition des glaces (réduction de l'albédo) et surtout la libération de stocks naturels de GES actuellement fixés par le pergélisol, les hydrates de méthane marins, ou encore la biomasse.

Si cela se produit et les réactions ne se terminent qu'après avoir produit une grande augmentation de la température, cela s'appelle un **emballement de l'effet de serre** (*runaway greenhouse effect* en anglais).

Selon l'hypothèse du fusil à clathrates (*clathrate gun* en anglais), un emballement de l'effet de serre pourrait être causé par la libération de méthane à partir des clathrates (hydrates de méthane qui tapissent le fond des océans) à la suite du réchauffement climatique. On suppose que l'extinction massive d'espèces lors du Permien-Trias a été causée par un tel emballement^[15]. Il est également estimé que de grandes quantités de méthane pourraient être libérées de la toundra sibérienne qui commence à dégeler^[réf. nécessaire], le méthane étant 21 fois plus puissant comme gaz à effet de serre que le dioxyde de carbone.

Une telle hypothèse reste toutefois hautement improbable : des études récentes ont en effet prouvé que l'hydrate de méthane du fond des océans était stable^{[16],[17]}, et que celui contenu dans le pergélisol n'avait que peu de chance de s'en échapper^[18].

Article détaillé : Relargage du méthane de l'Arctique.

5.2 Conséquences pour l'environnement

Article détaillé : Réchauffement climatique.

L'effet de serre n'est pas en soi nocif aux écosystèmes ; sans lui, la Terre ne serait qu'une boule de glace où la vie ne serait pas possible, car il n'y aurait pas d'eau liquide. Le danger pour les écosystèmes réside plutôt dans la variation trop rapide et trop importante des conditions climatiques pour que la plupart des espèces dites *évoluées* puissent s'adapter en cas de changements de température et de pluviométrie. Des écosystèmes marins et littoraux pourraient également être touchés par une hausse du niveau de la mer et des modifications des courants ma-

rins et des conditions physico-chimiques de l'eau de mer (acidité, taux de gaz dissous...)^[19]. Les populations humaines seraient évidemment touchées par le réchauffement climatique. En effet, une hausse des températures aide à la prolifération des maladies infectieuses puisque celles-ci survivent mieux dans des milieux chauds et humides.

Le GIEC envisage, selon les scénarios, des augmentations de 1,5 °C à 6 °C pour le siècle à venir en supposant que l'augmentation des rejets de GES continue au rythme des 20 dernières années (on n'a pas observé de ralentissement global des émissions, même depuis la signature du protocole de Kyoto par la plupart des pays). Un arrêt total et immédiat des rejets de carbone n'empêcherait cependant pas la température moyenne de la planète de continuer à augmenter pendant plusieurs dizaines à centaines d'années, car certains gaz à effet de serre ne disparaissent de l'atmosphère que très lentement.

6 Débat scientifique sur l'origine et les conséquences de l'effet de serre



*Trainées au Soleil levant et évolution.
(Lille, 8 octobre 2006)*

Les études concernant le réchauffement climatique et ses conséquences ont été parmi les plus fournies de l'histoire scientifique interdisciplinaire. Toutefois, ces études se

font sous d'importantes pressions politiques et économiques, de part et d'autre. Les décisions ont un poids qui justifie un lobbying intense, et des débats contradictoires sur l'interprétation des données disponibles.

Le fait que les activités humaines contribuent à l'augmentation en GES n'est pas discuté en soi ; en revanche, l'importance de ces modifications par rapport aux évolutions naturelles, et l'importance de leur effet climatique (par rapport à d'autres facteurs comme l'activité solaire par exemple) sont discutées.

Au plan des conséquences, les débats dépendent beaucoup des centres d'intérêt des participants : selon qu'on s'attache à une zone géographique particulière ou à la Terre dans son ensemble, à une espèce ou un biotope ou à la biosphère, les conclusions peuvent être fort différentes. Sans oublier les divergences entre spécialistes sur les capacités d'adaptation d'une espèce aux changements envisagés. L'histoire de la Terre montre qu'elle est passée par des bouleversements bien plus importants et que la vie s'est adaptée et a continué, mais l'ampleur des extinctions peut être très importante. Le changement climatique, qui pourrait avoir une intensité inhabituelle pour un délai si court (50 à 100 ans seulement), pourraient avoir un effet massif sur la sélection naturelle et les disparitions d'espèces. Sur des temps si court il est impossible d'envisager l'apparition d'espèces.

7 Effet de serre sur les autres planètes

7.1 Effet de serre sur Vénus

Sur Vénus l'effet de serre a porté la température à plus de 460 °C. Cet effet n'est pas dû au dioxyde de carbone qui constitue 96 % de l'atmosphère, mais à des constituants en très faibles quantités relatives tels que SO₂ et H₂O. En effet, dans le domaine infrarouge correspondant au maximum d'émission thermique pour un corps à la température de la surface et de la basse atmosphère de Vénus, le CO₂ présente des fenêtres de transmission très larges qui ne peuvent piéger efficacement le rayonnement infrarouge. En revanche, SO₂ et H₂O absorbent les radiations dans ce domaine de longueurs d'onde, tout comme le font également les fines particules d'acide sulfurique qui constituent les nuages^[20]. Vénus, plus proche (72,3 %) du Soleil que la Terre, reçoit ainsi près du double (191 %) de l'énergie solaire reçue par celle-ci.

D'autres études contredisent cependant ce point et mettent en avant le rôle essentiel du CO₂ dans l'effet de serre vénusien^[21].

7.2 Effet de serre sur Mars

L'atmosphère de Mars contient une grande proportion de CO₂, néanmoins l'atmosphère de la planète est trop ténue pour avoir un impact significatif sur la température (impact d'au plus quelques degrés)^[22]. Cependant la pression partielle de CO₂^[21], est environ de 600 Pa, celle sur terre d'environ 333 Pa. L'impact du CO₂ sur l'effet de serre martien est de 3 K^[21]. Donc si l'on doublait la quantité de CO₂ sur terre, on augmenterait sa pression partielle de 333 Pa, ce qui induirait un effet de serre seulement d'environ 1,5 K.

8 Notes et références

- [1] (en) [PDF] « The IPCC 4th Assessment Report is coming out A picture of climate change the current state of understanding », GIEC (IPCC en anglais), 2007 (consulté le 30 juillet 2008)
- [2] An Overview of Solar Cookers, RAJENDRA C. PATIL, MAHESH M. RATHORE, MANOJKUMAR CHOPRA pdf en ligne
- [3] (en) John Tyndall's Research on Trace Gases and Climate James Rodger Fleming, Historical Perspectives on Climate Change (New York and Oxford : Oxford University Press, 1998).
- [4] (en) Svante Arrhenius, « On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground », *Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 5, n° 41, avril 1896, p. 237-276 (lire en ligne)[PDF]
- [5] *Philosophical journal*, 1909, archive en ligne (en)
- [6] Carbon Dioxide and Climate : A Scientific Assessment, Report of an Ad Hoc Study Group on Carbon Dioxide and Climate, Woods Hole, Massachusetts, 23-27 juillet 1979 pdf en ligne (en)
- [7] Stephen Seidel (Environmental Protection Agency) and Dales Keyes (consultant) (1983), *Can we delay a greenhouse warming? the effectiveness and feasibility of options to slow a build-up of carbon dioxide in the atmosphere.*, Washington. Office of Policy and Resource Management. Strategic Studies Staff. google book (en)
- [8]
- [9] (fr) La Recherche, 10 Idées reçues sur le climat
- [10] Contribution totale (naturelle et anthropique) à l'effet de serre d'après les valeurs issues du rapport IPCC 2001
- [11] Frédéric Denhez et Michel Petit, Atlas de la menace climatique : le réchauffement de l'atmosphère : enjeu numéro un de notre siècle, Les éditions Autrement, 2005, 80 p.
- [12] « ESRL Global Monitoring Division - Global Greenhouse Gas Reference Network », sur www.esrl.noaa.gov (consulté le 4 avril 2015)

- [13] Les enjeux de la déforestation
- [14] Voir le « projet de rapport 2006 » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 2013-11-04 du groupe Facteur 4
- [15] (en) Extinction du Permien, consulté le 18-12-2008.
- [16] Todd Sowers, « Late Quaternary Atmospheric CH₄ Isotope Record Suggests Marine Clathrates Are Stable », *Science*, vol. 311, n° 5762, 10 février 2006, p. 838–840 (PMID 16469923, DOI 10.1126/science.1121235, Bibcode 2006Sci...311..838S)
- [17] Jeffrey P. Severinghaus, MJ Whiticar, EJ Brook, VV Petrenko, DF Ferretti et JP Severinghaus, « Ice Record of 13C for Atmospheric CH₄ Across the Younger Dryas-Preboreal Transition », *Science*, vol. 313, n° 5790, 25 août 2006, p. 1109–12 (PMID 16931759, DOI 10.1126/science.1126562, Bibcode 2006Sci...313.1109S)
- [18] http://www.institut-polaire.fr/ipev/documents/le_pergelisol_ou_permafrost
- [19] « (Le changement climatique cause d'émergence de maladies infectieuses) », (Centre International de Recherche Scientifique), mars (consulté en (18 novembre 2011)) .
- [20] (fr) L'atmosphère et les nuages de Vénus. Document IMCCE , consulté le 18-12-2008
- [21] (fr) Effet de serre sur Vénus, la Terre et Mars. Document du CESR , consulté le 17-09-2011
- [22] D'après le site du STAR Lab de l'université Stanford.

9 Annexes

9.1 Bibliographie

- Gérard Borvon, *Histoire du Carbone et du CO₂*, Vuibert, 2013
- François Gervais, *L'innocence du carbone, L'effet de serre remis en question*, Albin Michel, 2013.

9.2 Articles connexes

- Adaptation au changement climatique
- Bilan carbone
- Transition énergétique
- Réfugié écologique
- Facteur 4, Facteur 9
- Réchauffement climatique
- Puits de carbone
- Séquestration du dioxyde de carbone
- Traînée de condensation

9.3 Liens externes

Gouvernement de la France

- (fr) Mission interministérielle à l'effet de serre
- (fr) Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Gouvernement du Canada

- (fr) Carte sur l'effet de serre par Ressources naturelles Canada

Autres





- (fr) Initiative européenne d'eParticipation (WAVE) utilisant les technologies de l'information
- (en) Realclimate Blog de commentaire des résultats scientifiques récents animé par des scientifiques.
- (en) Émissions européennes par rapport à l'objectif de Kyoto

Histoire de la notion d'effet de serre

- (fr) Mémoire de Fourier sur la température du globe terrestre et des espaces planétaires, en ligne et commenté sur le site BibNum.
- (fr) Article de 1896 d'Arrhenius sur le CO₂ dans l'atmosphère, en ligne et commenté sur le site BibNum.
- (fr) « Depuis quand "sait-on" pour l'effet de serre ? » par Jean-Marc Jancovici, 2003

9.4 Outils de visualisation

- (en) carbonmap, cartographie animée en anamorphoses, comparant les régions du monde en termes d'émission, de consommation, de production, de population, de risque liés au carbone fossile

-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers
-  Portail de la chimie
-  Portail de l'énergie
-  Portail de l'environnement

10 Sources, contributeurs et licences du texte et de l'image

10.1 Texte

- **Effet de serre** *Source* : http://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_de_serre?oldid=114248102 *Contributeurs* : Anthere, Shaihlulud, Tibo-frwiki, Fruge, Didier, Ryo, Didup, Youandme, Mikue, Looxix, Dumbbell, OlivierWeb, Orthogaffe, Céréales Killer, Kelson, Semnoz, Boism, (:Julien :), Alno, Cdang, Herman, HasharBot, Abrahami, Gem, Jd, Former user 1, Grum, Spooky, Nguyenld, Archibald, Phe, MedBot, Mbcmf217, Buggs, VIGNERON, Siren, Oblic, Phe-bot, Airelle-frwiki, Papillus, Domsau2, Lachaume, Teuteul, Effco, -Pyb, Gweill, Neja, Fylyp22, Goliadkine, Spck, Escaladix, Romary, JohnD, Diligent, Yug, Darkoneko, Sebcaen, Z653z, Chris a liege, PivWan, Davy-frwiki, MaxHacker, Leag, Erasmus, Bob08, Edel, Pi.r, Eden2004, Julien06200, Pabix, Padawane, Laurent Jerry, Orel'jan, DocteurCosmos, Gede, Chobot, Stéphane33, Gribeco, Ludo29, JihemD, Stanlekub, Taguelmoust, Zetud, David Berardan, Probot, Mandrak, Kilom691, Inisheer, Christophe.Finot, RobotQuistnix, Nico@nc, Nicolas Lardot, EDUCA33E, YurikBot, Eskimbot, Mokarider, Guillom, Ico, Sand, Marsu15, Litlok, Crouchineki, PoM, Chaps the idol, Arrakis, Jean-Christophe BENOIST, Raizin, KoS, DonCamillo, Jbm747, Julianedm, Reelax, Mutatis mutandis, Baruch, Shawn, Markov, Croquant, Oxo, Hexasoft, Moulins, Chlewbob, Mith, Rune Obash, Pautard, Ben2, Saxonyking-frwiki, Spirzouf, Fl75, Fabrice Ferrer, Limmt, Xofc, Esprit Fugace, Akzo, SashatoBot, Pierre cb, TiChou, RitexSport, Lamiot, 307sw136, Mousse13, Tibauk, GRAND OUTCAST, Liquid-aim-bot, DaiFh, Mayerwin, Milord, GaMip, Rominandreu, Grondin, Hpm, Gemini1980, YSidlo, Captainm, Rhadamante, Thijs!bot, Ratus, Marvoir, En passant, Escarbot, Jarih, Kyle the bot, Bombastus, Brunodesacacias, Laurent Nguyen, Kropotkine 113, RémiH, JAnDbot, Aubadaurada, Calcineur, Jelt, El Caro, LeFit, Lady9206, IALex, Auxerroisdu68, Sebleouf, Alchemica, Dfeldmann, Van Rijn, Zouavman Le Zouave, Eiffele, VonTasha, PAULOM, Alterte, Tejgad, Rei-bot, Jotun, Khayil, Nicolas Léveillé, Salebot, Nebula38, Zorrobot, Vi..Cult..., Agabeu, AlnoktaBOT, TXiKiBoT, Environnement2100, Tooony, VolkovBot, Theoliane, Nanoxyde, Phijazz, 2Oce, Lylvic, Antoviaque, Fluti, Melkor73, Shaddam 5, Herve1729, AlleborgoBot, Gz260, SieBot, Shakki, Captain T, Skiff, Veilleur, Olivier tanguy, Pymouss, JLM, BaQu-frwiki, Kyro, LordAnubisBOT, Lepsyleon, Dhatier, Hercule, Thontep, robot, DumZiBoT, Dreoven, Alphos, Ir4ubot, Funkytanky, Balougador, Qcforever, Restefond, ZiziBot, Colo, Alexbot, Paulus11, Manoillon, Maurilbert, Chalmont, Letartean, ZetudBot, Jonpaq, Jojojojo, Ggal, Nausicaa91-frwiki, Jmp48, Guillaume70, Mike Coppelano, Raikan54, JeanBono, Utopies, Epop, LinkFA-Bot, Luckas-bot, Tibo217, ABACA, Vyk, Jotterbot, GrouchoBot, Nakor, Mcdonalds, Cagira, DSisyphBot, Tpa2067, Xqbot, Reclame, RibotBOT, JackBot, JFHochedez, Bob Saint Clar, Alex-F, Anaemaeth, AStarBot, Cedricfr, *SM*, Coyote du 57, Xiglofre, Orlodrim, TobeBot, Wingingding, Ikepella, The Titou, Pscheimann, David.nguyen, KamikazeBot, GrrrrBot, Koozedine, Toto Azéro, SKEvinG, Frakir, Mchambin, Pkthib, EmausBot, Salsero35, Branwell, Keanu1972, Ediacara, Kilith, HRoestBot, Théodore DUVAL, ZéroBot, Franz53sda, Cpalp, Jamain, SalebotJunior, MattieRenard, Jules78120, NeptuneGalaxy, Qwerty12345, Surdox, 0x010C, MerlIwBot, Indeed, OrlodrimBot, Thehelpfulbot, Lucastristan, Gesornot, Vagobot, Pano38, Lydie Noria, Valedupont, Sandy13, Mariolemoine, Titlutin, Mattho69, Enreveluj, Loic rossi, YFdyh-bot, OrikiBot, Rome2, Softélec, Kagaoua, Bayard73, Reyhstan, Addbot, Interbe, Bastenbas, Foudebassans, 222iam111, BerAnth, Pmlc, Lesuper999462, Oxydium59, Tommoes68800, Do not follow, Cat21van18, Tiliaw et Anonyme : 521

10.2 Images

- **Fichier:Arrhenius2.jpg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6c/Arrhenius2.jpg> *Licence* : Public domain *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Crystal_browser.png** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Crystal_browser.png *Licence* : LGPL *Contributeurs* : All Crystal icons were posted by the author as LGPL on kde-look *Artiste d'origine* : Everaldo Coelho and YellowIcon
- **Fichier:Crystal_energy.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/Crystal_energy.svg *Licence* : LGPL *Contributeurs* : Own work conversion of Image:Crystal_128_energy.png *Artiste d'origine* : Dhatfield
- **Fichier:Effet de Serre.png** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e4/Effet_de_Serre.png *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : Image:Greenhouse_Effect.png, translated in French. *Artiste d'origine* : Created by Robert A. Rohde and translated in French by nico@nc
- **Fichier:Emission de GES.png** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bc/Emission_de_GES.png *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : commons comment+se+connecter+a+internet+avec+la+dsi&affID=112555&tt=3712_4&babsrc=SP_ss&mnrId=b4e70f03000000000000c0f8da04801b *Artiste d'origine* : Robert A. Rohde
- **Fichier:Fichier-AtmosphericMethaneSouthAmérica.jpg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Fichier-AtmosphericMethaneSouthAm%C3%A9rica.jpg> *Licence* : Public domain *Contributeurs* : AtmosphericMethane.png *Artiste d'origine* : AtmosphericMethane.png : created by
- **Fichier:Joseph_Fourier.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/aa/Joseph_Fourier.jpg *Licence* : Public domain *Contributeurs* : "Portraits et Histoire des Hommes Utiles, Collection de Cinquante Portraits," Societe Montyon et Franklin, 1839-1840. (<http://web.mit.edu/2.51/www/fourier.jpg>). *Artiste d'origine* : Jules Boilly
- **Fichier:Nuvola_apps_edu_science.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Nuvola_apps_edu_science.svg *Licence* : LGPL *Contributeurs* : <http://ftp.gnome.org/pub/GNOME/sources/gnome-themes-extras/0.9/gnome-themes-extras-0.9.0.tar.gz> *Artiste d'origine* : David Vignoni / ICON KING
- **Fichier:Question_book-4.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/Question_book-4.svg *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : Created from scratch in Adobe Illustrator. Originally based on Image:Question book.png created by User:Equazcion. *Artiste d'origine* : Tkgd2007
- **Fichier:Radiation transmise.png** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/Radiation_transmise.png *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : common[1] *Artiste d'origine* : Robert A. Rohde
- **Fichier:Trainées avion évolution albédo.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/Train%C3%A9es_avion_%C3%A9volution_alb%C3%A9do.jpg *Licence* : CC BY-SA 1.0 *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : User Lamiot on fr.wikipedia
- **Fichier:View-refresh.svg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/View-refresh.svg> *Licence* : Public domain *Contributeurs* : The Tango! Desktop Project *Artiste d'origine* : The people from the Tango! project

10.3 Licence du contenu

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0