

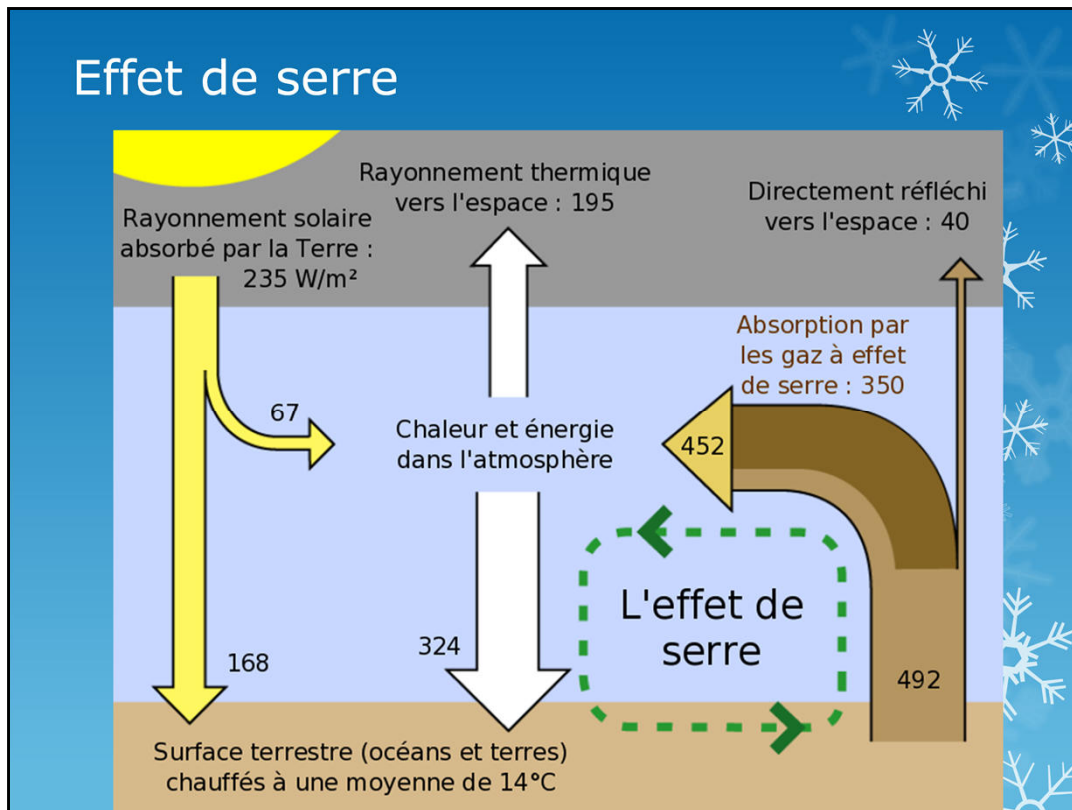
Impacts énergétiques terrestres

- Sur 100 W reçus du soleil :
 - 70 W utilisables (albedo de 0,31)
 - 20 W sont absorbés par les molécules d'air, l'ozone, le CO₂, les nuages;
 - 50 W sont absorbés au sol :
 - 20 W sont réémis en rayonnement thermique dont 15 W absorbés par les GES et 5 qui partent dans l'espace;
 - 20 W absorbés par l'évaporation d'eau qui se condense sous forme de nuages
 - 10 W transmis à l'atmosphère par convection : c'est le flux de chaleur sensible
 - Les 50 W absorbés par l'atmosphère est réémise dans toutes les directions, donc aussi vers la Terre, ce qui accroît le flux thermique interne : ce forçage radiatif génère l'effet de serre.
- Effet de serre :
 - Terme impropre
 - Réchauffement climatique
 - Déséquilibre radiatif : + 1,5 W/m²
- Le bilan radiatif n'est donc pas nul (alors qu'il devrait l'être)

Le terme Effet de serre est impropre, car l'augmentation de température dans une serre ne s'explique pas par le fait que le verre réfléchit les infrarouges, mais surtout parce que la chaleur s'accumule à l'intérieur de la serre parce que les parois bloquent et diminuent les échanges convectifs et thermiques entre l'intérieur et l'extérieur. Le terme scientifique, utilisé par la communauté scientifique pour décrire l'influence des composants de l'atmosphère bloquant le rayonnement infrarouge sur le bilan thermique de la Terre, est le forçage radiatif.

Le phénomène de réchauffement climatique est dû à l'augmentation de la concentration en GES qui accentue à la fois l'absorption directe de la lumière IR émise par le Soleil (mais pas forcément l'absorption *globale* Terre-atmosphère), et le forçage radiatif consécutif à l'absorption de l'énergie provenant de la Terre. L'augmentation globale de la température est entraînée par un (très) léger déséquilibre du bilan radiatif : la quantité d'énergie absorbée par le système Terre-atmosphère devient (très) légèrement supérieure à celle réémise vers l'espace, si bien que la température moyenne augmente tant que perdure ce déséquilibre.

C'est ce déséquilibre qui produit l'augmentation interne des flux thermiques du système Terre-atmosphère durant le réchauffement global, évaluée à 1,5 W/m² par le quatrième rapport du GIEC

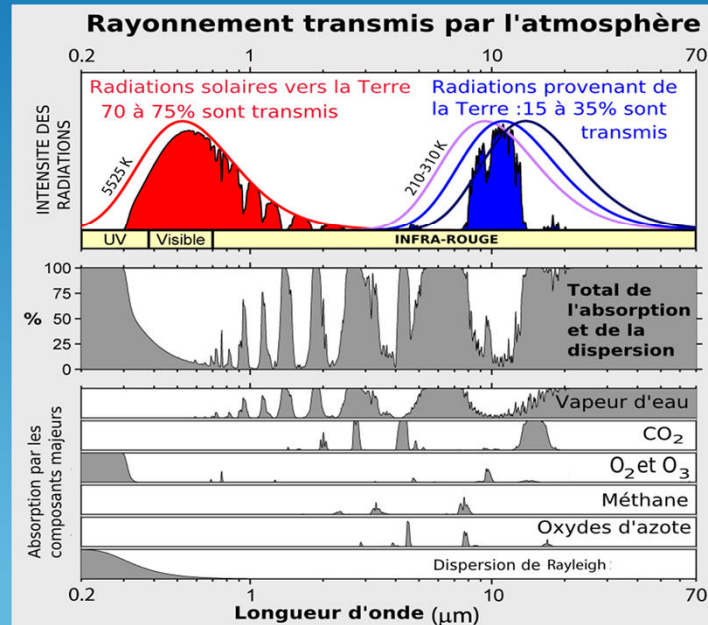


Lorsque le rayonnement solaire atteint l'atmosphère terrestre, une partie (environ 30 %) est réfléchi, c'est-à-dire renvoyée vers l'espace, par l'air, les nuages blancs et la surface claire de la Terre (on pense évidemment aux régions blanches et glacées comme l'Arctique et l'Antarctique, mais il ne faut pas en surestimer le rôle : c'est l'effet albédo. 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. 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 °C. 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 °C.

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 (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (ou protoxyde d'azote, de formule N₂O) et l'ozone (O₃). 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 (SF₆).

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

vapeur d'eau : 60 %

dioxyde de carbone : 26 %

ozone : 8 %

méthane et oxyde nitreux : 6 %

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.

Débat scientifique sur les origines et les conséquences de l'effet de serre

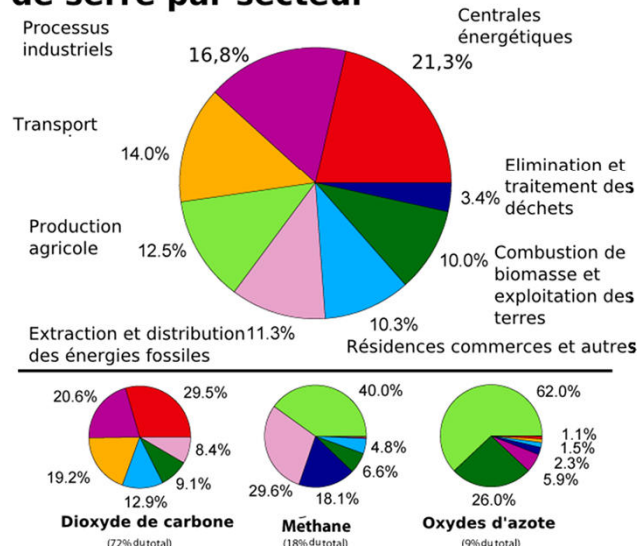
- Études sur le réchauffement climatique
 - Poids des lobbyings
 - Pression politico-économiques
 - Ce qui est discuté : importance de l'effet climatique des activités humaines
- Conséquences : objet de la prochaine conférence, mais ...
 - Les débats varient selon le sujet : une zone, une espèce, un biotope, la biosphère
 - Divergences entre spécialistes (climato-sceptiques)
 - bouleversements géologiques majeurs
 - Mais jamais en un temps si court et avec une telle intensité

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. L'éventuel changement climatique, qui pourrait avoir une intensité inhabituelle pour un délai si court (quelques siècles seulement), pourraient avoir un effet massif sur la sélection naturelle, les disparitions et apparitions d'espèces.

Effet des activités humaines (I)

Emissions annuelles de gaz à effet de serre par secteur



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 (O_3), du dioxyde de carbone (CO_2) et du méthane (CH_4).

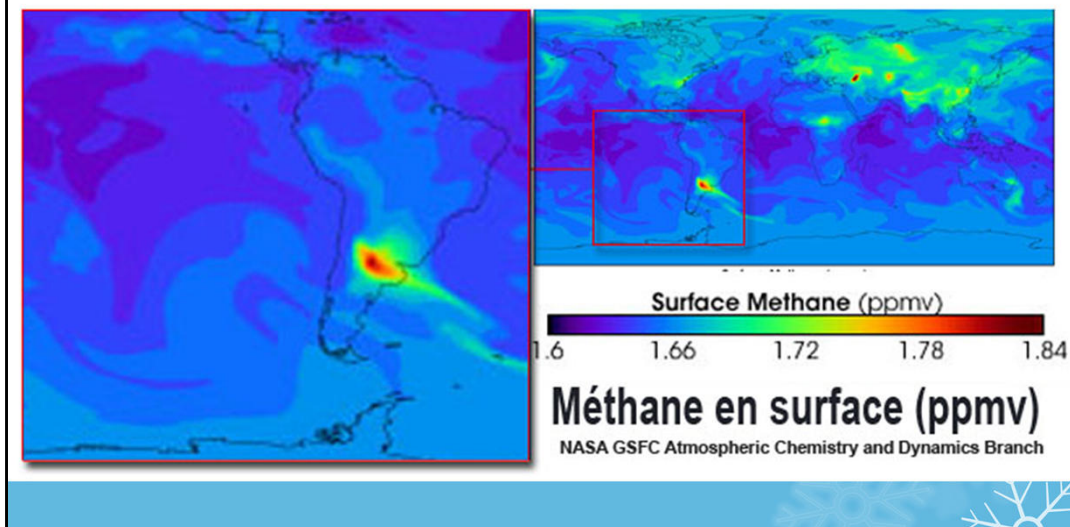
La preuve que l'augmentation du CO_2 atmosphérique est d'origine humaine se fait par analyse isotopique. Par contre, ce dernier gaz rejeté dans l'atmosphère ne participe que pour 40 % à l'effet de serre additionnel provenant de l'activité humaine.

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 CO_2 en grande quantité dans l'atmosphère : la concentration atmosphérique de gaz carbonique a ainsi légèrement augmenté, passant de 0,030 % à 0,038 % en 50 ans. Un des secteurs d'activités qui dégagent le plus de gaz à effet de serre est l'énergie. 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.

Effet des activités humaines (II)



L'élevage (bovin notamment) est une des sources de méthane, dont en Argentine sur cette photo satellite.

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. 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.

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

En France, 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.