

TD 1 : Bilan radiatif naturel et additionnel

A. Apports de connaissances

La capacité de nuisance d'un GES (gaz effet de serre), ou son « forçage » sur le climat dépend de sa concentration et de son temps de résidence dans l'atmosphère, ainsi que de sa capacité à absorber certains rayonnements. Pour comparer les GES entre eux, il faut un étalon (sorte de point de repère) et les outils de comparaisons qui doivent être définis.

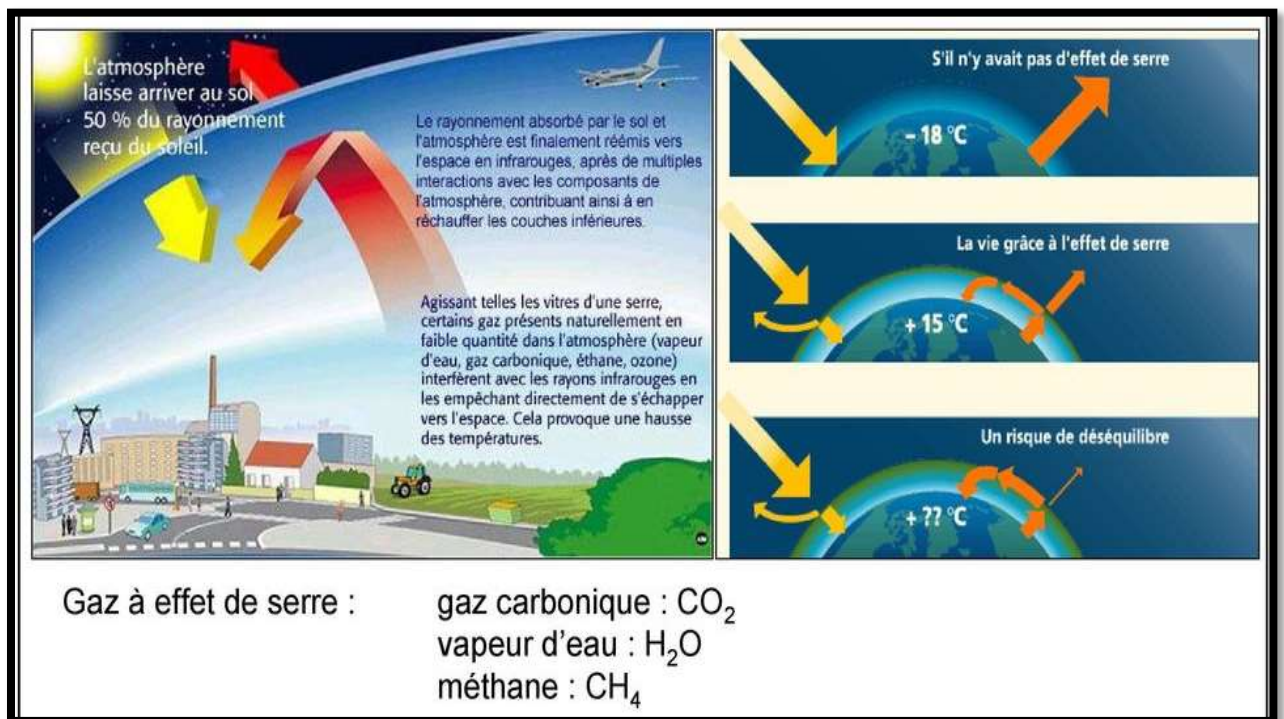


Figure 1. Effet de serre naturel à différencier de l'effet de serre additionnel (anthropique)

COMMENT SE CONSTRUIT LA CAPACITÉ DE NUISANCE D'UN GES ?

Dans l'atmosphère, certains gaz ont la capacité de piéger certaines longueurs d'ondes de rayonnements émis par la Terre, dans le domaine des infrarouges.

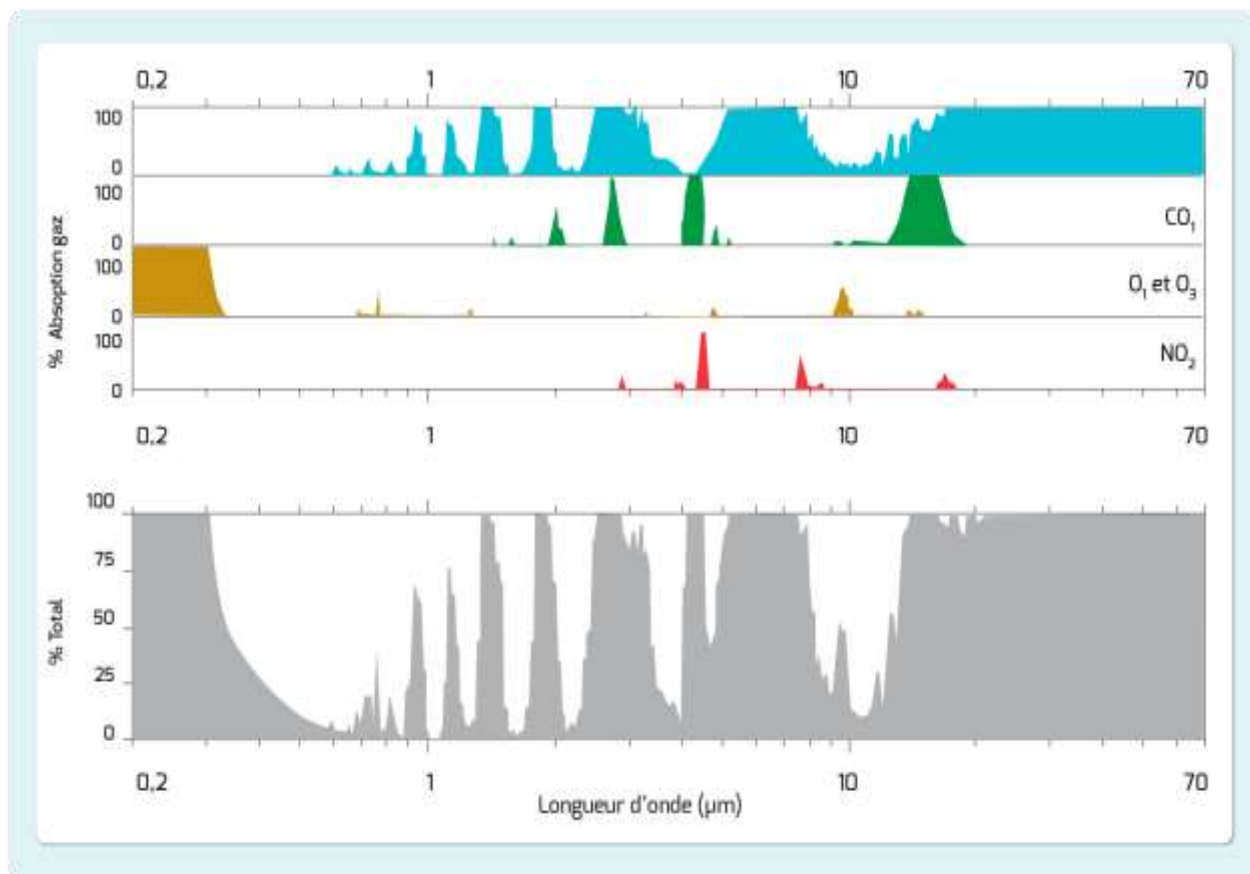


Figure 2. Représentation des absorptions des principaux gaz constitutifs de l'atmosphère terrestre et du pourcentage d'absorption totale de l'atmosphère en fonction de la longueur d'onde. © Educagri éditions 2015 d'après http://harold-clenet.com/?page_id=250

Les GES absorbent les rayonnements de certaines longueurs d'ondes et les réémettent, leur domaine d'absorption n'est pas toujours le même et leurs effets se cumulent. Cette absorption / réémission réchauffe l'air de la troposphère et la surface de la Terre.

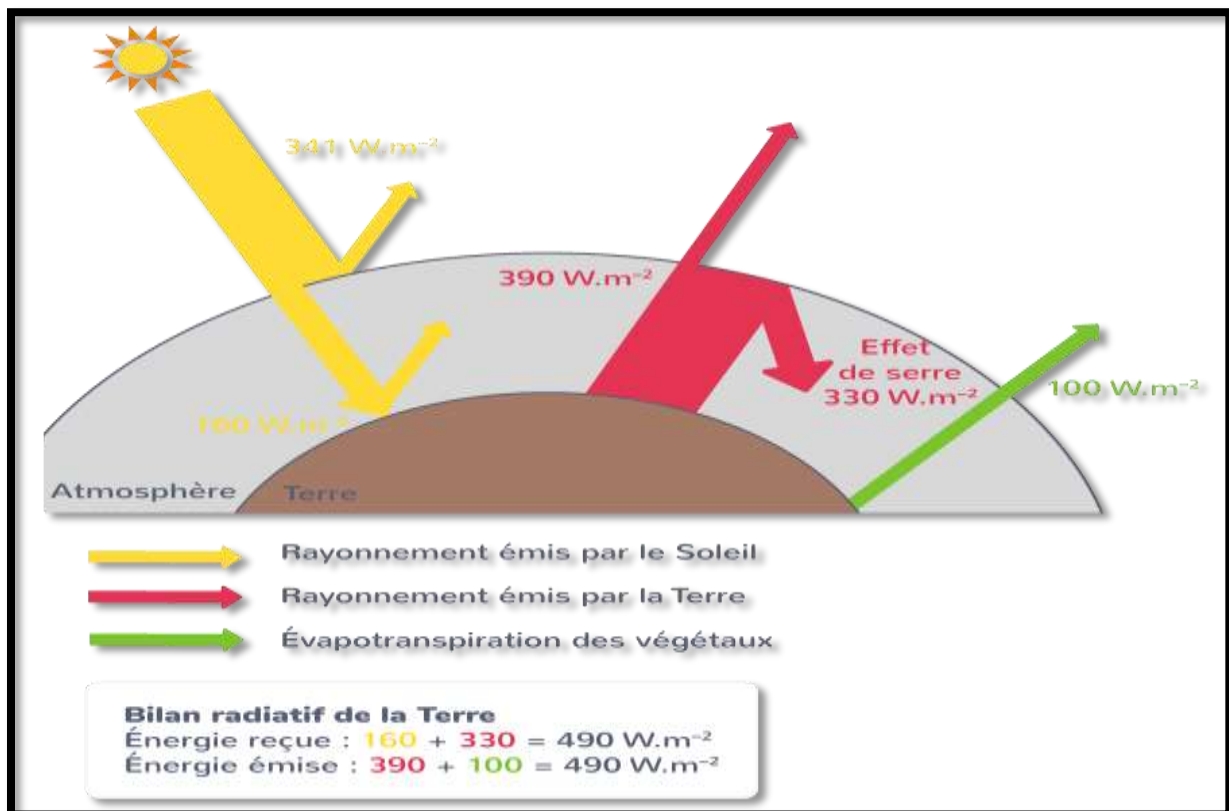


Figure 3. Bilan radiatif terrestre

Les gaz à effet de serre ne contribuent pas tous de la même façon à l'effet de serre. Leur contribution relative peut être estimée grâce à un indice appelé pouvoir de réchauffement global (PRG). Il définit la capacité d'un gaz à absorber les rayons infrarouges émis par la Terre, sur une durée donnée. Par convention la durée de 100 ans (PRG100) a été retenue dans les négociations internationales (c'est ce PRG que nous utilisons dans le reste de la ressource). Le PRG d'un gaz se mesure par rapport à celui du CO_2 , gaz de référence : combien de fois plus, ou combien de fois moins, un gaz fait d'effet de serre sur 100 ans, par rapport à la même quantité de CO_2 émise au même moment. On parle donc de PRG relatif. La notion de PRG est cependant approximative. En effet, la vitesse d'élimination d'un GES n'est pas stable sur 100 ans, car son séjour dans l'atmosphère dépend des conditions du moment. Or, ces conditions évoluent avec les changements climatiques.

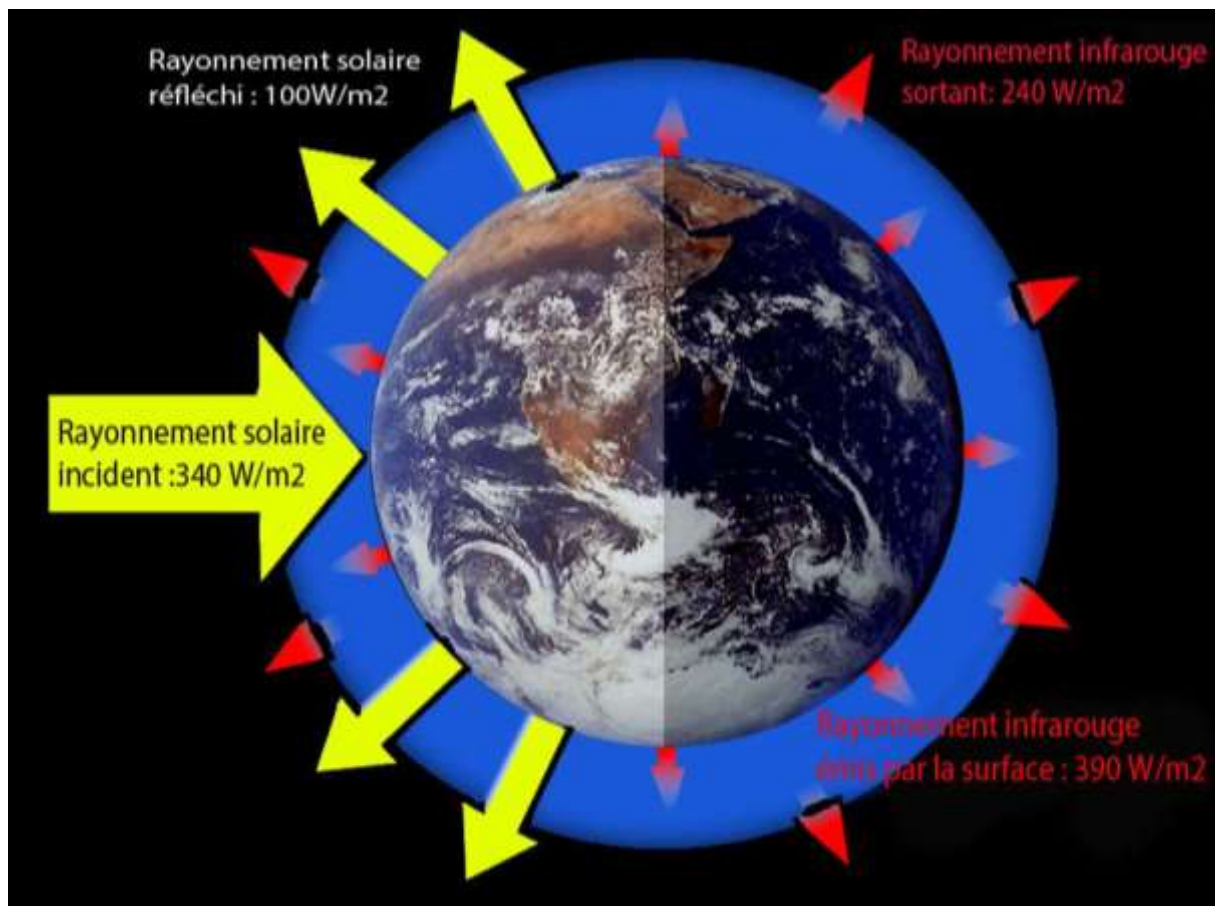


Figure 4. Bilan radiatif global du système Terre-Atmosphère

Tableau 1. Les PRG relatifs des 6 gaz ou familles de gaz visés par le Protocole de Kyoto :

Gaz et formule	PRG relatif à 100 ans / CO ₂
Gaz carbonique (CO ₂)	1
Méthane (CH ₄)	28
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	265
Perfluorocarbures (CnF _{2n+2})	5 700 à 11 900
Hydrofluorocarbures (CnHmFp)	12 à 12 000
Hexafluorure de soufre (SF ₆)	22 200

Par exemple, le méthane est un gaz 28 fois plus puissant que le gaz carbonique pour l'effet de serre. Cela signifie que si on rejette 1 kg de méthane dans l'atmosphère, c'est comme si on avait rejeté 28 kg de gaz carbonique.

COMPRENDRE LA CAPACITÉ DE NUISANCE D'UN GES

Pour comprendre la capacité de nuisance d'un GES, il faut considérer plusieurs paramètres :

- son spectre d'absorption : pourcentage d'absorption des rayonnements en fonction des différentes longueurs d'ondes ;
- son temps de séjour plus ou moins long dans l'atmosphère, de quelques jours pour la vapeur d'eau à 50 000 ans pour le tétrafluorométhane (CF_4). Retenir que le temps de résidence approximatif du CO_2 est de l'ordre du siècle, celui du méthane d'une douzaine d'années et celui du protoxyde d'azote d'environ 120 ans.

Les notions de PRG et d'équivalent carbone (EC) permettent de pouvoir comparer réellement les impacts des GES entre eux. Le pouvoir de réchauffement global est arbitrairement étalonné à 1 pour le CO_2 qui sert de gaz de référence, c'est donc tout simplement l'équivalent CO_2 . L'équivalent carbone est simplement le pouvoir réchauffant global rapporté à la masse du C du CO_2 : plutôt que de comparer à la masse de CO_2 émis, on compare à la masse de carbone contenu dans le CO_2 émis.

L'abondance du GES dans l'atmosphère est évidemment le dernier paramètre à considérer. La concentration d'une molécule atmosphérique est exprimée en pourcentage, en ppm (partie par million ou nombre de molécules du gaz considéré par million de molécules d'air sec) ou en ppb (partie par billion ou nombre de molécules du gaz considéré par milliard de molécules d'air sec).

Par ailleurs, une atmosphère plus chaude peut contenir plus de vapeur d'eau. L'élévation des températures conduit donc à une augmentation des concentrations de vapeur d'eau atmosphérique. Puisque la vapeur d'eau absorbe le rayonnement infrarouge, on a alors un renforcement de l'effet de serre, qui conduit à une augmentation supplémentaire des températures.

FORÇAGE RADIATIF DU CLIMAT DE 1750 À 2005

On dit que les émissions de GES exercent un forçage radiatif (ou forçage climatique) : elles modifient le bilan radiatif de la Terre de façon telle que c'est comme si le soleil avait augmenté sa puissance de 1 %, ce qui est très important.

Le forçage radiatif d'un phénomène ou d'une substance correspond au supplément (s'il est positif) ou au déficit (s'il est négatif) de rayonnement reçu par la planète du fait de la substance émise. Le GIEC définit le forçage radiatif comme « une perturbation externe imposée sur le bilan énergétique du système climatique par des changements du rayonnement

solaire, de l'albédo de la Terre ou de la composition atmosphérique en gaz et particules. » Il existe des forçages positifs ou négatifs.

Puisque c'est une énergie, il est exprimé en watt par mètre carré (W.m^{-2}).

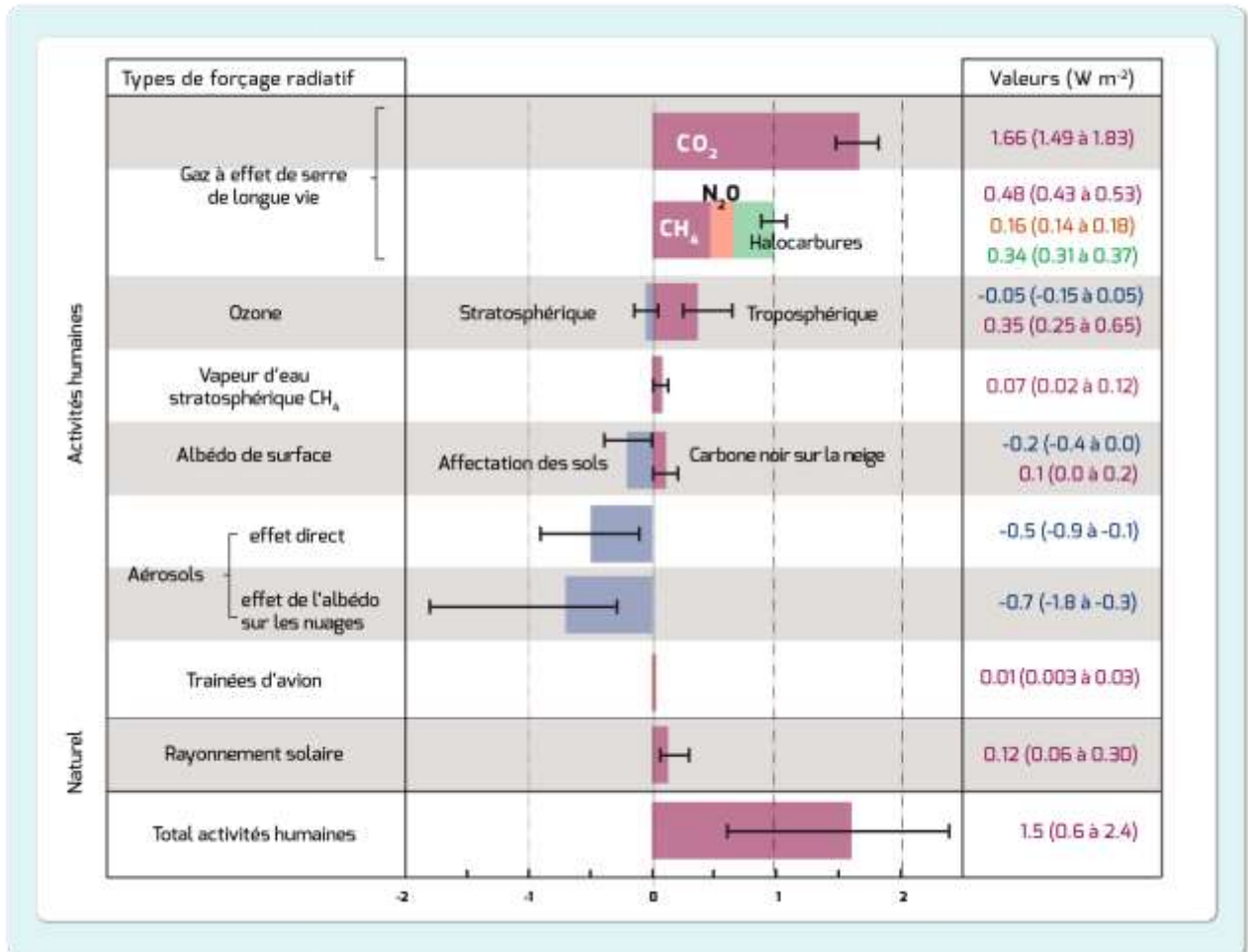


Figure 5. Forçage radiatif du climat 1750-2005 (w.m^{-2})

© Educagri éditions 2015 d'après rapport du GIEC 2007

Les items à valeurs positives, en rouge, ont un effet réchauffant depuis 1750 ; ceux à valeurs négatives, en bleu, ont un effet refroidissant. On remarque que certaines activités humaines (principalement les aérosols émis) ont un effet refroidissant, mais l'effet global de ces activités est réchauffant.

Il est à noter l'importance des barres d'incertitude, principalement sur l'effet des nuages induits par les aérosols (d'après 4^e rapport du GIEC, 2007).

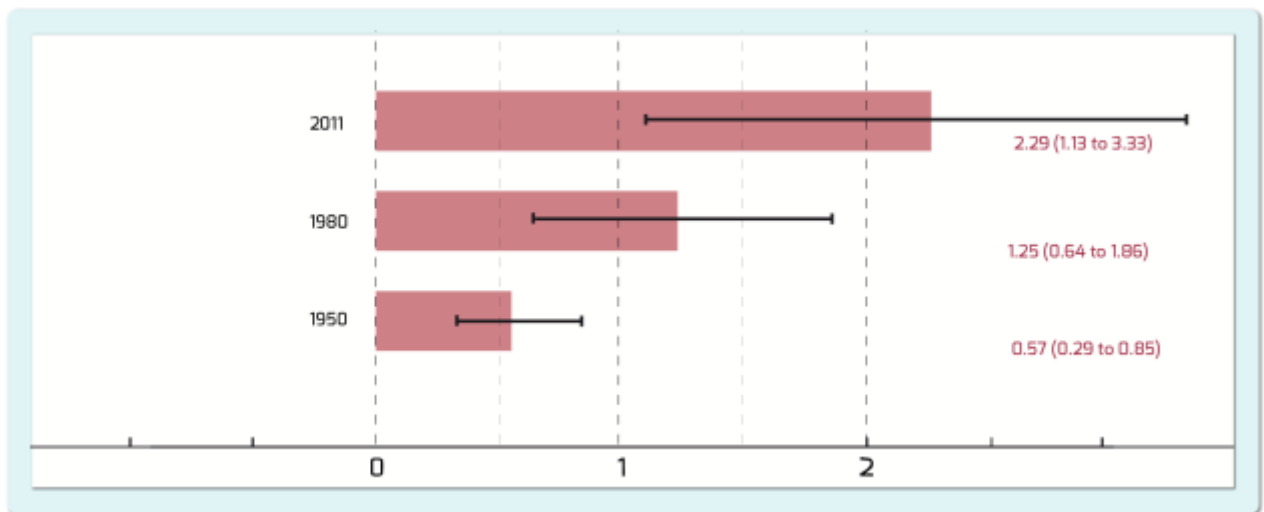


Figure 6. Forçage radiatif total d'origine anthropique par rapport au forçage en 1750 (w.m-2)
© Educagri éditions 2015 d'après rapport du GIEC 2007

Le forçage radiatif anthropique total est indiqué pour trois années différentes par rapport à 1750.

Conséquences du forçage radiatif

« Depuis le début de l'ère industrielle, c'est-à-dire depuis 1750 environ, ce que nous avons mis dans l'atmosphère a pour effet d'introduire un forçage radiatif de l'ordre de 1 % du rayonnement reçu. Dit autrement, à travers ses émissions de gaz à effet de serre l'homme a modifié la situation comme si le soleil avait augmenté sa puissance de 1 %. Cela peut paraître peu. Pourtant, compte tenu des énergies considérables qui sont en jeu, de la fragilité de certains équilibres naturels, et du fait que ces effets agissent sur de longues périodes, c'est très significatif pour notre avenir. », J.-M. Jancovici.

L'EFFET DE SERRE ADDITIONNEL ET LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Il existe donc un lien entre les GES émis depuis 1750, l'effet de serre additionnel et le réchauffement climatique. L'effet de serre additionnel correspond à l'effet anthropique : on dit qu'il est additionnel, car il s'ajoute à l'effet de serre naturel.

Sans tenir compte de l'ozone, la part anthropique de l'effet de serre est due :

- à 64 % au gaz carbonique : les émissions de CO₂ provoquées par l'homme proviennent pour l'essentiel de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) ;

- à 17 % au méthane : le méthane est un gaz qui se forme par fermentation (décomposition sans oxygène) de matières organiques. Les réserves de gaz naturel se sont formées ainsi, il y a des centaines de millions d'années. Le méthane d'origine humaine provient de l'élevage des ruminants (car leur digestion inclut des fermentations), de la culture du riz (car les décompositions en milieux humides se font souvent par fermentation), des décharges d'ordures ménagères, du compostage et enfin des exploitations pétrolières et gazières, à cause des fuites de gaz naturel ;
- à 13 % aux halocarbures, tous fabriqués par l'homme : ces gaz (CFC, HFC et PFC) sont utilisés actuellement comme gaz réfrigérants. Leurs émissions proviennent désormais essentiellement des fuites, des mises à la décharge des systèmes de climatisation et de certains procédés industriels (fabrication de mousses plastiques, mais aussi... de composants d'ordinateurs).
- à 6 % par le protoxyde d'azote (N_2O) : la part anthropique provient de l'utilisation des engrais azotés en agriculture, de certains procédés chimiques.

Bibliographie :

Vert J., Schaller N., Villien C., Agriculture forêt climat : vers des stratégies d'adaptations, Centre d'études et de prospectives, ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2013

<http://www.manicore.com/documentation/serre/gaz.html> : J.-M. Jancovici, 2007.

B. Travail à faire (A rendre le 31/10/2021 à 15h00)

1. Expliquer l'effet de serre naturel et l'effet de serre additionnel (3pts) ;
2. Citer les gaz à effet de serre naturel et les gaz à effet de serre anthropiques (2pts) ;
3. Indiquer les causes et les conséquences de l'effet de serre naturel et l'effet de serre additionnel (3pts) ;
4. Citer les différents types de rayonnements issus du soleil (3pts) ;
5. Relever la relation entre l'atmosphère et la planète terrestre (3pts) ;
6. Citer les calculs de bilan radiatif au sommet de l'atmosphère et au sol, puis expliquer la signification du déséquilibre ainsi mis en évidence entre la quantité d'énergie reçue du soleil et la quantité d'énergie réémise par le couple Terre-Atmosphère (3pts) ;
7. Présenter et comparer les impacts des différents gaz à effet de serre (GES) (3pts).