

yves.lanoy@gmail.com

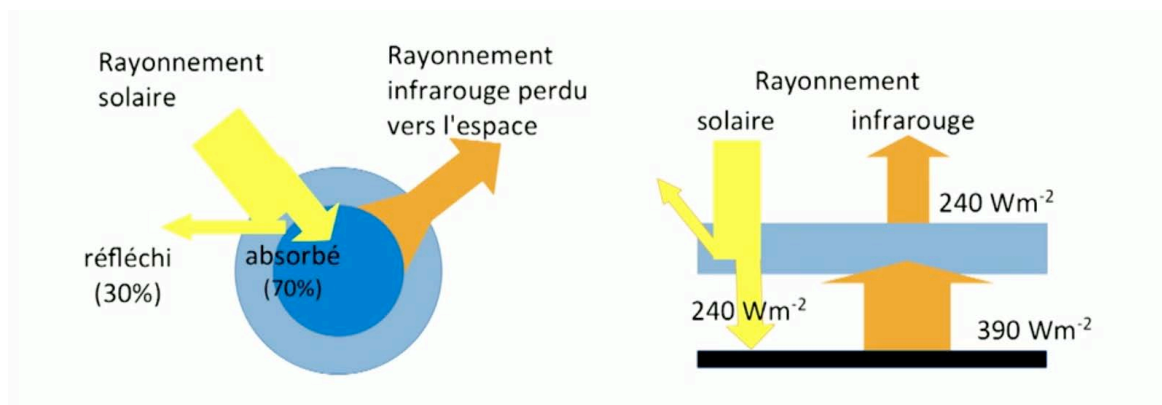
## Contribution d'Yves LANOY

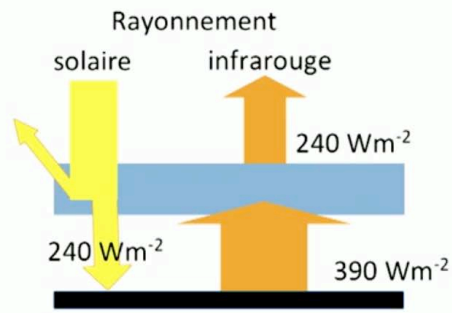
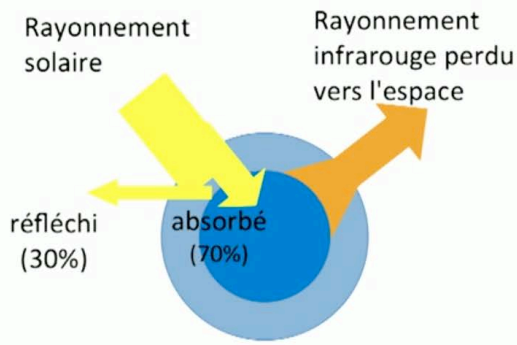
### Petits rappels sur l'effet de serre

#### Quel est le principe de l'effet de serre ?

C'est au XIXe siècle que Joseph Fourier découvre ce phénomène. Et comment explique-t-on alors la régulation de la température atmosphérique ? La Terre reçoit l'énergie solaire par la lumière et la renvoie à l'extérieur en rayonnement infrarouge. En termes d'explications, à cette époque, nous en restons à peu près à ce stade. C'est d'ailleurs aussi à cette époque que Joseph Fourier démontra, à juste titre, que la chaleur émanant du centre de la Terre n'a, dans notre affaire, qu'un rôle négligeable.

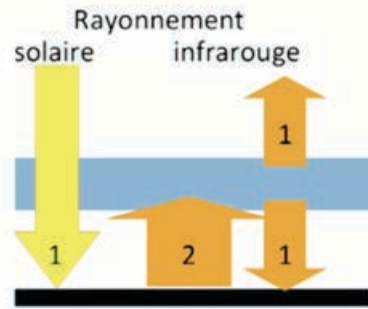
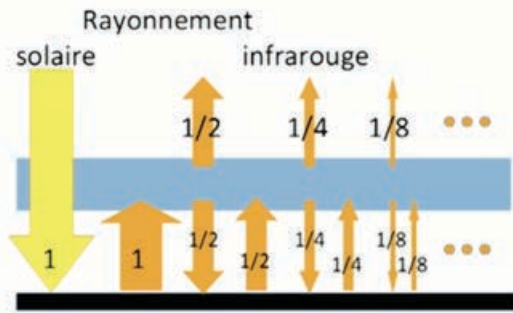
En fait, ce phénomène est un peu plus compliqué. La Terre reçoit bien l'énergie du soleil, et la Terre transforme cette énergie en rayonnement infrarouge en les retournant vers le ciel. Jusque là, c'est tout bon. Mais rentre en scène l'atmosphère, cette couche d'air intermédiaire qui laisse partiellement passer les rayonnements du soleil et s'oppose maintenant à l'éjection de tous les infrarouges vers l'espace.





viron 240 W/m<sup>2</sup>.  
 . Par sa surface,  
 ent à franchir la  
 sans arrêt, enfin,

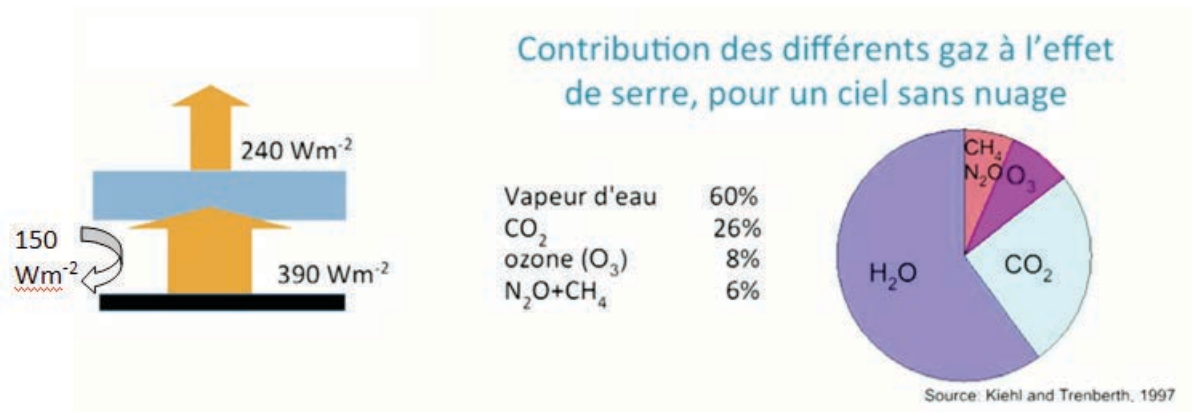
**Effet de serre idéalisé :** Vitre parfaitement transparente au rayonnement solaire et partiellement opaque au rayonnement infrarouge.



C'est le principe de l'échauffement sous un double vitrage par exemple. Dans nos schémas ci-dessus, le rayonnement infrarouge prisonnier entre deux vitres, ou entre la surface noire de la Terre et la couche atmosphérique bleue, ne cesse de s'affaiblir de 50 % à chaque rebond sur la couche bleue. Nous obtenons une suite  $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots = 2$ . Ce qui explique le passage du schéma de gauche à celui de droite. Et l'air coincé entre les plans noir et bleu ne cesse de monter en température. C'est ce que nous sommes en train de faire avec nos activités humaines par l'apport de gaz à effets de serre dans l'atmosphère. C'est le principe du réchauffement atmosphérique.

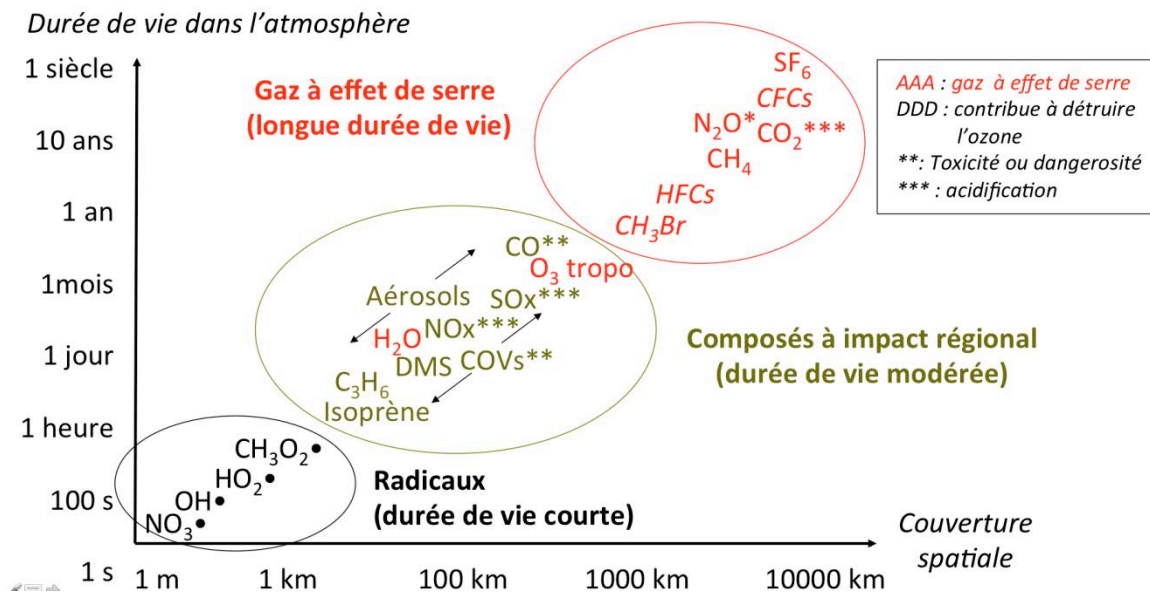
### Mais quels sont les principaux gaz participant au réchauffement de l'atmosphère ?

À l'origine, c'est-à-dire jusqu'au début de l'ère industrielle (avant 1880), l'effet de serre est un phénomène naturel. Il assure une température à la surface de la Terre de l'ordre de 15 °C. Notez que, sans cet effet de serre, la température de la surface de la Terre serait d'environ -18 °C.



Cet effet de serre existe grâce à la présence d'un certain nombre de composés dans l'atmosphère que l'on retrouve de façon assez exhaustive dans le graphe suivant.

## Une myriade de composés atmosphériques



En ordonnée, vous notez la durée de vie du composé dans l'atmosphère. En abscisse, la spatialisation du composé.

On remarque aisément que les composés s'organisent suivant une droite :

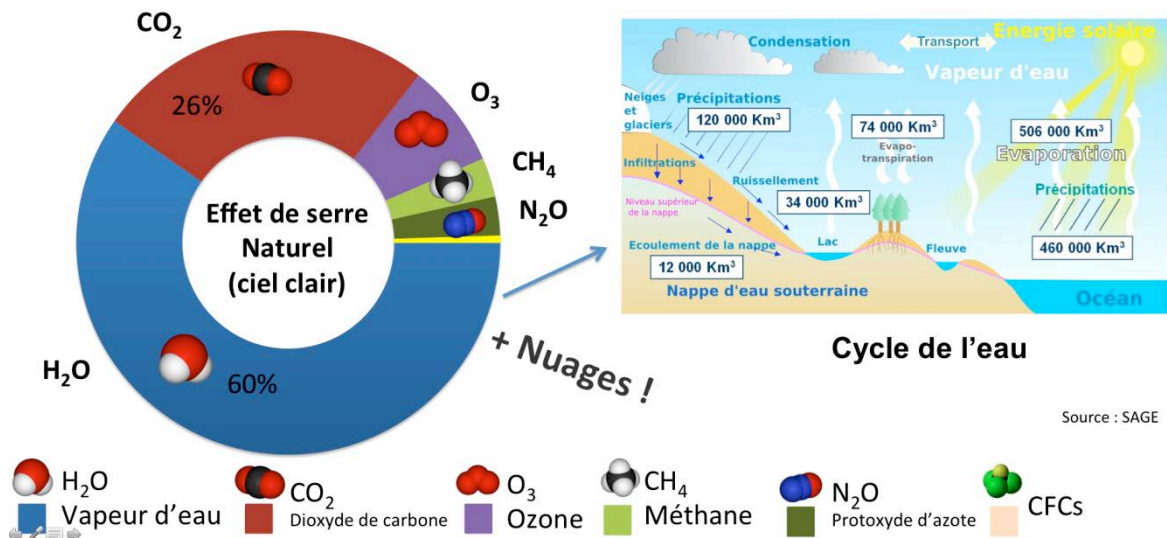
- En haut à droite, les composés à longue durée de vie. Ils ont de ce fait un réel impact planétaire
- Au centre, des composés azotés, soufrés, carbonés, les oxydes, les aérosols qui ont un rôle temporel intermédiaire, du jour au mois
- Et en bas à gauche, les composés à très courte durée de vie, très réactifs. Ils ont un rôle dans la chimie active immédiate de l'atmosphère.

Globalement, en haut à droite, on trouve en rouge la plupart des gaz à effet de serre (GES). Cet effet de serre a donc un rôle planétaire. Au milieu, on a des composés qui ont, eux, un rôle dans la pollution atmosphérique régionale.

Deux exceptions notables tout de même :

- L'ozone troposphérique qui a effectivement une durée de vie intermédiaire, mais qui compte bien jouer un rôle important dans l'effet de serre
- La vapeur d'eau, pourtant comprise dans les composés à très courte durée de vie, qui a un rôle très important dans l'effet de serre naturel. Cette vapeur d'eau est responsable à elle seule de 60 % de l'effet de serre naturel. La vapeur d'eau est le premier gaz à effet de serre. Le cycle de la vapeur d'eau est particulier, car l'évapotranspiration au-dessus des continents, l'évaporation au-dessus des océans, le transport dans l'atmosphère, la condensation et la précipitation, se font très rapidement ; la durée de vie d'une molécule d'eau dans l'atmosphère est d'environ 11 jours. Une autre particularité, c'est qu'on ne maîtrise pas ces émissions ni le cycle de la vapeur d'eau comme on peut essayer de le faire pour les autres composés.

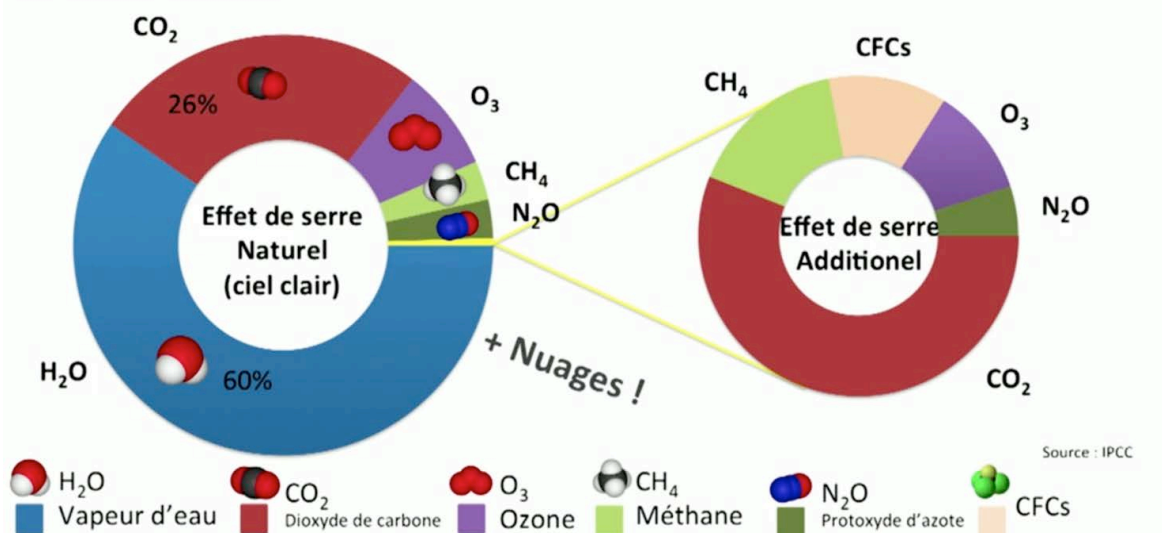
## Les gaz responsables de l'effet de serre naturel



De ce fait, dans ce qui suit, nous ne tiendrons plus compte du principal gaz à effet de serre, la vapeur d'eau. Vous trouverez en annexe 1 un début d'explication sur les différents effets des nuages dans notre atmosphère relatifs au réchauffement de notre planète. Nous allons nous intéresser aux composés sur lesquels nous pouvons avoir une action.

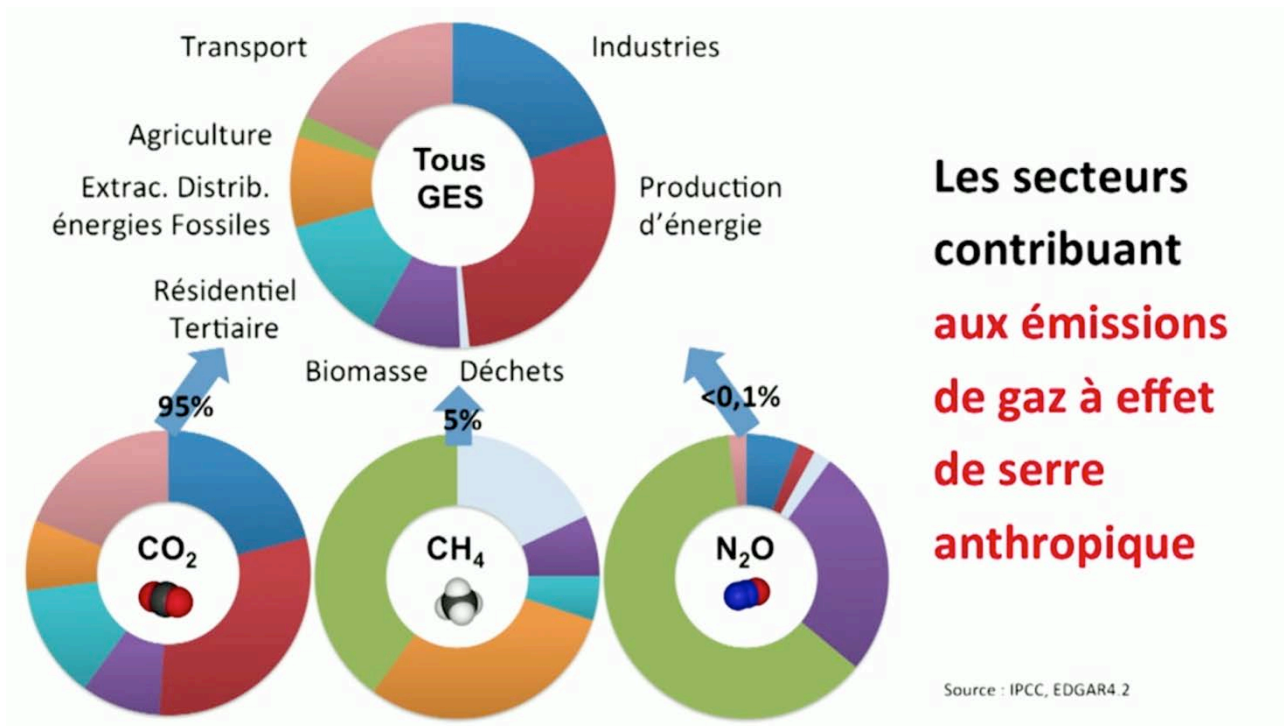
Tous ces composés ont augmenté à partir du début de l'ère industrielle (à partir de 1880). Ils ont généré un effet de serre additionnel dû aux activités humaines, qui s'est rajouté à l'effet de serre naturel. C'est le CO<sub>2</sub> qui ressort comme premier gaz à effet de serre anthropique (lié aux activités humaines). Nous trouvons ensuite le méthane, puis les CFC, l'ozone et le dioxyde d'azote.

## Les gaz responsables de l'effet de serre naturel et additionnel



À gauche, nous avons l'effet de serre naturel. À droite, nous avons l'effet de serre additionnel dû aux activités humaines.

Maintenant, vous enlevez la vapeur d'eau du graphe de gauche (on n'en parle plus), puis vous fusionnez les deux graphes. On obtient le graphe ci-dessous qui précise en plus la distribution des émissions par secteurs. C'est maintenant le CO2 qui contribue à hauteur de 95 % de la masse totale des gaz à effet de serre – le méthane (CH4) à près de 5 %, et très faiblement pour les gaz restants -. On retrouve maintenant le CO2 comme principal secteur qui provient de la combustion du charbon, du pétrole et du gaz dans les secteurs de la production d'énergie, des industries, du transport, du résidentiel et du tertiaire.



### Prise en compte du PRG

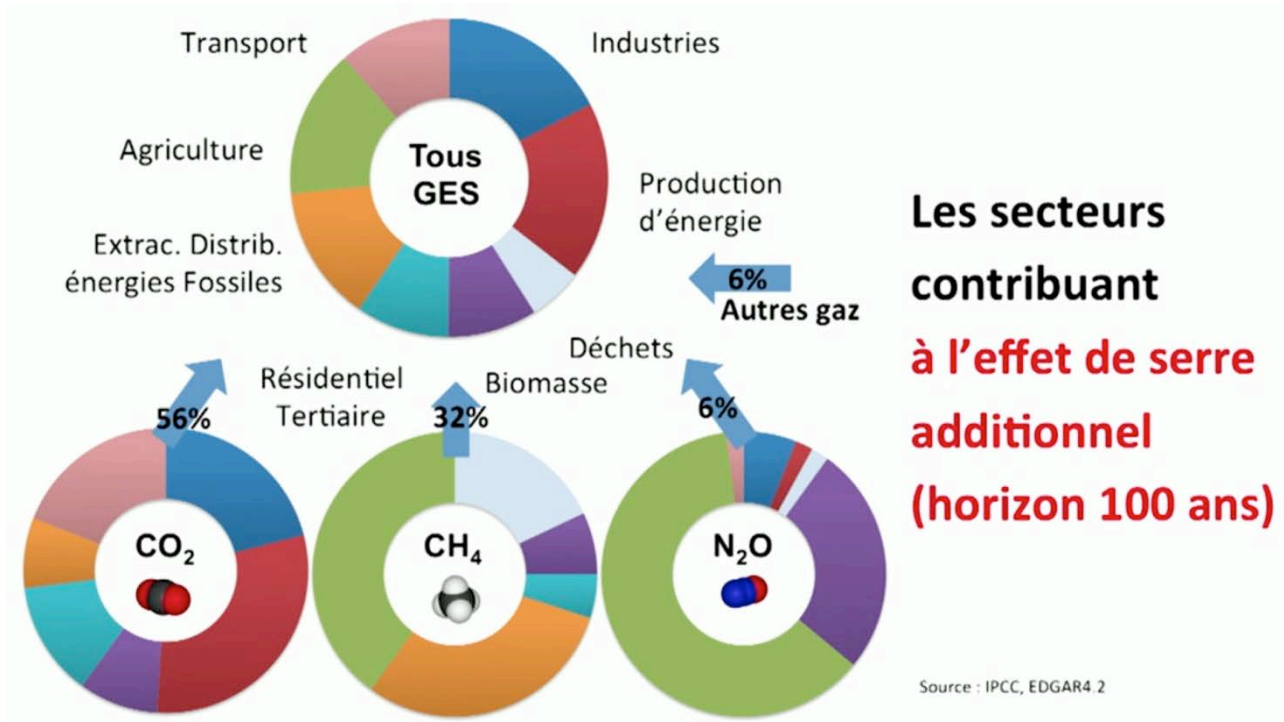
Seulement, tous ces gaz n'ont pas le même pouvoir de piégeage des rayonnements infrarouges.

Il faut adopter un facteur de conversion pour chacun d'entre eux. C'est le pouvoir de réchauffement global, ou PRG, qui est le "forçage radiatif cumulé" sur une durée généralement prise de 100 ans. Ces valeurs PRG sont comparées au piégeage qu'effectuerait 1 kg de CO2.

Par exemple, le PRG à 100 ans du méthane est de 28, ce qui veut dire que 1 kg de méthane a un impact sur l'effet de serre 28 fois plus fort que 1 kg de CO2. Et toujours avec un PRG à 100 ans, 1 kg de protoxyde d'azote équivaut à 265kg de CO2 dans l'atmosphère.

Gaz	PRG à 20 ans	PRG à 100 ans
Dioxyde de carbone	1	1
Méthane	84	28
Protoxyde d'azote	264	265
CFC11	6900	4660
HFC134a	3710	1300

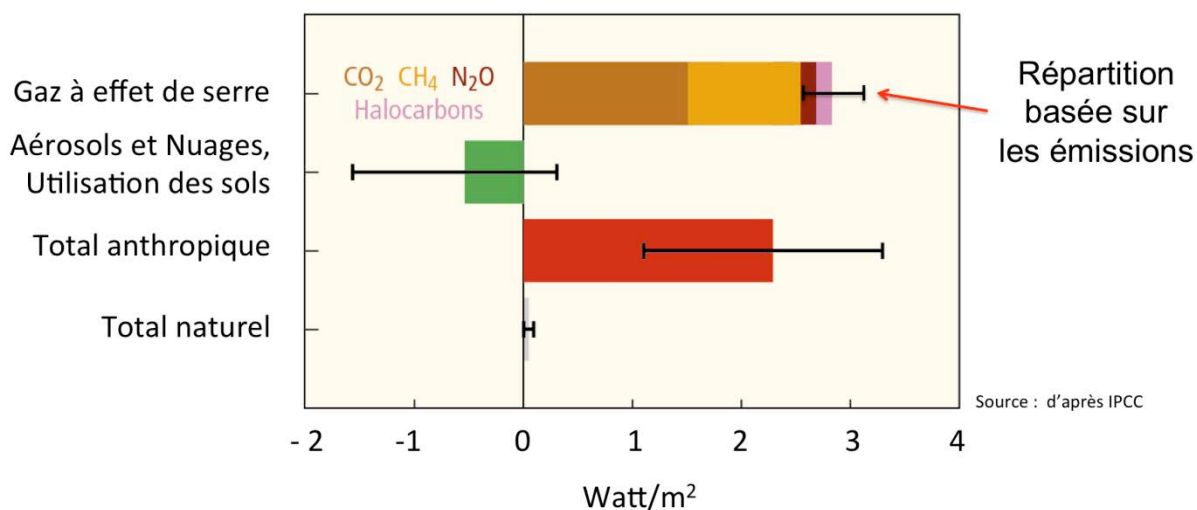
Avec ces nouvelles données, si on revisite notre camembert de secteurs contribuant cette fois-ci à l'effet de serre, et non pas limitée à la masse de gaz émise, les secteurs liés à la combustion ne représentent plus que 50 % à peu près, et on voit apparaître correctement de nouveaux secteurs qui sont liés aux émissions du méthane et du N<sub>2</sub>O, tels que le secteur agricole avec aussi l'élevage, l'extraction et la distribution des énergies fossiles, la biomasse et les déchets.



De ce rapport de forces entre les gaz à effet de serre, le CO<sub>2</sub> passe maintenant de 95 % à 56 %, le méthane d'un peu moins de 5 % à un peu plus de 30 %, le N<sub>2</sub>O 6 %, et les autres gaz environ 6 %.

### En conclusion

Devant le bilan de toutes les émissions de GES, entre 1750 et 2011, on observe un flux d'énergie piégé supplémentaire dans la basse atmosphère dû à ces gaz à effet de serre additionnels générés par l'homme comme le rapporte le graphe ci-dessous.



On voit qu'on est à 2,9 W/m<sup>2</sup> (c'est la barre du haut), avec la répartition qu'on a vue entre les différents gaz dans les graphes précédents.

Les aérosols, les nuages et l'utilisation des sols ont tendance, eux, à avoir un forçage négatif de  $-0,5 \text{ W/m}^2$ , donc plutôt à refroidir le système climatique avec toutefois, sur la barre verte, une grosse incertitude. Les nuages me direz-vous ? Pourtant, ils sont reconnus comme le principal gaz à effet de serre ! Oui, mais pas tous ! Une catégorie de nuages a aussi un effet de forçage négatif, phénomène qui est expliqué dans l'annexe 1.

La somme des deux barres supérieures est représentée par la barre rouge, et là, les incertitudes s'ajoutent. On a une assez forte incertitude, certes. Mais, sans ambiguïté, on obtient  $2,3 \text{ W}$  par mètre carré d'augmentation due aux forçages anthropiques totaux, avec une incertitude puisque'on a donc entre  $1,1$  et  $3,3 \text{ W}$  par mètre carré supplémentaire piégé par le système climatique actuel.

Donc, si on veut réduire des émissions de gaz à effet de serre, il ne faut pas se limiter qu'au  $\text{CO}_2$  qui n'a un impact de 56 % de tous les gaz sur lequel l'homme peut avoir une influence. Mais il faut aussi prendre en compte tous les autres gaz qui ne sont pas liés uniquement à la combustion des énergies fossiles, comme le méthane qui intervient à un peu plus de 30 %, et le dioxyde d'azote à hauteur de 6 %.

Pour autant, l'humanité a bien pris en compte ce problème de réchauffement, et les premiers effets commencent à s'en ressentir. En atteste la stagnation des émissions des gaz à effet de serre constatée depuis 2014 (voir annexe 2).

Bien sûr, nous n'avons pas encore gagné ce long combat suivi et animé par les différentes COP, dont la dernière, la COP 22 s'est déroulée en novembre 2016 à Marrakech. Mais l'inversion de la courbe de l'évolution de la température terrestre semble doucement s'amorcer. Continuons.

---

### **Références :**

- *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques :*
  - o *Objectif 13. Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions*
  - o *Objectif 17. Renforcer les moyens de mettre en œuvre le Partenariat mondial pour le développement durable et le revitaliser – questions structurelles*
- *Global Carbon Project (GCP)*
- *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), plus connu en France sous Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)*
- *Climate Chance Nantes, France 26-28th September 2016 - Forum Mobility and Transport (CODATU-PPMC) Statement by the Paris Process for Mobility and Climate (PPMC) - Annexe I - Les 18 initiatives de transport du PPMC (août 2016) : Initiative de transport routier et circulation à faible teneur en carbone*
- *FUN-MOOC : problèmes énergétiques globaux (fin 24/10/2016) – causes et enjeux du changement climatique (début session 15/05/2017)*

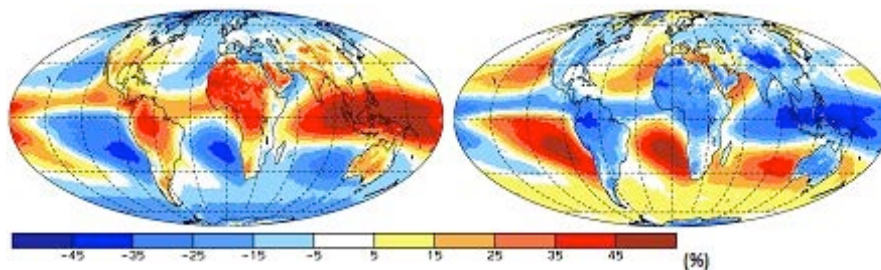
## Annexe 1 : Le rôle des nuages

**Extrait de l'article :** « *Les nuages : quel rôle jouent-ils dans le climat ?* » paru sur le site internet de l'UPMC – Université Pierre et Marie Curie - Sorbonne Universités

**Claudia Stubenrauch** - éditeur-réviseur (« Review Editor ») pour le chapitre « Nuages et aérosols » du cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec).

### **Vu depuis l'espace, 70 % de notre planète sont couverts par des nuages**

Les nuages jouent un rôle clé dans les cycles de l'énergie et de l'eau. Environ 40 % de la couverture nuageuse sont représentés par des nuages de basse altitude (constitués des gouttelettes d'eau) et 40 % par des cirrus (nuages constitués des cristaux de glace). Pendant que les premiers réfléchissent davantage de rayonnement solaire et provoquent essentiellement un refroidissement, les derniers (de faibles épaisseurs optiques et relativement transparents au rayonnement solaire) piègent une partie du rayonnement infrarouge terrestre et contribuent essentiellement au réchauffement de la Terre.



*Variations régionales de la couverture des nuages hauts (gauche) et des nuages bas (droite) par rapport à la moyenne globale annuelle (en %), statistique d'une climatologie couvrant 2003 à 2009, établie au LMD à partir de l'instrument AIRS à bord du satellite Aqua de la NASA. Ces variations révèlent des systèmes nuageux organisés par des circulations atmosphériques à grande échelle : la zone de convergence intertropicale et les tempêtes océaniques d'hiver aux moyennes latitudes (nuages hauts) ; dans les régions subtropicales, les déserts et les stratocumulus (nuages bas) au-dessus des océans à l'Ouest des continents se trouvent dans les zones des courants descendants de l'air. D. R.*

Pour en savoir plus, n'hésitez pas à consulter la totalité de cet article à l'adresse suivante :

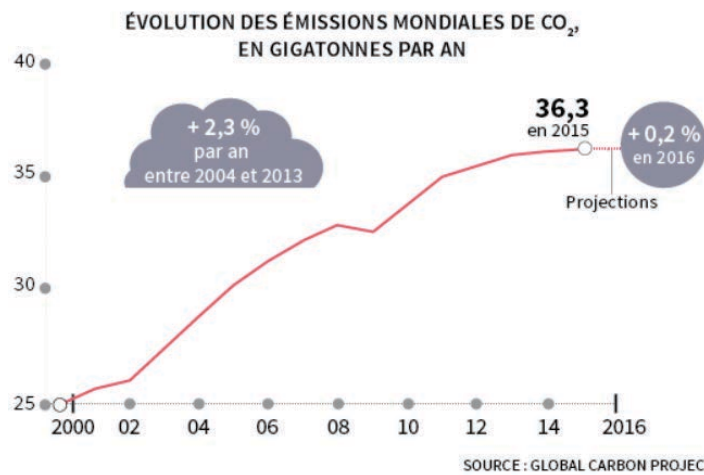
[http://www.upmc.fr/fr/recherche/actualites\\_de\\_la\\_recherche/dossiers\\_thematiques/les\\_sciences\\_du\\_climat\\_a\\_l\\_upmc/dans\\_les\\_airs/les\\_nuages\\_quel\\_role\\_jouent\\_ils\\_dans\\_le\\_climat.html](http://www.upmc.fr/fr/recherche/actualites_de_la_recherche/dossiers_thematiques/les_sciences_du_climat_a_l_upmc/dans_les_airs/les_nuages_quel_role_jouent_ils_dans_le_climat.html)



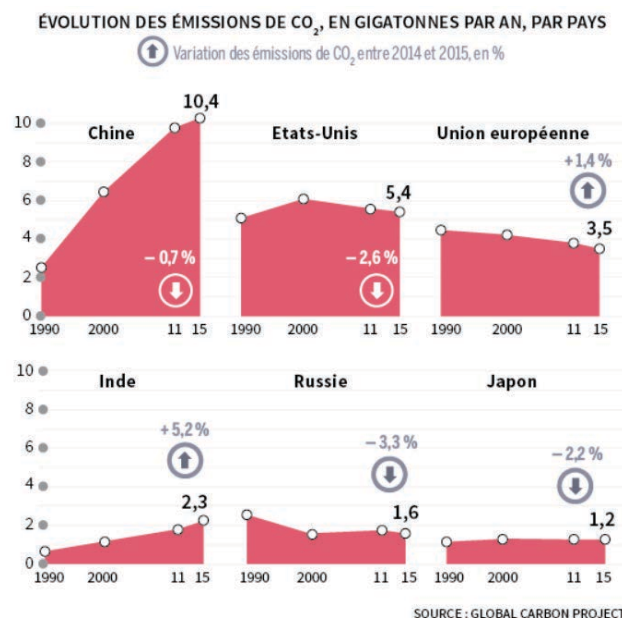
## Annexe 2 : Émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> : croissance au ralenti depuis 2014

Extraits choisis d'un article du journal LE MONDE du 13 novembre 2016

Bonne nouvelle sur le front du climat : les émissions mondiales de CO<sub>2</sub>, le principal gaz à effet de serre relâché par les activités humaines, ont stagné en 2015 et devraient rester quasiment stables en 2016. C'est ce qui ressort du bilan annuel publié lundi 14 novembre 2016, à la veille de la réunion des chefs d'État à la conférence climatique de Marrakech (COP22), par le Global Carbon Project (GCP), un consortium scientifique sous l'égide de l'université britannique d'East Anglia.



Comment l'expliquer ? Dans une large mesure par la moindre consommation de charbon par la Chine, premier pays pollueur de la planète, responsable à lui seul de 29 % des émissions mondiales. Dans le même temps, les émissions des États-Unis, qui pèsent pour 15 % du total, ont diminué de 2,6 %, en raison là aussi d'un recul de la part du charbon, remplacé par du pétrole et du gaz, moins nocifs pour le climat. À l'inverse, dans l'Europe des Vingt-Huit, qui pèse pour 10 %, les émissions sont reparties à la hausse (+ 1,4 %) après une longue décrue.



Le bénéfice de la relative sobriété charbonnière de la Chine est cependant contrebalancé par la forte croissance des émissions de l'Inde, qui ont bondi de 5,2 %, dans la lignée de la hausse continue des dernières décennies. C'est des deux géants asiatiques que va dépendre, pour beaucoup, la courbe future des gaz à effet de serre d'origine humaine.