



# CAUSES & ENJEUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

*Ce document contient la transcription textuelle d'une vidéo du MOOC « Causes et enjeux du changement climatique ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.*

## *Les gaz à effet de serre : description, sources, et impacts radiatifs*

**Philippe BOUSQUET**

*Professeur – Université de Versailles Saint-Quentin*

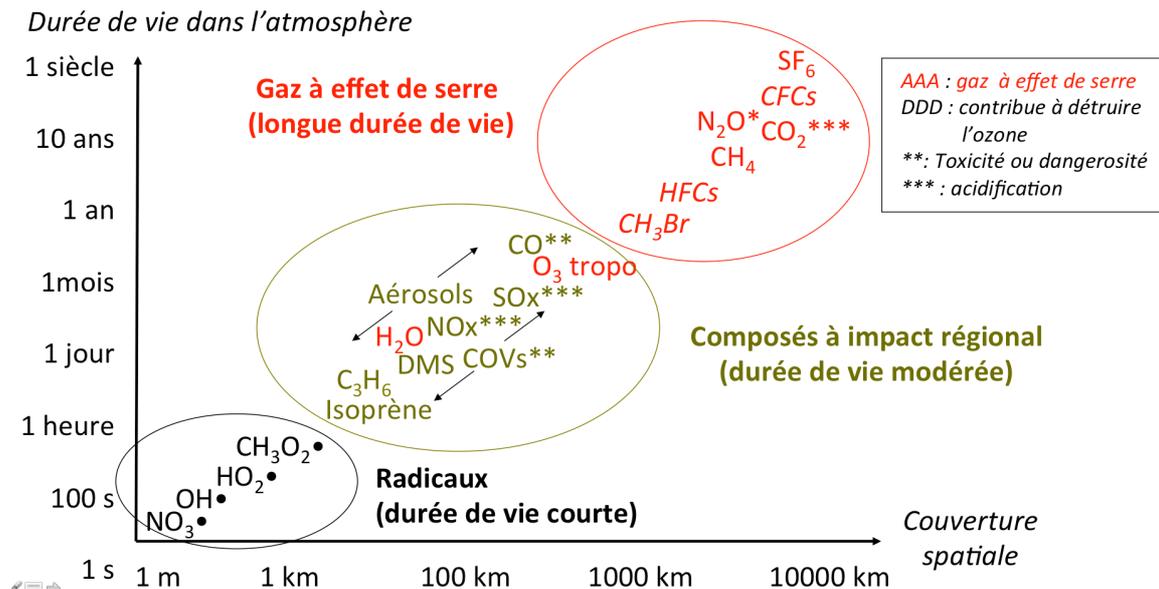
L'effet de serre est un phénomène naturel qui permet à la température de surface de la Terre d'être d'environ 15 °C contre -18 °C sans cet effet de serre. Il est dû à l'émission d'un certain nombre de composés, à la production dans l'atmosphère d'un certain nombre de composés que l'on va passer en revue dans cette introduction.

- Quand un composé est émis en surface, il va être transporté dans l'atmosphère par différents processus, mélanges turbulents dans les basses couches, les vents, à plus grande échelle, la convection et il peut être détruit par différents processus, des réactions chimiques, des réactions photochimiques dans la plus haute atmosphère et il peut être aussi déposé ou absorbé par les océans et les surfaces continentales.
- ⇒ Dans ces deux réservoirs de matière - les océans et les surfaces continentales -, ce composé peut aussi avoir un cycle propre et continuer à être transformé et transporté.
- ⇒ Donc, cet ensemble d'interactions entre l'atmosphère, les surfaces continentales et l'océan, forment ce que l'on appelle les cycles biogéochimiques.

On a beaucoup de composés dans l'atmosphère et donc il est intéressant de les classer :

- Ici, vous avez une échelle, en ordonnée, sur le temps, la durée de vie du composé dans l'atmosphère et en abscisse, sur l'espace, c'est-à-dire l'impact spatial de ce composé.

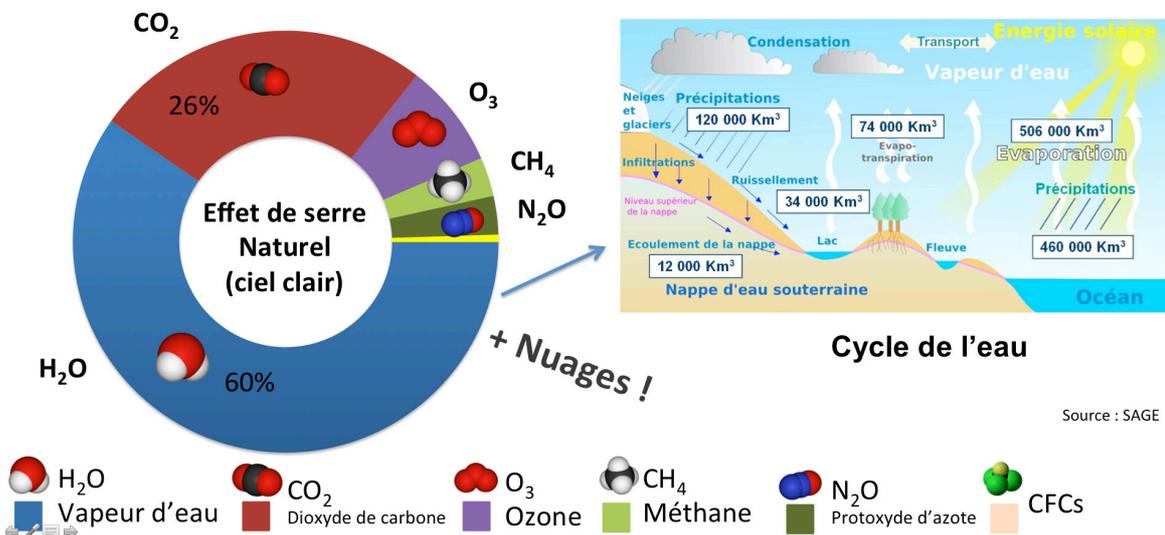
# Une myriade de composés atmosphériques



- Vous voyez que les composés s'organisent sur une bissectrice :
  - En haut à droite, on a les composés à longue durée de vie, qui donc, comme ils ont le temps de se transporter dans toute l'atmosphère, sont avec un impact planétaire ;
  - Et en bas à gauche, vous avez les composés qui sont à très courte durée de vie, très réactifs et qui donc jouent un rôle dans la chimie active de l'atmosphère.
  - Au centre, vous avez des composés, les composés azotés, soufrés, carbonés, les oxydes, les aérosols qui jouent un rôle à des échelles intermédiaires, du jour au mois, et à peu près à échelle régionale.
- Donc on peut comme ça séparer un petit peu les problèmes environnementaux.
- ⇒ En haut à droite, finalement, on va retrouver en rouge la plupart des gaz à effet de serre et donc l'effet de serre est bien une question planétaire et au milieu, on va avoir plutôt les composés qui jouent dans la pollution atmosphérique régionale.
- Alors, deux exceptions notables tout de même :
  - L'ozone troposphérique qui a effectivement une durée de vie intermédiaire ;
  - Et la vapeur d'eau qui évidemment joue un rôle tout à fait important dans l'effet de serre naturel puisque, comme le montre ce camembert, on voit que la vapeur d'eau est responsable de 60 % de l'effet de serre naturel. C'est donc le premier gaz à effet de serre tel qu'on le considère ici.
- ⇒ Et donc, le cycle de la vapeur d'eau est particulier puisque l'évaporation, l'évapotranspiration au-dessus des continents, l'évaporation au-dessus des océans, le

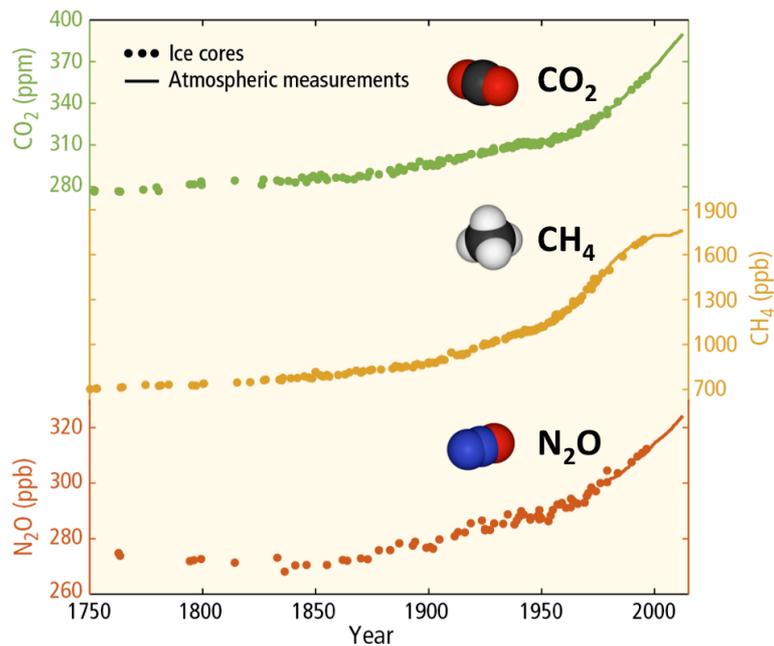
transport dans l'atmosphère, la condensation et la précipitation, se fait très rapidement puisque la durée de vie d'une molécule d'eau dans l'atmosphère est de l'ordre de 11 jours.

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



- ⇒ On a des cycles un peu plus lents via le ruissellement, les infiltrations dans les nappes. Et donc, l'eau est à ce titre particulier en tant que gaz à effet de serre, avec ce cycle très rapide.
- 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 et donc dans la suite de cet exposé, je ne parlerai plus de la vapeur d'eau, on peut en reparler quand on s'intéresse aux interactions et aux rétroactions climatiques de la vapeur d'eau dans le cas du changement climatique actuel.
- Le second gaz à effet de serre, c'est le CO<sub>2</sub>, avec à peu près 26 % de cet effet de serre naturel, suivi ensuite de l'ozone, du méthane et du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O).
- ⇒ Tout ça c'est pour le ciel clair, il ne faut pas oublier les nuages, c'est de l'eau, liquide ou solide, qui joue aussi un rôle dans l'effet de serre quand ils sont présents.

Alors, si on regarde l'évolution des composés à effet de serre autres que la vapeur d'eau au cours du temps, on voit ici le CO<sub>2</sub>, le méthane et le N<sub>2</sub>O sur la gauche de cette diapositive, on voit que depuis 1750, les concentrations ont fortement augmenté avec une accélération au cours du XXe siècle et notamment dans la deuxième moitié du XXe siècle.



- Le CO<sub>2</sub> a augmenté de 35 %, le méthane a été multiplié par deux et demi et le protoxyde d'azote a augmenté d'environ 15 %.
- Sur la droite, en haut, on voit les composés chlorofluorocarbonés, les CFC, fameux, dont les concentrations évoluent un petit peu différemment tout simplement parce que certains sont régis par le protocole de Montréal et ses amendements.
  - ⇒ Un protocole qui dans les années 80, a décidé d'enrayer la production et les émissions de ces composés pour éviter de détruire l'ozone dans la stratosphère polaire, et donc ces composés ont été remplacés par ceux de la figure en bas à droite, les HFC, où eux par contre on voit leur concentration augmenter.
  - ⇒ Ils ne contribuent plus à détruire l'ozone par contre ce sont quand même des gaz à effet de serre.
- Et donc, cette figure de droite est importante parce qu'elle montre qu'un protocole international finalement bien préparé, avec des produits de substitution, peut-être couronné de succès et aller au bout de ses objectifs, c'est-à-dire réduire finalement les concentrations de composés à effet de serre dans l'atmosphère.

Donc l'ensemble de ces composés a tout de même augmenté au cours du XXe siècle et a créé un effet de serre additionnel que l'on voit à droite sur cette diapositive qui complète l'effet de serre naturel et donc là, c'est le CO<sub>2</sub> qui est ce qu'on appelle le premier gaz à effet de serre anthropique lié aux activités humaines, suivi du méthane, des CFC, de l'ozone et du N<sub>2</sub>O.

- ⇒ Donc, cet effet de serre est petit, on le voit, c'est le trait jaune sur l'effet de serre naturel mais tout de même, il s'est fait très rapidement et donc représente le forçage essentiel du changement climatique qu'on est en train de vivre.

Si on s'intéresse maintenant aux émissions qui causent ces concentrations de gaz à effet de serre et que l'on regarde les masses émises dans un premier temps et les secteurs contribuant à ces masses, on voit que c'est essentiellement le CO<sub>2</sub> pour 95 % qui joue sur la masse de gaz à effet de serre émise - les autres gaz contribuant à 5 % pour le méthane et très faiblement pour les autres -, et donc on retrouve les secteurs importants venant du CO<sub>2</sub>, c'est-à-dire 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.

- Seulement, on ne peut pas raisonner qu'en masse puisque si on s'intéresse à l'impact des secteurs sur l'effet de serre lui-même et pas juste sur les émissions, il est nécessaire de convertir les émissions des autres gaz que le CO<sub>2</sub> en équivalent CO<sub>2</sub>, puisque tous les gaz n'ont pas la même capacité à piéger le rayonnement et donc à faire, comme on dit, de l'effet de serre.
- Donc on a besoin d'un facteur de conversion et le facteur le plus couramment utilisé aujourd'hui s'appelle le pouvoir de réchauffement global, donc ce PRG, qui est le forçage radiatif cumulé sur une durée généralement prise à 100 ans, une échelle climatique, et relativement au CO<sub>2</sub> du à l'émission d'un kilo du gaz considéré ponctuellement.
- Et donc ce PRG traduit finalement la quantité de gaz que l'on va émettre en termes d'effet de serre et pas simplement en terme de masse.
- ⇒ Par exemple, pour le méthane, on voit que le PRG à 100 ans est considéré comme étant à 28, ce qui veut dire qu'un kilo de méthane a un impact sur l'effet de serre 28 fois plus fort qu'un kilo de CO<sub>2</sub>.

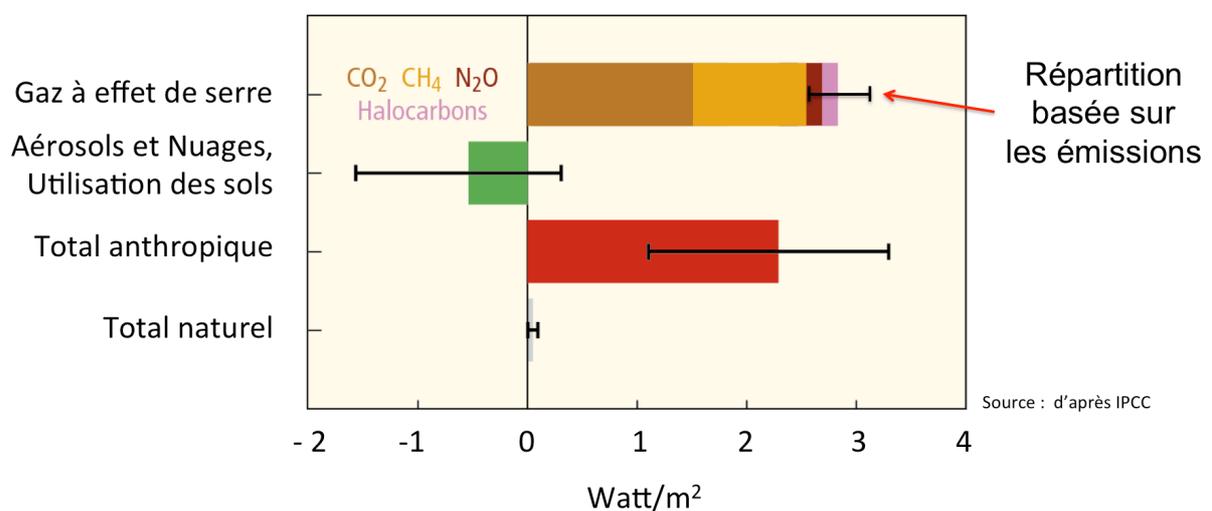
Gaz	PRG à 20 ans	PRG à 100 ans
Dioxyde de carbone	1	1
Méthane	84	28
Protoxyde d'azote	264	265
CFC11	6900	4660
HFC134a	3710	1300

- Il y a d'autres alternatives pour les facteurs de conversion mais je vais vous présenter les résultats avec ce PRG.

Donc si on revisite notre camembert de secteurs contribuant cette fois-ci à l'effet de serre et non pas simplement à la masse émise, on voit que l'on modifie le camembert du haut assez fortement puisque maintenant, les secteurs liés à la combustion ne représentent plus que 50 % à peu près, et on voit apparaître 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 bien sûr, l'extraction et la distribution des énergies fossiles, la biomasse et les déchets.

- Donc, dans ce rapport de forces entre les gaz à effet de serre, le CO<sub>2</sub> représente maintenant 56 %, le méthane un peu plus de 30 %, le N<sub>2</sub>O 6 % et les autres gaz environ 6 %.
- Donc le message de cette diapo, c'est vraiment de dire que si on veut s'intéresser à la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le but d'atténuer le changement climatique, il ne faut pas s'intéresser qu'au CO<sub>2</sub>, mais il faut s'intéresser aux autres gaz et aux secteurs associés à ces gaz qui ne sont pas que les secteurs liés à la combustion des énergies fossiles.

Donc au final, quand on fait le bilan de ces émissions de gaz à effet de serre, entre 1750 et 2011, on a le forçage radiatif intégré, c'est à dire le flux d'énergie piégé supplémentaire dans la basse atmosphère à cause de ces gaz à effet de serre.



- ⇒ On voit qu'on est à 2,9 W par mètre carré (c'est la barre du haut), avec la répartition qu'on a vue entre les différents gaz dans les diapositives précédentes.
- ⇒ Les aérosols, les nuages et l'utilisation des sols ont tendance, eux, à avoir un forçage négatif, donc plutôt à refroidir le système climatique avec toutefois, comme vous le voyez sur la barre verte, une grosse incertitude.
- ⇒ Et quand on fait la somme des deux, évidemment les incertitudes s'ajoutent donc on a une assez forte incertitude mais, sans ambiguïté, on a 2,3 W par mètre carré d'augmentation due aux forçages anthropiques totaux, avec une incertitude puisqu'on est donc entre 1,1 et 3,3 W par mètre carré supplémentaire piégé dans le système climatique.

On voit aussi sur cette diapositive que le système naturel contribue un tout petit peu (c'est la petite barre grise tout en bas), mais ne peut pas expliquer effectivement tout ce qui se passe en termes de forçage radiatif dans l'atmosphère.