



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.

D'autres gaz à effet de serre : l'ozone et les composés halogénés

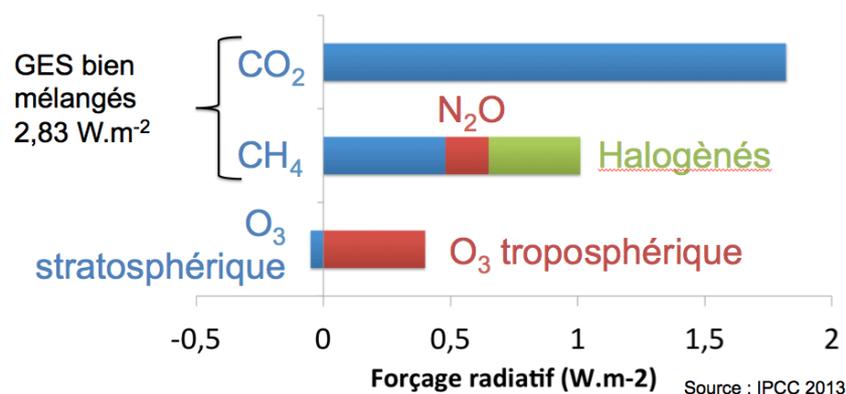
Marielle SAUNOIS

Enseignant Chercheur – Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines

Les principaux gaz à effet de serre bien mélangés dans l'atmosphère sont le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O). Cependant d'autres composés dont nous entendons moins parler participent aussi de façon non négligeable à l'effet de serre additionnel.

⇒ Ce sont par exemple l'ozone et les composés halogénés.

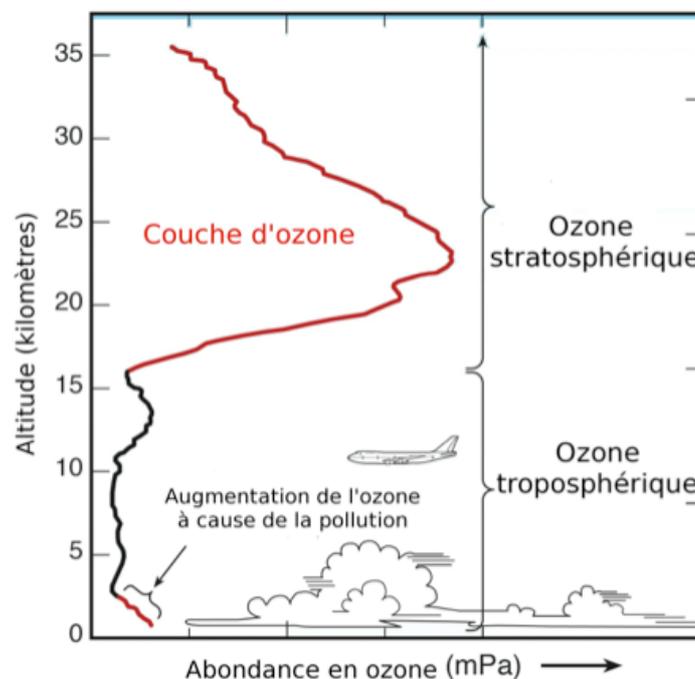
Selon le dernier rapport de l'IPCC de 2013, les composés halogénés ont participé à environ 12 % du forçage radiatif des gaz à effet de serre bien mélangés dans l'atmosphère, soit $0,36 \text{ W}$ par mètre carré. Le forçage radiatif de l'ozone a lui été estimé à $0,4 \text{ W}$ par mètre carré, équivalent à peu près à celui des halogénés.



L'ozone ne fait pas partie de la même catégorie de gaz à effet de serre dans le rapport de l'IPCC car il n'est pas un gaz bien mélangé dans l'atmosphère, ses concentrations variant fortement sur la verticale.

Ce graphique représente les variations de concentration de l'ozone entre 0 et 40 km.

- La stratosphère, située entre 15 et 50 km d'altitude contient environ 90 % de l'ozone. Aussi, on observe un maximum de concentration vers 25 km d'altitude.
- ⇒ C'est ce qui constitue ce qui est couramment appelé la couche d'ozone.



- Dans cette partie de l'atmosphère, l'ozone absorbe le rayonnement ultraviolet, protégeant ainsi la vie sur Terre.
- Dans la troposphère, même si le phénomène d'absorption des ultraviolets existe encore, il est moindre puisque la majorité du rayonnement a déjà été absorbée à plus haute altitude.
- Par contre, malgré des concentrations en ozone bien plus faibles, ce gaz est un gaz à effet de serre et un polluant dans les basses couches.
- ⇒ Ainsi, on parle souvent de bon ozone dans la stratosphère et de mauvais ozone dans la troposphère.

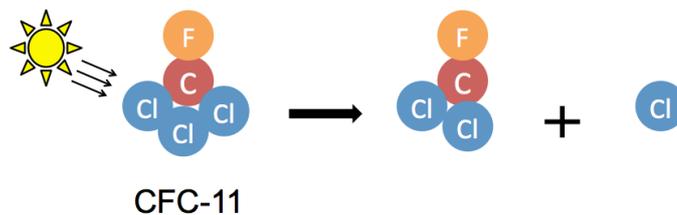
Revenons aux composés halogénés.

- Ces composés sont en fait composés de carbone, potentiellement d'hydrogène et d'un ou plusieurs atomes halogène comme le chlore, le fluor ou le brome.

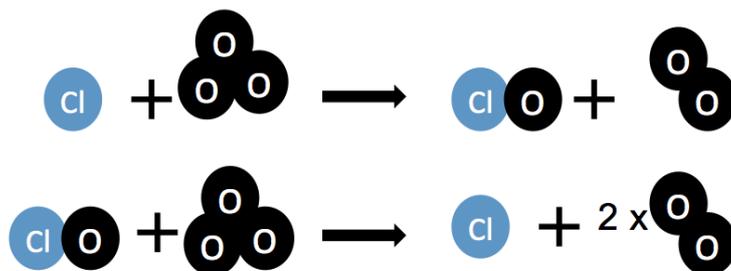
⇒ Par exemple, parmi les composés chlorés, nous distinguons la famille des CFC, chlorofluorocarbones, qui contiennent du chlore et du fluor, les HCFC, les hydrochlorofluorocarbones qui contiennent du chlore, du fluor et de l'hydrogène, les HFC, les hydrofluorocarbones dans lesquels il n'y a plus de chlore.

En fait, ces trois composés ont une histoire qui est liée à l'ozone stratosphérique et dont nous allons parler.

- La première génération de composés chlorés est constituée des CFC. Ces composés n'existent pas à l'état naturel, sont des produits purement synthétiques, inventés en 1928 et produits massivement dans l'industrie dès les années 50.
 - À l'époque, ils répondaient aux besoins de l'industrie du froid. Ils sont connus sous le nom de gaz frigorifique fréon, mais ils étaient aussi utilisés comme propulseurs dans les aérosols et les mousses expansives et aussi comme agent nettoyant dans l'industrie électronique en particulier.
 - Alors que les industriels avaient présenté ces gaz comme inertes dans l'atmosphère, les scientifiques ont découvert dans les années 80 que ces composés, certes inactifs dans la troposphère, étaient transportés dans la stratosphère où leur photodissociation permettait la libération d'atomes de chlore.
- ⇒ Par exemple, le CFC11, de formule CCl_3F , encore appelé fréon 11, va libérer un atome de chlore lors de sa photodissociation par le rayonnement ultraviolet dans la stratosphère.



- L'ensemble des recherches scientifiques a montré que ces atomes de chlore étaient responsables de la destruction de la couche d'ozone.



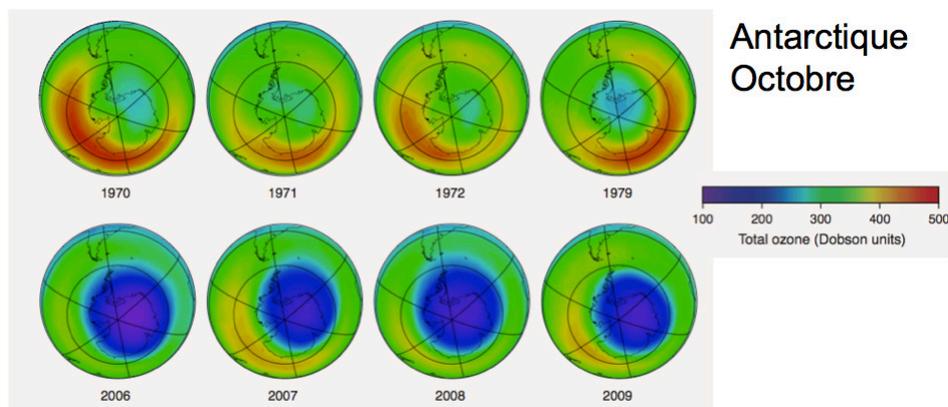
⇒ En effet, l'atome de chlore libéré précédemment va réagir avec l'ozone pour former du monoxyde de chlore CLO et du dioxygène. Puis ce monoxyde de chlore peut lui-même détruire une seconde molécule d'ozone.

➤ Vous voyez aussi que dans cette seconde réaction, on régénère l'atome de chlore.

⇒ Les réactions peuvent alors se produire en chaîne, on parle de cycle catalytique de destruction de l'ozone.

Pour des raisons météorologiques ce phénomène de destruction de l'ozone a été observé au-dessus de l'Antarctique, au pôle Sud, et ce dès les années 1980.

➤ Ces cartes montrent la quantité totale d'ozone dans une colonne atmosphérique au printemps austral, donc qui se tient en octobre, au-dessus du pôle Sud.



Ozone stratosphérique

⇒ Vous voyez que cette quantité a été divisée par trois, passant d'environ 300, à quasiment 100 unités dobson, entre les années 70 ans (en haut) et les années 2000 (en bas).

➤ La communauté scientifique et en particulier les chercheurs MOLINA et ROWLAND ont alerté le public et les politiques sur ce phénomène qui mettait en danger notre planète.

➤ Ainsi, a été signé le protocole de Montréal en 1987. Celui-ci visait à diminuer dans un premier temps la production des CFC et à geler celle des halons.

➤ Cependant ce ne sont que les amendements suivants, celui de Londres en 90 et de Copenhague en 92 qui vont viser à interdire plus rapidement toute production de substances détruisant l'ozone stratosphérique et finalement permettre d'envisager une réelle diminution et un retour à la normale de la quantité de chlore dans la stratosphère.

⇒ C'était la première fois que scientifiques, pouvoirs publics et industriels parvenaient à s'entendre sur un protocole réglementaire pour protéger l'environnement.

⇒ Cette réglementation a été possible en particulier grâce à des transferts de technologie et à l'utilisation de gaz de remplacement

- La seconde génération de gaz, après les CFC est constituée de HCFC. Dans ce tableau, vous pouvez voir que leur pouvoir de destruction de l'ozone est bien moindre que celle des CFC et des halons mais reste non nul.

Gaz	Potentiel de destruction de l'ozone	Potentiel de réchauffement	Temps de vie
CFC-11	1	4750	45
CFC-12	0,82	10900	100
CFC-113	0,85	6130	85
Halon-1301	15,9	7140	65
HCFC	0,01-0,12	77-2220	1-17
HFC	0	133-14200	1,5-222

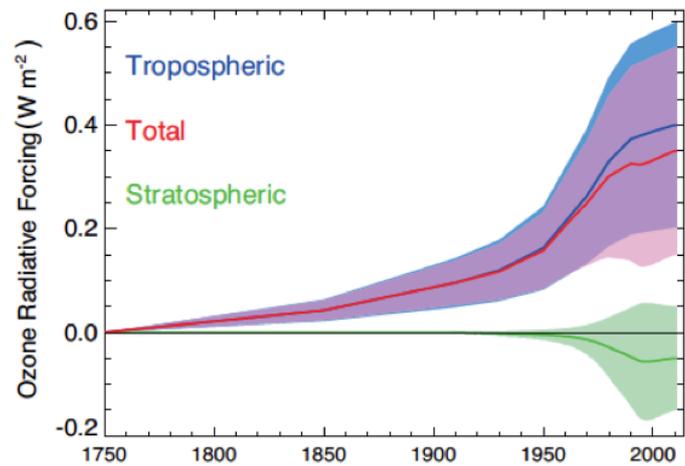
Ozone stratosphérique

- ⇒ Par conséquent, ces HCFC sont eux aussi petit à petit remplacés par une troisième génération qui sont les HFC, dans lesquels il n'y a plus de chlore, donc plus de danger pour la couche d'ozone.

Du point de vue de la destruction de la couche d'ozone, le protocole de Montréal est un vrai succès. Par contre, dans ce tableau, vous pouvez aussi voir que tous ces composés ont un pouvoir de réchauffement important et des temps de vie dans l'atmosphère plus ou moins longs.

- De fait, ils ont participé et vont continuer de participer au réchauffement climatique.
- Les HFC, les derniers gaz de remplacement sont des gaz à effet de serre puissants et leurs émissions continuent d'augmenter depuis leur introduction dans les années 80.
- En 2010, l'augmentation de ces émissions était de l'ordre de 10 % par an, en particulier due au fait de leur utilisation dans les systèmes d'air conditionné automobiles et dans les pays chauds en voie de développement.
- ⇒ Par conséquent, les HFC sont réglementés par le protocole de Kyoto. De durée de vie relativement courte par rapport au CO₂, éliminer ou réduire ces HFC pourrait avoir un effet positif plus rapide sur le réchauffement climatique qu'en agissant seulement sur le CO₂.

La destruction de l'ozone dans la stratosphère a participé à un forçage radiatif négatif de l'ordre de -0,05 W par mètre carré depuis les années 80. Cependant, cette contribution négative reste très faible devant le forçage radiatif positif de l'ozone troposphérique qui s'élève à 0,4 W par mètre carré.



Source : IPCC 2013

L'ozone n'est pas émis directement dans la troposphère. C'est un composé secondaire, issu de réactions photochimiques faisant intervenir des précurseurs. Ces précurseurs, eux, sont émis directement et ce sont des composés carbonés : méthane, monoxyde de carbone, composés organiques volatils et oxydes d'azote.

⇒ Ces précurseurs d'ozone ont été émis en quantité de plus en plus importante depuis la période préindustrielle, augmentant ainsi la production d'ozone dans la troposphère et donc ces concentrations.

Du peu d'observations disponibles, nous estimons que celles-ci ont été multipliées par cinq en Europe au cours du siècle passé.

L'ozone en tant que polluant est contrôlé et surveillé vis-à-vis de la qualité de l'air et donc mettre en place des politiques de régulation visant à diminuer les concentrations d'ozone permet d'agir non seulement contre la pollution de l'air mais aussi de diminuer le réchauffement climatique.

Finalement, l'ozone et les composés halogénés, du fait de leur durée de vie relativement courte par rapport au CO₂ doivent ainsi être considérés comme des cibles efficaces pour une action de réduction du réchauffement climatique.