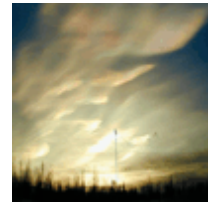




Ozone – Effet de serre Quel rapport ?

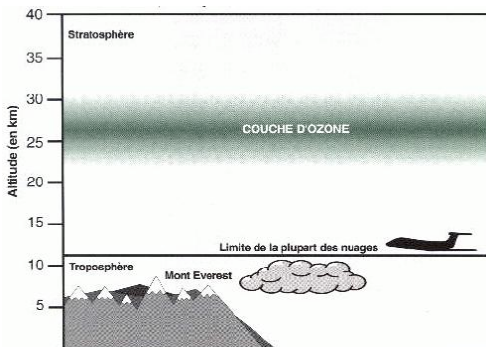
Dernière mise à jour : novembre 2003



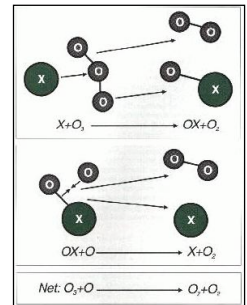
Le trou de la couche d'ozone et le changement climatique sont généralement présentés par les spécialistes comme des problèmes environnementaux ayant peu en commun, hormis leur portée planétaire et le rôle principal qu'y jouent les CFC et autres halocarbures. Pour le grand public, c'est tout l'inverse, climat, couche d'ozone et effet de serre, cela ne fait généralement qu'un seul et même micmac.

Il est certain que ces problèmes sont distincts à bien des égards. D'un côté, le changement climatique est dû au rejet, par les activités humaines, de dioxyde de carbone, de méthane et d'autres gaz à effet de serre. Les processus mis en œuvre se situent largement à l'intérieur de la troposphère. D'un autre côté, l'appauvrissement de la couche d'ozone qui protège la Terre d'une partie du rayonnement ultraviolet solaire est le résultat de l'utilisation de certains produits industriels chlorés et bromés. Les processus mis en jeu se situent en majorité à l'intérieur de la stratosphère. Mais finalement, c'est bien le grand public qui avait raison sans le savoir : à mesure que les connaissances évoluent, les scientifiques prennent conscience que des liens très importants unissent l'ozone et l'effet de serre.

Qu'est-ce que l'ozone ?



Composé de trois atomes d'oxygène, l'Ozone (O₃) est un gaz rare dont on trouve 90 % des molécules présentes dans l'atmosphère entre 12 et 50 km d'altitude (stratosphère), le reste se trouvant essentiellement en tant que polluant majeur à proximité des villes. L'ozone stratosphérique forme une couche fondamentale : la couche d'ozone, qui absorbe les rayonnements solaires les plus dangereux, en particulier les UVC et les UVB¹. Elle limite le passage de ces rayons et permet le développement de la vie sur Terre. La plus grande partie de l'ozone du monde est produite au-



dessus des tropiques et est distribuée aux quatre coins du monde par les vents. L'ozone se forme dans la stratosphère par l'addition d'un atome d'oxygène solitaire (O.) sur une molécule d'oxygène (O₂). c'est le rayonnement solaire qui crée ces atomes isolés en brisant les molécules d'oxygène en 2. Les rayons solaires ainsi que les réactions chimiques naturelles contribuent à sa destruction graduelle, mais il y a habituellement une formation simultanée d'ozone suffisante pour combler les pertes. Le phénomène de la diminution de la couche d'ozone a vraisemblablement démarré au milieu des années 70. Saisonnier, il a été dans un premier temps limité à l'Antarctique, pour être ensuite observé à une moindre échelle sur le pôle Nord. Aujourd'hui, la Nouvelle Zélande et le Sud de l'Australie, mais également le Canada, la Scandinavie connaissent régulièrement de fortes baisses d'ozone stratosphérique au printemps. L'Organisation Mondiale de la Météorologie estime à environ 6 % la chute de l'ozone stratosphérique en Europe.

Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) estime qu'une baisse de seulement 10% de l'ozone stratosphérique entraînerait dans le monde 300.000 cas de carcinomes et 4.500 cas de mélanomes supplémentaires² chaque année. Sur l'environnement, de nombreuses études ont montré qu'une augmentation des UV provoque une diminution de la production de

¹ Le rayonnement solaire est majoritairement composé de longueurs d'onde visible, infrarouge (IR) et ultraviolet (UV). Parmi les UV, les UVB et les UVC sont les plus dangereux.

²carcinome et mélanome : tumeurs cancéreuses

phytoplancton, premier maillon de la chaîne alimentaire océanique, et réduit la croissance d'un grand nombre de végétaux réduisant ainsi l'absorption de gaz carbonique dont on connaît le rôle sur le climat.



Les 10% d'ozone qu'on retrouve à proximité des villes sont à basse altitude et donnent naissance à ce nuage brunâtre qui stagne parfois au-dessus des grandes villes comme Paris. Ce sont eux qui font l'objet des alertes d'AIRPARIF quand les pics de pollutions à l'ozone sont atteints. Les polluants (oxyde de carbone (CO), oxydes d'azote (NOX), Composés Organiques Volatiles (COV),...) émis par les pots d'échappement des voitures et les activités industrielles peuvent se transformer dans la basse atmosphère, sous l'action des rayons solaires et de la chaleur en polluants

secondaires. Ainsi, l'ozone de basse altitude est issu de la transformation chimique de l'oxygène au contact d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils, en présence de rayonnement ultraviolet solaire et d'une température élevée. Mais cet ozone, au contraire de son homonyme stratosphérique est fortement nuisible pour l'homme qui la respire ainsi que pour les écosystèmes forestiers et agricoles. Provoquant irritations oculaires, maux de tête, toux et altération pulmonaire, l'ozone commence à avoir des effets nocifs, au niveau du sol, vers 110 microgramme par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)³, mais la population n'est informée que vers 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'alerte, quant à elle, n'est donnée que vers 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (APPA 2000)⁴.

-> ne pas confondre ozone stratosphérique (couche d'ozone, protectrice) et pollution locale à l'ozone (troposphérique, agressif).

Ce qui nuit à la couche d'ozone

Par le retour du soleil au printemps, les nauges polaires stratosphériques présents naturellement à cette hauteur deviennent instables et libèrent de grandes quantités de chlore et de brome issus généralement des halocarbures. Le Brome et le Chlore sont des catalyseurs puissants favorisant la destruction de l'ozone en oxygène et appauvrissant de ce fait la couche d'ozone. Chaque molécule peut détruire des milliers de molécules d'ozone avant de retourner à la troposphère et faire l'objet de transformation par d'autres réactions chimiques. Les halocarbures sont identifiés comme des « Substances Appauvrissant la couche d'Ozone » (SACO), ils contiennent divers mélanges de chlore, de fluor, ou de brome, de carbone et d'hydrogène. Certains sont naturels, mais une grande partie est produite par l'homme, et monte jusqu'à la haute atmosphère en raisons de sa grande stabilité chimique. Il en existe différentes sortes :

Les gaz fluorés courants :

- ➔ **Les CFC⁵** : Les composés qui ne contiennent que du chlore, du fluor et du carbone portent le nom de chlorofluorocarbures (CFC). Ils sont très stables et se transforment dans la haute atmosphère (stratosphère) en détruisant la couche d'ozone. Ils ont été utilisés dans de nombreuses applications comme la réfrigération, la climatisation, le gonflage de la mousse, le nettoyage de pièces électroniques et comme solvants. Les CFC se déplacent dans la stratosphère et sont décomposés par les UV, où ils libèrent les atomes de chlore qui épuisent alors la couche d'ozone.
- ➔ **Les HCFC** : Hydrochlorofluorocarbures (chlorofluorocarbures hydrogénés). Ces molécules chimiques sont composées de carbone, de chlore, de fluor et d'hydrogène. Elles sont moins stables que les CFC et détruisent l'ozone dans de plus faibles proportions. Elles succèdent aux CFC et sont appelées substances de transition.
- ➔ **Les HFC** : Hydrofluorocarbures. Ces molécules chimiques sont composées de carbone, de fluor et d'hydrogène. Elles ne contiennent pas de chlore et ne participent donc pas à

³ $1\mu\text{g}$ = 1 millionième de gramme

⁴ L'ozone troposphérique n'est pas seulement nuisible pour l'homme. Il l'est aussi pour les cultures !... Voir à ce sujet les sites suivants: <http://fr.news.yahoo.com/030711/202/3atqa.html> et www.terrabilis.com/actu/breves/BrevePrint.asp?ArID=2245

⁵ Les CFCs les plus communs sont CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114, et CFC-115. Le potentiel d'épuisement de l'ozone (ODP) pour chaque CFC est, respectivement, 1, 1, 0.8, 1, et 0.6. La National Oceanic and Atmospheric Administration fournit des informations plus détaillées au sujet de CFCs et montre leur ODP, et leur potentiel de réchauffement global (GWPou PRG en français).

l'appauvrissement de la couche d'ozone(ODP=0).. Elles sont appelées substances de substitution et remplacent progressivement les HCFC.

Les Halons : composés chimiques qui contiennent tout à la fois du brome, du chlore, du fluor et du carbone dans leur structure, ils sont utilisés comme extincteurs d'incendie aussi bien dans des dispositifs fixes que dans des extincteurs portatifs. Les HBFC sont des SACO puissants car le brome est beaucoup plus destructeur de l'ozone que le chlore.

Les gouvernements ont décidé de mettre fin à la production des CFC dans le cadre du **Protocole de Montréal** qui est entré en vigueur le 1er janvier 1989. Les signataires représentaient alors approximativement 82 % de la consommation mondiale en substance appauvrissant la couche d'ozone. D'autres pays ont suivi depuis. Mais malgré une très forte baisse des rejets de CFC, la durée de vie des CFC rejetés dans le passé et le réchauffement de la basse atmosphère détériorent encore la couche d'ozone.

➔ **ne pas confondre les CFC, les HCFC et les HFC, 3 générations de gaz aux usages voisins** dont l'usage est adapté pour freiner puis supprimer le problème de la couche d'ozone et progressivement pour tenir compte du changement climatique.

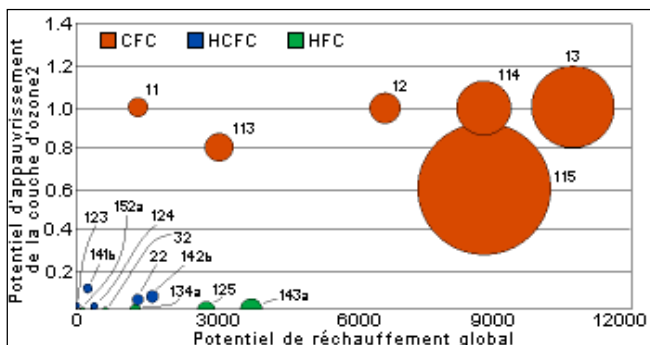
Quels liens avec l'effet de serre ?

Trop, hélas, pour notre compréhension des choses ! Le premier lien qui porte à confusion est le fait que l'ozone local est produit par les pots d'échappement des voitures, tout comme les principaux gaz à effet de serre. Mais depuis l'introduction de cette fiche, nous ne confondons plus ozone local et stratosphérique, nous pouvons donc continuer. Car ce dont nous allons parler c'est du lien entre l'effet de serre et la couche d'ozone stratosphérique.

A. Le changement climatique accentue la destruction de la couche d'ozone

Les phénomènes chimiques et photochimiques intervenant dans l'atmosphère sont nombreux, complexes et souvent dépendants les uns des autres. Les changements climatiques induisent un réchauffement de la troposphère (région de l'atmosphère qui va du sol jusqu'à 8 à 16 km d'altitude). Or, quand la température en basse atmosphère s'élève (à cause d'une hausse de la concentration des gaz à effet de serre qui " emprisonnent " la chaleur), la température en haute atmosphère baisse, **ce qui a pour effet de réduire la régénérescence de l'ozone stratosphérique**. Le refroidissement stratosphérique favorise la formation de nuages stratosphériques polaires (PSC), cause principale du développement des trous d'ozone polaires. Ainsi, alors que les rejets de substances qui abîment la couche d'ozone ont considérablement diminué, les records de taille et d'importance des trous dans la couche d'ozone continuent de tomber...Le dernier record date du printemps austral dernier, plus de 28 millions de km² soit 50 fois la surface de la France qui a amené les gouvernements d'Argentine et du Chili à diffuser largement des messages d'alerte demandant aux population de ne pas s'exposer au soleil à la mi-journée.

B. La lutte contre l'appauvrissement de la couche d'ozone a un impact sur les changements climatiques



Le lien le plus évident entre l'appauvrissement de l'ozone et le changement climatique est le fait que l'ozone lui-même et certaines des plus importantes substances qui l'appauvrissent, telles que les CFC et les HCFC, sont aussi des gaz à effet de serre.

Pour remplacer les CFC destructeurs de la couche d'ozone, d'autres gaz fluorés, les HFC, sont de plus en plus utilisés bien qu'ils contribuent au réchauffement planétaire. Les HFC et les HCFC ont été choisis pour minimiser l'impact sur l'environnement tout en maintenant les niveaux de sécurité et de performance des

CFC qu'ils sont remplacés. Les valeurs de potentiel réchauffement global⁶ (représentés en abscisse sur le graphique ci-contre) comprennent à la fois les effets réchauffant des composés et leur durée de vie dans l'atmosphère. Selon le GIEC (2001, TAR, SPM, p35 42) les halocarbures contribuent actuellement à hauteur de 12 % au réchauffement climatique.

C. L'ozone troposphérique contribue au réchauffement climatique

Nous n'en avons pas fini avec l'ozone créée en basse atmosphère par les émissions des pots d'échappement lors des grosses chaleurs. Cet ozone local, en effet, ne reste pas figé là où il a été créé. Il s'élève et atteint les couches de l'atmosphère où son rôle de gaz à effet de serre prend toute sa valeur. En effet, l'ozone est un gaz à effet de serre naturel, qui dans ses proportions naturelles contribue à l'équilibre climatique au même titre que le CO₂ (dans des proportions naturelles). Selon le GIEC (GIEC 2001, TAR, SPM, p35 42), l'ozone troposphérique artificiel contribue à hauteur de 13% au réchauffement climatique, ce qui est loin d'être négligeable. Hélas, l'ozone qui diminue au niveau de la stratosphère n'est pas remplacé par celui qui est créé indirectement par nos voitures dans la troposphère.

Conclusion : comment faire face simultanément aux problèmes de la couche d'ozone et du changement climatique ?

En septembre 2000, le trou d'ozone a atteint une dimension record, soit 28,3 millions de kilomètres carrés, ou trois fois la superficie des États-Unis. Le bleu foncé indique les zones où l'appauvrissement de la couche d'ozone atteint des niveaux élevés. Source : NASA. 2001.

Le réchauffement dû à l'effet de serre et l'amincissement de la couche d'ozone stratosphérique sont le résultat des activités humaines qui ont changé la composition de l'atmosphère depuis la révolution industrielle. En adoptant une approche intégrée de

ces deux problèmes, les gouvernements et les scientifiques auront de meilleures chances de les limiter. Les deux groupes scientifiques internationaux de la Convention sur le Climat (GIEC) et du Protocole de Montréal réaliseront prochainement un rapport sur les réponses possibles pour lutter efficacement et simultanément sur ces deux fronts. S'appuyant sur ce rapport, une décision devra être prise avant 2005. De leur côté, les citoyens peuvent choisir de consommer en limitant leur usage de CFC, de HFC et de HCFC! Il existe toujours des solutions alternatives. A titre d'exemple, la Suisse a interdit la fabrication, l'importation, l'exportation, la remise, pour les CFC / HCFC (Fluides, appareils, installations) et les HFC (Appareils ménagers réfrigérateurs et congélateurs, déshumidificateurs, climatiseurs, systèmes de climatisation pour véhicules à moteur) pour 2005. Elle a imposé également la récupération, le recyclage et le chargement des réfrigérants comprenant tous les CFC, HCFC, HFC.

Sources et Biblio :

- Antarctique : le trou d'ozone pourrait se résorber vers 2050, C. GALUS, Le Monde, 3/04/2003
- Ozone, l'équilibre rompu, G. Megie, Presses du CNRS 1989
- Sur la chimie stratosphérique :
http://www.atm.ch.cam.ac.uk/tour/tour_fr/part3.html#1ingredients
- <http://www.epa.gov/docs/ozone/defns.html#gwp>
- AIRPARIF (<http://www.airparif.asso.fr/index.php>)
-

Concernant la réglementation : lire la *Revue du froid et L'évaluation interassociative sur la mise en place du PNLCC (2002)*, partie « gaz frigorigènes », en ligne sur www.rac-f.org

Auteur : Sabine Rabourdin avec l'aide de Sylvain Godinot

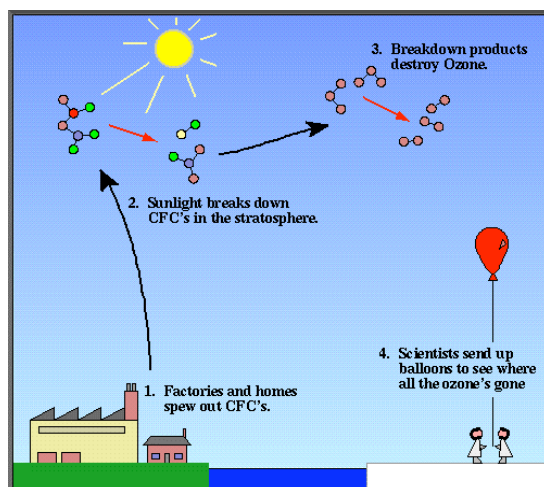
⁶ PRG (GWP : Global Warming Potential). Cet indice caractérise la participation de la molécule à l'effet de serre. Il est calculé pour une durée déterminée (20 , 100 ,500 ans..) et par rapport à une molécule de référence (le CO₂) à laquelle on attribue un GWP égal à 1.

EFFET DE SERRE ET COUCHE D'OZONE

Ces deux phénomènes sont trop souvent confondus. Voici quelques différences et points communs.

Points communs	Différences	
<p>des phénomènes...</p> <p>...naturels source : le soleil qui envoie des rayonnements sur la terre Les gaz de l'atmosphère arrêtent (absorbent) ces rayonnements</p>	<p>Effet de serre</p> <p>Le rayonnement visible du soleil est absorbé par la terre et repart en rayonnement infrarouge (IR), moins énergétique que la lumière, et vecteur de la chaleur (même rayonnement que les plaques de cuisson vitrocéramique par exemple). Ces infrarouges sont absorbés par les gaz à effet de serre.</p> <p>Comme cela empêche une partie des rayons solaires de quitter l'atmosphère, ce phénomène revient à retenir sur terre une plus grande partie de la chaleur du soleil.</p>	<p>Couche d'ozone</p> <p>Le rayonnement ultraviolet issu du soleil est absorbé (arrêté) avant d'atteindre la Terre. Il est plus énergétique que la lumière, et c'est le responsable du bronzage.</p> <p>Ce phénomène empêche une partie des rayons solaires de rentrer dans l'atmosphère</p>
<p>...utiles à la vie</p>	<p>L'effet de serre est indispensable à la vie : sans lui, la température moyenne de la planète serait de -18°C, et toute l'eau serait gelée.</p>	<p>Les rayons UV arrêtés par la couche d'ozone sont très agressifs pour les cellules vivantes. Ils provoquent des cancers, et tuent les coraux. Sans la couche d'ozone, la vie ne pourrait supporter l'intensité solaire.</p>
<p>...dus à des gaz naturels, dont l'ozone</p> <p>Qui est un gaz tantôt nocif tantôt bénéfique</p>	<p>Les gaz à effet de serre naturels sont par ordre d'importance (en quantité): la vapeur d'eau, le gaz carbonique, le méthane, les oxydes d'azote, l'ozone. L'ozone <u>de basse altitude</u> renforce l'effet de serre : il nous est donc nocif ; il est de plus très agressif (provoque des maladies respiratoires comme l'asthme)</p>	<p>L'ozone de haute altitude nous protège des UV : il nous est bénéfique</p>
<p>...Qui ont lieu dans l'atmosphère</p>	<p>Se passe dans <u>la troposphère</u>, <u>la plus basse</u> couche de l'atmosphère, où sont les nuages</p>	<p>Dans <u>la stratosphère</u>, <u>la couche au dessus de la troposphère</u></p>
<p>...modifiés par les rejets gazeux émis par l'homme :</p>	<p>L'homme brûle des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) et des forêts. Mais il rejette aussi des gaz artificiels comme les gaz fluorés. Les rejets gazeux (le gaz carbonique, le méthane, les oxydes d'azote, l'ozone, les gaz fluorés,...) émis ainsi</p>	<p>Les CFC(chlorofluorocarbones) qui servent surtout dans l'industrie du froid (frigos) et pour les aérosols sont des gaz très stables qui montent dans la haute atmosphère, où ils sont " cassés " par les rayons plus intenses du soleil, et donnent naissance à du chlore, qui détruit l'ozone. Ils contribuent également fortement au</p>

	augmentent la concentration des gaz à effet de serre et créent un réchauffement climatique : la température moyenne de la planète augmente.	réchauffement climatique. Les CFC sont maintenant interdits et ont été progressivement remplacés par les HCFC (10 fois moins nocifs pour la couche d'ozone), puis les HFC (sans impact sur l'ozone). Tous ces gaz ayant un fort pouvoir de réchauffement climatique, la recherche se poursuit d'autres gaz..
Une réglementation internationale se crée	Le protocole de Kyoto, qui n'est pas ratifié, donc pas en vigueur, vise à limiter les émissions de gaz à effet de serre. Une directive européenne est en préparation sur les HFC.	Le protocole de Montréal, qui est ratifié, vise à limiter les émissions de CFC. Les HCFC ont été réglementés comme gaz de transition et seront totalement interdits en 2040.
Les problèmes évoluent	Le réchauffement climatique s'aggrave de jour en jour, car nous utilisons toujours plus d'énergies fossiles, donc nous produisons toujours plus de gaz à effet de serre.	Le trou de la couche d'ozone a plutôt tendance à stagner : les CFC mettront longtemps à disparaître, mais leur production a beaucoup diminué ces dernières années.
Et qui se renforcent mutuellement :	Le réchauffement climatique provoque la montée en température des basses couches de l'atmosphère ce qui crée un refroidissement des hautes couches où est l'ozone (principe de conservation de l'énergie). Le refroidissement de ces couches accélère la destruction de l'ozone en favorisant certaines réactions chimiques	Le trou de la couche d'ozone laisse passer plus d'UV qui modifient localement la température et donc le climat
A suivre... (liste non exhaustive)		



Annexe : Les réactions chimiques en œuvre dans ces phénomènes :

Parvenues dans la stratosphère, les molécules d'halocarbures sont cassées par le rayonnement solaire et libèrent des composés chimiques chlorés (ou bromés) qui, par le jeu de réactions catalytiques vont attaquer l'ozone:

