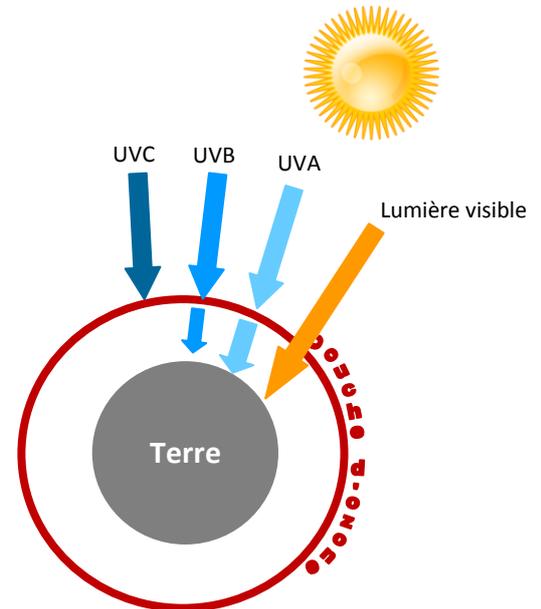


## Vers un rétablissement de la couche d'ozone ?

### I. Où se trouve l'ozone ?

1. 1 L'intérêt de la communauté scientifique s'est accru ces dernières décennies pour l'ozone (O<sub>3</sub>) pour deux raisons :

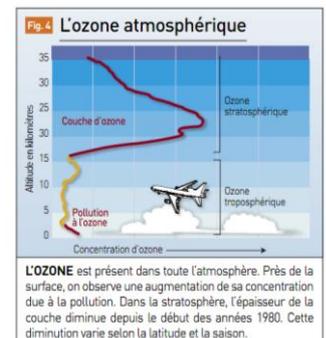
- L'observation de la diminution importante de la teneur en ozone dans la stratosphère. Ce gaz forme une couche autour de 20 km d'altitude, que l'on appelle « la couche d'ozone ». Ce « bon ozone » joue le rôle d'écran protecteur pour les êtres vivants car il absorbe une partie du rayonnement ultraviolet nocif pour la santé.
- La production excessive d'ozone dans les grandes villes urbaines et industrielles qui est à l'origine d'une pollution excessive d'ozone. Ce « mauvais » ozone est toxique pour la santé humaine et la végétation au-delà d'un certain seuil d'exposition.



1. 2 La concentration d'ozone est faible dans la troposphère, augmente brusquement à partir de la limite entre troposphère et stratosphère (tropopause) pour atteindre un maximum dans la basse stratosphère. L'altitude de ce maximum dépend de la latitude. Au-dessus de 30 km, la concentration d'ozone décroît très rapidement.

1. 3 L'altitude du maximum de concentration d'ozone décroît à mesure qu'on approche des régions polaires à cause de la circulation atmosphérique le long des méridiens de la Terre qui transporte l'ozone depuis les régions équatoriales vers le pôle d'hiver en s'accompagnant d'un lent mouvement vers le bas.

1. 4 On parle de « trou dans la couche d'ozone » en Antarctique car la couche d'ozone disparaît quasi-complètement au printemps. En effet, l'apparition du soleil, libère par photolyse (cf. glossaire) des espèces actives qui détruisent l'ozone. (Sur l'Arctique le phénomène existe mais est moins marqué car la stratosphère arctique, moins froide, favorise moins l'apparition de nuages polaires stratosphériques (cf. réponse 3.1) et concentrent donc moins les espèces actives qui détruisent l'ozone).



Source : dossier de la recherche n° 31  
(CNRS/INSU)

#### Précisions:

*Les pôles se caractérisent par de longues périodes totalement obscures en hiver.*

*En Arctique, le phénomène est décalé de six mois par rapport à l'Antarctique car les saisons sont inversées entre les deux hémisphères. Si on suit la concentration en ozone durant l'année, on constate que l'apparition des premiers rayons du Soleil s'accompagne d'une raréfaction de l'ozone (en octobre pour le pôle Sud, en mars pour le pôle Nord).*

1. 5 L'essentiel des réponses aux questions précédentes est résumé par l'encart intitulé « l'ozone atmosphérique » reproduit ci-contre (fig.4).



## II. Les coupables identifiés du trou dans la couche d'ozone

2. 1 L'alerte avait été donnée dans les années 1970. Les polluants incriminés au départ étaient les oxydes d'azote dus, en particulier, aux avions supersoniques comme le Concorde.
2. 2 À la fin des années 1970, la Suède, les États-Unis, la Norvège et le Canada interdisent l'utilisation des CFC dans les bombes aérosols. En 1981, des résultats théoriques montrent que l'effet des CFC sur l'ozone devrait être maximal vers 40 kilomètres d'altitude. Or, à cette altitude, l'ozone est peu abondant. On conclut alors que les CFC ont un effet peu important sur la destruction de la couche d'ozone. En conséquence, la production de CFC repart de plus belle. En 1987, les principaux coupables sont identifiés : ce sont les CFC et les halons. Ces composés seront alors réglementés.
2. 3 Les principaux composés réglementés suite au protocole de Montréal sont les CFC-11 et CFC-12, le tétrachlorure de carbone, les halons 1211 et 1301 et le bromure de méthyle.

### POUR ALLER PLUS LOIN

- a. Les CFC ont été utilisés comme réfrigérants à partir des années 30. Ils ont été également utilisés comme gaz propulseurs des aérosols, comme matières premières dans la synthèse de composés organiques, comme solvants (nettoyage industriel), comme extincteurs, et comme agents d'expansion dans les mousses de matières plastiques.
- b. En Europe, depuis le 1<sup>er</sup> octobre 2000, les CFC ne peuvent plus être mis sur le marché. Ils sont récupérés et détruits depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2002.
- c. Effectivement, le schéma détail « CFC/Halons » indiquent bien qu'en plus d'un effet négatif sur la couche d'ozone, les CFC (et les halons) ont un effet réchauffant sur le climat car ce sont des gaz à effet de serre.
- d. Le CFC-12 a un potentiel de réchauffement plus de 8 000 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone.
- e. L'application du protocole de Montréal équivaut à une réduction d'environ 8 milliards de tonnes de dioxyde de carbone par an entre 1990 et 2010. Le protocole de Kyoto, qui ne concerne que les gaz à effet de serre n'ayant pas d'action destructive sur la couche d'ozone, a pour objectif une réduction de l'équivalent de 2 milliards de tonnes de dioxyde de carbone par an entre 1990 à 2012.

2. 4 L'impact des composés bromés sur la couche d'ozone est très important car le pouvoir de destruction de l'ozone de ces derniers est très grand (45 fois plus fort que celui des CFC).
2. 5 Les halons ont été remplacés par les HCFC (hydrochlorofluorocarbures). Ces gaz sont beaucoup moins nocifs pour la couche d'ozone car ils sont dissociés au-dessous de 10 kilomètres d'altitude, et seule une petite fraction atteint la stratosphère.

Le protocole de Montréal stipule toutefois l'arrêt de la production de ces gaz à l'horizon 2040 pour favoriser la production de nouveaux substituts ne contenant pas d'atome de chlore : les HFC (hydrofluorocarbures).

2. 6 Le temps de résidence des CFC est compris entre 50 et 650 ans.  
La plupart de ces composés persisteront dans la stratosphère sans se transformer pendant cinquante ans, voire plus, car ils sont très stables chimiquement.

### III. Scénario d'une destruction

3. 1 Le scénario de destruction de l'ozone se produit en trois étapes :

- Première étape : A l'intérieur du vortex polaire (ceinture de vents se trouvant au-dessus de l'Antarctique pendant l'hiver polaire et isolant les masses d'air très froides), lorsque la température chute au-dessous de  $-80^{\circ}\text{C}$ , des nuages stratosphériques se forment.
- Deuxième étape : À la surface de ces nuages, des réactions chimiques décomposent les CFC et les halons en composés susceptibles de détruire l'ozone.
- Troisième étape : Dès la réapparition du Soleil au-dessus du pôle, ces composés forment à leur tour des molécules encore plus actives qui, toujours sous l'action des rayons solaires UV, déclenchent les réactions de destruction massive de l'ozone.

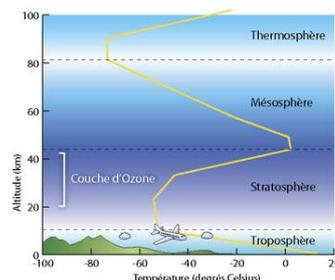
3. 2 En Arctique, les conditions sont moins favorables à l'apparition d'un trou d'ozone, car les températures hivernales y sont beaucoup plus élevées que dans l'hémisphère sud. La formation de nuages stratosphériques polaires varie d'une année sur l'autre selon les conditions météorologiques. Toutefois, on observe bien un amincissement ou trou de la couche d'ozone au pôle nord.

### IV. De nouveaux paramètres changent un peu la donne

4. 1 En absorbant le rayonnement UV, la production d'ozone entraîne un réchauffement de la stratosphère (réaction exothermique). Sur le schéma ci-contre, on peut vérifier que la température augmente dans la stratosphère.

4. 2 La disparition de la couche d'ozone produit un refroidissement de la stratosphère. Cela favorise donc l'apparition de nuages stratosphériques polaires et donc les processus de destruction de l'ozone. On parle de feedback ou rétroaction positive.

Par ailleurs, plusieurs études ont permis de montrer que la persistance anormale du vortex polaire jusqu'à la fin novembre (phénomène observé dans les années 1990) est directement liée au refroidissement qu'induit la destruction de l'ozone.



4. 3 Le dioxyde de carbone a aussi un effet refroidissant sur la stratosphère. L'augmentation des émissions de  $\text{CO}_2$  (et autres gaz à effet de serre) favorise donc la formation de nuages stratosphériques polaires, et donc les processus de destruction de l'ozone.

4. 4 Une augmentation de la vapeur d'eau dans la stratosphère, si elle se confirmait, contribuerait :

- au refroidissement de la stratosphère car c'est un gaz à effet de serre;
- se répercuterait sur la quantité des composés hydrogénés qui interviennent dans la destruction de l'ozone vers 20 kilomètres d'altitude ;
- augmenterait la formation des nuages stratosphériques polaires qui sont essentiellement composés d'eau.

Dans tous les cas, l'augmentation de la vapeur d'eau dans la stratosphère devrait retarder le rétablissement de l'ozone stratosphérique.

4. 5 Actuellement le logiciel OMER7-A ne fait pas apparaître les impacts des changements climatiques sur la couche d'ozone. Si les recherches le confirment, il faudrait faire apparaître sur les schémas du logiciel une flèche allant de « Changements climatiques » vers « Couche d'ozone » en précisant que l'effet est négatif.