

Air et atmosphère

Ozone stratosphérique

Messages clés

- L’ozone stratosphérique protège la surface de la Terre contre les rayons solaires, mais cette couche protectrice s’est amincie, permettant la pénétration de rayons ultraviolets à des concentrations nocives. Les concentrations excessives de rayons ultraviolets sont néfastes pour la santé humaine et l’environnement.
- En réaction à ce phénomène, les pays ont décidé de contrôler la production, la consommation et le commerce des substances appauvrissant la couche d’ozone (SACO), en signant un accord international. À la fin de 2005, les Parties au Protocole de Montréal avaient réussi à éliminer la production et la consommation de plus de 95 % des SACO — utilisées comme réfrigérants ou propulseurs d’aérosol, ou à d’autres fins.
- À l’heure actuelle, la couche d’ozone qui protège la Terre demeure plus mince que les moyennes historiques enregistrées; le trou d’ozone au-dessus de l’Antarctique avait atteint une taille et profondeur maximales en 2006.
- Le Canada, le Mexique et les États-Unis ont considérablement réduit leurs émissions de SACO au cours des 20 dernières années, mais ces substances sont encore rejetées par diverses sources en Amérique du Nord et à l’échelle mondiale. La couche d’ozone devrait s’être reconstituée d’ici la moitié du XXI^e siècle si l’on en juge par le respect de l’accord international en vigueur le respectent. La réduction des SACO a également généré des avantages importants sur le plan climatique, parce que certaines SACO agissent elles aussi comme des gaz à effet de serre.

L’ozone est un gaz qu’on trouve partout dans l’atmosphère. L’*ozone stratosphérique* protège la vie sur Terre en absorbant les rayons nocifs du soleil lorsqu’ils traversent la haute atmosphère (la stratosphère). Parce que l’ozone présent à la surface de la Terre est néfaste, on dit souvent de l’ozone qu’il est « bon quand il est très haut et nocif quand il est près de nous ».

Enjeu environnemental à l’étude

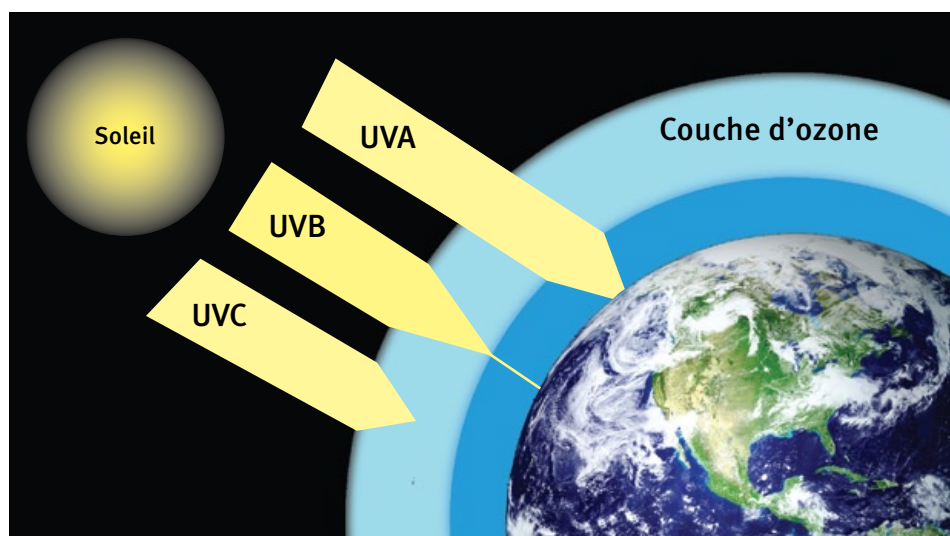
L’ozone stratosphérique protège la surface de la Terre en absorbant les rayons ultraviolets (UV) émis par le soleil (voir l’illustration). Il se forme naturellement à la suite de réactions chimiques entre les rayons UV et l’oxygène. Environ 90 % de l’ozone se trouve dans la stratosphère, couche de l’atmosphère qui commence entre 10 et 15 kilomètres au-dessus de la surface de la Terre aux latitudes moyennes. L’ozone stratosphérique forme ce qu’on appelle la couche d’ozone.

Amincissement de la couche d’ozone

La couche d’ozone stratosphérique est aujourd’hui plus mince qu’elle ne l’a jamais été, à cause de certaines substances chimiques appauvrissant la couche d’ozone (comme les réfrigérants et les propulseurs d’aérosol). On a commencé

à produire ces substances à des fins commerciales durant le XX^e siècle, et on continue d’en produire et d’en utiliser certaines. Lorsqu’elles sont rejetées, ces substances se répandent dans la haute atmosphère et se transforment graduellement en gaz plus réactifs, qui détruisent l’ozone. On a commencé à observer l’amincissement généralisé de la couche d’ozone dans les années 1970, et la perte totale est actuellement évaluée à 3 % en moyenne pour l’ensemble du globe; l’amincissement est plus marqué dans les régions polaires et moins marqué près de l’équateur. Au-dessus de l’Antarctique, un trou dans la couche d’ozone se forme désormais chaque année en septembre. En septembre 2006, la superficie moyenne de ce trou, qui était de 27,5 millions de kilomètres carrés, était la plus importante jamais observée (voir la photo). Un peu plus d’une semaine plus

Protection contre les UV assurée par la couche d’ozone



Source : Programme des Nations unies pour l’environnement.

tard, des instruments ont enregistré les plus faibles concentrations d'ozone jamais observées au-dessus de l'Antarctique; la profondeur du trou d'ozone était alors à son maximum.

Parce que l'ozone absorbe certains des rayons ultraviolets biologiquement nocifs, une réduction des concentrations d'ozone stratosphérique permet à un plus grand nombre de ces rayons d'atteindre la surface de la Terre, où ils nuisent à la santé humaine, perturbent les processus biologiques et endommagent certains matériaux.

Substances appauvrissant la couche d'ozone

Le tableau ci-dessous présente les principales substances responsables de la destruction de la couche d'ozone, ainsi que l'utilisation qui en est faite au quotidien. Les produits de substitution à ces substances sont les hydrocarbures chlorés et fluorés (HCFC), les hydrofluorocarbones (HFC) et les perfluorurocarbones (R-14). Les HCFC, qui remplacent provisoirement les CFC, sont utilisés comme réfrigérants, solvants et agents extincteurs. Les HFC et les R-14 sont utilisés comme réfrigérants, propulseurs d'aérosol et solvants.

Pourquoi cet enjeu est-il important pour l'Amérique du Nord?

L'appauvrissement de la couche d'ozone a des répercussions importantes sur la santé des populations et l'économie de l'Amérique du Nord. Le phénomène est généralement plus marqué près des pôles, en particulier dans les régions du Nord et de l'Arctique.

Principales SACO, et leur utilisation

Substance	Utilisation
Chlorofluorocarbones (CFC)	Réfrigérants, solvants de dégraissage, propulseurs d'aérosol et agents d'expansion pour la fabrication de plastique alvéolaire
Hydrochlorofluorocarbones (HCFC)	Réfrigérants, solvants de dégraissage, propulseurs d'aérosol et agents d'expansion pour la fabrication de plastique alvéolaire
Halons	Agents extincteurs/systèmes d'extinction d'incendie
Tétrachlorure de carbone	Production de CFC (matière de base), solvants
Chloroéthène	Solvants industriels destinés au nettoyage, à la fabrication d'encre, etc.
Bromométhane	Insecticide fumigène utilisé pour lutter contre les parasites terrioles et les maladies touchant les récoltes avant la plantation

Effets des rayons UVB

La surexposition aux UVB, qui sont les rayons ultraviolets les plus nocifs, peut causer divers problèmes de santé : cancers de la peau et vieillissement prématuré, affections oculaires (comme la cataracte) et suppression du système immunitaire. Les processus physiologiques et de développement des végétaux sont eux aussi touchés par les rayons UVB, qui peuvent endommager les cultures fragiles comme le soja et le riz, et réduire le rendement des récoltes.

Le phytoplancton marin, qui constitue la base de la chaîne alimentaire aquatique des océans, subit lui aussi le stress causé par les rayons UVB. Par ailleurs, des études ont révélé que les rayons UVB sont nocifs pour les poissons, les amphibiens et d'autres animaux durant les premières phases de leur développement.

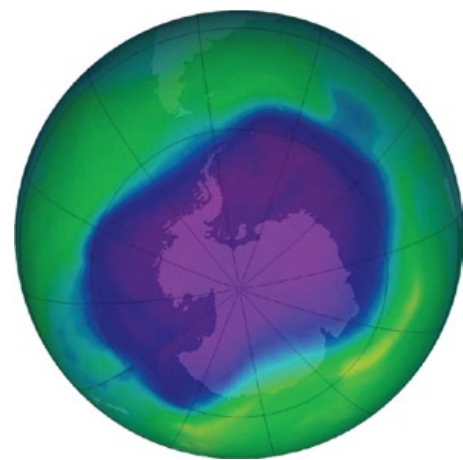
À plus grande échelle, les rayons UV du soleil pourraient nuire aux cycles biogéochimiques, terrestres et aquatiques, ce qui altérerait à la fois les sources et les puits de gaz à effet de serre et de gaz à l'état de traces important d'un point de vue chimique.

Enfin, les polymères synthétiques, les biopolymères présents dans la nature et d'autres matières ayant un usage commercial subissent les effets néfastes des rayons UV. L'augmentation des concentrations de rayons UVB accélère leur dégradation dans l'air ambiant.

Réduction des émissions

Le Canada, le Mexique et les États-Unis s'attaquent au problème de la destruction de la couche d'ozone en mettant un terme à la production et à l'utilisation de substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO), selon un

Trou de la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique, entre le 21 et le 31 sept. 2006



Source : NASA.

échancier établi par le Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Ces ententes ont conduit à l'élimination progressive de la production et de l'utilisation de CFC et d'autres SACO. À l'heure actuelle, 191 pays et l'Union européenne sont Parties au Protocole et mettent en application ses dispositions.

À la fin de 2005, les parties avaient réussi à éliminer conjointement plus de 95 % des SACO, en ramenant les niveaux de production de plus d'un million de tonnes de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PACO) par an (niveau de 1990) à 93 000 tonnes de PACO annuellement. En Amérique du Nord, la production et l'utilisation ont diminué d'environ un tiers, pour représenter un cinquième du total mondial (voir le graphique).

Par ailleurs, jusqu'en 2005, la production et l'utilisation de substances appauvrissant la couche d'ozone en Amérique du Nord ont chuté de près de 97 % (voir le graphique). En raison du temps assez long qu'il faut aux SACO pour se déplacer du niveau du sol jusqu'à la stratosphère, l'impact de leur élimination ne se fera pas sentir avant de nombreuses années. On estime que la couche d'ozone pourrait se reconstituer d'ici 2050 environ, à condition que les substances qui l'appauvrissent. Par contre, les prédictions à long terme sont incertaines, parce qu'on ne comprend pas encore tous les processus d'appauvrissement de la couche d'ozone. Le rôle des SACO dont la durée de vie est très courte est encore à l'étude, de même que l'impact du changement climatique sur la stratosphère et l'appauvrissement de l'ozone.

Surveillance des tendances relatives à l'ozone stratosphérique

Au-dessus de l'Amérique du Nord, les concentrations totales d'ozone stratosphérique ont commencé à baisser en 1965, pour atteindre leur niveau le plus bas en 1993. Depuis, la couche d'ozone a commencé à se reconstituer, mais à partir de la période 1998-2001, les concentrations globales moyennes étaient encore inférieures de 3 % à celles qu'on avait observées 20 ans auparavant. Depuis 1993, on observe une tendance à la hausse de ces concentrations au-dessus de l'Amérique du Nord, en raison de la diminution des émissions de SACO et de la reconstitution de la couche d'ozone stratosphérique.

Commerce illicite des SACO

La situation est rendue un peu plus complexe par le commerce illicite d'importantes quantités de SACO à l'échelle mondiale. Même si tous les nouveaux CFC sont désormais interdits dans les pays industrialisés, des millions de réfrigérateurs, de climatiseurs d'automobiles et d'autres équipements utilisant des CFC sont encore en service. Il est possible d'assurer l'entretien de cet équipement avec des produits de remplacement, mais ils sont souvent plus coûteux. En outre, l'équipement usagé utilisant des CFC est exporté vers les pays en développement par des pays qui ont éliminé progressivement les CFC. Ces facteurs incitent les gens à

pratiquer le commerce illicite des SACO, dont on estime qu'il représente entre 10 et 20 % du commerce légitime à l'échelle planétaire. En raison des problèmes liés au commerce licite d'équipement et au commerce illicite de SACO, il pourrait être plus difficile de faire des progrès vers l'élimination ultime des SACO dans le monde entier.

Quels sont les liens avec d'autres enjeux environnementaux en Amérique du Nord?

L'appauvrissement de l'ozone stratosphérique est étroitement lié à d'autres enjeux environnementaux clés en Amérique du Nord – principalement le changement climatique et la santé des écosystèmes terrestres et aquatiques.

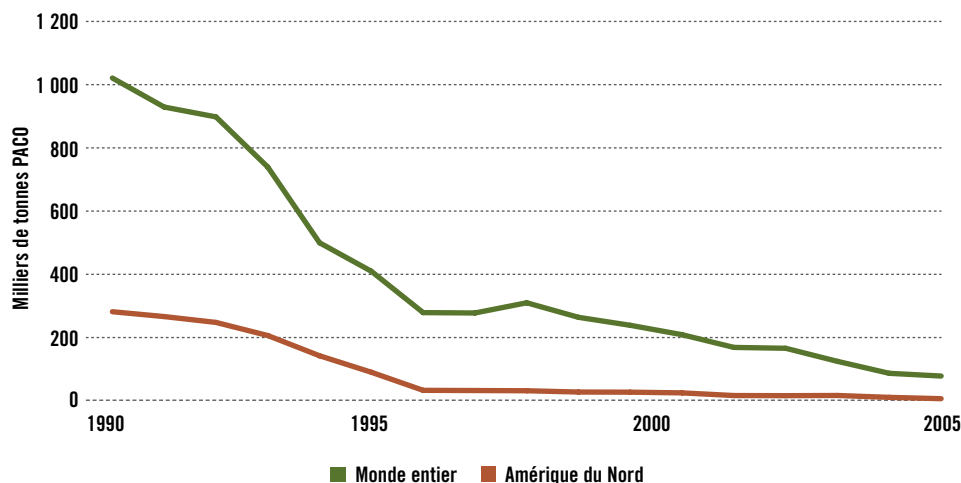
Changements climatiques

À l'origine, on pensait que l'appauvrissement de la couche d'ozone et le changement climatique constituaient deux menaces distinctes. Mais récemment, la Commission d'évaluation environnementale chargée du Protocole de Montréal et le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ont affirmé qu'il existait des preuves scientifiques concluantes attestant que l'appauvrissement de la couche d'ozone et le changement climatique sont liés.

Certaines substances chimiques appauvrissant la couche d'ozone (CFC, HCFC et Halon 1301), ainsi que leurs produits de remplacement (HFC et R-14) sont de puissants gaz à effet de serre (GES). L'accumulation de GES, incluant les SACO, intensifie le réchauffement de la basse atmosphère, ce qui entraîne le refroidissement de la stratosphère. Ce refroidissement empêche la formation d'ozone et favorise la formation de trous dans la couche d'ozone au-dessus des régions polaires. Des études ont révélé que, d'ici 20 ans, le changement climatique pourrait supplanter les CFC en tant que principale cause de la perte globale d'ozone.

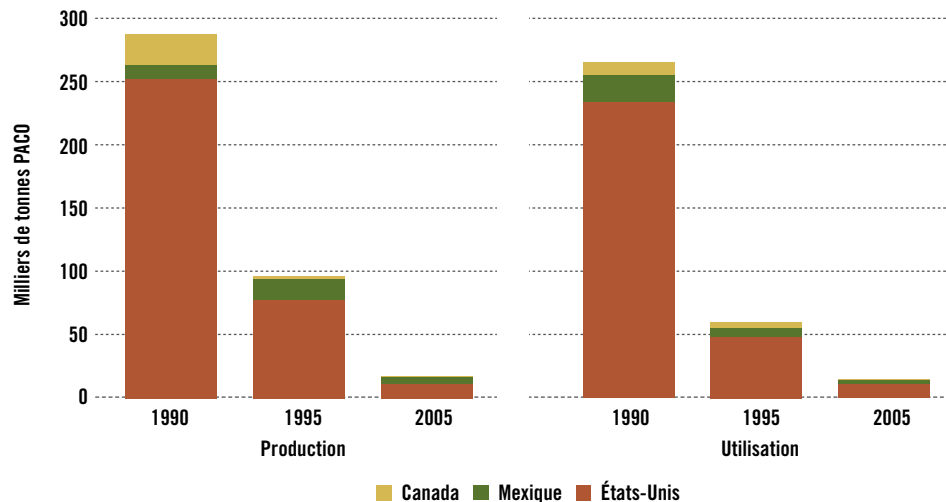
Les efforts déployés à l'échelle mondiale pour éliminer progressivement les substances appauvrissant la couche d'ozone ont profité au climat de la Terre de deux façons. Premièrement, la diminution nette mondiale des émissions de SACO a entraîné une chute des émissions de GES équivalant à plusieurs milliards de tonnes de dioxyde de carbone. Deuxièmement, les réductions nécessaires au respect des obligations internationales ont obligé les pays à moderniser fréquemment leur équipement et à adopter des pratiques énergétiques plus efficaces, ce qui réduit les émissions de GES.

Production totale déclarée de substances appauvrissant la couche d'ozone en Amérique du Nord



PACO = potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone. Source : Programme des Nations Unies pour l'environnement.

Réduction de substances appauvrissant la couche d'ozone en Amérique du Nord



PACO = potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone. Source : Programme des Nations Unies pour l'environnement.

Santé des écosystèmes terrestres et aquatiques

Les liens entre les écosystèmes terrestres et l'augmentation des niveaux de rayonnement UVB résultant de l'appauvrissement de la couche d'ozone sont complexes. Les réactions des plantes et des autres organismes à l'augmentation des rayonnements UV-B dépendent de divers facteurs environnementaux comme le dioxyde de carbone, la disponibilité de l'eau et des substances minérales nutritives, les métaux lourds et la température. Bon nombre de ces facteurs sont également en train de changer avec la modification du climat planétaire.

Des niveaux plus élevés de rayonnement UVB sont néfastes pour les organismes terrestres, incluant les plantes et les microbes. Ils modifient les modèles d'activité génétique et influent sur le déroulement du cycle de vie, et modifient la forme des plantes et la production de phytochimiques qui ne sont pas directement liés au métabolisme primaire. Non seulement les phytochimiques sont-ils importants parce qu'ils protègent les plantes contre les attaques de pathogènes et d'insectes, mais ils influent également sur la qualité de la nourriture des êtres humains et des animaux au pâturage.

Les effets de l'appauvrissement de la couche d'ozone et de l'intensification des rayonnements UV sur les écosystèmes aquatiques sont eux aussi complexes. Une intensification des rayons solaires a des effets néfastes sur la croissance, la photosynthèse, la teneur en protéines et en pigments et la reproduction du phytoplancton, mais aussi sur les zostères marines, qui sont d'importantes productrices de biomasse dans les écosystèmes aquatiques.

Le zooplancton et d'autres organismes aquatiques, dont les oursins, les coraux et les amphibiens, sont eux aussi sensibles aux rayons UV-B. Les écosystèmes marins des régions polaires, où l'augmentation du rayonnement UVB lié à l'ozone est la plus importante, sont probablement les écosystèmes océaniques qui subissent le plus l'incidence de l'appauvrissement de la couche d'ozone.

Il existe par ailleurs un lien important entre les rayons UVB, les écosystèmes aquatiques et le réchauffement planétaire. Lorsque ces écosystèmes sont exposés à un niveau plus élevé de rayonnement UVB, leur capacité à jouer le rôle de puits pour le dioxyde de carbone atmosphérique diminue. 🦋

Étude de cas – Élimination progressive du bromométhane en Amérique du Nord

Le bromométhane (BrM), gaz inodore et incolore hautement toxique, est utilisé en agriculture comme fumigant de sol et de structures afin de lutter contre une grande variété de parasites. Toutefois, parce que le BrM appauvrit la couche d'ozone stratosphérique, le Canada, le Mexique et les États-Unis se sont entendus, en vertu du Protocole de Montréal, pour éliminer progressivement le bromométhane utilisé comme pesticide agricole d'ici 2005 aux États-Unis et au Canada, et d'ici 2015 au Mexique. Cette élimination progressive prévoit une exemption des traitements en quarantaine et des traitements préalables à l'expédition (QTPE), visant à éliminer les parasites en quarantaine, ainsi que l'exemption pour utilisation essentielle, conçue pour les agriculteurs qui n'ont pas d'autres solutions techniquement ou économiquement viables.

Les États-Unis fabriquent du BrM et en exportent vers le Canada et le Mexique, car aucun de ces deux pays n'en produit. Dans les trois pays, on utilise le BrM pour les cultures comme les fraises, le tabac, les asperges, les fleurs, les pommes de terre, les tomates, les poivrons et les concombres.

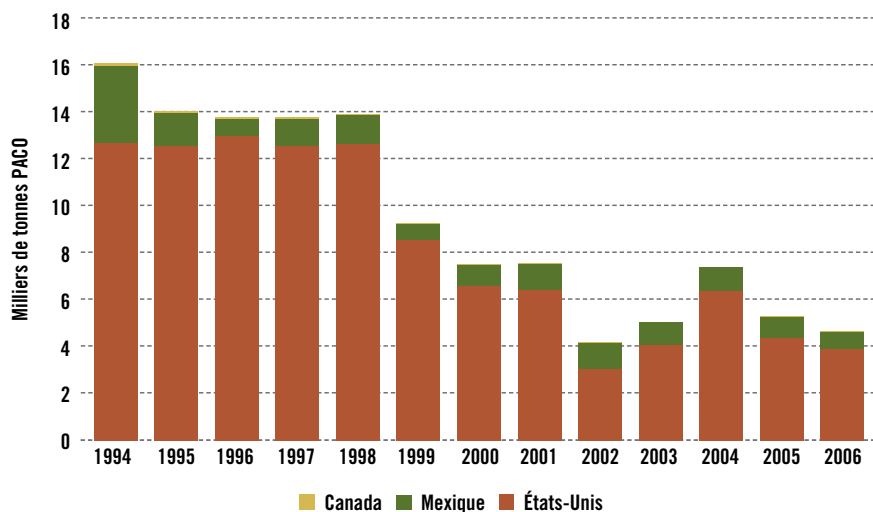
La concurrence entre producteurs agricoles pour l'application des différents calendriers d'élimination des trois pays a eu une incidence sur la façon dont le Canada, le Mexique et les États-Unis mettent progressivement un terme à l'utilisation de BrM (le graphique illustre la consommation de BrM des trois pays entre 1994 et 2006).

Le BrM utilisé au Canada (25 tonnes PACO en 2006) représente moins de 1 % de l'utilisation mondiale de BrM. L'interdiction qui vise le BrM s'accompagne de la promotion de technologies de remplacement, qui mettent l'accent sur la gestion intégrée des parasites. Le Canada a demandé un petit nombre d'exemptions pour utilisation essentielle pour la production de plantules de fraises et la fumigation des minoteries et des usines de fabrication de pâtes.

Avec une consommation qui représente environ 7 % du total mondial, le Mexique a le droit d'adopter une approche flexible à titre de pays en développement, en vertu du Protocole de Montréal. Son taux d'utilisation a atteint un niveau record en 1994, avec 3 253 tonnes PACO, puis est passé à 723 tonnes en 2006. Le Mexique entend réduire son utilisation de BrM en plusieurs étapes.

Les États-Unis, qui demeurent un gros producteur et utilisateur de BrM, ont demandé des exemptions pour le BrM au-delà de la date d'élimination initiale établie en 2005. En 2006, ils ont produit 6 502 tonnes PACO de BrM (55 % du total mondial). La même année, ils ont utilisé 3 885 tonnes PACO de BrM (près de 40 % du total mondial). Malgré ces demandes d'exemption, les États-Unis ont réduit leur production de BrM de plus de 60 % et leur utilisation, de plus de 75 % entre 1991 et 2006.

Utilisation de bromométhane en Amérique du Nord



PACO = potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone. Source : Programme des Nations Unies pour l'environnement.