



**HAL**  
open science

# Resultats du dernier rapport d'évaluation sur l'état de la couche d'ozone

Sophie Godin-Beekmann

► **To cite this version:**

Sophie Godin-Beekmann. Resultats du dernier rapport d'évaluation sur l'état de la couche d'ozone. La Météorologie, 2023, 121, pp.19-21. 10.37053/lameteorologie-2023-0032 . insu-04572200

**HAL Id: insu-04572200**

**<https://insu.hal.science/insu-04572200>**

Submitted on 10 May 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Résultats du dernier rapport d'évaluation sur l'état de la couche d'ozone

Le Protocole de Montréal a fêté ses 35 ans en 2022. Signé le 16 septembre 1987 et salué depuis comme un exemple exceptionnel de coopération internationale pour la protection de l'environnement, ce protocole est devenu le premier traité international sur l'environnement à obtenir une ratification universelle. Il a permis d'enrayer la destruction de la couche d'ozone via la réglementation et l'interdiction des substances appauvrissant l'ozone dans la stratosphère. Ces substances sont pour la plupart des composés halogénés produits par l'industrie chimique, les plus importants étant les chlorofluorocarbures (CFC) contenant du chlore et les halons contenant du brome. Dans le cadre du protocole, un état des connaissances doit être établi tous les 4 ans par trois groupes de travail : le Scientific Assessment Panel, le Technology and Economic Assessment Panel et l'Environmental Effects Assessment Panel. Le dernier rapport d'évaluation du Scientific Assessment Panel est paru à la fin de l'année 2022<sup>1</sup> et les points les plus importants de ce rapport sont résumés ici.

## Évolution des substances appauvrissant la couche d'ozone et de leurs substituts, impact sur le changement climatique

Les mesures prises dans le cadre du Protocole de Montréal ont permis de réduire avec succès les émissions de substances appauvrissant la couche d'ozone (figure 1a). Le contenu total de composés chlorés et bromés provenant de ces substances dans la stratosphère continue de décroître depuis la dernière évaluation de 2018. Les contenus en chlore et en brome ont ainsi diminué de 11,5 et 14,5 % respectivement, entre les maxima observés en 1993 pour le chlore et en 1999 pour le brome, et les valeurs de 2020. Du fait de la longue durée de vie de la plupart de ces substances dans l'atmosphère, la perturbation en composés halogénés dans la stratosphère prendra encore plusieurs décennies avant d'être complètement éliminée (figure 1b).

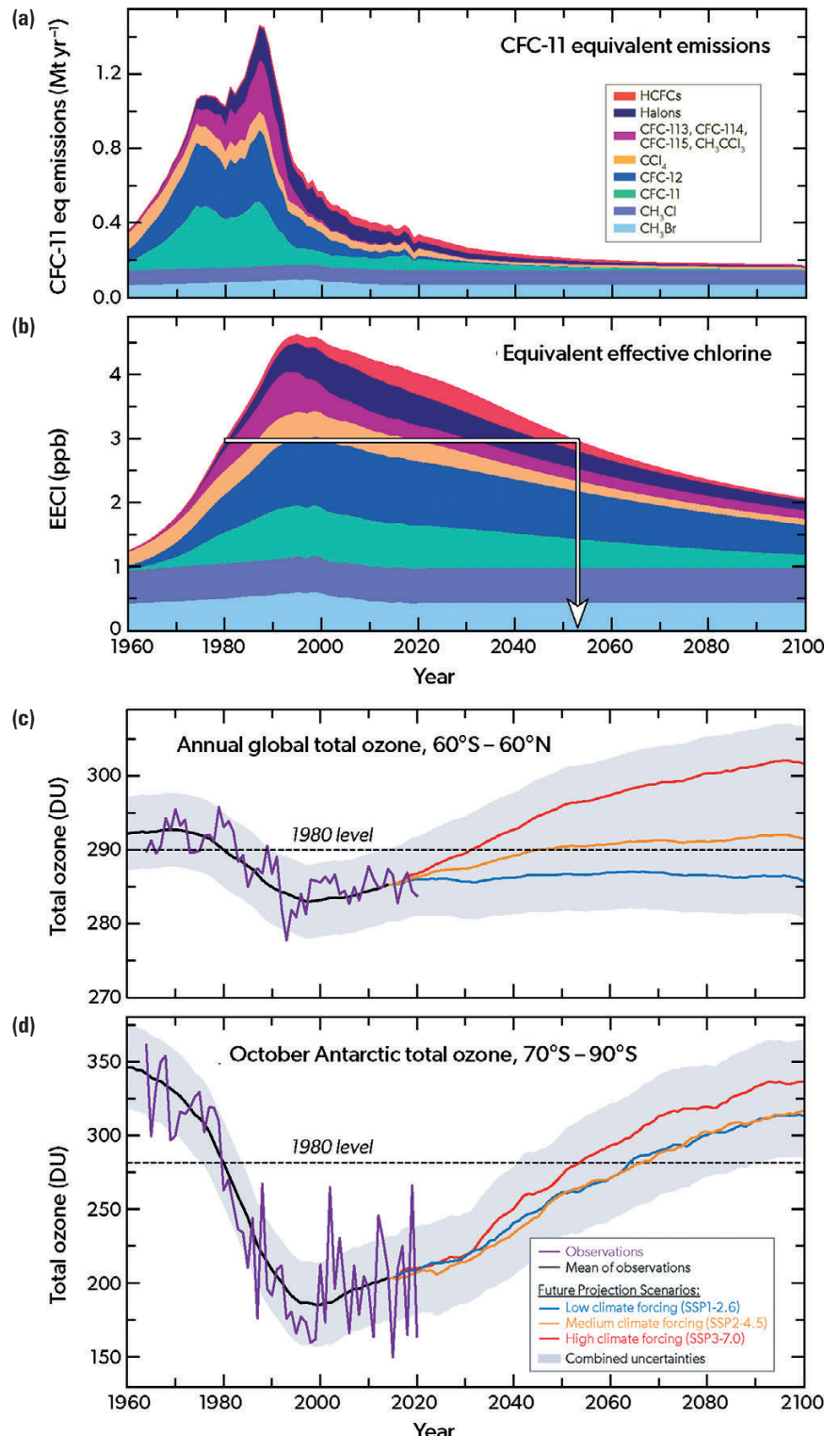


Figure 1. Évolution des substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) et du contenu intégré d'ozone : (a) émissions de *CFC-11-equivalent*, (b) *equivalent effective chlorine* (EECI), (c) contenu intégré d'ozone global (moyenne annuelle entre 60° S et 60° N) et (d) contenu intégré d'ozone en Antarctique (moyenne entre 70° S et 90° S) en octobre. Les émissions de *CFC-11-equivalent* sont calculées à partir de l'évolution des émissions de SAO indiquées dans la légende pondérées par leur potentiel de destruction de l'ozone. L'évolution d'EECI est obtenue à partir des abondances passées et futures des SAO (conformes au protocole de Montréal) pondérées par leur durée de vie atmosphérique. Les lignes de couleurs représentent les simulations de modèles de chimie-climat fondées sur différents scénarios de forçage climatique. Les zones grisées indiquent les incertitudes des simulations (écart type à 1  $\sigma$  autour de la moyenne multi-modèles). La flèche blanche du panneau (b) indique le retour aux valeurs observées en 1980.

1. World Meteorological Organization (WMO), 2022. Executive Summary. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022, GAW Report No. 278, 56 p., Genève.

À la suite de la découverte d'un ralentissement inattendu de la baisse en contenu de CFC-11 (une des principales substances appauvrissant la couche d'ozone) et des actions entreprises au niveau du Protocole de Montréal, les émissions de ce gaz ont diminué après 2018, retombant à  $45 \pm 10$  Gg après 2019. Cette baisse suggère l'élimination de la plupart des émissions illégales survenues après 2012. Les observations de substances appauvrissant la couche d'ozone à l'échelle mondiale ont montré qu'une grande partie de ces émissions provenait de l'est de la Chine. Il est à noter que le réseau actuel de surveillance de ces gaz ne permet pas de détecter d'éventuelles infractions au Protocole de Montréal dans toutes les régions du monde.

Les substances appauvrissant la couche d'ozone étant de puissants gaz à effet de serre, le Protocole de Montréal a joué un rôle important dans la diminution d'émissions de gaz à effet de serre. Des études précédentes avaient montré que le Protocole de Montréal a été cinq fois plus efficace que le Protocole de Kyoto dans la diminution de ces émissions. De nouvelles études confirment que la diminution des émissions de substances appauvrissant la couche d'ozone due au respect du Protocole de Montréal a permis d'éviter un réchauffement planétaire de  $0,5$  à  $1$  °C d'ici le milieu du siècle, par rapport à un scénario extrême prévoyant une augmentation incontrôlée des substances appauvrissant la couche d'ozone de  $3$  à  $3,5$  % par an. Les hydrofluorocarbures (HFC), substitués de deuxième génération des CFC et non nocifs pour l'ozone sont aussi de puissants gaz à effet de serre. Le respect de l'amendement de Kigali de 2016 au Protocole de Montréal, qui prévoit la réduction progressive de la production des HFC à fort pouvoir de réchauffement global permettra d'éviter un réchauffement de  $0,3$  à  $0,5$  °C d'ici à 2100.

## Évolution de la couche d'ozone et impacts sur le climat

Grâce au Protocole de Montréal et à ses amendements, la couche d'ozone se reconstitue lentement. Les signes les plus marqués de la reconstitution de l'ozone sont observés dans la haute stratosphère et dans la basse stratosphère antarctique au printemps austral où se forme habituellement le trou dans la couche d'ozone. Dans la première région, l'augmentation de l'ozone est de  $1,5$  à

$2,2$  % par décennie aux moyennes latitudes et de  $1$  à  $1,5$  % par décennie aux tropiques. Cette augmentation est due pour moitié à la baisse en concentration de substances appauvrissant la couche d'ozone et pour l'autre moitié au refroidissement de la stratosphère induit par le changement climatique, qui ralentit les réactions de destruction de l'ozone. En Antarctique, les études les plus récentes confirment la réduction en taille et en intensité du trou dans la couche d'ozone, particulièrement pendant le mois de septembre, période au cours de laquelle l'ozone est le plus sensible à la diminution de substances appauvrissant la couche d'ozone, et les incertitudes sur les tendances les plus faibles. L'augmentation depuis 2000 du contenu total d'ozone à l'intérieur du vortex polaire est ainsi de  $12,0 \pm 5,7$  % ( $2\sigma$ ) par décennie en septembre et de seulement  $0,1 \pm 6,8$  % ( $2\sigma$ ) par décennie en octobre, mois caractérisé par une variabilité plus importante du vortex polaire d'une année sur l'autre. Il est à noter que les trous dans la couche d'ozone de 2019 à 2021 ont été particulièrement remarquables, avec une réduction importante en 2019 due à un réchauffement stratosphérique soudain et a contrario des destructions d'ozone très importantes en 2020 et 2021 (figure 1d).

Dans les autres régions de la stratosphère, la reconstitution de la couche d'ozone est plus difficile à détecter du fait de la variabilité naturelle. En Arctique, par exemple, le vortex polaire hivernal est beaucoup plus variable et chaud qu'en Antarctique. Une destruction importante d'ozone ne se produit que quand le vortex est stable au mois de mars et les températures très basses pendant l'hiver, ce qui a été observé au printemps 2011 et plus récemment en 2020. Aux latitudes extra-polaires ( $60^\circ$  S- $60^\circ$  N), l'analyse des mesures au sol et satellitaires fait état d'une augmentation du contenu intégré d'ozone de  $0,3 \pm 0,3$  % ( $2\sigma$ ) par décennie entre 1996 et 2020 (figure 1c). Cette évolution est comparable aux simulations par les modèles et compatible avec la compréhension des processus contrôlant l'évolution de l'ozone.

Les éruptions volcaniques épisodiques et, plus récemment, les feux de forêt intenses peuvent augmenter considérablement le contenu en aérosols dans la stratosphère et donc perturber l'ozone tant que le contenu en substances appauvrissant la couche d'ozone reste élevé. Les effets sur l'ozone des feux de forêt australiens de la fin 2019 et début 2020, et de l'éruption volcanique de l'Hunga Tonga-Hunga Ha'apai de

janvier 2022, qui a injecté des quantités très importantes de vapeur d'eau dans la stratosphère, font l'objet d'intenses recherches. Par ailleurs, l'attribution des tendances du contenu intégré d'ozone en dehors des régions polaires nécessite une bonne compréhension de l'évolution de l'ozone troposphérique. Il a été montré que l'augmentation de l'ozone dans la troposphère tropicale a compensé la diminution de l'ozone dans la basse stratosphère, ce qui s'est traduit par des tendances quasi nulles du contenu intégré d'ozone dans cette région.

Les nouvelles estimations des années de retour du contenu intégré d'ozone aux valeurs observées au début des années 1980, avant l'apparition du trou dans la couche d'ozone, montrent généralement des valeurs comparables aux estimations précédentes. Ces années de retour varient en fonction des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Pour le scénario intermédiaire (SSP2-4.5), l'année de retour est estimée à 2040 pour l'ozone moyenné entre  $60^\circ$  S et  $60^\circ$  N, et respectivement à 2035 et 2045 pour l'ozone aux moyennes latitudes de l'hémisphère Nord et de l'hémisphère Sud respectivement (figure 1c). En Antarctique, le trou dans la couche d'ozone devrait se refermer plus lentement, autour de 2065. Les simulations montrent pour la première fois une sensibilité de l'ozone polaire antarctique au scénario climatique, avec une année de retour avancée de 10 à 15 ans dans le cas du forçage climatique le plus élevé par rapport aux autres scénarios (figure 1d).

L'apparition et le creusement du trou dans la couche d'ozone en Antarctique ont eu un impact important sur la circulation atmosphérique dans l'hémisphère Sud, se traduisant par une extension vers le pôle de la cellule de Hadley et un déplacement également vers le pôle du *jet* troposphérique. L'augmentation de l'ozone au printemps polaire en Antarctique depuis 2000 a un effet inverse sur cette circulation. Les simulations climatiques suggèrent qu'à l'avenir la reconstitution de l'ozone et l'augmentation des gaz à effet de serre seront les principaux moteurs des changements climatiques dans l'hémisphère Sud. L'importance relative de la reconstitution de l'ozone pour le climat futur dans cet hémisphère dépendra de l'ampleur des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Les incertitudes les plus importantes concernant l'évolution de la couche d'ozone au XXI<sup>e</sup> siècle sont liées aux effets de l'augmentation des



concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, d'oxyde nitreux et de méthane, à l'évolution de la circulation méridienne dans la stratosphère (circulation de Brewer-Dobson) liée au changement climatique, à l'impact des feux de forêt et des éruptions volcaniques sur le contenu en aérosols dans la stratosphère, ainsi qu'à l'augmentation éventuelle de la fréquence des lancements de fusées civiles et l'utilisation de systèmes utilisant de nouveaux ergols, par exemple, l'hydrogène et le méthane.

Enfin, pour la première fois, l'impact sur la couche d'ozone de l'injection d'aérosols dans la stratosphère, méthode de géo-ingénierie solaire proposée pour limiter le réchauffement climatique, a été évalué dans ce rapport. Des conséquences potentielles importantes ont été identifiées, telles qu'une aggravation du trou dans la couche d'ozone antarctique caractérisée par une diminution de l'ozone de l'ordre de 55 DU (unités Dobson) dans le vortex polaire pour le scénario

de géo-ingénierie le plus agressif et un retard de 25 à 50 ans dans la disparition du trou dans la couche d'ozone. Il est à noter que de nombreuses lacunes dans les connaissances sur l'impact des aérosols stratosphériques sur l'ozone et sur le climat de façon plus générale empêchent une évaluation plus solide à l'heure actuelle.

**Sophie Godin-Beekmann**  
Latmos, Paris

## Médaille d'argent du CNRS pour Mehrez Zribi

Mehrez Zribi, directeur de recherche CNRS au Centre d'études spatiales de la biosphère (Cesbio), à Toulouse, est un spécialiste internationalement reconnu de la télédétection des propriétés des surfaces continentales par télédétection spatiale radar. Ses travaux de recherche ont permis d'améliorer considérablement la compréhension des signaux hyperfréquences sous l'effet de la rugosité, de l'humidité du sol et du couvert végétal. Ces travaux ont mené au développement de nombreuses méthodes et produits d'humidité du sol qui ont été validés dans différentes régions climatiques contrastées (France, Méditerranée, Afrique de l'Ouest, zones tropicales, zones arides). Mehrez Zribi

s'attache aussi au développement de nouveaux instruments, en particulier aéroportés, en préparation aux missions spatiales telles que Smos. Mehrez Zribi contribue enfin à la démocratisation de l'utilisation du spatial sur des sujets à forts enjeux tels que le suivi des ressources en eau et des usages agricoles, et le suivi des sécheresses agronomiques, avec des recherches plus finalisées qui ont mené au développement de plateformes à destination des gestionnaires de la ressource en eau. La médaille d'argent 2023 de Mehrez Zribi récompense également la communauté toulousaine de la télédétection et de l'instrumentation spatiale dont l'excellence est reconnue à l'international.



Mehrez Zribi, médaillé d'argent 2023 du CNRS.



## Découvrez la nouvelle version électronique de la revue *La Météorologie* sur lameteorologie.fr

- ✓ Nouveaux numéros dès leur parution
- ✓ Accès à tous les numéros depuis 1993
- ✓ Haute qualité graphique
- ✓ Utilisation facile et intuitive
- ✓ Recherche par mots clés
- ✓ Répertoire des articles



Abonnez-vous sur [meteoetclimat.fr](https://meteoetclimat.fr)