

**Protocole de Montréal  
relatif à des substances  
qui appauvrissent  
la couche d'ozone**

Distr. générale  
8 juin 2023

Français  
Original : anglais

---

**Trente-cinquième Réunion des Parties au  
Protocole de Montréal relatif à des substances  
qui appauvrissent la couche d'ozone**  
Nairobi, 23–27 octobre 2023  
Point 3 de l'ordre du jour du segment de haut niveau\*

**Exposés synthétiques des groupes d'évaluation  
sur leurs évaluations quadriennales de 2022**

**Synthèse des rapports d'évaluation de 2022 du Groupe  
de l'évaluation scientifique, du Groupe de l'évaluation des effets  
sur l'environnement et du Groupe de l'évaluation technique  
et économique**

**Note du Secrétariat**

1. La présente note contient en annexe un rapport de synthèse exposant les principales conclusions des trois rapports d'évaluation quadriennaux de 2022 ci-après, qui ont été élaborés conformément à l'article 6 du Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone :

a) *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022 (Évaluation scientifique de l'appauvrissement de la couche d'ozone de 2022)*, élaborée par le Groupe de l'évaluation scientifique ;

b) *Environmental Effects of Stratospheric Ozone Depletion, UV Radiation, and Interactions with Climate Change: 2022 Assessment Report (Rapport d'évaluation des effets sur l'environnement de l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, du rayonnement UV et des interactions avec les changements climatiques de 2022)*, élaboré par le Groupe de l'évaluation des effets sur l'environnement ;

c) *Technology and Economic Assessment Panel: 2022 Assessment Report (Rapport d'évaluation du Groupe de l'évaluation technique et économique de 2022)*, élaboré par le Groupe de l'évaluation technique et économique.

2. Le rapport de synthèse a été élaboré par les coprésidents des groupes d'évaluation. Les différents rapports d'évaluation sont publiés sur les portails des groupes correspondants, sur le site Web du Secrétariat de l'ozone<sup>1</sup> et sur le portail de la quarante-cinquième réunion du Groupe de travail à composition non limitée des Parties au Protocole de Montréal<sup>2</sup>, pour examen par les Parties. Le Secrétariat souhaiterait exprimer ses sincères remerciements aux trois groupes d'évaluation pour leurs travaux.

---

\* UNEP/OzL.Pro.35/1.

<sup>1</sup> <https://ozone.unep.org/science/assessment/sap> ; <https://ozone.unep.org/science/assessment/eeap> ;  
<https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>.

<sup>2</sup> <https://ozone.unep.org/meetings/45th-meeting-open-ended-working-group-parties/pre-session-documents>.

## Annexe

# Synthèse des rapports d'évaluation de 2022 du Groupe de l'évaluation scientifique, du Groupe de l'évaluation des effets sur l'environnement et du Groupe de l'évaluation technique et économique

## *Coprésidents des groupes d'évaluation*

### Groupe de l'évaluation scientifique

David W. Fahey, Laboratoire de recherche sur le système terrestre de la National Oceanic and Atmospheric Administration, Division des sciences chimiques, États-Unis d'Amérique  
 Paul A. Newman, Centre de vol spatial Goddard de la National Aeronautics and Space Administration, États-Unis d'Amérique  
 John A. Pyle, Université de Cambridge, Centre national des sciences de l'atmosphère, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord  
 Bonfils Safari, Université du Rwanda, Faculté des sciences et des technologies, Rwanda

### Groupe de l'évaluation des effets sur l'environnement

Paul Barnes, Université Loyola de La Nouvelle-Orléans, États-Unis d'Amérique

Janet F. Bornman, Université Murdoch, Recherche, éducation et formation sur l'agriculture résistante aux changements climatiques, Institut de prospective alimentaire, Australie  
 Krishna K. Pandey, Institut des sciences et technologies du bois, Inde

### Groupe de l'évaluation technique et économique

Bella A. Maranion, Agence de protection de l'environnement des États-Unis, États-Unis d'Amérique  
 Marta Pizano, experte indépendante, Colombie  
 Ashley Woodcock, Université de Manchester, National Health Service Foundation Trust, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord

## I. Introduction

1. Le Groupe de l'évaluation scientifique, le Groupe de l'évaluation des effets sur l'environnement et le Groupe de l'évaluation technique et économique sont chargés de fournir des évaluations périodiques dans leurs domaines d'expertise aux Parties au Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Le présent rapport contient une synthèse de haut niveau des rapports d'évaluation de 2022 des trois groupes. Les questions scientifiques et techniques relatives au Protocole de Montréal ainsi que les avantages climatiques et environnementaux de ce dernier sont mis en évidence dans le présent rapport et examinés en détail dans les différents rapports d'évaluation de ces groupes :

Groupe de l'évaluation scientifique  
<https://ozone.unep.org/science/assessment/sap>

Groupe de l'évaluation des effets sur l'environnement  
<https://ozone.unep.org/science/assessment/eeap>

Groupe de l'évaluation technique et économique  
<https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>

2. Le présent rapport fournit des informations actualisées mettant en évidence le fait que le Protocole de Montréal a réussi à limiter l'augmentation des concentrations atmosphériques de substances qui appauvrissent la couche d'ozone (SAO) et d'hydrofluorocarbones (HFC), permettant ainsi d'atténuer l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, d'éviter des contributions supplémentaires aux changements climatiques et de protéger l'environnement. Il apparaît de plus en plus clairement que ces mesures entraînent une reconstitution de la couche d'ozone, en particulier dans la stratosphère supérieure et au-dessus de la région de l'Antarctique. Grâce à la mise en œuvre de l'Amendement de Kigali au Protocole de Montréal adopté en 2016 visant à éliminer progressivement

les HFC, une part importante du réchauffement climatique futur sera évitée, s'ajoutant à celle évitée du fait de la diminution de la production et de la consommation de SAO dans le cadre du Protocole.

3. Des incidences considérables sur la santé humaine et l'environnement causées par l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique et les augmentations du rayonnement ultraviolet (UV) qui en découlent ont été évitées grâce au Protocole de Montréal. Dans la mesure où une reconstitution complète de la couche d'ozone prendra plusieurs décennies, une surveillance à long terme des SAO, des HFC, de l'ozone et du rayonnement UV continue d'être essentielle.

## II. Principales conclusions

### A. Les mesures prises dans le cadre du Protocole de Montréal ont continué à faire baisser les concentrations atmosphériques des substances appauvrissant la couche d'ozone réglementées et favorisé la reconstitution de la couche d'ozone stratosphérique

4. Les concentrations troposphériques de chlore total et de brome total, qui sont dues à des SAO à longue durée de vie, ont baissé depuis l'évaluation quadriennale de 2018. Les taux observés de diminution du chlore troposphérique et du brome troposphérique dans les substances réglementées par le Protocole de Montréal étaient de  $15,4 \pm 4,1$  ppt Cl an<sup>-1</sup> et  $0,18 \pm 0,05$  ppt Br an<sup>-1</sup>, respectivement, proches de ceux du scénario de référence de l'évaluation de 2018. Le chlore troposphérique de gaz à très courte durée de vie, dont les sources sont principalement anthropiques et qui ne sont pas réglementés par le Protocole de Montréal, a augmenté de  $2,1 \pm 0,6$  ppt Cl an<sup>-1</sup>.

5. Les progrès concernant l'élimination des SAO se poursuivent dans tous les secteurs (résidentiel, commercial, industriel, agricole, médical et militaire), la production et la consommation de SAO ayant déjà été éliminées de nombreuses applications dans le monde entier.

- L'élimination de la consommation et de la production du hydrochlorofluorocarbone (HCFC)-22 est quasiment achevée dans les Parties non visées à l'article 5 et elle progresse dans les Parties visées à cet article.
- Des progrès significatifs ont été accomplis pour éliminer l'utilisation des HCFC dans les mousses. Il existe à présent des agents gonflants de remplacement disponibles dans le commerce pour quasiment toutes les applications de mousses.
- L'élimination des utilisations réglementées du bromure de méthyle est quasiment achevée, mais il subsiste d'importantes utilisations pour la quarantaine et les traitements préalables à l'expédition, celles-ci n'étant actuellement pas réglementées par le Protocole de Montréal. Néanmoins, des solutions de remplacement ont été recensées et sont utilisées dans un certain nombre de pays pour une bonne partie de ces utilisations.
- L'élimination des substances réglementées dans les utilisations relative à la stérilisation est considérée comme achevée. Des solutions de remplacement techniquement et économiquement réalisables sont disponibles dans le commerce pour l'ensemble des utilisations d'aérosols, mais toutes les solutions de remplacement ne conviennent pas à toutes les applications dans tous les lieux.
- Des réfrigérants de remplacement à faible potentiel de réchauffement global (PRG) sont disponibles pour l'ensemble des applications de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur, qui représentent la majorité des émissions de HCFC et de HFC. Ces solutions de remplacement sont largement utilisées dans certaines applications et régions, mais l'accessibilité constitue encore une entrave majeure à l'adoption à grande échelle de réfrigérants à faible PRG ainsi qu'aux progrès en vue de la réalisation des objectifs fixés dans les calendriers de réduction progressive de l'Amendement de Kigali.

6. Les preuves de la reconstitution de la couche d'ozone concordant avec les diminutions des concentrations de SAO se sont renforcées.

- La colonne totale d'ozone dans l'Antarctique continue de se reconstituer, malgré une importante variabilité interannuelle au niveau de la taille, de la profondeur et de la durée du trou d'ozone, qui est engendrée par une variabilité interannuelle des conditions météorologiques.

- En-dehors de la région de l'Antarctique (de 90°N à 60°S), les preuves limitées de la reconstitution de la colonne totale d'ozone depuis 1996 sont peu fiables.
  - La colonne totale d'ozone devrait retrouver les valeurs de 1980 aux alentours de 2066 en Antarctique, aux alentours de 2045 en Arctique et aux alentours de 2040 pour la moyenne du reste du monde (60°N–60°S).
7. Les tendances dans l'ozone stratosphérique varient selon l'altitude et la région géographique.
- En-dehors des régions polaires, tant les observations que les études de modélisation confirment que l'ozone présent dans la haute stratosphère continue à se reconstituer.
  - En revanche, dans la basse stratosphère, l'ozone n'a pas encore montré de signes de reconstitution.
  - Les modèles de simulation montrent un léger rétablissement de l'ozone dans la basse stratosphère aux latitudes moyennes dans les deux hémisphères, ce qui n'apparaît pas dans les observations. Il est indispensable de résoudre ces divergences pour bien comprendre la reconstitution de la couche d'ozone.
8. À l'heure actuelle, il n'existe pas de données publiées prouvant que les confinements liés à la pandémie de maladie à coronavirus (COVID-19) ont eu une influence sur les concentrations atmosphériques de SAO ou de leurs solutions de remplacement, ou sur l'ozone stratosphérique. Il semble que des pénuries d'approvisionnement de solutions de remplacement à faible PRG sont apparues dans certains secteurs en 2020 en raison de perturbations des chaînes d'approvisionnement et logistiques liées à la pandémie de COVID-19, de pénuries de matières premières, de problèmes de fabrication et d'aléas météorologiques, coïncidant avec une augmentation de la demande mondiale. Ces problèmes d'approvisionnement sont à présent moins graves mais devront faire l'objet d'une surveillance attentive, des pénuries prolongées dans l'approvisionnement pouvant retarder l'abandon des HFC dans les différents secteurs d'utilisation.

## **B. Le Protocole de Montréal contribue à la durabilité environnementale ainsi qu'à la santé et au bien-être des êtres humains, dans le sens de nombreux objectifs de développement durable**

9. Le Protocole de Montréal continue de participer à la réalisation d'un grand nombre des objectifs de développement durable en protégeant la couche d'ozone stratosphérique et en contribuant à l'atténuation des changements climatiques. Les objectifs correspondants concernent les changements climatiques, la qualité de l'air et de l'eau, la diversité biologique et les écosystèmes, les modes de production et de consommation durables, la sécurité alimentaire, les contaminants et les matériaux ainsi que la santé humaine. Ainsi, le Protocole de Montréal revêt une importance très large pour la durabilité en protégeant la santé humaine et en maintenant des écosystèmes sains et diversifiés sur terre et dans l'eau.

10. Sans le Protocole de Montréal, l'intensité du rayonnement solaire ultraviolet B (UV-B) de surface aurait augmenté dans le monde entier et les changements les plus importants seraient apparus dans les régions polaires (par exemple, l'indice UV de l'Antarctique en milieu d'été serait passé de 3 à 33 entre 1975 et 2065). En outre, une étude de modélisation présentant un scénario extrême a estimé que l'impact d'augmentations importantes du rayonnement UV-B sur la végétation terrestre dans un monde sans Protocole de Montréal aurait réduit de façon drastique l'assimilation photosynthétique du dioxyde de carbone par les plantes. Cette diminution de la séquestration de carbone aurait provoqué une augmentation des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, entraînant une hausse supplémentaire de la température mondiale moyenne en surface de 0,5 à 1 °C d'ici 2100.

11. En préservant la Terre du rayonnement UV-B extrême, le Protocole de Montréal joue un rôle clef dans la protection de la santé humaine. Une étude de modélisation a réalisé une comparaison entre le Protocole de Montréal, tel qu'amendé et ajusté, et le scénario extrême d'émissions de SAO non réglementées augmentant à un taux de 3 % par an tout au long du XXI<sup>e</sup> siècle. Selon les estimations de l'analyse, le Protocole de Montréal aura permis d'éviter 11 millions de cas de mélanomes, 432 millions de cas d'épithéliomas basocellulaires et spinocellulaires (cancers de la peau à kératinocytes) et 63 millions de cas de cataractes (la principale cause de cécité au niveau mondial) chez les personnes nées entre 1890 et 2100 aux États-Unis. Environ la moitié de ces cas sont évités grâce aux amendements et aux ajustements apportés au Protocole de Montréal original datant de 1987. Le Protocole de Montréal a également permis de continuer à bénéficier des effets positifs sur la santé

(par exemple, production de vitamine D et renforcement du système immunitaire) d'une exposition modérée à la lumière du soleil en passant du temps à l'extérieur.

12. Le rayonnement solaire UV entraîne la photodégradation des plastiques, aboutissant à leur fragmentation et à la formation de microplastiques et de nanoplastiques (particules de moins de 5 mm et de 0,1 µm de diamètre, respectivement). La mise en œuvre du Protocole de Montréal a probablement évité une augmentation de la production de microplastiques dans l'environnement, mais l'ampleur de cette réduction et ses conséquences biologiques restent incertaines.

### **C. La baisse importante des émissions de HFC prévue dans les dispositions de l'Amendement de Kigali protégera considérablement le climat à l'avenir**

13. Les HFC sont de plus en plus utilisés comme solutions de remplacement pour les SAO dans les secteurs de la réfrigération et de la climatisation, des aérosols et des mousses, et comme agents extincteurs. S'ils ne contiennent pas de chlore ou de brome appauvrissant la couche d'ozone, il s'agit néanmoins de gaz à effet de serre. L'Amendement de Kigali, qui a été adopté en 2016 et est entré en vigueur en 2019, établit des calendriers pour l'élimination progressive de la production et de la consommation de certains HFC au niveau mondial. Même si le forçage radiatif des HFC est actuellement faible, l'Amendement de Kigali vise à éviter un accroissement non contrôlé des émissions et le réchauffement connexe qui aurait résulté des augmentations de la demande prévues au cours des décennies à venir.

14. Les concentrations atmosphériques de la plupart des HFC faisant actuellement l'objet de mesures continuent d'augmenter, comme prévu dans le scénario de référence de l'évaluation de 2018. Les émissions mondiales de HFC, qui proviennent de Parties visées à l'article 5 ainsi que de Parties non visées à cet article, ont augmenté de 18 % entre 2016 et 2020 en équivalent dioxyde de carbone (éqCO<sub>2</sub>).

15. Les émissions de HFC actuellement prévues sont inférieures à celles prévues dans l'évaluation de 2018. Le total cumulé des émissions pour la période 2020–2050 dans le scénario actualisé de 2022 de l'Amendement de Kigali est de 14 à 18 Pg éqCO<sub>2</sub> inférieur à celui du scénario correspondant dans l'évaluation précédente. Le nouveau scénario fait suite à des réglementations nationales concernant la consommation et la production de HFC dans des Parties non visées à l'article 5, fait apparaître une consommation inférieure indiquée par la Chine, est fondé sur des informations historiques actualisées sur l'utilisation des HFC dans les Parties non visées à l'article 5, utilise comme contrainte des rapports de mélange observés jusqu'à la fin de l'année 2020 et repose sur des hypothèses concernant l'utilisation réduite de HFC pour la réfrigération commerciale et industrielle. Le nouveau scénario suppose également que tous les pays respectent les dispositions de l'Amendement de Kigali.

16. Le réchauffement annuel moyen en surface dû aux HFC devrait s'élever à 0,04 °C en 2100 dans le cadre du scénario actualisé de 2022 de l'Amendement de Kigali, en comparaison avec les 0,3 à 0,5 °C en l'absence de mesures de réglementation. Une élimination des HFC plus rapide que celle requise par l'Amendement de Kigali réduirait encore les changements climatiques liés aux HFC.

17. Les émissions mondiales de HFC-23 de  $17,2 \pm 0,8$  kt an<sup>-1</sup> en 2019, telles qu'établies sur la base d'observations atmosphériques, sont nettement supérieures aux émissions de 2,2 kt an<sup>-1</sup> pour cette année résultant d'estimations fondées sur les activités. Ces estimations fondées sur les activités ont été calculées sur la base de rapports sur les émissions établis au titre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, d'informations sur la production et les mesures de réduction des émissions transmises dans le cadre du Protocole de Montréal et de l'effet estimé des réglementations nationales. Les concentrations atmosphériques de HFC-23 ne concordent pas avec le renforcement important des mesures de réduction des émissions notifiées au secrétariat de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

18. Les émissions de HFC-23 devraient augmenter dans les décennies à venir. Le HFC-23 est émis en tant que sous-produit de la production de HCFC-22 et d'autres procédés. Parmi ces autres procédés figurent la production de HFC-32, la fabrication de tétrafluoroéthylène (TFE) et de hexafluoropropylène (HFP) à partir de HCFC-22, les procédés de production d'autres fluorocarbones (par exemple, HFC-125, HFC-134a et HFC-143a) ainsi que certaines étapes de la production de hydrofluoroléfine (HFO).

19. L'élimination progressive des HFC prévue par l'Amendement de Kigali ainsi que les réglementations régionales orientent le secteur industriel vers des solutions de remplacement à faible PRG et des applications innovantes, en particulier pour la réfrigération, la climatisation et les mousses. Toutefois, la gamme des nouveaux produits à plus faible PRG complexifie le choix de la meilleure

solution pour chaque application, compte tenue de facteurs tels que l'inflammabilité, la toxicité, la disponibilité, le coût, l'accessibilité et les conditions d'utilisation.

20. L'acide trifluoroacétique (TFA) résulte de la décomposition dans l'atmosphère de certains HFC, HCFC, HFO, hydrochlorofluorooléfines (HCFO) et fluorocétones. Le TFA formé dans l'atmosphère se dépose rapidement par précipitation et, lorsqu'il atteint une surface (sol ou eau), forme des sels avec des métaux alcalins (par exemple, sodium, potassium, calcium). Les sels de TFA sont non réactifs et possèdent de longues durées de vie dans l'environnement mais sont facilement excrétés par les animaux et ne se bioaccumulent donc pas dans la chaîne alimentaire. Comme d'autres sels minéraux, les sels de TFA s'accumulent dans les océans et les lacs salés. La formation de TFA dans l'atmosphère devrait s'accroître au cours des décennies à venir en raison de l'augmentation de l'utilisation des HFO et des HCFO. On continue de trouver du TFA dans l'environnement, y compris dans des régions éloignées, mais les concentrations sont si faibles que des conséquences toxicologiques néfastes pour les êtres humains et les écosystèmes sont, à l'heure actuelle, jugées très peu probables. Néanmoins, il est conseillé de poursuivre la surveillance et l'évaluation en raison des incertitudes concernant les dépôts localisés de TFA et leurs effets potentiels sur certains organismes marins n'ayant pas fait l'objet d'analyses.

#### **D. L'amélioration de l'efficacité énergétique durant l'élimination progressive des HFC peut accélérer et accroître encore les avantages climatiques apportés par l'Amendement de Kigali**

21. La demande mondiale pour la réfrigération et la climatisation est en augmentation rapide. L'amélioration de l'efficacité énergétique des nouveaux équipements de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur en parallèle avec l'élimination progressive des HFC pourrait permettre de réduire la consommation d'énergie, doublant potentiellement les avantages climatiques de l'élimination des HFC. Cela pourrait apporter une contribution rentable à court terme sur la voie de la réduction à zéro des émissions nettes de gaz à effet de serre. Une conversion précoce vers des équipements efficaces de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur contenant des solutions de remplacement à faible PRG peut réduire les coûts énergétiques et éviter la constitution de réserves de réfrigérants HFC à fort PRG.

22. Les technologies évoluent et des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur à efficacité énergétique accrue utilisant des réfrigérants à PRG faible ou moyen sont disponibles dans tous les secteurs, mais ne sont pas toujours accessibles dans tous les pays.

#### **E. Les mesures efficaces des Parties ont inversé la tendance à la hausse des émissions inattendues observées entre 2013 et 2017**

23. Si l'évaluation de 2018 du Groupe de l'évaluation scientifique a établi que les émissions mondiales de CFC-11 avaient augmenté de manière inattendue au cours de la période 2013–2017, l'évaluation de 2022 a conclu que les émissions mondiales de CFC-11 ont diminué après 2018. L'augmentation initiale des émissions de CFC-11 a entraîné un certain nombre de recherches scientifiques et de réponses politiques. En conséquence, les émissions de CFC-11 ont diminué pour atteindre  $45 \pm 10$  Gg en 2019 et 2020. Cette diminution laisse supposer l'élimination de la plupart des émissions inattendues apparues au cours des années suivant 2012.

24. Une large part des émissions de CFC-11 inattendues provenaient de l'Est de la Chine. Cette conclusion est fondée sur des observations régionales disponibles de plusieurs sites de l'Asie de l'Est. La baisse des émissions de CFC-11 de l'Est de la Chine depuis 2018 explique  $60 \pm 30$  % de la diminution des émissions observée au niveau mondial. Le réseau mondial des stations d'observation en surface fournit des estimations de la quantité totale des émissions de CFC-11 mais sa couverture n'est pas assez dense pour évaluer pleinement les émissions régionales.

25. Les émissions provenant de réserves de CFC-11 ne pourraient pas à elles seules expliquer l'augmentation inattendue de la période 2013–2017, ce qui indique une production et une utilisation de CFC-11 non déclarées au cours de cette période, très probablement pour une utilisation dans les mousses à cellules fermées. Il se peut également qu'une production non déclarée soit apparue plus tôt au cours de la période 2007–2012.

26. Des observations régionales semblent indiquer que certaines émissions de CFC-12 ont pu être associées à une production de CFC-11 non déclarée. Les incertitudes concernant les émissions provenant de réserves et les lacunes dans le réseau d'observation sont trop importantes pour déterminer si toutes les émissions de CFC-12 inattendues ont cessé.

## **F. Les concentrations de tétrachlorure de carbone continuent de baisser, mais à un rythme plus lent que ce qui était prévu sur la base des tendances précédentes**

27. Les concentrations atmosphériques de tétrachlorure de carbone (CCl<sub>4</sub>) ont continué de baisser, mais à un rythme plus lent que ce qui était prévu sur la base des tendances précédentes. Selon des estimations fondées sur des observations atmosphériques, la moyenne des émissions mondiales de CCl<sub>4</sub> s'élevait à  $44 \pm 15$  Gg an<sup>-1</sup> en 2016 et 2020.

28. Les émissions régionales de CCl<sub>4</sub> de l'Est de la Chine au cours de la période 2013–2019 montrent une variabilité d'une année à l'autre, probablement liée à la production de CFC-11. Les émissions ont augmenté après 2013, atteignant  $11,3 \pm 1,9$  Gg an<sup>-1</sup> en 2016, et ensuite diminué pour atteindre  $6,3 \pm 1,1$  Gg an<sup>-1</sup> en 2019.

29. La production de CCl<sub>4</sub> s'est accrue au cours des dernières années, principalement en raison de l'augmentation de la demande pour une utilisation comme matière première pour la production de HFC, de HFO/HCFO et de perchloroéthylène. L'augmentation de la production de CCl<sub>4</sub> devrait se poursuivre du fait de la demande accrue pour les HFO/HCFO. La plupart des émissions proviennent de la production, de la manipulation, de la chaîne d'approvisionnement et de l'utilisation de CCl<sub>4</sub>. Des émissions de CCl<sub>4</sub> supplémentaires proviennent probablement de la production de substances autres que le chlorométhane, notamment dans le procédé de production de la chaîne vinylique, qui est recensé comme une nouvelle source potentielle d'émissions de CCl<sub>4</sub>.

## **G. Les concentrations atmosphériques d'un certain nombre de substances marginales qui appauvrissent la couche d'ozone ont augmenté. Ensemble, ces substances peuvent, au bout du compte, avoir une incidence sur la couche d'ozone stratosphérique**

30. Les concentrations mondiales des substances marginales CFC-13, CFC-112a, CFC-113a, CFC-114a et CFC-115 sont passées de  $16,0 \pm 0,3$  ppt en 2016 à une quantité totale de  $17,2 \pm 0,3$  ppt Cl en 2020. Des observations atmosphériques confirment que la région de l'Asie de l'Est constitue une source importante. Ces résultats indiquent probablement une augmentation ou une stabilisation des émissions de ces composés présentant des concentrations relativement faibles. Certaines de ces émissions inexplicables sont probablement dues à des fuites de matières premières ou proviendraient de sous-produits mais, pour le reste de ces émissions, l'origine n'est pas connue. Ces substances ont une incidence mineure sur la charge de chlore stratosphérique et l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique.

31. La production et l'utilisation de solvants chlorés à courte durée de vie ne sont pas réglementées par le Protocole de Montréal et certains d'entre eux sont utilisés en grandes quantités. Leur incidence sur la couche d'ozone stratosphérique et leur potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone varient en fonction de la saison et du lieu des émissions. Les émissions de ces substances pourraient s'accroître dans le futur même si les émissions de SAO à longue durée de vie diminuent. Le CHCl<sub>3</sub> (chloroforme), le CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> (dichlorométhane ou DCM), le CHCl=CCl<sub>2</sub> (trichloroéthylène ou TCE) et le CCl<sub>2</sub>=CCl<sub>2</sub> (perchloroéthylène ou PCE) constituent des exemples importants de produits chimiques à courte durée de vie qui sont utilisés comme matières premières. Des hausses soutenues des émissions anthropiques de substances chlorées à très courte durée de vie, comme cela a été constaté pour le CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> au cours des deux dernières décennies, entraîneraient un appauvrissement accru de la couche d'ozone stratosphérique dans le futur.

32. Le DCM (durée de vie de 180 jours) est le principal composant des substances chlorées à très courte durée de vie. Sa concentration atmosphérique a continué d'augmenter entre 2016 et 2020 à un rythme légèrement inférieur à celui prévalant avant 2016. Cette augmentation résulte principalement d'un accroissement des émissions de DCM en Asie. Compte tenu des tendances du marché dans la production de substances chimiques et l'utilisation de DCM, on ne prévoit actuellement pas d'augmentation significative de la production et des concentrations atmosphériques de DCM au niveau mondial au cours des quelques prochaines décennies. Le DCM est principalement utilisé comme solvant (notamment dans la production pharmaceutique, le décapage de peinture et les adhésifs) et comme agent gonflant pour les mousses, ainsi que comme matière première pour la production de HFC-32. Au cours des dernières années, l'utilisation en tant que solvant a baissé dans certaines régions (par exemple, Union européenne et États-Unis) et fortement augmenté dans d'autres (par exemple, Asie du Sud et de l'Est). L'utilisation de DCM en tant que matière première pour la production de HFC-32 augmente à l'échelle mondiale. Les tendances mondiales futures sont difficiles à prévoir. Étant donné les caractéristiques toxicologiques du DCM, les utilisations générales en tant que solvant

sont de plus en plus réglementées. Néanmoins, à l'heure actuelle, les capacités mondiales de production du DCM pour une utilisation en tant que solvant ou matière première augmentent.

33. La quantité estimée de chlore provenant de substances à très courte durée de vie introduit dans la stratosphère en 2020 a augmenté d'environ 10 ppt depuis la dernière évaluation et s'élève à  $130 \pm 30$  ppt, représentant environ 4 % de l'apport total en chlore. Les substances bromées à très courte durée de vie, dont les sources sont principalement naturelles, contribuent à hauteur de  $5 \pm 2$  ppt au brome stratosphérique et ne présentent pas de changement à long terme.

34. De nouvelles données semblent indiquer que les substances iodées à très courte durée de vie, dont les sources sont principalement naturelles, sont transportées vers la stratosphère, contribuant à hauteur de 0,3 à 0,9 ppt à la quantité d'iode sous forme de particules ou en phase gazeuse. Il n'existe pas d'estimations de la tendance fondées sur des observations.

## **H. Production, sous-production, utilisation comme matières premières et produits intermédiaires**

35. Depuis 2002, la production totale déclarée de SAO a légèrement augmenté, la hausse de la production pour des utilisations comme matières premières compensant la baisse de la production pour des utilisations réglementées produisant des émissions. L'augmentation globale des utilisations de SAO comme matières premières au cours de la dernière décennie est principalement due à des utilisations accrues d'HCFC comme matières premières, en particulier le HCFC-22, tandis que le recours aux HFO est à l'origine d'une augmentation plus récente de l'utilisation du tétrachlorure de carbone comme matière première.

36. Au cours de la fabrication de substances chimiques, les émissions proviennent de produits, de coproduits, de sous-produits, de matières premières ou de produits intermédiaires :

- La sous-production de substances réglementées au cours de procédés de production apparaît en cas de sur- ou sous-réaction durant la fabrication du produit visé, de présence d'impuretés subissant des réactions et de réactions secondaires non voulues.
- Les produits intermédiaires sont les constituants chimiques par lesquels les matières premières passent lorsqu'elles sont chimiquement transformées en produits. Les taux d'émissions sont nettement inférieurs pour les produits intermédiaires que pour le produit final.

37. Plusieurs procédés de production génèrent une sous-production et des émissions de HFC-23, notamment durant la production de HCFC-22 et de HFC-32. Les procédés de production d'autres fluorocarbones peuvent également aboutir à une sous-production de HFC-23, mais à des taux inférieurs (voir également la section III ci-dessus).

38. Le HCFC-22 est principalement utilisé comme matière première pour produire du TFE et du HFP, qui entrent dans la fabrication des fluoropolymères. La fabrication de TFE/HFP à partir de HCFC-22 comme matière première génère une sous-production et des émissions de HFC-23 et de PFC-c-318 (c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>), ces deux substances présentant un très fort PRG. Ces émissions combinées, en éqCO<sub>2</sub>, sans tenir compte d'éventuelles mesures de réduction, sont plus importantes que les émissions estimées de HFC-23 provenant de la production de HCFC-22.

39. Les émissions combinées actuelles de CFC et de HCFC pondérées en fonction du PRG sont comparables à celles des HFC. Afin de réduire les émissions futures de CFC et de HCFC, il serait nécessaire de lutter contre les émissions provenant des réserves ainsi que de la production, de la sous-production et de l'utilisation comme matières premières. Les émissions mondiales de HFC-23 à longue durée de vie, principalement un sous-produit de la production de HCFC-22, risquent d'augmenter si les mesures de réduction ne sont pas renforcées ou si l'utilisation de HCFC-22 comme matière première ne diminue pas.

## **I. Les concentrations atmosphériques de halons baissent lentement, mais il subsiste une demande pour le halon 1301, qui pourrait ne pas être satisfaite à l'avenir en l'absence de nouvelle production**

40. Le brome troposphérique provenant de halons a diminué, passant d'un pic de  $8,5 \pm 0,1$  ppt en 2006 à  $7,3 \pm 0,1$  ppt en 2020. Les concentrations de halon 1211, de halon 2402 et de halon-1202 ont continué de baisser entre 2016 et 2020. Le taux de variation du halon 1301 est resté indifférenciable de zéro. En 2020, le halon 1301 était le halon le plus abondant dans l'atmosphère.



41. Les émissions de halon 1301 semblent supérieures à celles prévues d'une réserve fixe destinée à la lutte contre les incendies, laissant supposer d'autres sources d'émissions, notamment d'une production et d'une utilisation en tant que matière première. Toutefois, la quantité supérieure des émissions pourrait être due à un taux d'émissions de la réserve de halon 1301 plus élevé que prévu. Si tel est le cas, la réserve de halon 1301 pourrait être nettement inférieure à celle requise pour répondre aux besoins.

42. La demande de halons pour les utilisations dans la lutte contre les incendies persiste et dépassera, à terme, l'offre provenant des réserves disponibles si des solutions de remplacement ne sont pas mises en œuvre. Il demeure des utilisations à long terme de halons (par exemple, dans les installations gazières et pétrolières, les centrales nucléaires et les installations militaires) ainsi qu'une demande croissante de l'aviation civile pour le halon 1301 du fait du manque de solutions de remplacement pour les moteurs et les applications de lutte contre les incendies dans les soutes des nouveaux avions. L'estimation actuelle de la date de rupture de stock établie entre 2030 et 2049, lorsque le halon 1301 ne serait plus disponible, signifie que le secteur de l'aviation civile (et d'autres) devrait se tourner vers ses propres stocks de halon 1301 pour éviter l'immobilisation au sol d'avions en raison d'une protection insuffisante contre les incendies. Il est possible que les nouveaux avions conçus dans le secteur militaire ne puissent utiliser que le halon 1301 ou des HFC à fort PRG pour répondre à des exigences rigoureuses en matière de conception/sécurité des personnes.

43. Les réglementations relatives à l'élimination progressive des HFC dans les Parties non visées à l'article 5 ont un impact plus important sur le coût et la disponibilité des agents extincteurs à base d'HFC que ce qui avait initialement été prévu en raison de leur fort PRG de ces derniers et de la disponibilité d'un fluorocétone à faible PRG qui convient à certaines applications. Dans la mesure où l'offre de HFC nouvellement produits pour la lutte contre les incendies diminue suite aux réglementations relatives à l'élimination progressive, le recyclage des HFC revêtira une importance encore plus grande pour répondre à la demande.

## **J. La quantification des réserves de SAO et de HFC et l'évaluation de l'évolution temporelle de leurs émissions continues sont importantes pour déterminer le rythme de la reconstitution de la couche d'ozone et l'impact potentiel sur le climat**

44. La surveillance des réserves de substances réglementées et l'évaluation de leur accumulation dans les équipements et les produits sont importantes étant donné l'impact potentiel de leurs émissions non réglementées sur l'appauvrissement de la couche d'ozone et le climat. Une réserve est définie comme la quantité totale de substances réglementées contenues dans des équipements, des stocks, des mousses et d'autres produits existants et qui ne sont donc pas encore rejetées dans l'atmosphère. Il s'agit notamment de la réserve « accessible », également appelée réserve « active », qui comprend les substances réglementées contenues dans une pièce d'équipement ou un produit utilisé et donc potentiellement atteignables ou accessibles à des fins de gestion lors de leur entrée dans le flux de déchets à la fin de leur vie. En revanche, la réserve « non accessible » ou « inactive » désigne les substances qui ont été mises en décharge ou déversées illégalement avec l'équipement ou le produit.

45. Une gestion efficace des réserves actives de SAO et de HFC vise à limiter autant que possible les incidences mondiales liées au rejet de SAO et de HFC en réduisant au minimum les émissions et en appuyant l'élimination progressive des HFC par leur récupération à des fins de recyclage, de régénération et de réutilisation. La destruction écologiquement rationnelle des SAO et des HFC excédentaires ou contaminés en fin de vie est encouragée par le Protocole de Montréal, étant donné qu'une telle destruction évite des émissions inutiles et protège la couche d'ozone stratosphérique et/ou le climat. Les réserves de SAO et de HFC dans les Parties visées à l'article 5, en particulier dans le secteur de la réfrigération et de la climatisation ainsi que dans le secteur des mousses, augmentent rapidement et constitueront la majeure partie des réserves mondiales d'ici le début des années 30, en raison de la baisse des réserves dans les Parties non visées à l'article 5 et de l'utilisation de plus en plus répandue d'équipements contenant des HFC dans les Parties visées à l'article 5. S'agissant du secteur de la réfrigération et de la climatisation ainsi que du secteur des mousses, en 2022, une quantité totale estimée de 6 000 kt de SAO et de HFC est contenue dans la réserve active, correspondant à 16 Gt  $\text{eqCO}_2$ .

## **K. Les concentrations atmosphériques de bromure de méthyle n'ont pas baissé depuis 2016**

46. Les concentrations atmosphériques mondiales moyennes de bromure de méthyle (CH<sub>3</sub>Br) ont varié d'une année à l'autre entre 6,5 ppt et 6,9 ppt durant la période 2016–2020, sans qu'une tendance générale ne se dégage clairement. Les concentrations de l'hémisphère Nord sont d'environ 0,8 ppt supérieures à celles de l'hémisphère Sud. L'élimination des utilisations réglementées ne bénéficiant pas de dérogation (à savoir autres que les utilisations pour la quarantaine et les traitements préalables à l'expédition) du bromure de méthyle est considérée comme quasiment achevée. Les Parties ont déclaré que plus de 99,8 % de la consommation de référence de 66 428 tonnes pour ces utilisations réglementées avaient été éliminés avant le 1<sup>er</sup> janvier 2023. Cela signifie que le bromure de méthyle est actuellement utilisé presque exclusivement pour la quarantaine et les traitements préalables à l'expédition, la consommation restant généralement stable à 10 000 tonnes par an et concentrée dans environ 17 pays consommateurs.

47. Des solutions de remplacement techniquement et économiquement réalisables sont disponibles pour la quarantaine et les traitements préalables à l'expédition et pourraient remplacer près de 40 % des utilisations actuelles. La récupération et/ou le recyclage du bromure de méthyle pourraient éviter environ 70 % des émissions de bromure de méthyle provenant de son utilisation pour la quarantaine et les traitements préalables à l'expédition. Toutefois, cette technologie est coûteuse et il existe peu d'incitation à son adoption. La réduction des émissions de toutes les utilisations du bromure de méthyle restantes pour la quarantaine et les traitements préalables à l'expédition ainsi que le recensement et l'arrêt de toutes les utilisations non déclarées sont considérés comme des facteurs importants pour ramener les concentrations dans l'atmosphère à des niveaux naturels. Étant donné la durée de vie relativement courte du bromure de méthyle dans l'atmosphère (0,7 an), l'adoption de toute solution de remplacement appropriée et, dans certains cas, la récupération/destruction produiraient un avantage immédiat en réduisant sa concentration atmosphérique.

## **L. Le rythme et l'ampleur de la reconstitution de la couche d'ozone stratosphérique dépendent des concentrations futures de substances appauvrissant la couche d'ozone et de gaz à effet de serre**

48. Des simulations effectuées à partir de modèles montrent que la reconstitution future de la couche d'ozone en-dehors des régions polaires sera principalement influencée par les gaz à effet de serre, pour autant que le Protocole de Montréal continue d'être respecté. Le large éventail des niveaux futurs possibles de CO<sub>2</sub>, de méthane (CH<sub>4</sub>) et d'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) constitue une limite importante à la fourniture de projections futures précises pour la couche d'ozone au niveau mondial, ainsi que pour le trou dans la couche d'ozone et d'autres régions géographiques. La colonne totale d'ozone retrouve plus rapidement les valeurs de 1980 dans les scénarios qui partent de l'hypothèse d'émissions de gaz à effet de serre plus importantes (forçage climatique plus élevé) que dans les scénarios présentant des émissions de gaz à effet de serre moins importantes (forçage climatique plus faible).

49. Pour les latitudes 60°S–60°N, les simulations montrent que la colonne totale d'ozone retrouve plus rapidement le niveau de 1980 dans le cadre d'un scénario de forçage climatique plus élevé, des augmentations futures importantes de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> ayant tendance à accroître le niveau d'ozone. Dans le cadre d'un scénario de forçage climatique faible, les modèles prévoient que l'ozone des latitudes 60°S–60°N pourrait ne pas atteindre le niveau de 1980 d'ici la fin de ce siècle. Dans cette simulation présentant un forçage climatique faible, les futures diminutions de l'ozone total induites par l'augmentation du N<sub>2</sub>O sont plus importantes que les petites augmentations futures de l'ozone causées par le CO<sub>2</sub> et le CH<sub>4</sub>. Dans le cadre d'un scénario de forçage climatique moyen, l'ozone total des latitudes 60°S–60°N devrait retrouver le niveau de 1980 aux alentours de l'année 2040.

50. Outre les changements dans les concentrations de SAO et de gaz à effet de serre, les projections des niveaux futurs d'ozone dépendent également d'autres facteurs qui influencent la chimie et la composition de l'atmosphère :

- Les futures flottes d'aéronefs commerciaux supersoniques ou hypersoniques pourraient être à l'origine d'un appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique en raison de leurs émissions de quantités importantes de vapeur d'eau et d'oxydes nitreux (NO<sub>x</sub>) dans la stratosphère.
- Les lancements de fusée ont actuellement un effet mineur sur l'ozone stratosphérique total (nettement inférieur à 0,1 %). Toutefois, les systèmes de fusée utilisant de nouveaux propulseurs (par exemple, l'hydrogène et le méthane) et l'augmentation des fréquences de lancement pourraient avoir une influence importante dans le futur.

De plus, la disparition de matériels spatiaux lors de la rentrée dans l'atmosphère peut avoir des implications pour la chimie et la composition de la stratosphère, qui entraîneraient des effets sur l'ozone.

- Des changements dans les aérosols et la vapeur d'eau stratosphériques en raison d'éruptions volcaniques explosives entraîneraient un appauvrissement accru de la couche d'ozone et des changements dans la circulation stratosphérique. L'ozone deviendra moins sensible aux injections volcaniques à mesure que les concentrations de SAO diminueront au cours des décennies à venir.
- L'injection intentionnelle d'aérosols sulfatés dans la stratosphère est étudiée comme possibilité pour réduire le réchauffement climatique et ses incidences. Des simulations effectuées à partir de modèles montrent que de telles injections ont le potentiel de provoquer des changements dans l'ozone produits par des procédés chimiques et dynamiques, l'ampleur et la manifestation de ces changements dépendant fortement du scénario d'injection et de l'état des changements climatiques induits par les activités anthropiques.

## **M. Il y a une corrélation entre l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique et les changements climatiques**

51. Comme cela a été indiqué dans des évaluations antérieures, les SAO sont de puissants gaz à effet de serre qui entraînent un réchauffement en surface. L'ozone lui-même est également un gaz à effet de serre et les changements qu'il subit ont des incidences sur le climat. Les augmentations de CO<sub>2</sub> ainsi que les diminutions d'ozone ont tendance à refroidir la stratosphère (tandis que les augmentations futures d'ozone ont une tendance au réchauffement). Le refroidissement de la stratosphère en-dehors des régions polaires ralentit le rythme de la destruction de l'ozone, conduisant à des concentrations d'ozone plus élevées dans la stratosphère.

52. La vitesse estimée de refroidissement à long terme dans les couches moyennes et hautes de la stratosphère au niveau mondial (0,6 K décennie<sup>-1</sup>), fondée sur des observations, est similaire à celle d'évaluations antérieures. Les tendances à long terme sont principalement déterminées par les augmentations de CO<sub>2</sub> et d'ozone stratosphérique. À l'avenir, l'augmentation des gaz à effet de serre et les effets de la reconstitution de la couche d'ozone auraient des incidences opposées sur la température et la circulation stratosphériques.

53. Il ressort de nouvelles données que la reconstitution de la couche d'ozone a provoqué des changements dans les tendances observées de la circulation atmosphérique de l'hémisphère Sud entre les périodes d'appauvrissement et de reconstitution de la couche d'ozone. Des simulations effectuées à partir de modèles tendent à confirmer l'attribution de ces changements à la reconstitution de la couche d'ozone. Ces résultats démontrent que les tendances de la circulation de l'hémisphère Sud ont réagi à la reconstitution de la couche d'ozone de l'Antarctique résultant du Protocole de Montréal.

54. Il n'a été détecté aucun impact en surface causé par des changements à long terme dans la couche d'ozone de l'Arctique, mais de nouvelles données montrent que, pour certaines années, de faibles niveaux d'ozone au printemps en Arctique peuvent amplifier des anomalies de circulation stratosphérique existantes et leur influence sur la circulation troposphérique et le climat en surface.

55. De nouvelles données confirment que l'appauvrissement de la couche d'ozone n'est probablement pas à l'origine du refroidissement de la température observé à la surface de la mer dans les hautes latitudes et des changements dans la glace de mer de l'Antarctique depuis 1979.

## **N. Le respect des dispositions du Protocole de Montréal assure la protection de l'ozone stratosphérique et du climat**

56. Le strict respect des dispositions du Protocole de Montréal contribue à la reconstitution de la couche d'ozone et à la protection du climat (comme indiqué ci-dessus) :

- La colonne totale d'ozone retrouve les valeurs de 1980 aux alentours de 2066 en Antarctique, aux alentours de 2045 en Arctique et aux alentours de 2040 pour la moyenne du reste du monde.
- En 2020, le Protocole de Montréal a permis d'éviter  $0,17 \pm 0,06$  °C de réchauffement à la surface de la Terre et  $0,45 \pm 0,23$  °C de réchauffement à la surface de l'Arctique. Les projections montrent que, d'ici le milieu du siècle, le Protocole aura probablement

permis d'éviter  $0,79 \pm 0,24$  °C de réchauffement, en comparaison avec un scénario d'émissions de SAO non réglementées.

- L'Amendement de Kigali aura permis d'éviter 0,3 à 0,5 °C de réchauffement d'ici 2100.

57. Une collaboration efficace entre experts des groupes d'évaluation sur la science et la technologie a conduit à des recherches et des analyses coordonnées visant à fournir des réponses concernant les sources d'émissions de CFC-11 inattendues qui sont apparues de 2013 à 2017. Cette question a mis en évidence la nécessité d'une vigilance afin d'assurer le respect, de garantir la reconstitution de la couche d'ozone et de maximiser la vitesse de reconstitution.

58. Parmi les autres mesures possibles pour accélérer la reconstitution de la couche d'ozone et protéger le climat figure l'élimination des SAO restantes et de leurs émissions, notamment les émissions provenant des utilisations comme matières premières, les émissions de sous-produits, les émissions de bromure de méthyle provenant des utilisations pour la quarantaine et les traitements préalables à l'expédition, les émissions de substances à très courte durée de vie et les émissions provenant de réserves de substance réglementées. Ces mesures, prises individuellement, aboutiraient à des avantages faibles à modestes pour la couche d'ozone mais, prises collectivement, elles permettraient d'avancer la reconstitution de la couche d'ozone de 16 ans maximum.

## **O. Éléments scientifiques, techniques et environnementaux à prendre en compte dans l'élaboration des politiques**

59. L'élimination des émissions de SAO utilisées comme matières premières, telles qu'actuellement estimées pour les années à venir, pourrait avancer de près de quatre ans le retour des concentrations de l'équivalent chlore stratosphérique efficace aux latitudes moyennes à leur niveau de 1980, en grande partie grâce aux réductions de CCl<sub>4</sub>, et ainsi réduire le forçage climatique total dû aux SAO. Une meilleure compréhension et une surveillance accrue des émissions de substances réglementées provenant de la production, de la sous-production et des utilisations comme matières premières revêtent une grande importance étant donné leur contribution aux émissions globales.

60. En 2021, quasiment toute la production déclarée de bromure de méthyle était destinée à des utilisations pour la quarantaine et les traitements préalables à l'expédition, qui ne constituent pas des utilisations réglementées dans le cadre du Protocole de Montréal. Des solutions de remplacement pour le bromure de méthyle sont disponibles, tout comme des technologies de récupération qui entraîneraient une réduction des émissions. L'élimination des émissions futures de bromure de méthyle provenant d'utilisations pour la quarantaine et les traitements préalables à l'expédition actuellement autorisées par le Protocole de Montréal avancerait de deux ans le retour des concentrations de l'équivalent chlore stratosphérique efficace aux latitudes moyennes à leur niveau de 1980 (comme indiquées dans des évaluations antérieures).

61. Les émissions provenant de substances chlorées anthropiques à très courte durée de vie, principalement le DCM, continuent de croître et de contribuer à l'appauvrissement de la couche d'ozone. Si les émissions de DCM se maintiennent à leur niveau actuel, elles entraîneront un appauvrissement d'environ 1 DU (unité Dobson) en moyenne annuelle de la colonne totale d'ozone à l'échelle mondiale. L'élimination de ces émissions mettrait rapidement fin à cet appauvrissement.

62. À l'heure actuelle, les émissions anthropiques de N<sub>2</sub>O représentent la majeure partie des émissions de SAO non réglementées, les autres sources importantes d'émissions (CFC-11, CFC-12 et CFC-113) ayant été éliminées. Une réduction de 3 % des émissions anthropiques de N<sub>2</sub>O, en moyenne sur la période 2023–2070, conduirait à une augmentation d'environ 0,5 DU en moyenne annuelle de la colonne totale d'ozone à l'échelle mondiale au cours de la même période, ainsi qu'à une diminution de près de  $0,04 \text{ Wm}^{-2}$  du forçage radiatif, en moyenne sur la période 2023–2100.

63. Du fait de l'accroissement des réserves de SAO et de HFC dans les Parties visées à l'article 5, en particulier dans le secteur de la réfrigération et de la climatisation ainsi que dans le secteur des mousses, les quantités potentiellement disponibles pour la récupération et la gestion devraient augmenter dans ces pays. Le secteur de la réfrigération, de la climatisation et des pompes à chaleur est dominant dans la consommation de HFC et, selon les estimations, responsable d'environ 95 % de la consommation dans les Parties visées à l'article 5 et de 80 % au niveau mondial. Des efforts opportuns pour mettre en place et financer une capacité de gestion de la fin de vie afin de prévenir les émissions de HFC pourraient avoir un impact considérable, compte tenu de la taille et de la croissance prévues des réserves de HFC dans les Parties visées à l'article 5 les plus grandes. Il sera important de lever les obstacles aux mouvements transfrontières des SAO et des HFC en fin de vie afin de favoriser la récupération et le recyclage, qui sont des solutions prioritaires, ainsi que la destruction écologiquement

rationnelle des SAO et des HFC en fin de vie, ce qui permettra de réduire au minimum leurs émissions.

64. En vertu de l'Amendement de Kigali, les Parties progressent dans l'application des réglementations nationales visant à éliminer progressivement les HFC, ce qui stimule la demande du marché pour des solutions de remplacement à plus faible PRG et des équipements à meilleur rendement énergétique. Pour autant, la gamme des nouvelles solutions de remplacement à faible PRG complexifie le choix de la meilleure option pour chaque application, compte tenu de facteurs tels que l'inflammabilité, la toxicité, la disponibilité, le coût, l'accessibilité et les conditions d'utilisation des équipements et des systèmes :

- Des réfrigérants de remplacement à PRG très faible, faible et/ou moyen sont disponibles pour toutes les applications de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur et sont largement utilisées dans certaines de ces applications et dans certaines régions. L'accessibilité constitue encore une entrave majeure à une adoption à grande échelle.
- La plupart des réfrigérants à PRG très faible, faible ou moyen présentent des classes différentes d'inflammabilité (inflammabilité faible, inflammable et inflammabilité élevée). Le secteur de la réfrigération, de la climatisation et des pompes à chaleur continue de mettre à jour les normes de sécurité pertinentes pour permettre leur utilisation (par exemple, augmentation des limites de charge de réfrigérant inflammable autorisées pour les applications de réfrigération commerciale autonome, de climatisation air-air et de pompes à chaleur pour chauffage seul).
- Des mesures à l'égard des réserves actives des équipements de réfrigération et de climatisation à fort PRG et à faible rendement énergétique peuvent également contribuer à réduire la demande énergétique et la consommation résiduelle à des fins d'entretien de réfrigérants à fort PRG indésirables.
- Les pénuries d'approvisionnement en solutions de remplacement à faible PRG dans certains secteurs se sont atténuées grâce aux nouvelles capacités de production de solutions de remplacement pour les HFO et les HCFO, mais elles ont retardé l'abandon des HFC dans les différents secteurs d'utilisation. À l'avenir, il conviendra de veiller à ce que l'approvisionnement soit suffisant pour répondre à la demande croissante du fait de l'élimination des HFC, en évitant de futures ruptures de stock.
- Dans la plupart des Parties visées à l'article 5, mais surtout dans les pays à faible et très faible consommation, la majorité des SAO et des réfrigérants HFC sont utilisés pour l'entretien, de sorte qu'un appui à une formation adéquate et à un entretien approprié réduirait les émissions directes de SAO et de réfrigérants HFC ainsi que la perte d'efficacité énergétique des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur au cours de leur durée de vie.
- Des problèmes persistent dans certaines applications relatives aux mousses, en particulier pour les petites entreprises de certaines Parties visées à l'article 5, en raison de la disponibilité, de la sécurité et du coût de certaines solutions de remplacement à faible PRG, ainsi que des exigences de performance des produits.
- La consommation mondiale de HFC pour la fabrication de produits électroniques et la production de magnésium est relativement faible, mais elle augmente pour la fabrication de produits électroniques et les solutions de remplacement pour les HFC comprennent actuellement d'autres gaz fluorés, dont beaucoup ont des PRG plus élevés.
- L'abandon des inhalateurs-doseurs pressurisés à base d'HFC à fort PRG représente une entreprise majeure qui, si elle n'est pas gérée avec prudence, présente d'importants risques potentiels pour la santé publique.

65. Les réseaux des stations de surveillance atmosphérique fournissent des observations concernant les concentrations mondiales en surface des SAO à longue durée de vie et des HFC provenant d'émissions anthropiques. Toutefois, les lacunes observées dans la surveillance atmosphérique régionale limitent l'aptitude de la communauté scientifique à détecter et quantifier les émissions de substances réglementées provenant de nombreuses régions sources.

66. Plusieurs instruments spatiaux fournissant des mesures mondiales à résolution verticale des composés atmosphériques liés à l’ozone (par exemple, le chlore réactif, la vapeur d’eau et les traceurs de transport à longue durée de vie) devront être abandonnés d’ici quelques années. Si ces instruments ne sont pas remplacés, il sera difficile de surveiller et d’expliquer les changements futurs dans la couche d’ozone stratosphérique.

67. Les incidences sur la couche d’ozone de l’injection d’aérosols dans la stratosphère, qui a été proposée comme une option possible pour atténuer le réchauffement global, ont été évaluées et ce, comme prescrit dans le cadre défini pour le rapport d’évaluation de 2022 du Groupe de l’évaluation scientifique. L’évaluation a fait ressortir d’importantes conséquences potentielles, telles que l’aggravation du trou d’ozone dans l’Antarctique et un retard dans la reconstitution de la couche d’ozone. De nombreuses lacunes et incertitudes concernant les connaissances empêchent, pour le moment, de réaliser une évaluation plus solide.

68. Parmi les préoccupations les plus vives concernant la couche d’ozone au XXI<sup>e</sup> siècle, on peut notamment citer les incidences :

- De hausses supplémentaires des concentrations de N<sub>2</sub>O, de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub> ;
- De l’augmentation rapide de l’utilisation de SAO et de HFC comme matières premières et des émissions qui en résultent ;
- D’une utilisation continue et même accrue du bromure de méthyle pour la quarantaine et les traitements préalables à l’expédition ;
- Des changements climatiques sur la colonne totale d’ozone dans les tropiques ;
- D’incendies de forêt et d’éruptions volcaniques sans précédent ;
- De la fréquence accrue des lancements de fusées civiles et des émissions d’une nouvelle flotte d’aéronefs commerciaux supersoniques qu’il est proposé de mettre sur le marché.

69. Les connaissances concernant les effets du rayonnement UV s’améliorent mais de nombreuses difficultés subsistent pour évaluer correctement les effets interactifs des futurs changements dans le rayonnement solaire UV en surface et le climat sur la santé humaine, la sécurité alimentaire, la santé des écosystèmes et la diversité biologique. Ces difficultés tiennent en partie à l’incertitude concernant la manière dont les effets des changements climatiques progressifs et des phénomènes climatiques extrêmes périodiques modifieront le rayonnement UV à la surface de la Terre et auront, par la suite, des répercussions sur l’adaptation des espèces ainsi que sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes dans un environnement en évolution rapide. En conséquence, il est clairement nécessaire d’inclure le rayonnement solaire UV parmi d’autres facteurs de changement climatique dans des études expérimentales et de modélisation concernant la santé humaine et les écosystèmes aquatiques et terrestres afin de permettre une évaluation plus solide des effets sur l’environnement des changements dans le rayonnement UV dans le cadre de différents scénarios climatiques futurs à l’échelle mondiale.

---