



## ÉCLATS DE SCIENCES

## Couche d'ozone : un succès à trous

**Grâce au protocole de Montréal, la quasi-totalité des substances appauvrissant la couche d'ozone ont été éliminées. C'est « la » success story écologique. Celle qui prouve qu'en mettant tous les pays autour d'une même table, tout est possible. Sauf que...**

Lise Barnéoud - 27 mai 2023 à 12h10

**N**e jamais se reposer sur ses lauriers. Même lorsque la victoire paraît acquise. Le message envoyé par les scientifiques depuis cinq ans reste largement méconnu : notre couche d'ozone a certes été sauvée d'un destin funeste, mais sa reconstitution n'est pas encore gagnée. La raison ? Une mystérieuse réémergence dans l'atmosphère de substances interdites par le protocole de Montréal.

Des substances qui non seulement s'attaquent à l'ozone stratosphérique, mais contribuent également de manière significative au réchauffement climatique. L'enquête scientifico-juridique est loin d'être terminée.

Imaginez un gaz, dispersé entre 15 et 50 km d'altitude, dans la stratosphère. Un gaz rare, à peine 6 à 8 molécules d'ozone pour 1 million de molécules d'air. Même en le comprimant, vous obtenez une couche dont l'épaisseur, qui varie en fonction des saisons et des régions, ne dépasse pas celle de deux pièces de cinq ou dix centimes posées l'une sur l'autre, soit 3 mm en moyenne. C'est difficile à croire, mais sans cette minuscule enveloppe gazeuse, la vie n'aurait sans doute pas pu s'épanouir sur la Terre en dehors des océans.

En effet, ces molécules de gaz filtrent la majeure partie des rayonnements ultraviolets. Or, ces ondes invisibles émises par le soleil endommagent l'ADN des cellules. Chez les végétaux, ces rayonnements réduisent leur croissance et la photosynthèse. Chez les humains, ils provoquent des cancers de la peau et des cataractes, entre autres méfaits.

Lorsqu'on a découvert au milieu des années 1980 que la concentration d'ozone dans la haute atmosphère diminuait drastiquement, on a d'abord cru à une erreur technique. Quand on a compris qu'il ne s'agissait aucunement d'un défaut de mesures, certain·es ont ensuite voulu croire à une variabilité naturelle, liée au cycle solaire notamment. Fausse route.

Dès 1986, la culpabilité humaine se confirme : ce sont nos émissions de substances chlorées qui sont responsables du grignotage de l'ozone. Par une succession de réactions chimiques, un seul atome de chlore peut détruire des centaines de milliers de molécules d'ozone. À l'époque, ces émissions chlorées proviennent essentiellement des gaz réfrigérants appelés chlorofluorocarbones, ou CFC, utilisés depuis les années 1950 dans les réfrigérateurs, les climatiseurs ou encore les mousses isolantes.

### Réparation complète en 2040 ?

Pour une fois, la réaction est immédiate. À peine un an plus tard, en 1987, le protocole de Montréal est signé par 24 pays – aujourd'hui, 198 pays l'ont ratifié. Son objectif : éliminer toutes les substances qui appauvrissent l'ozone. Ce traité international, le premier à obtenir une ratification universelle, ne comporte aucune sanction et pose des objectifs différenciés en fonction du développement des pays. Il est aussi évolutif, révisable chaque année en fonction des données scientifiques et des avancées technologiques.

En l'espace de dix ans, les CFC sont définitivement abandonnés par les pays développés, suivis en 2010 par l'ensemble des pays. Dans un premier temps, ces molécules sont remplacées par des substances qui contiennent moins de chlore (les hydrochlorofluorocarbones ou HCFC), puis par d'autres gaz qui n'en contiennent plus du tout (les hydrofluorocarbones ou HFC). Elles-mêmes étant actuellement remplacées par des molécules dites de quatrième génération, nous y reviendrons.

Grâce à ce texte fondateur, on estime que pas moins de 98 % des substances appauvrissant la couche d'ozone

ont pu être éliminées. En tenant compte de la longue durée de vie de ces molécules dans l'atmosphère, les scientifiques s'attendent à ce que la couche d'ozone revienne à son état initial vers 2040 (2066 au-dessus de l'Antarctique, où le grignotage fut plus sévère en raison des basses températures).

C'est *la* « success story » écologique. Celle que l'on montre en exemple. Celle qui prouve que c'est possible : en mettant tous les pays autour d'une même table, on peut dévier les drames en cours.

Sauf que... contre toute attente, des scientifiques observent depuis plusieurs années une réémergence dans notre atmosphère de ces fameux CFC, pourtant mondialement interdits depuis treize ans. « *Grâce aux campagnes de mesures continues, nous avons repéré cinq CFC dont la concentration augmente depuis 2010, donc depuis leur interdiction globale* », résume Luke M. Western, de l'université de Bristol, qui a contribué à une récente étude publiée dans la revue *Nature Geoscience*.

## Des trous dans la raquette

Cette étrange découverte n'est pas une première. En 2018 déjà, des scientifiques tiraient une première sonnette d'alarme : les émissions d'un dénommé CFC-11 étaient reparties à la hausse, malgré une production déclarée quasi nulle par les pays depuis 2006. Grâce à des travaux de modélisation de flux d'air, les scientifiques étaient parvenus à reconstituer la provenance de ces émissions et pointer du doigt un pays : la Chine. Et même plus précisément deux provinces du nord-est du pays : le Shandong et le Hebei.

Dans la foulée, une enquête de l'Agence internationale de l'environnement (AIE) révélait qu'au moins 18 entreprises chinoises produisaient ou utilisaient encore cette molécule interdite. « *Si la Chine n'arrête pas cette production illégale, elle mettra en péril la lente guérison de notre couche d'ozone* », avait alors prévenu Alexander von Bismarck, le directeur de l'AIE. D'après les observations ultérieures des scientifiques, la Chine a réagi. Et même rapidement.

En 2021, un article publié dans la revue *Nature* annonce que les émissions de CFC-11 ont drastiquement chuté en trois ans, « *bien qu'elles restent encore supérieures aux*

*attentes* », notent les auteurs. « *C'est la preuve que le protocole de Montréal est robuste, malgré l'absence de sanctions internationales* », commente Sophie Godin-Beekmann, du laboratoire Atmosphères et observations spatiales du CNRS et présidente de la Commission internationale sur l'ozone.

Mais pour les cinq CFC qui continuent d'augmenter actuellement, les choses sont différentes, prévient Luke M. Western. « *Cette fois, il ne s'agit pas d'une violation du protocole, même si nous ne pouvons pas l'exclure totalement. Il s'agit pour l'essentiel d'émissions non soumises au contrôle du protocole.* » C'est bien connu, le diable se cache dans les détails. Si le protocole interdit bien la production et l'utilisation des CFC qui peuvent se disperser *in fine* dans notre atmosphère, il n'interdit pas leur production et leur utilisation en tant que matières premières ou intermédiaires pour la fabrication d'autres composés chimiques. L'hypothèse étant que ces molécules seraient intégralement converties en d'autres produits, non toxiques pour l'ozone. On sait aujourd'hui que ce n'est pas le cas.

Parmi les cinq CFC étudiés dans l'article de Luke M. Western, trois seraient ainsi utilisés dans la production d'autres substances, notamment les HFC, les réfrigérants de troisième génération. Et cela, en toute légalité. « *Pour les deux autres CFC, nous n'avons pas vraiment d'idée de leur provenance* », avoue le chercheur. L'un d'eux, le CFC-13, pourrait être émis lors de la destruction d'anciens équipements contenant des CFC, « *mais nous n'avons que très peu d'informations sur les émissions liées à la destruction de nos vieux produits* ».

## Ozone et climat, même combat

Ces émissions remettent-elles en question la lente guérison de la couche d'ozone ? Dans le cas du CFC-11, les scientifiques estiment que les émissions illégales pourraient avoir retardé de trois ans le retour aux valeurs de 1980. En ce qui concerne les cinq autres CFC, leur impact reste pour l'heure minime : en prenant en compte leurs émissions cumulées depuis 2010, ils auraient contribué à une perte d'environ 0,002 % d'ozone.

« *Ces nouvelles émissions n'impactent que très légèrement le délai de guérison prévu*, confirme Luke M. Western.

*Toutefois, même un retard de quelques mois se traduira nécessairement par des cas supplémentaires de cancers de peau et de cataractes chez l'humain, il faut en avoir conscience. »*

Là n'est malheureusement pas le seul problème. En plus de grignoter l'ozone, ces gaz possèdent également un fort pouvoir réchauffant. « *Les cinq CFC que nous avons étudiés entraînent chaque année un réchauffement équivalent aux émissions annuelles de la Suisse* », indique le scientifique anglais. En réalité, les successeurs des CFC sont, eux aussi, des gaz à effet de serre considérables. Certains présentent un pouvoir de réchauffement global plus de 10 000 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub>.

C'est la raison pour laquelle un nouvel amendement au protocole de Montréal, l'accord de Kigali, adopté en 2016, prévoit désormais l'abandon progressif des substituts de troisième génération, les HFC. « *Le protocole de Montréal ne vise plus seulement à protéger notre couche d'ozone : il s'attaque désormais aussi aux gaz à effet de serre* », résume Sophie Godin-Beekmann.

Mais comme toujours, de nouveaux problèmes surviennent. Tout d'abord, la réduction drastique de l'offre de HFC en Europe a entraîné une envolée des prix. Et dans son sillage, un essor du commerce illégal. Selon une enquête de l'Agence internationale de l'environnement publiée en 2021, des trafiquants achètent des HFC bon marché en dehors de l'Union européenne et les revendent au prix fort, *via* la Roumanie notamment, en contournant le système de quotas européens mis en place dans le cadre de l'accord de Kigali. Le marché illégal des HFC pourrait atteindre le tiers du marché autorisé, selon le Comité technique européen des fluorocarbones (EFCTC), qui regroupe les producteurs et les utilisateurs de ces produits.

## Le piège des substituts

Second problème : les principaux substituts aux HFC, les hydrofluoroléfines ou HFO, réfrigérants dits de quatrième génération, pourraient entraîner de nouvelles complications. Certes, ils ne grignotent plus l'ozone. Certes, ils possèdent un très faible potentiel de réchauffement global. Mais leurs produits de

dégradation sont susceptibles de polluer durablement notre planète. Et pour cause : parmi ces produits se trouvent les fameux PFAS, un groupe d'environ 10 000 substances surnommées les « polluants éternels » au vu de leur extrême persistance dans l'environnement. L'enquête journalistique « Forever Pollution Project » a récemment révélé non seulement l'ubiquité de ces molécules dans notre environnement, mais aussi leur impact sanitaire, même à très faible dose.

Un rapport allemand publié en 2021 indique par exemple que les émissions liées aux HFO « *ajouteront une part supplémentaire importante aux quantités de trifluoroacétate [un PFAS – ndlr] dans l'atmosphère* ». Les auteurs appellent ainsi à envisager d'autres substituts que les HFO, comme les hydrocarbures, le dioxyde de carbone ou l'ammoniac. Le dernier rapport du Groupe de l'évaluation scientifique du protocole de Montréal mentionne également le risque d'une augmentation de trifluoroacétate dans l'atmosphère, en raison de l'utilisation future de HFO. Tout en précisant que les concentrations, mesurées et simulées, « *sont en général significativement en dessous des limites de toxicité connues à l'heure actuelle* ». De leur côté, les industriels s'inquiètent déjà de voir ces nouveaux substituts interdits aussitôt mis sur le marché.

Un étrange cercle vicieux semble enclenché : plus le thermomètre grimpe, plus les demandes en substances réfrigérantes augmentent et plus nous réchauffons et polluons notre planète. Mais Sophie Godin-Beekmann se veut rassurante : « *L'intérêt du protocole de Montréal, c'est qu'on peut le revisiter chaque année en fonction des connaissances scientifiques.* »

Plusieurs chercheurs appellent ainsi à restreindre l'utilisation des CFC en tant que matière première. Par ailleurs, cinq pays (Danemark, Allemagne, Pays-Bas, Norvège et Suède) ont soumis cette année une proposition de restriction des PFAS à l'Agence européenne des produits chimiques, qui inclut certains HFO. Reste à voir à quel point ces nouvelles données parviendront à faire évoluer le protocole de Montréal. Et si les pays et les industriels continueront de jouer le jeu.

Lise Barnéoud

---

Le journal MEDIAPART est édité par la Société Editrice de Mediapart - 127 avenue Ledru-Rollin, 75011 Paris.  
RCS Paris 500 631 932. Numéro de CPPAP : 1224Y90071 - Directeur de la publication : Carine Fouteau