



Idées débats, tribunes

Marie-Lise Chanin

DE L'ACADÉMIE
DES SCIENCES, PHYSICIENNE
DE L'ATMOSPHÈRE

L'ozone, selon qu'il est stratosphérique ou troposphérique...

« L'HD », dans le cadre d'un partenariat avec l'Académie des sciences, publie une nouvelle tribune donnant le point de vue d'un de ses membres sur de grandes thématiques scientifiques touchant à des enjeux de société.

■ L'ozone stratosphérique est un exemple fameux du bouleversement par l'homme d'un grand équilibre de la planète. Mais, une fois reconnus l'existence et les causes du « trou d'ozone », le protocole de Montréal, signé en 1987, établit les mesures à prendre pour lutter contre le phénomène. Trente ans après, il est possible de faire le bilan de cette action internationale volontariste et d'en tirer la leçon, en ce lendemain de COP21. C'est ce que présente ici Marie-Lise Chanin, de l'Académie des sciences, directrice de recherche émérite au CNRS, physicienne de l'atmosphère et pionnière de l'étude de celle-ci.

Le public confond fréquemment les deux problèmes posés par l'ozone dans l'atmosphère alors que leurs rôles sont très distincts : l'ozone troposphérique, qui se situe au niveau du sol et jusqu'à une dizaine de kilomètres, que l'on respire avec l'air pollué qui nous entoure et dont l'augmentation est néfaste pour la santé (c'est le mauvais), et l'ozone stratosphérique, situé au-dessus de 10 km et dont la diminution a été la première manifestation d'un changement d'origine anthropique dans l'environnement (c'est le bon). Cette destruction avait fait craindre une augmentation nocive du flux ultraviolet (UV) solaire sur notre planète et par conséquent une augmentation des cancers de la peau.

L'OZONE QUI POLLUE

L'ozone (O₃) de la troposphère en concentration élevée est nuisible pour la santé et pour la végétation, par conséquent sa concentration doit faire l'objet d'une surveillance permanente par les réseaux d'observation de la qualité de l'air. Celle-ci est assurée à l'échelle globale et locale, ce qui permet de lancer des « alertes à l'ozone » quasiment en temps réel. Ces alertes doivent être prises au sérieux car l'ozone est susceptible de pénétrer en profondeur dans les voies respiratoires et de provoquer une réaction inflam-

matoire bronchique. D'autre part, la pollution à l'ozone a des effets nuisibles sur la végétation : les principaux processus physiologiques de la plante sont altérés et la productivité des cultures agricoles peut être significativement réduite. Par ailleurs, l'augmentation de l'ozone troposphérique au cours de la période industrielle a également un effet sur le climat puisqu'elle contribue à environ 10 % de l'effet de serre additionnel.

10 % DE L'EFFET DE SERRE ADDITIONNEL EST DÛ À L'AUGMENTATION DE L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE DURANT LA PÉRIODE INDUSTRIELLE.

Malgré les mesures internationales prises pour diminuer les concentrations des constituants responsables de la formation d'ozone au sol, on n'a pas réussi à faire baisser le niveau d'ozone en France, où il dépasse régulièrement les seuils d'alerte fixés par l'Union européenne.

L'OZONE QUI PROTÈGE

Rappelons tout d'abord que le développement de la vie sur notre planète a été conditionné à la présence, autour de la Terre, de la molécule d'ozone. En effet, le rayonnement solaire dans l'ultraviolet B (entre 280 et 315 nanomètres) est partiellement absorbé par la couche d'ozone et ainsi, ce rayonnement très énergétique, destructeur de l'ADN, n'atteint pas la surface de la Terre. D'où l'inquiétude lorsqu'il a été mis en danger par les CFC.

Les CFC sont des constituants chlorés qui ont été très utilisés au sol dans les réfrigérateurs et comme propulseurs d'aérosols du fait de leur grande stabilité. Mais, lorsqu'ils s'élèvent dans la stratosphère, ils sont soumis à l'influence du rayonnement ultraviolet solaire et sont dissociés. Ils libèrent alors du chlore, qui rentre dans des cycles de réactions chimiques catalytiques détruisant l'ozone. Les émissions de CFC ont effectivement conduit jusqu'aux années 1990 à la destruction de 6 % de l'ozone à l'échelle mondiale. De plus, le fait que la température de la stratosphère soit plus froide aux pôles, et plus spécifiquement au-dessus de l'Antarctique, qu'aux autres latitudes explique l'occurrence, chaque printemps, d'un phénomène beaucoup plus dramatique : la formation du « trou d'ozone Antarctique ». En



B. EWMAN / ACADEMIE DES SCIENCES

fait, il y a une destruction totale de l'ozone vers 15-20 km, qui se traduit par une diminution de l'épaisseur totale d'ozone de 60 %. Les travaux de trois scientifiques, Sherwood Rowland, Mario Molina et Paul Crutzen, dans les années 1970 avaient laissé prévoir ces effets et leur ont valu de recevoir le prix Nobel de chimie en 1985.

Aujourd'hui, le contrôle de la concentration d'ozone stratosphérique est assuré grâce à l'application du protocole de Montréal mis en place en 1987, ratifié par plus de 190 pays, amendé depuis à plusieurs reprises et grâce auquel les substances destructrices d'ozone ont été bannies. On constate depuis quelques années avec satisfaction une diminution de la concentration du chlore dans la stratosphère, donc le résultat attendu de cette interdiction.

Mais les CFC ne disparaissent que lentement de l'atmosphère (leur durée de vie est de 50 à 100 ans) et on prévoit que l'ozone à l'échelle mondiale, c'est-à-dire entre 60°N et 60°S, reviendra à l'état d'avant 1960 vers 2050. Par contre, au-dessus des pôles, l'ozone continuera pendant des décennies à subir une destruction épisodique. En Antarctique, le « trou d'ozone » devrait continuer

EN ANTARCTIQUE, LE « TROU D'OZONE » DEVRAIT CONTINUER À SE FORMER AU MOINS JUSQU'EN 2060.

à se former au moins jusqu'en 2060, alors que la destruction d'ozone beaucoup plus variable en Arctique devrait disparaître vers 2050. Donc, le protocole de Montréal, à condition qu'il soit respecté, y compris avec ses amendements successifs, est un succès pour l'ozone stratosphérique.

L'IMPACT DU PROTOCOLE DE MONTRÉAL SUR LE CLIMAT

L'interdiction d'émettre les CFC destructeurs d'ozone imposée par le protocole de Montréal a été d'autant plus importante que ces gaz sont des gaz à effet de serre très puissants qui, s'ils avaient continué à s'accumuler dans l'atmosphère, auraient eu des conséquences ma-

jeures sur le bilan radiatif planétaire, donc sur le climat. Cependant, les substances qui les ont remplacés (HCFC, HFC (1)) sont elles aussi, pour la plupart, des gaz à effet de serre. La mise au point de nouveaux substituts est en conséquence un problème urgent à résoudre et pour lequel nous dépendons essentiellement des recherches industrielles. Parallèlement, il est important d'interdire l'utilisation des gaz CFC et HFC stockés, c'est pourquoi on conseille à tous les pays de détruire leurs stocks.

AMENDER L'ACCORD DE PARIS

La leçon de cette histoire est essentielle pour la suite de l'accord de Paris, obtenu lors de la COP21 en décembre 2015. Si le protocole de Montréal n'avait pas fait l'objet d'ajustements et d'amendements successifs fréquents, on serait aujourd'hui, sur le plan climatique, dans une situation beaucoup plus dramatique, puisque la contribution des CFC, dont la croissance a été stoppée dès 1987, aurait représenté 10 gigatonnes de CO₂ par an de plus dans l'atmosphère depuis les années 1990, soit cinq fois plus que l'objectif visé par le protocole de Kyoto, pour sa première période d'engagement. Ces amendements au protocole de Montréal sont régulièrement intervenus depuis sa signature, à des intervalles de cinq ans, en tenant compte des progrès de la science, ce qui fait de cet accord un modèle à suivre et un grand succès, à la fois pour l'ozone stratosphérique et pour le climat.

La date de révision prévue à l'heure actuelle pour l'accord de Paris a été fixée à 2025, ce qui est beaucoup trop tard. On peut cependant espérer raisonnablement que l'accord sera modifié sur ce point et sur d'autres, car la nécessité d'avoir un accord signé à la fin de la COP21 l'a emporté sur les « détails ». Mais il faudra être attentif ! Une note d'espoir : le cas de l'ozone constitue un exemple du fait que, lorsque l'homme décide de s'attaquer à un problème, il peut le résoudre. ★

(1) Respectivement hydrochlorofluorocarbures et hydrofluorocarbures.

POUR EN SAVOIR PLUS

LE SITE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES : WWW.ACADEMIE-SCIENCES.FR

« L'ÉVOLUTION DE L'OZONE ATMOSPHÉRIQUE : LE POINT EN 2015 », ACADEMIE DES SCIENCES, PAR M.-L. CHANIN, C. CLERBAUX, S. GODIN-BEECKMANN, ÉDITIONS TEC & DOC, LAVOISIER, 2015. ([HTTP://BIT.LY/1GJINOW](http://bit.ly/1GJINOW)).

Les fiches « l'Air » et « l'Ozone stratosphérique » rédigées par M.-L. Chanin dans le livret électronique de l'environnement de l'Académie des sciences : www.academie-sciences.fr/fr/Fiches-thematiques/livret-environnement.html

Site à consulter pour connaître l'état de l'ozone dans la troposphère : www.prevoir.org/en/analyse_o3.php

« L'OZONE STRATOSPHÉRIQUE », G. MÉGIE, COORD., ACADEMIE DES SCIENCES, RAPPORT N° 41, ÉDITIONS TEC & DOC LAVOISIER, 1998.

« OZONE ET PROPRIÉTÉS OXYDANTES DE LA TROPOSPHÈRE », G. MÉGIE, COORD., ACADEMIE DES SCIENCES, RAPPORT N° 30, ÉDITIONS TEC & DOC LAVOISIER, 1993.