La destruction de la couche d'ozone

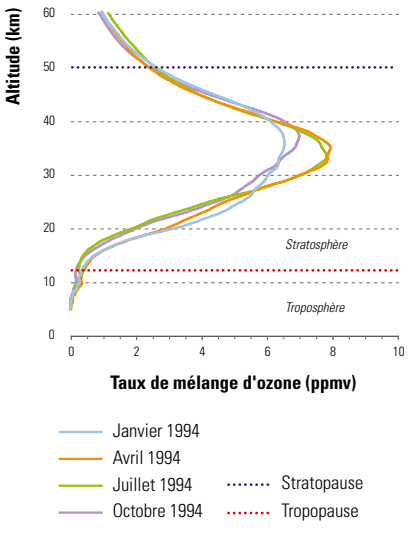
> Emmanuel MAHIEU
avec la collaboration de Pascal THEATE et Vincent BRAHY

L'ozone (O_3) est présent dans l'atmosphère terrestre en quantité limitée, avec un maximum de concentration entre 15 et 50 km d'altitude. Cette molécule y joue un rôle essentiel en filtrant les rayons solaires ultraviolets dont les effets sur les êtres vivants peuvent être nocifs. L'influence des activités humaines sur la couche d'ozone stratosphérique s'est manifestée dès le début des années 1980, principalement au dessus de l'Antarctique, où une baisse significative de la quantité totale d'ozone a été observée chaque printemps (ce que l'on nomme communément le «trou dans la couche d'ozone»). Depuis la mise en oeuvre du Protocole de Montréal en 1987, les émissions mondiales de substances halogénées à l'origine de cette destruction ont fortement diminué, laissant présager, sous nos latitudes, un retour à la normale de l'épaisseur de la couche d'ozone vers 2050.

L'ozone stratosphérique : un élément mineur mais indispensable de l'atmosphère terrestre

Environ 90 % de l'ozone atmosphérique est contenu dans la stratosphère, une couche de l'atmosphère située entre 12 et 50 km d'altitude. Sous nos latitudes, la concentration en O_3 stratosphérique[1] varie entre 1 et 8 ppmv. Son maximum se situe vers 35 km, mais l'altitude et l'amplitude de ce maximum varient avec la saison. Cette répartition de l'ozone en fonction de l'altitude indique que cette molécule n'est pas émise à la surface de la Terre comme les autres constituants minoritaires de l'atmosphère. Elle est en fait principalement formée photochimiquement dans la stratosphère. [↘ Fig AIR 2-1]

Fig AIR 2-1 *Exemple de distributions verticales mensuelles moyennes d'ozone dans une bande de latitudes centrée sur Bruxelles (année 1994)*



Source : *Moyennes d'observations effectuées par l'instrument satellisé HALOE (HALogen Occultation Experiment) entre 46 et 56°N*

L'ozone stratosphérique joue un rôle bénéfique en absorbant le rayonnement ultraviolet (UV)[2]. Il limite ainsi la propagation des radiations UV-B et UV-C jusqu'à la surface de la Terre et préserve la biosphère de la frange la plus énergétique de ce rayonnement nocif.

Les unités de mesure de la concentration en ozone stratosphérique

L'abondance d'un constituant atmosphérique est généralement exprimée en termes de taux de mélange. Celui-ci correspond à la fraction de volume occupé par les molécules de l'espèce considérée par rapport au volume unitaire d'air sec (en ppmv (10^{-6}), ppbv (10^{-9}) ou pptv (10^{-12}). La notion de colonne verticale est également utilisée. Cette dernière est obtenue en intégrant le nombre de molécules de l'espèce considérée contenues dans une colonne verticale de section unitaire. Elle est généralement exprimée en molécules/cm². Dans le cas de l'ozone, on utilise fréquemment l'unité «Dobson» (DU): un Dobson correspond à l'épaisseur, en centièmes de millimètre, que représenterait la couche d'ozone dans les conditions de pression et de température «standard», soit 1 000 hPa et 0° C. Un Dobson équivaut à 2,7 × 10^{16} molécules/cm².

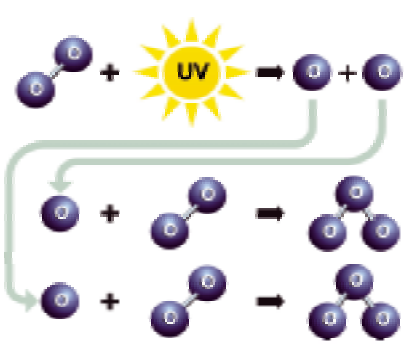
L'ozone est aussi présent dans la troposphère, mais en quantité plus réduite. Cette présence résulte soit de transferts de masses d'air de la stratosphère vers la troposphère, soit de la photo-oxydation sous l'action du rayonnement solaire ultraviolet de polluants précurseurs présents dans l'air ambiant (NO_x et COV). Contrairement à l'ozone stratosphérique, la présence d'ozone troposphérique est hautement indésirable pour la santé humaine, la croissance des végétaux et l'intégrité de certains matériaux [voir AIR 4].

La formation et la destruction de l'ozone stratosphérique

Selon la théorie de Chapman (1930), l'ozone se forme au cours d'une série de réactions chimiques dans lesquelles des atomes d'oxygène (O) résultant de la rupture de l'oxygène moléculaire (O_2) sous l'action des UV, produisent de l'ozone en se recombinant avec d'autres molécules d'oxygène. La formation d'ozone stratosphérique se déroule principalement dans les tropiques et durant l'été aux latitudes moyennes, là où le rayonnement solaire est le plus intense. Des réactions concurrentes de recombinaison (O_3+O → $2O_2$) et de photodissociation conduisent au contraire à la destruction de l'ozone. [↘ Fig AIR 2-2]

Les concentrations théoriques en ozone déduites de la théorie de Chapman sont toutefois

Fig AIR 2-2 *Représentation simplifiée de la production d'ozone dans la stratosphère*



deux fois plus élevées que celles qui sont observées dans la stratosphère. La découverte de mécanismes supplémentaires de destruction de l'ozone dans les années 70 a permis de réconcilier théorie et observations. Il s'agit de cycles catalytiques faisant intervenir des composés hydrogénés, azotés mais aussi halogénés (chlore et brome) [dossier scientifique].

Si le chlore est naturellement présent dans la stratosphère[3], l'augmentation de sa concentration a essentiellement résulté de la photodissociation des chlorofluorocarbones (CFC ou Fréons®)[4], des substances qui ont été utilisées intensivement en réfrigération, dans des matériaux d'isolation (mousses de polyuréthane et de polystyrène extrudé), dans les systèmes de conditionnement d'air ou encore comme gaz propulseurs (aérosols). La grande stabilité de ces composés[5] conduit à leur accumulation dans la troposphère après usage. Après diffusion progressive vers la stratosphère, ils y sont photodissociés en libérant du chlore actif capable de détruire l'ozone.

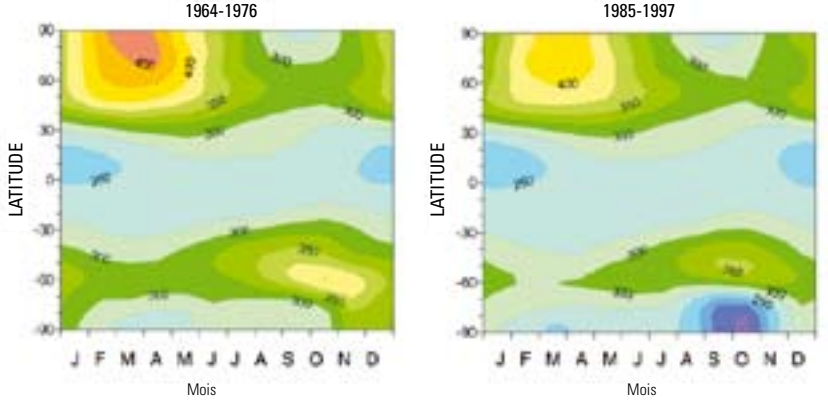
Quant au brome, il se propage dans la stratosphère sous forme de bromure de méthyle (CH_3Br) utilisé principalement pour la désinfection des sols, ou de halons (tels $CBrClF_2$ ou $CBrF_3$) utilisés dans les extincteurs pour lutter contre les incendies[6].

Le trou dans la couche d'ozone résulte de mécanismes complexes

Les mécanismes faisant intervenir des cycles catalytiques conduisent à une destruction progressive, lente et relativement uniforme de l'ozone. La mise en évidence en 1985 du «trou d'ozone» au-dessus de la station de Halley Bay dans l'Antarctique a nécessité l'identification de processus supplémentaires permettant d'expliquer les destructions massives et printanières d'ozone au dessus du Pôle Sud. Des mesures satellitaires ont rapidement corroboré ces observations, ajoutant que la destruction de l'ozone était quasi-totale entre 10 et 20 km d'altitude, précisément dans une zone de l'atmosphère où des maxima de concentrations auraient dû être normalement enregistrés durant le printemps polaire.

La destruction de l'ozone au dessus de l'Antarctique s'explique par les conditions météorologiques extrêmes rencontrées au cours de l'hiver polaire et qui conduisent à la formation de nuages stratosphériques. Ceux-ci sont caractérisés par la présence de particules qui, dès le retour de la lumière au printemps, sont le siège de réactions chimiques hétérogènes convertissant le chlore moléculaire (Cl_2) en substance active capable de détruire l'ozone très efficacement. On observe moins ce phénomène au Pôle Nord car la topographie plus irrégulière des lieux induit des conditions climatiques plus instables limitant généralement la persistance de nuages stratosphériques arctiques [dossier scientifique].

Représentation des colonnes totales d'ozone (en unité Dobson DU) déterminées à partir de stations de mesures au sol, en fonction de la latitude et de la saison.



Source : *OMM (1999).*

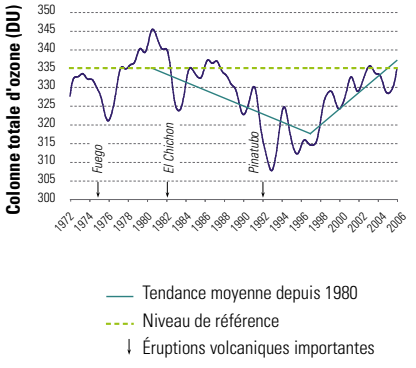
La couche d'ozone peut également être affectée par des aérosols sulfatés stratosphériques formés suite à des éruptions volcaniques intenses (comme celle du Mont Pinatubo en 1991 p.ex.). Les gouttelettes d'acide sulfurique qui se forment dans la stratosphère sont alors le siège de réactions chimiques hétérogènes analogues à celles qui se produisent au sein des nuages stratosphériques polaires.

Une couche d'ozone qui s'est appauvrie

Au cours des dernières décennies, certaines pratiques domestiques, industrielles ou agricoles ont joué un rôle dans la diminution de la couche d'ozone, en émettant dans l'atmosphère des composés azotés, chlorés ou bromés. La superficie du «trou d'ozone» antarctique n'a cessé de croître pour passer de 5 à 25 millions de km^2 entre 1985 et 2001, tandis que les colonnes moyennes enregistrées dans cette région en octobre ont été divisées par 3 entre le début des années 70 et nos jours [dossier scientifique].

Au niveau des latitudes moyennes, des mesures réalisées à Uccle depuis plus de 30 ans indiquent que la colonne totale d'ozone a diminué en moyenne de (0,28 ± 0,05) % par an sur la période 1981-1996, soit une perte totale cumulée de l'ordre de 5 % par rapport au niveau de référence (1972-1980). Les plus fortes décroissances ont été observées en hiver et au printemps. On note cependant une tendance à une récupération de la couche d'ozone depuis 1997. Cette évolution, même si elle est encourageante, doit être interprétée avec prudence car d'une part, le phénomène présente une variabilité naturelle importante et d'autre part, elle ne concerne qu'une période relativement courte de 9 ans. [↘ FIG AIR 2-3]

FIG AIR 2-3 ***Evolution à long terme de la colonne totale d'ozone au dessus de Bruxelles***



Source : *KMI-IRM*

Quels liens entre changements climatiques et destruction de la couche d'ozone ?

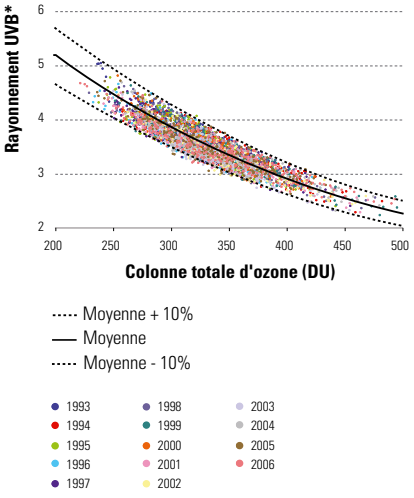
L'appauvrissement de la couche d'ozone et les changements climatiques ont longtemps été considérés comme deux problématiques environnementales distinctes, alors qu'il existe bel et bien des interactions entre ces deux phénomènes. En effet, si les gaz à effet de serre sont responsables de l'augmentation de la température à la surface de la Terre, ils entraînent par contre un refroidissement de la stratosphère qui favorise la destruction de l'ozone. Les variations du climat pourraient donc retarder la restauration de la couche d'ozone au dessus des pôles. A l'inverse, des changements dans la température et dans la circulation des masses d'air dans la stratosphère affecteraient les conditions climatiques dans la troposphère. Des recherches sont actuellement en cours afin de mieux comprendre ces interactions.
Il faut également rappeler que la majorité des composés incriminés dans la destruction de la couche d'ozone ainsi que certains de leurs produits de substitution (comme par exemple les HFC utilisés actuellement dans la production de mousses isolantes ou comme agent propulseur) sont de puissants gaz à effet de serre [voir AIR 1].

Les conséquences de l'augmentation des rayonnements UV

Il existe une relation inverse entre le rayonnement UV-B mesuré à la surface de la Terre et la colonne totale d'ozone. Cette relation a été démontrée à l'aide de mesures réalisées à Uccle (KMI-IRM)[7]. [↘ Fig AIR 2-4]

Sur base de mesures effectuées dans plus de dix sites répartis autour du globe, les experts du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) ont conclu que le rayonnement UV de surface avait augmenté de 6 à 14 % depuis le début des années 80. A Uccle, les doses UV enregistrée à midi ont été affectées d'une hausse moyenne de 0,55 % par an entre 1990 et 2006. Etant donné que de nombreux facteurs interviennent dans la problématique (nébulosité, contenu en aérosols, pollution locale…), il est difficile de préciser la part de responsabilité liée à la diminution de l'ozone. Le PNUE estime cependant qu'elle pourrait intervenir pour moitié dans les changements observés [dossier scientifique].

Fig AIR 2-4 *Relation inverse entre le rayonnement UV-B et la colonne d'ozone mesurée à Uccle (1990-2006)*



* *corrigé en fonction de la couverture nuageuse*

Source : *IASB-BIRA*

De nombreuses études ont démontré que les conséquences de l'augmentation des doses UV-B au niveau du sol sont néfastes, tant pour les organismes vivants que pour les matériaux. Ainsi, une diminution de la colonne d'ozone stratosphérique de 10 % conduirait chez l'homme, au niveau mondial, à :

- une augmentation des cancers de la peau évaluée à 300 000 cas supplémentaires par an ;
- 1,6 à 1,75 millions de nouveaux cas de cataracte chaque année ;
- un possible affaiblissement du système immunitaire tant pour les individus à peau claire que pour ceux à peau foncée [voir SANTE 2].

Les animaux seraient susceptibles de subir les mêmes effets, en particulier au niveau des yeux. Les rayons UV-B ralentissent également la croissance de certains végétaux comme le riz, le maïs et différentes essences forestières. Ils peuvent, en outre, atteindre une profondeur de 20 mètres sous la surface des eaux claires et affecter des organismes vivants comme le plancton, les larves de poisson, les crevettes, les crabes ou encore certaines algues marines. Les impacts sont en général plus conséquents étant donné que la dégradation du phytoplancton provoque une perte de biomasse pour tous les organismes situés en aval de la chaîne alimentaire. Enfin, une augmentation de la quantité d'UV-B induit aussi des risques accrus de dégradation des bâtiments et de différents types de matériaux (bois, plastiques, peintures, caoutchoucs…).

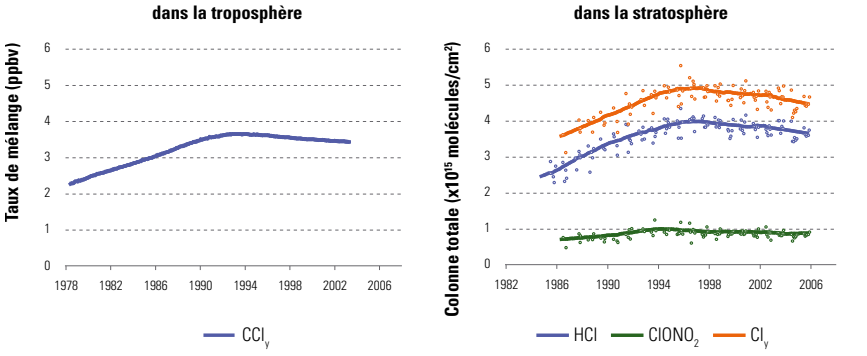
Les émissions et les concentrations des composés halogénés sont sous surveillance

L'évolution de la concentration totale en chlore dans la troposphère (CCl_y) a été déterminée à partir de la mesure *in situ* des principaux gaz sources chlorés. Ces mesures montrent qu'après une période de croissance soutenue jusqu'au début des années 1990, la quantité totale de chlore troposphérique s'est stabilisée pour atteindre un maximum en 1993. Depuis, on note une décroissance faible mais continue des niveaux de concentration en chlore dans la basse atmosphère.

L'évolution de la quantité totale de chlore stratosphérique (Cl_y) a quant à elle, pu être mise en évidence grâce à des mesures spectrométriques des deux principaux composés chlorés présents dans cette zone de l'atmosphère (HCl et $ClONO_2$). L'évolution est similaire à celle enregistrée dans la troposphère mais avec un maximum de concentration enregistré en 1996-1997. Ce délai résulte du temps nécessaire à la diffusion des composés chlorés de la troposphère vers la stratosphère. On observe ensuite également une décroissance lente mais significative des concentrations en chlore stratosphérique de l'ordre de 1 % par an. [↘ Fig AIR 2-5]

L'évolution de la charge en brome fait également l'objet d'une surveillance attentive et récurrente. Des mesures de BrO, principal composé bromé dans la stratosphère diurne, indiquent une croissance significative de son abondance jusqu'en 2002. On note ensuite une stabilisation suivie des premières indications d'une décroissance au cours de ces dernières années. Cette tendance encore incertaine devra être confirmée par la poursuite des mesures. [↘ Fig AIR 2-6]

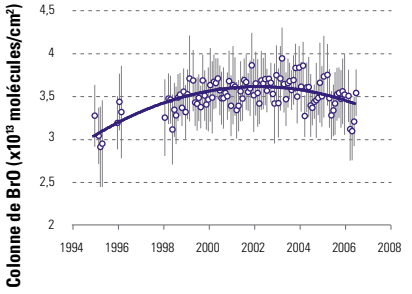
FIG AIR 2-5 *Evolution de la charge en chlore troposphérique et stratosphérique*



La charge en chlore troposphérique est déduite de mesures in situ effectuées par le réseau AGAGE (Advanced, Global Atmospheric Gases Experiment) et la charge en chlore stratosphérique est déduite de télémesures effectuées par l'Université de Liège à la station scientifique internationale du Jungfraujoch (Alpes suisses, 46,5°N, altitude 3580 m)

Sources : *Réseau AGAGE ; ULg-GIRPAS*

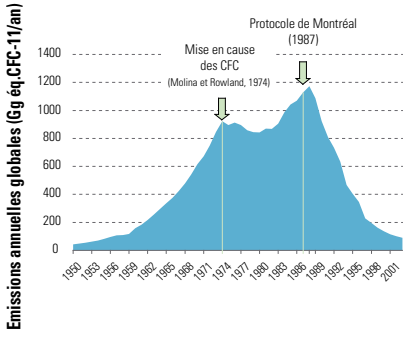
FIG AIR 2-6 *Evolution des abondances moyennes mensuelles de BrO dans la stratosphère*



Mesures effectuées à Harestua (Suède) à l'aide d'un instrument opérant dans l'UV.

Source : *Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB-BIRA)*

FIG AIR 2-7 *Emissions planétaires des principaux composés organiques chlorés**



**CFC, Halons, CCl_4, CH_3CCl_3 et HCFC*

Source : *Inventaire AFEAS*[10]

Un règlement européen plus sévère que le Protocole de Montréal pour restaurer la couche d'ozone

Le 16 septembre 1987, soit 13 ans après la mise en cause des CFC dans la destruction de la couche d'ozone, le Protocole de Montréal est signé par 46 pays, dont la Belgique. Le principal succès de ce texte est l'élaboration d'un calendrier visant à éliminer progressivement la production[8] des substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO)[9]. Depuis sa ratification, le Protocole a été amendé et ajusté à plusieurs reprises avec, à chaque fois, un renforcement des réglementations existantes. L'amendement de Copenhague (1992) impose par exemple l'élimination complète des CFC dès l'année 2000. L'utilisation des SAO dans certaines applications très spécifiques, principalement dans le domaine médical, reste cependant autorisée dans l'attente de la mise au point de solutions alternatives.

Le Protocole de Montréal fait partie des rares accords internationaux qui ont abouti à des résultats probants au niveau environnemental. En effet, les émissions planétaires cumulées des principales SAO ont diminué de plus de 90 % entre 1988 et 2003, suite aux restrictions imposées par le Protocole. [↘ FIG AIR 2-7]

Le Protocole de Montréal a été récemment transcrit en droit européen sous la forme du Règlement 2037/2000/CE[11]. Le champ d'application de ce texte législatif est plus vaste que celui du Protocole de Montréal car il réglemente notamment de nombreux aspects relatifs à la production, la mise sur le marché, l'importation, l'exportation, l'utilisation et la récupération des SAO. Le calendrier pour l'élimination des HCFC est également plus contraignant car il impose l'interdiction de la production de ces composés dès 2026 [dossier scientifique].

Les autorités wallonnes sont tenues de mettre directement en application ce Règlement[12], à l'exception des dispositions concernant la mise sur le marché des SAO, ces dernières demeurant de la compétence de l'autorité fédérale. L'application du Règlement 2037/2000/CE fait actuellement l'objet d'une procédure de contentieux entre la Commission européenne et la Belgique, notamment parce que le Gouvernement wallon n'a pas adopté d'arrêtés mettant en application certaines dispositions dans les délais requis. En conséquence, deux arrêtés du Gouvernement wallon (AGW) sont actuellement en voie d'être adoptés par le Gouvernement wallon[13] :

1. Un AGW déterminant les conditions sectorielles et intégrales pour les installations de production de froid ou de chaleur mettant en œuvre un cycle frigorifique. Cet arrêté vise les exploitants des équipements. Il concerne l'installation, la mise en service, l'entretien, la réduction des fuites et le contrôle des équipements frigorifiques ;
2. Un AGW tendant à prévenir la pollution lors de l'installation et la mise en service des équipements frigorifiques fixes contenant de l'agent réfrigérant fluoré (CFC,HCFC,HFC) ainsi qu'en cas d'intervention sur ces équipements. L'objectif est de s'assurer que les interventions soient effectuées par du personnel suffisamment qualifié, via la délivrance d'un certificat de compétence environnementale aux entreprises et techniciens frigoristes.

Enfin, l'adoption prochaine de dispositions relatives à la modification des agréments des sociétés assurant le démantèlement des dispositifs d'extinction contenant des halons devrait permettre une application complète du Règlement européen en Région wallonne.

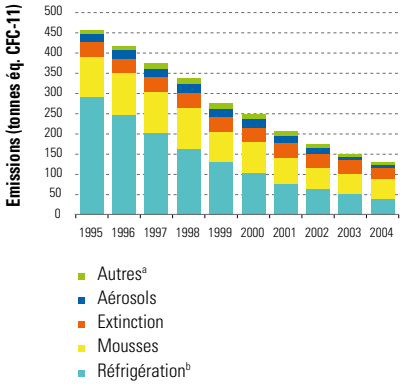
Evolution des émissions de substances appauvrissant la couche d'ozone en Région wallonne

Les émissions totales de SAO en Région Wallonne ont été divisées par 3,5 entre 1995 et 2004, ce qui représente une diminution de

l'ordre de 13 % par an en moyenne[14]. La diminution la plus marquée concerne les émissions de composés utilisés pour la réfrigération. Cette diminution s'explique notamment par :

- la mise en œuvre de l'AR du 7 mars 1991 réglementant l'utilisation de certains CFC dans les installations frigorifiques, lequel a été pris en application du Protocole de Montréal par l'autorité fédérale ;
- l'interdiction progressive des HCFC dans les installations neuves de réfrigération (règlement européen 2037/2000/CE) et leur remplacement par des HFC. [↘ Fig AIR 2-8]

Fig AIR 2-8 *Evolution des émissions de substances appauvrissant la couche d'ozone, par type d'application en Région wallonne*



[a]*solvants, fumigation, désinfection, nettoyage à sec, dégraissage...*
[b]*frigos et air conditionné*
Sources : *MRW-DGRNE-DPA (Cellule Air) ; ECONOTEC-VITO*

Les inventaires d'émissions de substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO)

Au niveau belge, les inventaires d'émissions de SAO ainsi que de gaz à effet de serre fluorés visés par le Protocole de Kyoto sont réalisés sur base annuelle. Les substances concernées sont les CFC, le CCl_4, le CH_3CCl_3, les Halons, le CH_3Br, les HCFC et, pour les gaz à effet de serre fluorés, les HFC et le SF_6. L'inventaire précise la répartition des émissions en fonction des régions du pays et du type d'application (réfrigération, isolation, extinction...). Malgré tout le soin apporté à leur établissement, ces inventaires sont inévitablement entachés d'incertitudes provenant des difficultés liées à la collecte des données, au nombre important de substances visées, ainsi qu'à la très grande variété de leurs applications.

On observe en outre qu'une part croissante du total des émissions de SAO provient des mousses d'isolation thermique (essentiellement des mousses de polyuréthane et de polystyrène extrudé)[15], suite à la libération lente et progressive des CFC encore contenus dans les panneaux d'isolation existants. Ces émissions sont cependant en diminution suite à l'interdiction, depuis une dizaine d'années, d'utiliser des CFC pour produire de telles mousses.

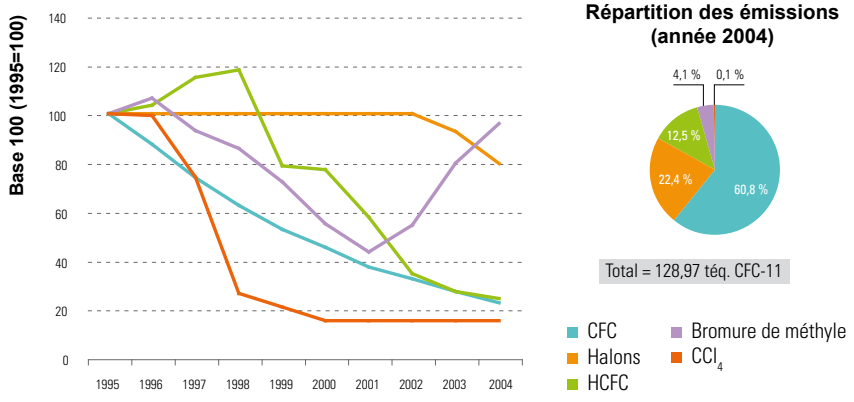
Les émissions issues des inhalateurs pour asthmatiques (aérosols) ont récemment régressé suite à l'apparition sur le marché de produits de substitution (inhalateurs à poudre sèche sans gaz propulseur ou inhalateur utilisant des HFC), alors que les quantités émises à partir des systèmes d'extinction sont restées relativement stables au cours du temps. Celles-ci proviennent notamment de déclenchements intempestifs et de fuites dans les anciens équipements contenant des halons. Notons que ces équipements sont censés être hors service depuis le 31 décembre 2003, conformément au règlement européen 2037/2000/CE[16].

Malgré une décroissance significative de leurs émissions entre 1995 et 2004, les CFC restent les principaux vecteurs de chlore vers la stratosphère. En 2004, ils représentaient encore plus de 60 % des émissions wallonnes de SAO. En tant que substituts des CFC, les émissions de HCFC ont temporairement augmenté avant que ces molécules ne soient progressivement remplacées par d'autres (comme les HFC)[17] à partir de 2000. [↘ Fig AIR 2-9]

Poursuivre et améliorer la récupération des fréons présents dans les équipements frigorifiques

Différentes filières de récupération des SAO sont organisées en Région wallonne en fonction du type d'application[18]. En particulier, le recensement des quantités de CFC collectées lors de la destruction des frigos domestiques par des entreprises spécialisées permet de soustraire des inventaires d'émission les quantités de produits qui ne seront jamais émises vers l'atmosphère du fait de leur récupération et de leur incinération. A titre indicatif, dans le cadre du programme de collecte Recupel, près de 11 tonnes de CFC-11 et de CFC-12 ont été récupérées et détruites en 2004 en Région wallonne (pour un total de 33 tonnes en Belgique)[19] lors du démantèlement par la société Recydel des mousses et des circuits frigorifiques contenus dans les frigos [voir DEC 2]. Selon les inventaires actuellement disponibles, ces quantités récupérées représenteraient moins de 30 % des quantités de CFC présents dans les équipements arrivés en fin de vie. Ce constat pose actuellement question au niveau de la précision des inventaires réalisés et/ou des performances de la filière de récupération.

Fig AIR 2-9 *Evolution des émissions de substances appauvrissant la couche d'ozone, par type de substances en Région wallonne*



Sources : *MRW-DGRNE-DPA (Cellule Air) ; ECONOTEC-VITO*

Enjeux et perspectives

Dans la problématique de la couche d'ozone, la communauté internationale a pu démontrer sa capacité à prendre à temps les bonnes décisions et à en assurer une mise en œuvre efficace. Les restrictions de la production et de l'utilisation des substances appauvrissant la couche d'ozone imposées par le Protocole de Montréal et plus récemment par la législation européenne ont produit les effets escomptés. Elles ont en effet permis de freiner et de diminuer ensuite drastiquement les émissions de SAO dans l'atmosphère. La stabilisation et la réduction des concentrations stratosphériques des principaux gaz responsables de la destruction de la couche d'ozone, à savoir le chlore et le brome, ont d'ailleurs été confirmées récemment. Des projections réalistes indiquent cependant que malgré tous ces efforts, la colonne d'ozone stratosphérique de (60° N à 60° S) ne devrait connaître un retour complet à la normale sous nos latitudes que vers 2050, sans pouvoir exclure que d'autres changements atmosphériques globaux ne hâtent ou ne diffèrent son rétablissement progressif.

La Région wallonne a contribué à cet effort de restauration de la couche d'ozone en réduisant ses émissions de SAO de plus de 70 %, même si la part des émissions wallonnes ne représente qu'un très faible pourcentage (~ 0,1 %) des émissions mondiales. Afin de maintenir son effort de participation, le principal défi que la Région wallonne doit encore relever a trait essentiellement à la mise en application complète de la réglementation européenne dans le domaine. La Région devra en particulier assurer une mise en œuvre effective des dispositions prévues dans les futurs AGW, via notamment la mise en place d'un système de contrôle efficace. Elle devra aussi établir un inventaire des systèmes d'extinction contenant des halons, afin de pouvoir organiser leur démantèlement[16], conformément aux obligations du règlement 2037/2000/CE.

On soulignera également les efforts à réaliser au niveau de l'amélioration continue des inventaires d'émissions, de la formation du personnel spécialisé et de l'optimisation des filières de récupération et de destruction des SAO présents dans certains types d'équipement. Il apparaît cependant difficilement envisageable d'étendre la récupération et l'incinération des SAO à d'autres types d'applications que celles pour lesquelles des filières existent déjà. On pense notamment aux SAO présentes dans les panneaux et les mousses d'isolation déjà installées dans les bâtiments et qui vont continuer à diffuser lentement dans l'atmosphère.

Sources principales

MAHIEU, E. 2006. *La destruction de la couche d'ozone et ses implications en Région wallonne* : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. Groupe Infra-Rouge de Physique Atmosphérique et Solaire, Département d'Astrophysique, de Géophysique et d'Océanographie,Université de Liège.41p.

ACADEMIE DES SCIENCES. 2000. *Stratospheric ozone.* Report nº 41 de l'Académie des Sciences. Ed. Tec & Doc (ISBN: 2-7430-373-1).

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) & groupe de l'évaluation technique et économique (GETE-PNUE). 2005. *Préservation de la couche d'ozone et du système climatique planétaire. Questions relatives aux hydrofluorocarbures et aux hydrocarbures perfluorés.* Résumé à l'intention des décideurs et résumé technique. 84 p. (http://www.ipcc.ch)

Organisation météorologique mondiale (OMM). 1999. *Scientific Assessment of Ozone Depletion : 1998.* Global Ozone Research and Monitoring Project, Report N° 44. Geneva.

Organisation météorologique mondiale (OMM). 2003. *Scientific Assessment of Ozone Depletion : 2002.* Global Ozone Research and Monitoring Project, Report N° 47. Geneva.

Organisation météorologique mondiale (OMM). 2006. *Scientific Assessment of Ozone Depletion : 2006* – Executive summary. 24 p.

Programme des nations unies pour l'environnement (PNUE). 2003. *Synthèse des rapports 2002 des Groupe de l'évaluation scientifique.* Groupe de l'évaluation des effets sur l'environnement, Groupe de l'évaluation technique et économique du Protocole de Montréal.

ZANDER, R. & DE MAZIERE, M. 2004. *Atmospheric composition changes : Causes and processes involved.* Chapter 1 of "Belgian global change research 1990-2002 : Assessment and Integration Report". Eds. G. den Ouden and M. Vanderstraeten. A publication from the Belgian Federal Science Policy Office, Depot nr. D/2004/1191/48.

Remerciements

Nous remercions pour leur collaboration et/ou relecture :

Hugo De BACKER, Vincent GUISSARD, Catherine HALLET, Thierry HOSAY, Jean-Paul LEDANT, Paul PETIT, Christian TRICOT, Michel Van ROOZENDAEL, Didier VERHEVE et Edwin ZACCAI

(1) L'ozone représente environ 0,0005 % du volume d'air sec de l'atmosphère.

(2) Le rayonnement ultraviolet (UV) occupe dans le spectre électromagnétique une position intermédiaire entre le visible et les rayons-X. On subdivise fréquemment les UV selon trois gammes d'énergie croissante : les UV-A (315-380 nm), les UV-B (280-315 nm) et les UV-C (< 280 nm).

(3) Suite à la photolyse du chlorure de méthyle (CH_3Cl).

(4) Principalement les CFC-11 (CCl_3F) et CFC-12 (CCl_2F_2). Les propriétés physiques et thermodynamiques extrêmement intéressantes de ces molécules (non-toxiques, ininflammables, stables, inodores…) en ont fait des composés de choix dans de nombreuses applications industrielles et domestiques. Les CFC présentent également de fortes et larges absorptions dans l'IR qui en font de puissants gaz à effet de serre avec des potentiels de réchauffement global élévés [voir AIR 1].

(5) Leur durée de vie dans la troposphère est de plusieurs dizaines d'années.

(6) Comme il n'existe pas de réservoirs stables permettant de piéger même temporairement le brome dans la stratosphère, cet halogène est environ cinquante fois plus efficace que le chlore dans la destruction de l'ozone.

(7) L'IRM fournit en ligne pour la Belgique des prévisions actualisées de l'index-UV : http://www.meteo.be/francais/index.php.

(8) Il n'existe aucune unité de production de SAO en Belgique.

(9) Les substances visées par le Protocole de Montréal et ses renforcements successifs sont les CFC, les HCFC, le CCl_4, le CH_3CCl_3, les halons, le CH_3Br ainsi que les hydrobromofluorocarbones (HBFC).

(10) Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study : http://www.afeas.org/production_and_sales.html.

(11) Règlement 2037/2000/CE du parlement européen et du Conseil du 29 juin 2000 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Journal officiel des Communautés européennes. L 244.

(12) Sans devoir passer par une étape de transposition en droit interne.

(13) L'utilisation des HFC (non visés par le Règlement 2037/2000) dans les équipements frigorifiques sera également couverte par ces deux arrêtés de manière à répondre à certaines des dispositions du nouveau Règlement européen 842/2006 relatif à certains gaz à effet de serre fluorés.

(14) ECONOTEC-VITO. 2004. Update of the emission inventory of ozone depleting substances, HFC, PFC and SF_6.

(15) Bien que la commercialisation des mousses contenant des CFC et des HCFC soit complètement interdite depuis octobre 2000 (règlement européen 2037/2000/CE)

(16) À l'exception de certaines utilisations ciblées, en particulier pour la Région wallonne à la centrale nucléaire de Tihange.

(17) Ces composés sont cependant de puissants GES [voir AIR 1] qui font également l'objet de restrictions (confinement dans les installations fixes de réfrigération et de climatisation et interdiction en climatisation automobile pour les HFC avec un Potentiel de Réchauffement Global > 150 [voir TRANS]) (règlement européen 842/2006/CE et directive 2006/40/CE).

(18) Arrêté du Gouvernement wallon du 25 avril 2002 instaurant une obligation de reprise de certains déchets en vue de leur valorisation ou de leur gestion (M.B. du 18/06/2002, p. 27730)

(19) Soit 10,1 tonnes de CFC-12 dans les circuits frigorifiques et 22,6 tonnes dans les mousses isolantes contenues dans les frigos.