

## La pollution photochimique

> Catherine BLIN

avec la collaboration d'Isabelle HIGUET, Paul PETIT et Vincent BRAHY

*La pollution photochimique est mieux connue sous le terme de «pollution par l'ozone troposphérique» ou encore de «pics d'ozone estivaux». L'ozone n'est pas un polluant qui est émis directement dans l'atmosphère par les activités humaines<sup>(1)</sup>. Sa formation résulte en effet de réactions photochimiques complexes, faisant intervenir d'autres polluants déjà présents dans l'air ambiant, appelés «précurseurs d'ozone». Etant donné que l'ozone troposphérique peut nuire à la santé humaine, au développement de la végétation et endommager certains types de matériaux, à des niveaux de concentrations régulièrement observés dans nos régions, il est indispensable de lutter contre cette pollution, en réduisant tant les concentrations de fond, que la fréquence et l'intensité des «pics» d'ozone. Pour atteindre cet objectif, il convient de réduire en priorité les émissions de précurseurs d'ozone, aussi bien au niveau wallon, qu'à l'échelle du continent européen et de l'hémisphère nord.*

### Ne pas confondre ozone troposphérique et ozone stratosphérique !

L'ozone est présent partout dans l'atmosphère, en concentration variable, jusqu'à une altitude d'environ 80 km. Alors qu'il peut constituer un polluant dans la troposphère<sup>(2)</sup> - c'est-à-dire dans l'air que nous respirons -, il représente dans la stratosphère un élément protecteur indispensable à la vie sur Terre. Ce qu'on appelle communément la «couche d'ozone» est en réalité une «couche» de molécules d'ozone dispersées dans la stratosphère entre 15 et 50 km d'altitude. Cette «couche» filtre une partie des rayons ultraviolets émis par le soleil, dont certains sont notamment responsables de cancers de la peau. L'ozone stratosphérique est menacé de destruction par certains polluants atmosphériques d'origine anthropique, dont les plus connus sont les chlorofluorocarbones [voir AIR 2].

### Des réactions photochimiques extrêmement complexes

Dans la basse atmosphère, l'ozone est un polluant «secondaire», qui se forme à partir de polluants «primaires» appelés «précurseurs d'ozone». Ces précurseurs sont d'une part, les oxydes d'azote ( $\text{NO}_2$  et  $\text{NO}$ , généralement regroupés sous le terme de  $\text{NO}_x$ ) et d'autre part, les composés organiques volatils (COV).

La formation d'ozone résulte de plusieurs réactions simultanées de formation et de destruction d'ozone. En fonction des conditions météorologiques, des concentrations de

précurseurs ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  et COV) et des proportions relatives de ces précurseurs entre eux, le bilan de ces réactions complexes mène soit à la formation, soit à la destruction de l'ozone formé.

La formation d'ozone se déroule uniquement sous l'action du rayonnement solaire (c'est-à-dire généralement en été, par temps ensoleillé et chaud), tandis que sa destruction s'opère de jour comme de nuit. C'est pour cela que lors des épisodes de concentrations élevées en ozone, la concentration en ozone dans l'air ambiant est minimale le matin, augmente au fur et à mesure au cours de la journée, atteint un pic en fin d'après-midi, puis diminue pendant la nuit.

### L'évolution des émissions de précurseurs d'ozone ( $\text{NO}_x$ et COV) en Région wallonne

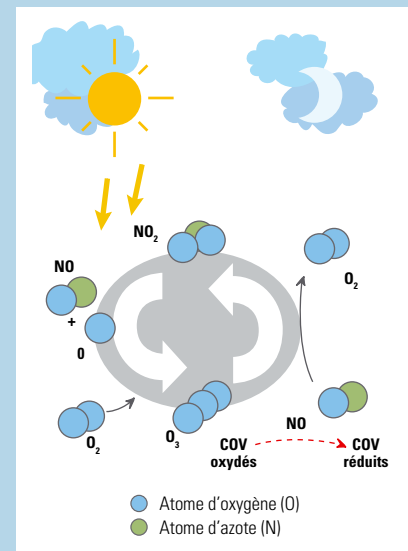
Les oxydes d'azote ( $\text{NO}$  et  $\text{NO}_2$ ) se forment lors de toute opération de combustion, essentiellement par oxydation de l'azote présent dans l'air. En 2004, les principales sources de  $\text{NO}_x$  en Région wallonne sont :

- les transports, via la combustion d'essence et de diesel dans les moteurs ;
- le secteur industriel, en particulier les sous-secteurs qui consomment de grandes quantités de combustibles (cimenteries, sidérurgie, cokeries, verreries...) et ceux qui produisent de l'acide nitrique.

### Formation et destruction de l'ozone troposphérique

Les réactions photochimiques conduisant à la formation d'ozone sont extrêmement complexes. De manière simplifiée, on considère que la réaction de formation de l'ozone troposphérique est initiée par la photodissociation d'une molécule de dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) par des radiations solaires UVA ou UVB, formant ainsi un radical oxygène ( $\text{O}$ ) et un radical de monoxyde d'azote ( $\text{NO}$ ). Le radical oxygène se combine avec une molécule d'oxygène ( $\text{O}_2$ ) pour former une molécule d'ozone ( $\text{O}_3$ ), qui est une molécule très instable.

La destruction de l'ozone est due à sa réaction avec le monoxyde d'azote ( $\text{NO}$ ) pour reformer du dioxyde d'azote. Cependant, cette destruction est partiellement inhibée par les COV, qui réagissent avec le radical  $\text{NO}$ , empêchant donc celui-ci de réagir avec l' $\text{O}_3$  et de le détruire.



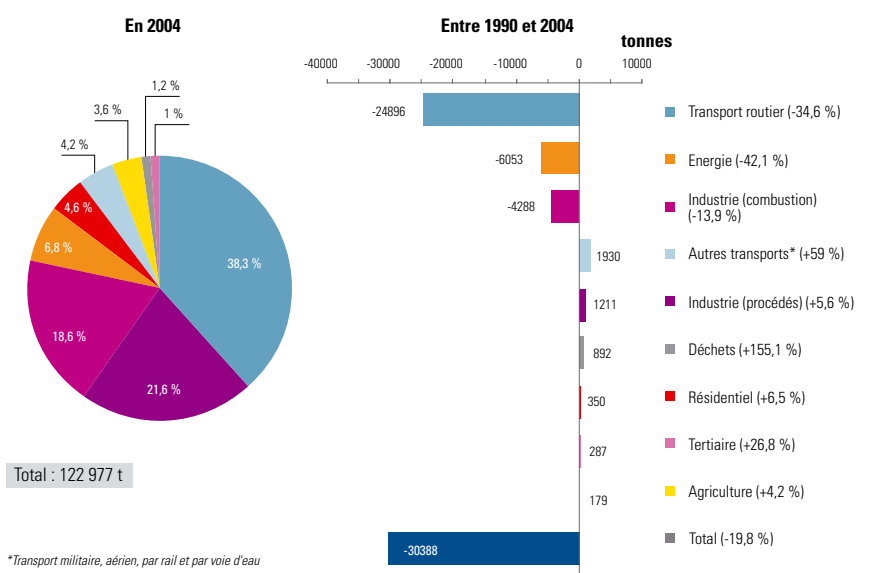
D'autres secteurs contribuent également aux émissions de NO<sub>x</sub>, dès qu'un processus de combustion est mis en œuvre :

- le secteur de la production d'électricité, lorsque l'électricité est produite à partir d'énergie fossile ou de combustion de biomasse ;
  - les secteurs résidentiel, tertiaire et agricole, via l'utilisation de chaudières pour le chauffage des bâtiments (maisons individuelles, bureaux, serres...) ou via les moteurs des tracteurs ou d'autres engins agricoles.
- [> Fig AIR 4-1]

Les émissions wallonnes d'oxydes d'azote ont diminué d'environ 20 % depuis 1990 [> Fig AIR 4-3]. Les principaux facteurs qui permettent d'expliquer cette diminution sont les suivants :

- un accord de branche avec les producteurs d'électricité a permis de réduire de 42 % les émissions du secteur entre 1990 et 2004 [voir ENER 3] ;
- les émissions du secteur industriel ont diminué, essentiellement suite à des fermetures d'entreprises (sidérurgie) et à des modifications de procédés dans l'industrie chimique et les cimenteries [voir ENTR] ;
- les tendances dans le secteur des transports sont plus complexes à analyser, et sont le résultat d'évolutions antagonistes ;
- D'une part, les émissions issues des transports routiers ont diminué de 35 % entre 1990 et 2004, principalement grâce à l'introduction du pot catalytique et aux améliorations technologiques réalisées sur les véhicules neufs (cfr évolution des normes EURO p.ex.). Néanmoins, ces évolutions ne se traduiront par une amélioration sensible de la qualité de l'air en Région wallonne que lorsque le parc de véhicules en circulation aura été largement renouvelé, ce qui n'est pas encore le cas actuellement ;
- Par contre, l'augmentation constante du trafic routier<sup>(3)</sup>, ainsi que la proportion importante de véhicules diesel dans le parc automobile belge<sup>(4)</sup> réduisent sensiblement l'impact des efforts entrepris à l'heure actuelle pour réduire les quantités émises par chaque véhicule individuellement [voir TRANS].

**Fig AIR 4-1** Répartition des émissions anthropiques de précurseurs d'ozone (NO<sub>x</sub>) et évolution par secteur d'activité en Région wallonne



Malgré la diminution des émissions de NO<sub>x</sub> en Région wallonne, on ne constate pas, jusqu'à présent, de véritables améliorations de la qualité de l'air en termes de NO<sub>2</sub>, les niveaux de concentration étant relativement stables depuis plusieurs années [voir AIR 3].

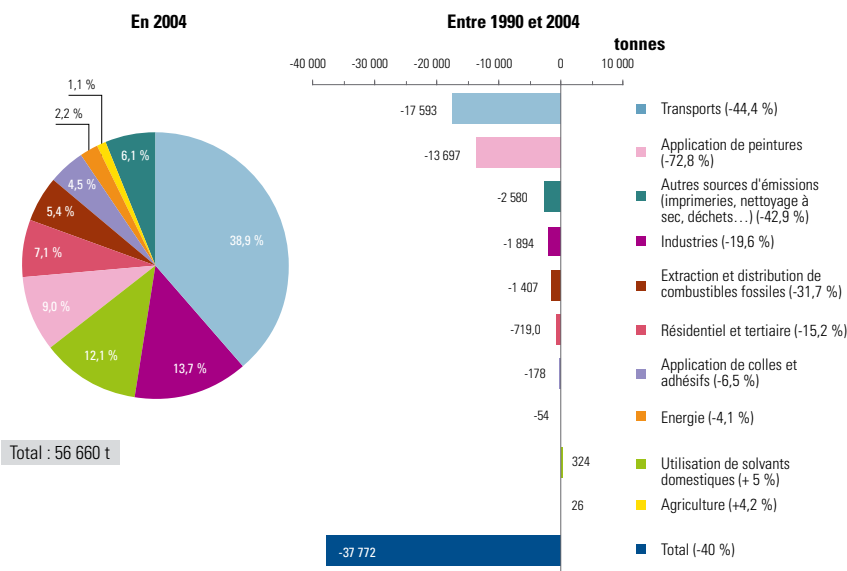
Les composés organiques volatils (COV) comprennent un grand nombre de substances différentes. Celles-ci sont généralement regroupées en grandes familles sur base de leur structure chimique (alcanes, alcènes, composés aromatiques...). Le caractère volatil de ces composés favorise leur propagation plus ou moins loin de leur lieu d'émission, entraînant ainsi des impacts directs et indirects sur la santé humaine et les écosystèmes. Leur degré de nocivité varie d'une substance à l'autre ainsi qu'en fonction de leur concentration dans l'air ambiant : gêne olfactive, maux de tête (pour presque tous les COV), irritations diverses<sup>(5)</sup>, diminution de la capacité respiratoire, effets mutagènes et cancérigènes (pour le benzène, p. ex.) [voir AIR 6].

Les sources d'émissions de COV sont également fort variées, et la quantification de ces émissions doit encore être affinée en Région wallonne. En 2004, les principales sources d'émissions anthropiques sont :

- les transports : les émissions de COV sont issues d'une part, de la combustion incomplète des carburants dans les moteurs et d'autre part, de l'évaporation de la fraction volatile des combustibles dans les injecteurs ou dans la chaîne d'approvisionnement des véhicules, notamment dans les stations-services (vapeurs d'essence) ;
- l'usage de solvants : les émissions proviennent tant des ménages que du secteur tertiaire et industriel, via l'utilisation de peintures, de solvants, de vernis, de colles ou encore de différents produits de dégraissage ;
- l'industrie : en particulier, les cokeries et les sous-secteurs chimiques, pharmaceutiques et de fabrication d'adhésifs. [> Fig AIR 4-2]

En outre, la végétation (notamment les forêts) émet également des quantités importantes de COV (comme des terpènes) qui contribuent à la formation d'ozone troposphérique. Ces émissions sont estimées en Région wallonne à environ 34 000 tonnes, soit environ 37 % des émissions totales de COV comptabilisées en 2004.

**FIG AIR 4-2** Répartition des émissions anthropiques de précurseurs d'ozone (COV) et évolution par secteur d'activité en Région wallonne



Source : MRW-DGRNE-DPA (Cellule Air)

Les émissions anthropiques de COV en Région wallonne ont diminué de 40 % entre 1990 et 2004 [ voir Fig AIR 4-2 ] [ voir Fig AIR 4-3 ]. L'essentiel de cette diminution s'explique par des améliorations dans la conception et la composition des produits, ces dernières étant essentiellement imposées par la législation européenne :

- améliorations technologiques des moteurs et introduction du pot catalytique, amenant à une meilleure combustion des carburants et à une diminution des émissions d'imbrûlés ;
- réduction des émissions tout au long de la chaîne de distribution d'essence et installation de systèmes de captation dans les véhicules (canister) ;
- limitation de la teneur en benzène de l'essence ;
- diminution de la teneur en solvants de certaines peintures.

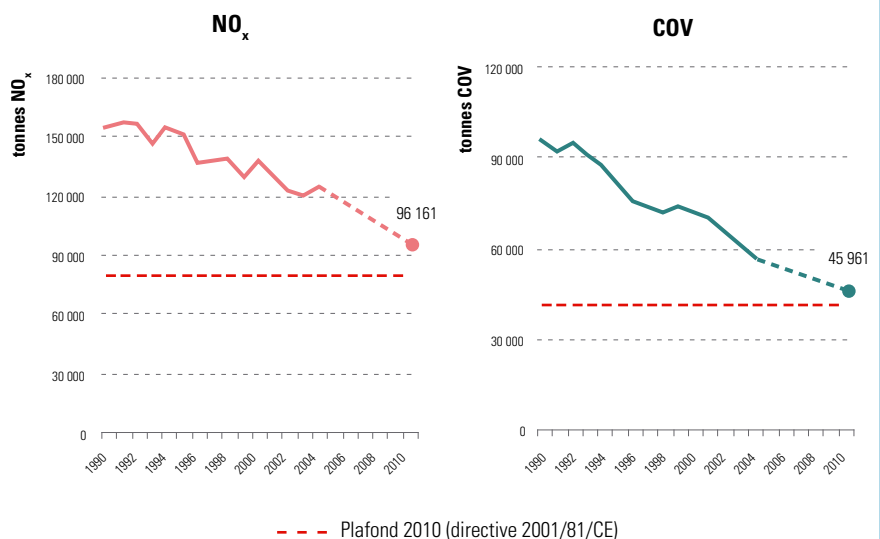
La mise en œuvre du permis d'environnement et de la « directive COV<sup>(6)</sup> » en Région wallonne permet également, au travers des conditions d'exploitations fixées aux entreprises, de mieux réglementer certaines activités génératrices d'émissions de solvants (nettoyage à sec, revêtements divers, imprimeries, stockage et distribution d'essence...)<sup>(7)</sup>.

Dans le secteur des transports, la réduction des émissions de COV due aux améliorations technologiques des véhicules neufs est, comme pour d'autres polluants, conditionnée à la vitesse de renouvellement du parc des véhicules en circulation, et contrecarrée par l'augmentation du trafic routier [ voir TRANS ].

En conclusion, les émissions de précurseurs d'ozone en Région wallonne sont orientées à la baisse depuis 1990 [ voir AIR 4-3 ]. La tendance est donc encourageante. Néanmoins, elle ne permettra probablement pas encore de réduire de manière significative la formation d'ozone troposphérique, puisque :

- les diminutions de la concentration en ozone troposphérique dans l'air ambiant ne sont pas directement proportionnelles aux diminutions de concentrations en précurseurs d'ozone ;
- les réductions d'émissions doivent être réalisées sur l'ensemble du continent européen, puisque la pollution par l'ozone troposphérique est un phénomène transfrontière. Les réductions d'émissions de précurseurs observées au niveau européen entre 1990 et 2003 sont actuellement de 30 à 35 % ;
- les réductions d'émissions de précurseurs d'ozone devraient être beaucoup plus importantes qu'à l'heure actuelle (de 70 % à 90 % par rapport à 1990, selon les travaux de l'Agence Européenne de l'Environnement) pour arriver à des concentrations en ozone inférieures à celles susceptibles d'affecter la santé humaine et les écosystèmes.

**FIG AIR 4-3** Émissions anthropiques de précurseurs d'ozone (NO<sub>x</sub> et COV) en Région wallonne et projections comparées au plafond d'émissions fixés pour 2010

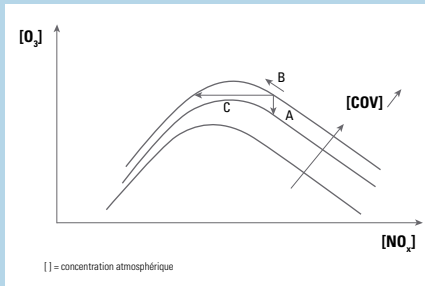


Projection des émissions en 2010 sur base d'un scénario BAU établi en 2006

Source : MRW-DGRNE-DPA (Cellule Air)

### Comment passer du « bon côté de la colline » ?

La relation entre les concentrations des précurseurs ( $\text{NO}_x$  et COV) et la concentration en ozone ( $\text{O}_3$ ) dans l'air ambiant n'est pas linéaire. La concentration en ozone suit en effet une courbe en forme de colline. Quand la concentration en  $\text{NO}_x$  se situe au-delà du sommet de la colline (ce qui est actuellement le cas dans le nord-ouest de l'Europe), une diminution de la concentration en  $\text{NO}_x$ , si elle ne s'accompagne pas d'une diminution des concentrations en COV, provoque une augmentation de la pollution par l'ozone (déplacement B).



Etant donné que les  $\text{NO}_x$  sont aussi des polluants atmosphériques, il n'est pas envisageable, ni scientifiquement ni politiquement, de laisser augmenter la concentration en  $\text{NO}_x$  à long terme dans le but uniquement de diminuer la pollution par l'ozone [voir AIR 3].

Pour passer du « bon côté de la colline », il ne suffit pas à l'heure actuelle, lorsqu'un pic d'ozone est prévisible, de prendre des mesures de réduction temporaires des émissions atmosphériques de  $\text{NO}_x$  (en réduisant le trafic automobile p. ex.). Les diminutions de concentration auxquelles il faut aboutir (déplacement C) sont importantes : elles nécessiteront dès lors la mise en application de mesures structurelles et de nombreuses années d'efforts. De plus, ces mesures structurelles risquent, dans un premier temps, de faire évoluer à la hausse les concentrations d'ozone (déplacement B).

Les diminutions de concentration en COV sont par contre directement opérantes. Elles permettent de « descendre » sur les courbes de concentration plus basses en ozone (déplacement A). C'est pourquoi, en cas d'annonce d'un pic d'ozone, les conseils et les mesures visant à diminuer les émissions de COV peuvent s'avérer utiles. Mais il s'agit de mesures à court terme, qui ne résolvent pas durablement le problème si les niveaux de concentration en  $\text{NO}_x$  et en COV ne sont pas réduits simultanément et sur le long terme.

### Les concentrations de fond en ozone troposphérique

C'est la conjonction des conditions climatiques et des concentrations en polluants précurseurs dans l'air ambiant, ainsi que leurs proportions relatives, qui conditionnent la formation d'ozone et les niveaux de concentration atteints.

Le réseau de mesures télémétrique de la qualité de l'air surveille en continu<sup>(8)</sup> les concentrations d'oxydes d'azote ( $\text{NO}$  et  $\text{NO}_2$  - 16 stations) et d'ozone ( $\text{O}_3$  - 14 stations) dans l'air ambiant, dans des stations de mesure réparties sur l'ensemble du territoire wallon<sup>(9)</sup>. En 1993, seulement 3 stations de mesures étaient opérationnelles. Le réseau actuel, couplé à l'utilisation de modèles d'interpolation, permet à présent une bonne estimation des concentrations en ozone troposphérique sur l'ensemble du territoire. Couplé avec les prévisions météorologiques, il permet également la prévision des pics de pollution et l'avertissement du public en cas de dépassement probable des seuils d'information ou d'alerte.

Fin 2005, quinze stations permettaient d'effectuer des mesures de concentrations de COV dans l'air ambiant. Un réseau plus complet, qui comportera 22 stations, est en projet afin de couvrir l'ensemble du territoire wallon [voir RW PRES 1].

A cause de la présence permanente de polluants précurseurs dans l'air ambiant, les réactions de formation et de destruction d'ozone ont lieu toute l'année. Elles conduisent à une « concentration de fond » en ozone troposphérique, exprimée comme la moyenne annuelle des concentrations horaires en un lieu donné. Les premières mesures effectuées en région parisienne autour de 1880, renseignaient des concentrations de fond en ozone de l'ordre de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans l'air ambiant. Dans les années 1950, ces concentrations de fond se situaient, en Europe, plutôt aux alentours de  $30$  à  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Elles oscillent actuellement autour de  $60$  à  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En Région wallonne, elles sont un peu moins élevées : à titre d'exemple, en 2005, selon les stations, les concentrations moyennes annuelles ont varié de  $32$  à  $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

On estime donc qu'en Europe, les concentrations de fond en ozone troposphérique ont, selon les endroits, doublé à quadruplé depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle, principalement à cause de l'industrialisation et des émissions accrues de polluants que celle-ci a occasionné. Depuis le milieu des années 1980, suite aux efforts entrepris pour diminuer les émissions de polluants atmosphériques précurseurs d'ozone, on semble assister à un ralentissement de l'augmentation des concentrations de fond, voir à une certaine stabilisation au niveau européen<sup>(10)</sup>. Cette tendance reste néanmoins à confirmer. En Belgique, on observe par contre une augmentation légère mais régulière des

concentrations de fond entre le début et la fin des années 1990, suivie d'une stabilisation de 1999 à 2004, à une valeur de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Les concentrations de fond en ozone troposphérique conditionnent la fréquence et l'intensité des « pics d'ozone » susceptibles de se former dans des conditions estivales chaudes, ensoleillées et peu venteuses. De plus, l'ozone et ses polluants précurseurs sont des composés qui peuvent se déplacer sous l'effet du vent par delà les frontières. Leurs effets peuvent donc se faire sentir à des dizaines, voir des centaines ou même des milliers de kilomètres de leurs lieux d'émissions.

### Dépassements des seuils de concentration pour la protection de la santé humaine

En ce qui concerne les impacts de l'ozone sur la santé humaine, plusieurs seuils ont été établis, et révisés à la baisse à partir du moment où les résultats d'études cliniques ont confirmé les conséquences néfastes de l'ozone pour la santé. Actuellement, les seuils de protection s'articulent autour de 3 chiffres clés :

- **$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$**  : il s'agit de la valeur guide que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)<sup>(12)</sup> recommande de ne pas dépasser, en moyenne sur huit heures consécutives, et au-dessus de laquelle il est possible d'observer des effets sur la santé humaine. C'est également

la valeur-cible que la directive européenne 2002/3/CE<sup>(13)</sup> recommande de ne pas dépasser plus de 25 jours par an (en moyenne sur 3 ans) dès 2010. Cette directive a aussi pour objectif qu'à l'horizon 2020, le maximum journalier de la concentration moyenne en ozone sur 8 heures ne dépasse jamais les 120 µg/m<sup>3</sup> au cours d'une année civile. Ces objectifs sont considérés comme ambitieux, étant donné que cette valeur guide a été dépassée en moyenne 40 jours par an entre 1990 et 2005<sup>(14)</sup>, dans au moins une station de mesure en Région wallonne.

[> Fig AIR 4-4]

- **180 µg/m<sup>3</sup>** : il s'agit du seuil d'information à la population fixé par la directive 2002/3/CE. Lorsque la concentration en ozone dépasse cette valeur pendant plus d'une heure, dans au moins une station de mesure du pays, -on parle alors d'un «jour d'ozone»- une procédure d'information du public est déclenchée. Durant l'été 2003, la Région wallonne a connu 21 jours d'ozone, dont 12 jours consécutifs pendant le mois d'août. [> Fig AIR 4-4]

- **240 µg/m<sup>3</sup>** : Il s'agit du seuil d'alerte fixé par la directive 2002/3/CE. Un dépassement de plus d'une heure de ce niveau de concentration dans une station de mesure entraîne le déclenchement d'une procédure d'alerte, comportant des informations à la population et des mesures spécifiques à mettre en place. En août 2003, cette concentration en ozone a été dépassée en Région wallonne dans plusieurs stations de mesure pendant 4 jours, dont trois consécutivement. [> Fig AIR 4-4]

Si l'on considère l'objectif de protection de la santé humaine, consistant à ne pas dépasser, en 2010, plus de 25 jours par an (en moyenne sur 3 ans) le maximum journalier de la concentration moyenne de 120 µg/m<sup>3</sup> pendant 8 heures consécutives, la Région wallonne est encore loin de cet objectif. Elle est encore plus éloignée de l'objectif à long terme (aucun jour de dépassement de 120 µg/m<sup>3</sup> pendant 8 heures) puisque, depuis que les mesures de concentrations en ozone troposphérique existent en Région wallonne (1978), aucune des stations de mesure n'a enregistré des niveaux

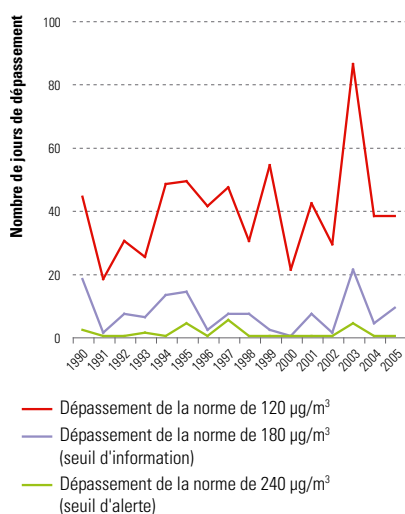
de concentration correspondant aux objectifs fixés à long terme pour la protection de la santé. [> Fig AIR 4-5]

### La pollution par l'ozone, plus intense à la campagne qu'à la ville

*Parmi les précurseurs d'ozone, le monoxyde d'azote (NO) est le polluant le plus instable : il réagit rapidement - c'est-à-dire également très près de son lieu d'émission - avec d'autres composés présents dans l'air ambiant, lors des réactions de formation-destruction d'ozone. C'est ce qui explique qu'en milieu urbain, l'ozone formé pendant la journée est rapidement détruit pendant la nuit : en effet, les quantités importantes de NO émises en ville par le trafic automobile réagissent avec l'ozone présent dans l'air ambiant et le détruit. Par contre, en zones rurales, où la densité du trafic automobile est plus faible, le NO est moins présent dans l'air ambiant, et l'ozone formé pendant la journée persiste, étant donné qu'il n'y a pas suffisamment de NO pour le détruire.*

[> Carte AIR 4-1]

**Fig AIR 4-4** Nombre de jours de dépassement de différents seuils de concentration en ozone troposphérique dans l'air ambiant en Région wallonne



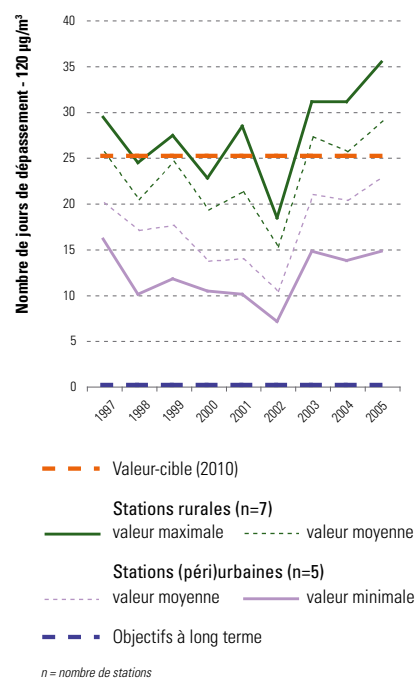
On considère qu'il y a un «jour de dépassement» lorsque la concentration en ozone dépasse le seuil de concentration considéré pendant plus d'une heure, dans au moins une station de mesure située en Région wallonne

Source : ISSeP (Réseau télémétrique)

A titre d'exemples :

- en 2003, la valeur guide de 120 µg/m<sup>3</sup> pendant 8 heures consécutives a été dépassée, selon les stations de mesure, entre 36 et 53 jours (aux stations de Liège et d'Eupen, respectivement) ;
- en 2000, bien qu'il n'y ait eu aucun «jour d'ozone» (c'est-à-dire aucun dépassement du seuil d'information de 180 µg/m<sup>3</sup>), les stations de mesure ont néanmoins enregistré entre 2 et 13 journées de dépassement de la valeur des 120 µg/m<sup>3</sup> pendant 8 heures (à Liège et Eupen, respectivement) ;
- enfin, lors de l'été 2006, dont la première partie (juin et surtout juillet) a été particulièrement chaude et ensoleillée, les chiffres<sup>(15)</sup> font état, pour la Région wallonne de 11 journées pendant lesquelles le seuil d'information de 180 µg/m<sup>3</sup> a été dépassé dans au moins une station de mesure, ainsi que de 21 à 38 journées (à Mons et Offagne, respectivement) pendant lesquelles la valeur cible pour la protection de la santé humaine a été dépassée.

**Fig AIR 4-5** Valeurs moyennes sur trois ans de l'indicateur de dépassement en ozone troposphérique pour la protection de la santé humaine en Région wallonne



Sources : ISSeP (Réseau télémétrique) ; FPMs (base de données Air Quality)

**Dépassements des seuils de concentration pour la protection de la végétation**

En ce qui concerne les impacts de l'ozone sur la végétation, les valeurs-limites à ne pas dépasser sont définies différemment. Il apparaît en effet que les impacts de l'ozone sur les végétaux se font sentir à des niveaux de concentrations plus faibles que ceux observés pour la santé humaine. On considère également que les effets sur les écosystèmes s'accumulent tout au long de la saison de végétation.

Les experts estiment que la dose d'ozone reçue durant une saison de végétation qui est la mieux corrélée avec l'impact observé sur les rendements est celle dite de l'AOT<sub>40</sub>.

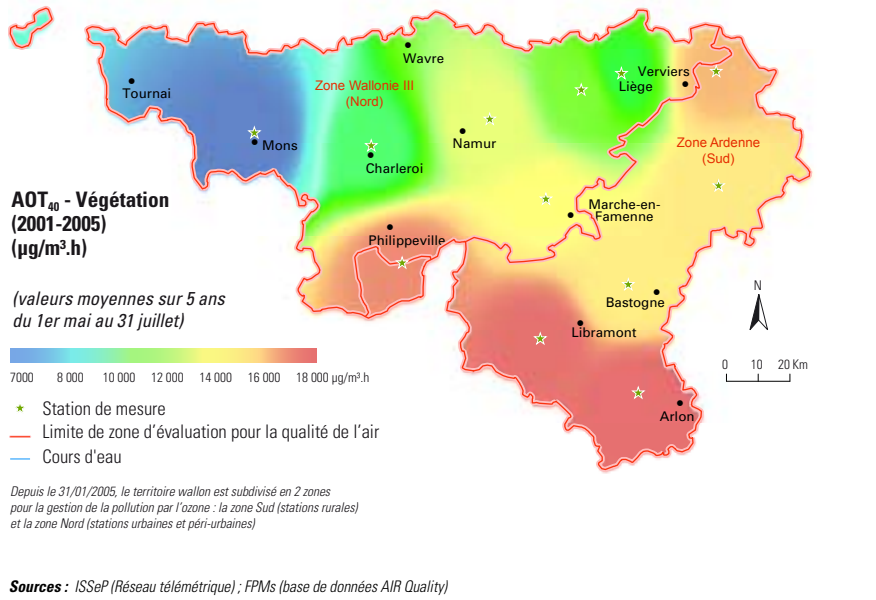
**AOT<sub>40</sub> : Accumulated concentration Over a Threshold of 40 ppb**

Ce paramètre correspond au cumul des doses horaires en ozone troposphérique qui se situent au dessus du seuil de 80 µg/m<sup>3</sup> (ou 40 ppb), mesurées chaque jour entre 8 h et 20 h. On distingue en outre l'AOT<sub>40</sub> pour la protection de la végétation, calculé sur une période de 3 mois (de début mai à fin juillet) et l'AOT<sub>40</sub> pour les forêts, calculé sur une période de 6 mois (de début avril à fin septembre).

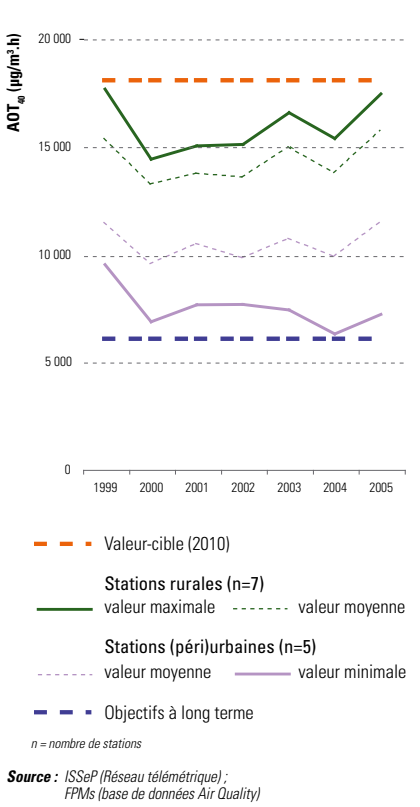
La directive européenne 2002/3/CE fixe les objectifs suivants pour la protection de la végétation :

- valeur-cible à respecter dès 2010 : la valeur de l'AOT<sub>40</sub> pour la protection de la végétation doit être inférieure à 18 000 µg/m<sup>3</sup>.h (calculée en moyenne sur 5 ans) ;
- objectif à long terme : la valeur de l'AOT<sub>40</sub> pour la protection de la végétation doit être inférieure à 6 000 µg/m<sup>3</sup>.h ;
- aucun objectif ni valeur-cible n'ont été fixés spécifiquement pour la protection des forêts.

**CARTE AIR 4-1** Répartition spatiale du paramètre AOT<sub>40</sub> pour la protection de la végétation



**FIG AIR 4-6** Valeurs moyennes sur cinq ans de l'indicateur de dépassement en ozone troposphérique pour la protection de la végétation en Région wallonne



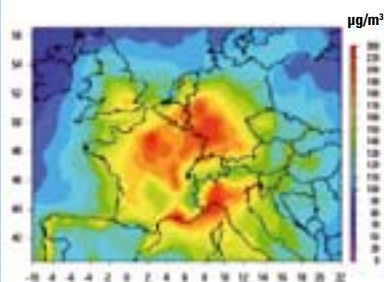
### L'été 2003 : une situation exceptionnelle... appelée à se reproduire ?

L'été 2003 a été du point de vue des températures l'un des plus exceptionnels que la Belgique ait connu depuis plus de 150 ans. L'analyse des relevés d'observations de l'IRM à Uccle montre que :

- L'été 2003 (juin à août) a été le plus chaud depuis le début des relevés réguliers à Bruxelles en 1833. La température moyenne atteignit près de 20 degrés, soit un demi degré de plus que durant l'été 1976 ;
- Les moyennes des températures maximales journalières atteignirent plus de 24 et 25 °C, respectivement sur l'ensemble de l'été et en août ;
- La température a atteint au moins 25 °C durant 35 jours au cours de l'été, dont 13 au cours du mois d'août, et au moins 30 °C durant 9 jours, dont 6 en août.

L'analyse de l'ensemble des relevés d'observations dans le pays indique que la vague de chaleur débuta le 31 juillet ou le 1er août, selon les régions, pour se terminer le 13 août. Entre le 6 et le 12 août, on releva durant 4 jours des températures au moins égales à 37 °C dans plusieurs stations de mesure du pays. Ces conditions météorologiques exceptionnelles ont affecté de manière similaire une grande partie de l'ensemble du continent européen, notamment lors de la première quinzaine d'août, lorsque les conditions anticycloniques persistantes n'ont pas permis la dispersion des polluants. La longue période de canicule a entraîné la formation d'ozone en quantité importante et pendant une longue durée, et tant la fréquence que l'intensité des pics d'ozone ont été élevés sur l'ensemble du continent européen.

Moyenne des pics journaliers d'ozone troposphérique en Europe (du 1er au 14 août 2003)



Source : Prév'air - INERIS

Suite à l'augmentation dans l'atmosphère des concentrations de gaz à effet de serre et aux changements climatiques qui en découleront vraisemblablement, des événements climatiques «extrêmes», dont des périodes de canicule et de sécheresse estivale, semblables à celle de 2003, devraient se reproduire plus fréquemment en Europe au cours des prochaines décennies [voir AIR 1]. Avec comme conséquence, une augmentation de la formation d'ozone troposphérique, si les émissions des précurseurs d'ozone ne sont pas réduites de manière conséquente à l'échelle du continent et de l'hémisphère nord.

### Quels sont les impacts de l'ozone sur la santé humaine ?

L'ozone est un photo-oxydant puissant. Ses effets sur la santé humaine peuvent se manifester en particulier par des irritations des yeux et des atteintes au système respiratoire. Dans ce cas, l'exposition à des pics d'ozone provoque des diminutions passagères de la fonction pulmonaire et une réaction inflammatoire des voies respiratoires. D'un individu à l'autre, les réactions à l'exposition à l'ozone peuvent cependant varier fortement. Les effets semblent plus prononcés chez les enfants, les personnes âgées et les personnes déjà sujettes à des difficultés respiratoires (notamment les personnes souffrant d'asthme) [voir SANTE 2].

En raison des impacts de l'ozone sur la santé, des seuils de concentrations dans l'air ambiant ont été définis, dans toute l'Union Européenne

### Réduire les concentrations en ozone troposphérique : une des deux priorités de la stratégie européenne sur la pollution atmosphérique.

Les résultats des études réalisées dans le cadre du programme CAFE (Clean Air for Europe) tendent à montrer que l'exposition aux niveaux actuels d'ozone troposphérique a entraîné, en 2000, dans l'Union européenne (UE 25) 21 400 décès prématurés par an. La pollution par l'ozone entraînerait également, selon les mêmes études, environ 30 millions de jours sous médication respiratoire par an. C'est pourquoi la diminution des concentrations en ozone dans l'air ambiant constitue la deuxième priorité de la stratégie sur la pollution atmosphérique adoptée par la Commission européenne en septembre 2005, après celle des particules fines (dont l'impact de la pollution est encore jugé plus préoccupant) [voir AIR 5].

### Quels sont les impacts de l'ozone sur la végétation ?

L'ozone est responsable d'une diminution de l'activité de photosynthèse chez les végétaux, ce qui induit des effets négatifs sur leur croissance et leur rendement. Les effets sur la végétation se manifestent déjà à des niveaux moyens de concentration en ozone dans l'air ambiant, en général à partir de 80 µg/m<sup>3</sup> pendant 3 heures consécutives. Les espèces les plus sensibles peuvent déjà être affectées à partir d'un niveau d'AOT<sub>40</sub> de 6 000 µg/m<sup>3</sup>.h, c'est-à-dire à des niveaux nettement inférieurs à ceux observés sur l'ensemble de la Région wallonne [voir CARTE AIR 4-1]. On estime que les pertes moyennes de rendement, aux niveaux de concentration actuels en ozone, sont de l'ordre de 5 à 10 % sur l'ensemble du continent européen. La sensibilité à la pollution photochimique varie largement d'une espèce à l'autre. Ainsi, le blé, le soja, les légumineuses, les tomates, les oignons et les laitues sont des végétaux particulièrement sensibles. La croissance de certaines essences forestières vulnérables, comme le peuplier, ou le bouleau peut aussi se trouver fortement ralentie, avec des conséquences éventuelles en termes de dépérissement forestier [voir RES FOR 3].

Il faut également noter que l'ozone troposphérique accentue l'effet des polluants acides et joue un rôle dans le renforcement de l'effet de serre. Par ailleurs, étant donné qu'il constitue un puissant oxydant, l'ozone contribue à détériorer, déjà aux concentrations de fond enregistrées dans nos régions, de nombreux matériaux, comme les peintures, les plastiques, le caoutchouc ou le nylon, par exemple.

### Les mesures mises en œuvre pour réduire la pollution photochimique

Au niveau de l'Union européenne, la lutte contre la pollution photochimique s'articule autour de plusieurs axes :

- d'une part, via la directive 2001/81/CE, la fixation de valeurs limites d'émissions de polluants précurseurs d'ozone, à des niveaux tels qu'ils devraient permettre de ne pas dépasser des niveaux de concentrations d'ozone préjudiciables pour la santé humaine et l'environnement ;
- d'autre part, à travers la directive 2002/3/CE (voir ci-avant), le suivi des concentrations d'ozone dans l'air ambiant, la fixation de seuils de concentration au-delà desquels des actions doivent être mises en place par les Etats membres, en ce compris l'information du public ;
- enfin, via différentes autres directives, la limitation des émissions de polluants provenant de sources spécifiques (directives IPPC, grandes installations de combustion, normes EURO pour les véhicules à moteur...).

Pour répondre aux défis posés par la pollution transfrontière à longue distance occasionnée par un grand nombre de polluants, les Etats membres de l'UNECE ont adopté, dès 1979, la Convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance<sup>(17)</sup>. Celle-ci a depuis été complétée par plusieurs Protocoles, dont le Protocole de Göteborg relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique, entré en vigueur le 17 mai 2005.

La directive européenne 2001/81/CE («directive NEC» - *National Emission Ceilings*)<sup>(18)</sup> poursuit les mêmes objectifs. Elle attribue à chaque Etat Membre des plafonds d'émissions

pour certains polluants atmosphériques, qui ne pourront plus être dépassés après 2010. Les émissions à comptabiliser sont les émissions anthropiques annuelles de SO<sub>2</sub>, de NO<sub>x</sub>, de COV et de NH<sub>3</sub> provenant des sources fixes et des moyens de transport<sup>(19)</sup>. Les émissions des précurseurs d'ozone (NO<sub>x</sub> et COV) sont donc visés par cette directive. En Belgique, les plafonds d'émissions ont été répartis entre les Régions pour les sources fixes. La répartition interrégionale ne prend pas en compte les transports pour lesquels les plafonds restent des objectifs nationaux.

La directive NEC spécifie que les Etats membres doivent établir des programmes nationaux en vue de respecter d'ici 2010 les plafonds d'émissions qui leur ont été attribués. Pour la Belgique, ce programme est constitué par la juxtaposition des programmes des trois régions et de celui du fédéral, qui a seul la compétence en ce qui concerne les normes de produits (peintures, carburants...). Un programme wallon de réduction progressive des émissions de SO<sub>2</sub>, de NO<sub>x</sub>, de COV et de NH<sub>3</sub> a été adopté par le Gouvernement wallon le 25 mars 2004<sup>(20)</sup>.

Par rapport aux émissions de 1990, le respect des plafonds d'émissions fixés pour la Région wallonne correspond à une réduction importante des émissions [↘ Fig AIR 4-3]. Une partie du chemin a déjà été effectuée (environ 20 % pour les NO<sub>x</sub> et 40 % pour les COV), soit grâce à des mesures mises en œuvre au niveau fédéral et concernant les normes de produits (comme p.ex. la diminution de la teneur en COV dans les peintures et l'introduction de chaudières et brûleurs *low-NO<sub>x</sub>* dans les secteurs résidentiel et tertiaire<sup>(21)</sup>), soit grâce à des mesures mises en place au niveau de la Région wallonne (accords de branche, isolation thermique des bâtiments, révision des permis d'environnement, entretiens des chaudières, récupération des vapeurs d'essence, sensibilisation du public et des professionnels à l'usage raisonné des solvants...).

Néanmoins, les prévisions actuelles réalisées à l'horizon 2010, selon le scénario BAU<sup>(22)</sup> le plus récent (2006), montrent que les mesures déjà décidées ne suffiront pas à atteindre les objectifs fixés pour 2010 [↘ Fig AIR 4-3]. Des mesures supplémentaires doivent donc impérativement être mises en

place. Certaines figurent déjà dans le programme wallon de réduction progressive des émissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COV et NH<sub>3</sub>, comme par exemple la définition de limites d'émission pour les petites installations de combustion, mais elles doivent encore être précisées et concrétisées. La mise en œuvre de la directive IPPC permettra également, à travers la révision des permis des entreprises concernées, de réduire leurs émissions de polluants atmosphériques. Enfin, le Plan wallon de l'Air, que le Gouvernement wallon devrait adopter dans le courant de l'année 2007, visera à mettre en place de manière coordonnée des mesures supplémentaires relevant de l'ensemble des Ministres du Gouvernement wallon (concernant notamment les transports, l'énergie et la fiscalité).

### Vers une révision des plafonds d'émissions

*Les plafonds d'émissions des polluants précurseurs NO<sub>x</sub> et COV tels qu'ils ont été calculés et mis en place dans le cadre de la directive européenne 2001/81/CE («directive NEC») visent à atteindre pour 2010 les objectifs environnementaux intermédiaires suivants :*

- les concentrations d'ozone au sol dépassant le niveau critique pour la santé humaine doivent diminuer de deux tiers par rapport à la situation de 1990. Les dépassements de la valeur guide de l'Organisation Mondiale de la Santé (120 µg/m<sup>3</sup>) ne doivent pas se produire plus de 20 jours par an ;
- les concentrations d'ozone au sol dépassant le niveau critique pour les cultures et la végétation semi-naturelle doivent diminuer d'un tiers par rapport à 1990.

*Une révision des plafonds, ainsi que la détermination de nouveaux plafonds s'étendant au delà de 2010, sont d'ores et déjà en cours au niveau européen, dans le cadre de la stratégie thématique sur la pollution de l'air. L'objectif est de continuer à diminuer la pollution atmosphérique et, pour le long terme (avec 2020 comme année de référence), de ne plus dépasser les seuils de protection pour la santé humaine et la végétation.*



## Enjeux et perspectives

Malgré les diminutions des émissions de pré-curseurs d'ozone constatées depuis 1990 en Région wallonne, la situation actuelle est encore loin des objectifs visés, tant à court terme qu'à long terme.

Les mesures structurelles annoncées ne suffiront probablement pas, dans un premier temps, à empêcher une hausse des concentrations en ozone troposphérique. En conséquence, il semblerait opportun que la Région wallonne valorise au mieux les outils qu'elle a fait développer (modèles...) pour déterminer les actions à mener à l'échelle d'un été, en sus des mesures structurelles envisagées, de manière à faire évoluer les concentrations de fond en ozone vers des valeurs plus faibles.

Des mesures nettement plus ambitieuses et plus volontaristes devront également être mises en place, qui toucheront tous les secteurs d'activité. On estime en effet que pour réduire les concentrations d'ozone à un niveau non nuisible, il est nécessaire, au niveau du continent européen, de réduire les émissions de  $\text{NO}_x$  et de COV de 70 à 90 % par rapport à leur niveau de 1990. Ces efforts sont bien entendu à mettre en balance avec les bénéfices, actuellement difficiles à chiffrer<sup>(23)</sup>, sur la santé humaine et celle des écosystèmes.

### L'Organisation Mondiale de la Santé abaisse les valeurs-seuils pour la protection de la santé

*L'OMS vient de revoir ses recommandations concernant l'exposition humaine à certains polluants atmosphériques, dont l'ozone, en fonction des derniers résultats disponibles d'études sur les impacts de l'ozone sur la santé humaine.*

*L'OMS recommande à présent que la valeur guide pour l'ozone soit fixée à  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 8 heures consécutives (au lieu de 120 précédemment).*

## Remerciements

Nous remercions pour leur collaboration et/ou relecture :

Annick FOURMEAUX, Albert GERMAIN, Vincent GUISSARD, Catherine HALLET, Thierry HOSAY, Jean-Paul LEDANT, Andrée MARIJNS, Charles PASSELECO, Robert RENZONI, Christian TRICOT et Didier VERHEVE

## Sources principales

European Environment Agency. 2003. *Topic report 3/2003 : Air pollution by ozone in Europe in summer 2003 - Overview of exceedances of EC ozone threshold values during the summer season April–August 2003 and comparisons with previous years.*

European Environment Agency. 2005. *EEA Technical report No 3/2005 : Air pollution by ozone in Europe in summer 2004 - Overview of exceedances of EC ozone threshold values during April–September 2004.*

European Environment Agency. 2005. *The European environment — State and outlook 2005.* – Copenhagen

MRW-DGRNE. 1998. Atlas de l'air de la Wallonie. 36 p.

World Health Organization. 2003. *Health Aspects of Air Pollution with particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide.* Report on a WHO Working Group. Bonn, Germany, 13-15 January 2003.

World Health Organization. 2005. *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global Update 2005, Summary of risk assesment.*

<http://ec.europa.eu/environment/air/ambient.htm>

<http://ec.europa.eu/environment/air/ceilings.htm>

<http://www.unece.org/env/lrtap/welcome.html>

<http://www.eea.europa.eu/maps/ozone/welcom>

<http://air.wallonie.be>

- (1) A quelques exceptions près, comme par exemple la production d'ozone par les photocopieuses.
- (2) La troposphère est la partie de l'atmosphère terrestre située entre la surface du globe et une altitude d'environ 8 à 15 km, selon la latitude et la saison. C'est dans cette couche atmosphérique que se déroule la plupart des phénomènes météorologiques. La stratosphère est la partie de l'atmosphère située au-dessus de la troposphère, jusqu'à une altitude de 50 km. C'est dans cette région de l'atmosphère que se concentre 90 % de l'ozone atmosphérique.
- (3) Le parc automobile belge a augmenté en moyenne de 1,9 % par an entre 1980 et 2005. Le nombre de véhicules-km sur les autoroutes et les routes wallonnes a quant à lui augmenté d'environ 140 et 60 %, respectivement entre 1985 et 2005.
- (4) Un véhicule personnel diesel récent émet de l'ordre de 4 fois plus d'oxydes d'azote par kilomètre parcouru qu'un véhicule à essence équipé d'un pot catalytique.
- (5) Les aldéhydes sont des irritants des yeux et des muqueuses par exemple.
- (6) Directive 2004/42/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 avril 2004 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicules, et modifiant la directive 1999/13/CE. Journal officiel des Communautés européennes. L 143.
- (7) Arrêté du Gouvernement wallon du 18 juillet 2002 portant conditions sectorielles relatives aux installations et/ou activités consommant des solvants (M.B. du 16/10/2002, p. 47286).
- (8) Toutes les minutes ramenées en moyennes horaires.
- (9) Le réseau de surveillance de la qualité de l'air est géré par l'ISSEP (<http://www.issep.be>) et les mesures de concentrations en ozone peuvent être consultées en direct sur le site de la cellule CELINE (<http://www.ircel.be>). Les rapports contenant les résultats des mesures effectuées depuis 1995 peuvent être consultés sur le site de la DGRNE : <http://mrw.wallonie.be/dgrne/rapports/dpa/2005/index.html>
- (10) Office for Official Publications of the European Communities. 1999. *Ozone Position Paper - Final version.* Prepared by the Ad-Hoc Working Group on Ozone Directive and Reduction Strategy Development. Luxembourg. July 1999.
- (11) Voir le rapport de la Cellule CELINE (ozon\_bel\_2005.pdf) sur <http://www.ircel.be>.
- (12) Fin 2005, l'OMS a modifié ses recommandations pour certains polluants atmosphériques, dont l'ozone. Elle recommande que la valeur guide soit revue et fixée à 100 µg/m<sup>3</sup> sur 8 heures consécutives.
- (13) Directive 2002/3/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 février 2002 relative à l'ozone dans l'air ambiant. Journal officiel des Communautés européennes. L 067.
- (14) 86 jours de dépassements ont été enregistrés lors de l'été caniculaire de 2003 (chaque fois au moins en une station).
- (15) Actualisés fin septembre 2006.
- (16) Voir carte AIR 4-1 du Tableau de Bord de l'Environnement Wallon 2004.
- (17) En anglais : convention LRTAP (Long-Range Transboundary Air Pollution).
- (18) Directive 2001/81/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2001 fixant des plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques. Journal officiel des Communautés européennes. L 309.
- (19) Les émissions provenant du trafic maritime international et des aéronefs au delà du cycle d'atterrissage et de décollage ne sont pas prises en compte.
- (20) Arrêté du Gouvernement wallon du 25 mars 2004 portant programme de réduction progressive des émissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVphot et NH<sub>3</sub> (M.B. 20.08.2004) : <http://mrw.wallonie.be/dgrne/legis/air/air041.htm>
- (21) L'A.R. du 8 janvier 2004 impose des limites d'émission de NO<sub>x</sub> et de CO pour les chaudières et les brûleurs d'une puissance égale ou inférieure à 400 kW vendues en Belgique. Les brûleurs et chaudières low-NO<sub>x</sub> permettent de diminuer davantage encore les émissions de NO<sub>x</sub>.
- (22) BAU : «Business as usual», c'est-à-dire le scénario d'évolution le plus probable si toutes les actions et mesures déjà décidées au moment de l'élaboration du plan de réduction sont effectivement réalisées.
- (23) Des estimations des coûts et bénéfices ont récemment été effectués dans le cadre du programme CAFE, pour l'ensemble de l'Union Européenne. Elles indiquent que, pour les deux polluants atmosphériques les plus préoccupants actuellement en termes de santé publique (particules et ozone troposphérique), les bénéfices seraient largement supérieurs aux coûts.