

La pollution par l'ozone : des concentrations en hausse malgré des efforts à l'échelle européenne



ifen

Depuis le 9 septembre 2003, une nouvelle directive européenne sur l'ozone remplace la directive 92/72/CE du 21 septembre 1992. En dix ans, la surveillance de ce polluant a nettement avancé (le nombre de capteurs a été multiplié par dix). Si les émissions de précurseurs de la pollution photochimique ont considérablement baissé en France, - 27% entre 1990 et 2000, en raison des efforts conjugués de tous les secteurs d'activité, les niveaux d'ozone peuvent demeurer au-dessus des seuils de vigilance pour la santé humaine et pour la végétation, en moyenne plus de 100 jours par an en zones rurales et plus de 40 jours par an en zones urbaines et périurbaines entre 1994 et 2002. Ainsi, dans les agglomérations, en été, l'ozone est souvent le principal responsable de la dégradation de la qualité de l'air, mesurée par l'indice Atmo.

Les efforts engagés tant au niveau de la France que des pays européens visent à améliorer la situation et à s'assurer du respect de la directive européenne sur l'ozone (2002/3/CE) à l'horizon 2010.

Mohamedou Ba (Ifen) et Christian Elichegaray (Ademe)

L'ozone, un processus de formation très complexe

La pollution photochimique désigne un mélange de polluants formés chimiquement dans la troposphère, sous l'effet du

rayonnement solaire, à partir de précurseurs émis par des sources naturelles et les activités humaines. Les principaux précurseurs de la pollution photochimique sont les oxydes d'azote (NOx), les composés organiques volatils (COV) et le monoxyde de carbone (CO). Le principal indicateur de cette pollution est l'ozone (O₃).

Les processus chimiques qui conduisent à la formation d'ozone sont particulièrement complexes. En fonction de la nature des précurseurs et de leurs concentrations relatives dans l'atmosphère, on distingue généralement trois types de zones :

- les zones urbaines caractérisées la plupart du temps par une rapide destruction d'ozone par les oxydes d'azote, en particulier par le monoxyde d'azote qui est souvent présent en forte quantité. Dans ces zones, les niveaux d'ozone sont donc habituellement relativement faibles ;
- les zones périurbaines sous l'influence de l'apport urbain de précurseurs : il s'y produit des processus de formation et de destruction de l'ozone dont le bilan est habituellement un accroissement des niveaux d'ozone par comparaison aux zones urbaines ;
- les zones rurales éloignées des zones urbaines et périurbaines et qui sont influencées par la dispersion à grande échelle (au niveau des continents) des divers précurseurs produits aux échelles urbaine et régionale. Ce sont ces zones qui sont les plus représentatives d'une pollution de fond à l'échelle planétaire.

Dans nos régions, la pollution photochimique s'observe le plus souvent pendant les journées d'été, sous un régime anticyclonique (atmosphère stable et ensoleillée avec des vents faibles et des températures élevées) dans les régions périurbaines et rurales sous le vent des agglomérations.

Schéma simplifié des processus de production et de destruction de l'ozone

Concentrations en oxydes d'azote (NOx)	Faibles	Moyennes	Fortes
Types de zones	rurales	périurbaines	urbaines, industrielles
Processus dominant	production d'O ₃	moyenne production d'O ₃	destruction d'O ₃
Concentrations en ozone (O ₃)	→	→	→

Le rapport COV/NOx joue un rôle prépondérant dans les processus de production et de destruction d'O₃. Plus le rapport est important (concentrations en COV plus élevées que les NOx), plus il y a production d'ozone (zone rurale). A l'inverse, en zone urbaine, la proximité des émetteurs engendre de fortes concentrations en NOx, détruisant l'ozone.

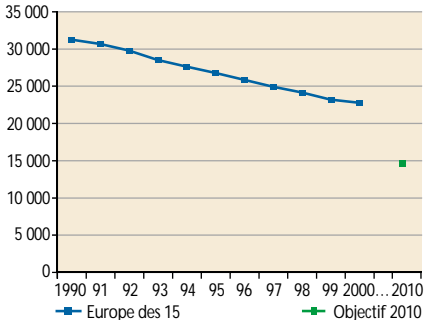
Des émissions de précurseurs globalement en nette baisse dans nos régions et en Europe

Dans nos régions, les principaux émetteurs de précurseurs de la pollution photochimique sont liés aux activités humaines. Il s'agit en particulier du transport automobile et des foyers de combustion industriels ou domestiques et de diverses activités industrielles (pétrochimie...).

En Europe, les émissions de précurseurs sont en baisse constante depuis les années quatre-vingt-dix, en raison de l'introduction du pot catalytique et des efforts fournis par l'industrie (notamment sur les solvants). Cependant, des efforts restent à faire afin d'aboutir aux objectifs fixés par le protocole de Göteborg en 1999, notamment pour diminuer les émissions de NOx.

Le potentiel de production d'ozone par ses précurseurs en Europe de 1990 à 2000

Kilotonnes équivalent COVNM*



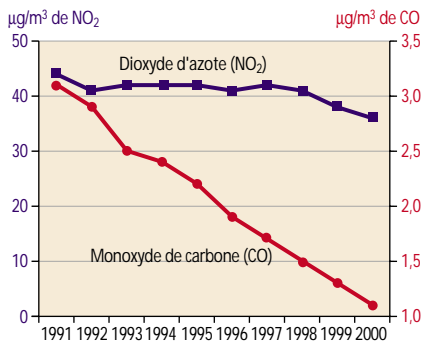
* COVNM : composé organique volatil non méthanique.
 Note : Ce graphique représente l'évolution du potentiel de création d'ozone photochimique dans l'atmosphère. Ce potentiel est calculé à partir des émissions et de la réactivité chimique des NOx, COV, CO et CH₄ (méthane) dans l'atmosphère.
 Source : Agence européenne pour l'environnement.

LES EFFETS DE L'OZONE

Si, dans la stratosphère, l'ozone joue un rôle protecteur en filtrant les rayons UV-B, nocifs à la vie, dans la troposphère (entre le sol et 7 à 10 km d'altitude), bien que moins abondant, il présente des risques pour la santé et l'environnement et contribue à l'effet de serre en bloquant une partie du rayonnement infrarouge émis par les surfaces terrestres. L'augmentation des concentrations d'ozone dans la troposphère contribue donc à long terme à une hausse de la température par effet de serre.

Au niveau de la santé, l'ozone est un irritant, aggravant les difficultés respiratoires chez les personnes fragiles (personnes âgées, enfants, asthmatiques). Concernant la végétation, les effets toxiques de l'ozone se manifestent par des nécroses sur les feuilles des plantes, une réduction de la photosynthèse allant jusqu'à une perte de rendement sur certaines cultures. Une récente étude menée par l'Inra et l'Ina-PG a estimé que l'ozone pouvait être responsable d'une baisse de 5% à 10% des rendements de blé en Île-de-France ces dix dernières années.

L'évolution des concentrations de dioxyde d'azote et de monoxyde de carbone en France (1991-2000)



Source : Ademe, BDQA (base de données sur la qualité de l'air).

Les mesures effectuées depuis une dizaine d'années par les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) montrent une baisse tendancielle mais légère des concentrations de dioxyde d'azote et une baisse très nette des concentrations de monoxyde de carbone mesurées en milieu urbain. Cette évolution est à rapprocher des efforts en matière de réduction des émissions de ces polluants.

En France, les émissions d'oxydes d'azote proviennent surtout du transport automobile et routier (49%). Cette contribution reste importante mais est en diminution régulière depuis 1993, traduisant les conséquences progressives de l'équipement des véhicules en pots catalytiques. Entre 1991 et 2002, les émissions d'oxydes d'azote ont été réduites de 21%.

Les émissions de monoxyde de carbone ont baissé de 42% entre 1990 et 2001. L'évolution des normes environnementales limitant les émissions de CO à l'échappement est compensée en partie par l'augmentation sensible du trafic. L'industrie a également fortement réduit ses émissions de CO, plus de 75% de réduction entre 1974 et 2001.

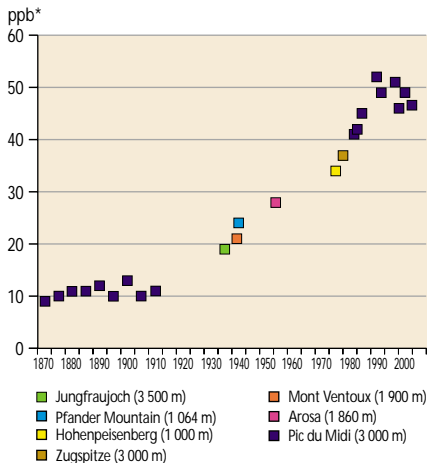
Les rejets de composés organiques volatils non méthaniques ont été réduits de 33% entre 1991 et 2002. Le transport routier dont les émissions baissent sensiblement contribue pour 25% des émissions totales après l'industrie manufacturière.

Malgré la baisse des précurseurs, des concentrations d'ozone en hausse aux échelles... globale...

Les concentrations d'ozone à l'échelle planétaire et dans l'atmosphère libre (éloigné de toute influence anthropique locale) ont fortement évolué depuis la période préin-

dustrielle. Les observations menées depuis le XIX^e siècle sur divers sites représentatifs de l'atmosphère planétaire montrent une augmentation d'un facteur 5 des niveaux d'ozone depuis 1870 dans l'hémisphère nord. Dans l'hémisphère sud, moins industrialisé, pour la même période, l'augmentation semble beaucoup moins importante.

L'évolution des concentrations d'ozone sur des sites d'altitude en Europe de l'Ouest (1870-2002)



* ppb : partie par milliard (billion).
 Source : Laboratoire d'Aérodologie, Toulouse.

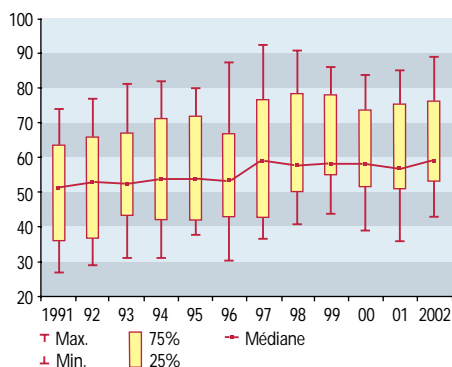
... régionale...

En Europe, à l'échelle régionale et dans les zones rurales et périurbaines, les seuils fixés par la directive 92/72/CE sont souvent dépassés. Comme la plupart des pays européens, la France est régulièrement soumise à des épisodes de pollution photochimique. Ceci a été particulièrement vrai lors de l'été 2003 où l'ozone a atteint des niveaux records. En moyenne, on estime que 10% à 40% de la population de l'Europe subit régulièrement des concentrations d'ozone supérieures aux objectifs à long terme des directives européennes (120 µg/m³ sur 8 heures).

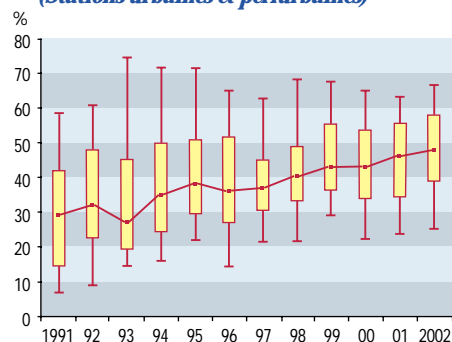
En France, la surveillance de l'ozone est assurée par quarante associations agréées de surveillance de la qualité de l'air. Selon l'Ademe, qui assure la coordination technique du dispositif, celui-ci comporte actuellement 426 sites permanents de mesure.

Les données issues de 37 stations rurales et urbaines, disposant d'une longue chronique de mesures, montrent une augmentation légère des niveaux moyens de

Concentrations moyennes annuelles d'ozone (Stations rurales)



Concentrations moyennes annuelles d'ozone (Stations urbaines et périurbaines)

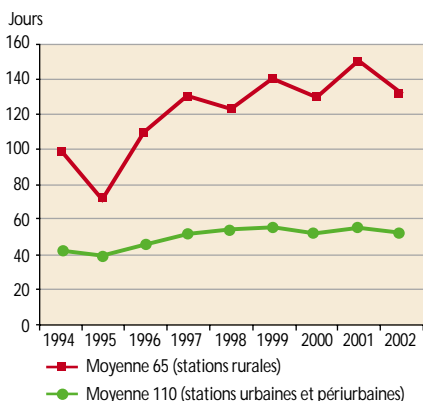


Source : Ademe, BDQA - AASQA.

concentrations d'ozone depuis 1991. Cette hausse est légèrement plus forte en zone urbaine qu'en zone rurale.

Cependant, une forte variabilité est constatée selon les conditions météorologiques relevées : les étés humides favorisent un lessivage de l'atmosphère par les pluies, et le faible ensoleillement est peu favorable au déclenchement des processus chimiques aboutissant à la production d'ozone, alors que les étés ensoleillés et chauds conduisent à une plus forte production d'ozone.

Les dépassement des seuils de concentrations d'ozone pour la protection de la santé et de la végétation en France (1994-2002)



Source : Ademe, BDQA - AASQA.

... et locale : en été, les conditions météorologiques engendrent des épisodes de pollution à l'ozone

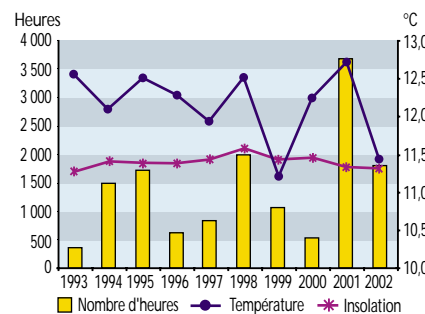
C'est surtout au printemps et en été que les fortes concentrations sont à craindre. Les épisodes de pollution à l'ozone se rencontrent souvent lors de périodes anticycloniques centrées sur l'Europe. Des études statistiques des épisodes de pollution 1994-1996 (9 687 épisodes pendant 456 jours) montrent que dans 80% des cas, les situations les plus propices à l'apparition de pics d'ozone sont des situations anticycloniques avec un anticyclone centré sur l'Europe centrale. En France, ce sont surtout les vents de composante nord qui sont le plus souvent associés à des pics de pollution durant la période. L'étude des épisodes de pollution photochimique sur la France fait souvent ressortir deux situations typiques :

- des situations de pollution de nature relativement locale ou régionale dans les zones rurales sous le vent des agglomérations. Les émissions de précurseurs au-dessus des agglomérations engendrent des épisodes réduits avec des concentrations variables selon la nature des précurseurs, leur quantité, les conditions météorologiques et géographiques ;
- des situations de pollutions de plus large échelle qui découlent d'un transport sur de longues distances de l'ozone et de ses précurseurs dans des masses d'air ayant séjourné sur l'Europe depuis plusieurs jours. Une telle situation s'est rencontrée le 4 septembre 1999 en Île-de-France. La présence d'un anticyclone centré sur l'Europe centrale début septembre s'est accompagnée de conditions météorologiques favorables à la production d'ozone (vents faibles, ciel dégagé, températures élevées). L'étude des trajectoires des masses d'air a montré qu'une masse d'air continentale, en provenance d'Europe centrale puis du sud de l'Allemagne est arrivée sur l'Île-de-France

par l'est/nord-est. Les zones situées au sud-ouest de la région ont connu un épisode de fortes concentrations d'ozone (moyennes horaires supérieures à 220 µg/m³), les masses d'air arrivant sur l'agglomération se chargeant encore de précurseurs au-dessus de Paris. De telles conditions peuvent engendrer des épisodes très étalés sur plusieurs jours et toucher de vastes zones, avec des dépassements de seuils de protection de la santé et de la végétation.

Pics de pollution et conditions météorologiques

Nombre d'heures de dépassement du seuil 180 µg/m³, insolation et température moyenne annuelle en France



Source : Ademe, BDQA - Météo-France.

Malgré ces éléments, il reste encore délicat de comprendre les évolutions de l'ozone de ces dernières années : en effet, l'amplitude, la durée, et l'extension spatiale des phénomènes de pollution photochimique dépendent très largement de situations météorologiques, fluctuantes selon les années. De plus, les processus chimiques à la base de la formation de l'ozone étant très complexes, des baisses d'émissions de précurseurs localement peuvent s'accompagner d'une hausse des concentrations d'ozone (processus non linéaire). Enfin, à l'échelle de l'Europe, si les données suggèrent une hausse des médianes des concentrations, on note cependant une baisse des niveaux de pointe (pics).

À la suite de la communication au Conseil des ministres sur la pollution de l'air le 5 novembre 2003, de nouvelles mesures ont été annoncées pour mieux lutter et informer sur les problèmes de pollution photochimique.

EN EUROPE, LA LUTTE CONTRE L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE S'APPUIE SUR DIVERSES ACTIONS :

- La convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (UNECE/ LRTAP) : placée sous l'égide de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies, cette convention a été adoptée à Genève le 13 novembre 1979 et est entrée en vigueur le 28 janvier 1988. Plusieurs protocoles en application de cette convention ont été adoptés en vue de réduire les émissions dans l'air des précurseurs d'ozone ; 26 États européens se sont engagés à réduire de manière drastique leurs émissions de précurseurs d'ozone à l'horizon 2010 (protocole de Göteborg de 1999).
- Les directives européennes sur l'ozone : la première directive date de 1992. Elle fixe des valeurs cibles et des seuils d'information et d'alerte* ; elle a encouragé la généralisation des mesures de l'ozone, l'harmonisation des méthodes et la mise en place de procédures d'information et d'alerte de la population avec des seuils de protection de la santé et de la végétation. Une nouvelle directive 2002/3/CE, entrée en vigueur le 9 septembre 2003, a abaissé le seuil de déclenchement de la procédure d'alerte (240 µg/m³), entraînant la mise en place de mesures contraignantes pour réduire les émissions de précurseurs.

*Voir définitions p. 4

Ozone pollution: rising concentrations despite French and EU efforts

Ozone is the main indicator of photochemical pollution which is caused by a complex combination of primary pollutants formed by chemical reactions in the troposphere, in the presence of sunlight. These primary pollutants, otherwise known as precursors of ozone (nitrogen oxides, volatile organic compounds and carbon monoxide), are emitted both by natural sources and human activities. In urban areas, during the summer months, ozone is often the main cause of

deterioration in air quality. Directive 2002/3/EC relating to ozone in ambient air entered into force on 9 September 2003, superseding the first ozone Directive (92/72/CE) of 21 September 1992. In the last 10 years, monitoring of ozone pollution has considerably progressed in France (the number of analysers has increased tenfold). Emissions of the ozone precursors fell significantly (-27%) between 1990 and 2000 in France as a result of combined

efforts in all sectors of activity. However, between 1994 and 2002, ozone levels remained above the information threshold for the protection of human health and vegetation on average more than 100 days a year in rural areas and over 40 days a year in urban and peri-urban areas. Efforts undertaken both in France and other European countries aim to improve the situation and ensure compliance with the requirements of Directive 2002/3/EC ■

Méthodologie

La surveillance de l'ozone est assurée en France de manière permanente par des associations agréées (AASQA) qui gèrent des capteurs implantés sur des sites fixes. La localisation des capteurs détermine la typologie des sites de mesure.

Un site est dit **urbain** lorsqu'il est implanté en zone urbaine d'une densité supérieure à 3 000 habitants/km², loin de toute source importante d'émissions de polluants.

Un site est dit **périurbain** lorsqu'il est implanté à la périphérie des agglomérations. Les sites urbains et périurbains permettent de déterminer la pollution de fond, celle à laquelle une grande majorité de la population reste soumise.

Un site est dit **rural** lorsqu'il est implanté en zone rurale à très faible densité de population et d'activité. Les stations rurales participent à la surveillance de la pollution atmosphérique issue des transports de masses d'air sur de longues distances et notamment à l'échelle continentale.

Quant aux données d'émissions, elles proviennent des inventaires nationaux effectués dans le cadre de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière (cf. Citepa).

Définitions

Une **valeur cible** est un niveau fixé dans le but d'éviter à long terme des effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre là où c'est possible sur une période donnée.

Le **seuil d'information** est le niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population.

Le **seuil d'alerte** est le niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de toute la population.

Bibliographie

- Académie des Sciences, 1993. *Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère : Essai d'évaluation scientifique*. Paris, Lavoisier, 262 p. (Rapport n°30).
- European Environment Agency, 2003. *Air quality in Europe : State and trends 1990-99*. Copenhague, EEA, 82 p. (coll. *Topic report*, n°4/2002).
- Fontan J., 2003. *Les pollutions de l'air, les connaître pour les combattre*. Paris, Vuibert, 198 p.
- Koffi B., 2002. *Que sait-on de la pollution photochimique?* Paris, La Documentation Française, 101 p.

VIENT DE PARAÎTRE

Ifen, 2003. Les comptes de la dépense de protection de l'environnement - La gestion des déchets radioactifs 1998-2001. Orléans, Ifen, 42 p., 10 € (coll. *Etudes et travaux*, 38).

Ifen, 2003. L'environnement en Lorraine. Orléans, Ifen, 132 p., 15 € (coll. *Les cahiers régionaux de l'environnement*).

Ifen-Medd, 2003. Énergie et environnement et La fiscalité liée à l'environnement - Données économiques de l'environnement - Rapports de la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement. Paris, Lavoisier, 236 p. et 252 p., 25 € le rapport.

L'ifen élabore et diffuse des informations scientifiques et statistiques sur l'environnement. Il s'appuie sur un important réseau de partenaires : services statistiques de l'Etat, établissements publics scientifiques et organismes spécialistes de l'environnement.

les données de l'environnement

La lettre thématique mensuelle de l'Institut français de l'environnement
Abonnement : 8 numéros, 16 €

61, boulevard Alexandre Martin
45058 Orléans Cedex 1
Tél : 02 38 79 78 78 Fax : 02 38 79 78 70
E-mail : ifen@ifen.fr
Web : http://www.ifen.fr

Directeur de la publication
Bruno Tréguët

Rédaction en chef
Marie-Paule Maillet, Sophie Margontier
(service des éditions)

Auteurs
Mohamedou Ba (Ifen), Christian Elichegaray (Ademe)

Equipe de rédaction
Philippe Boiret, Patrice Grégoire, Bernard Nanot (Ifen), Souad Bouallala et Joëlle Colosio (Ademe)

Maquette-Réalisation
BL Communication

Dépôt légal
ISSN 1250-8616 N° CPPAP 8-3086

L'ozone dans l'air ambiant : valeurs limites de la directive 2002/3/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 février 2002

Valeur cible	Période de base	Valeurs seuils	Date limite à laquelle la valeur doit être respectée
Protection de la santé humaine	8 heures maximum Moyenne glissante	120 µg / m ³ (1)	2010
Protection de la végétation	AOT40 (2) Mai-juillet Valeur horaire	6 000 µg / m ³ (3)	2010
Seuils d'information et d'alerte	Période de base	Valeurs seuils	
Information alerte	1 heure 1 heure	180 µg / m ³ 240 µg / m ³ (4)	

Le décret transposant la directive 2002/3/CE est en voie de publication.

(1) 25 dépassements autorisés actuellement. (2) AOT 40 : cumul sur une période donnée des teneurs moyennes horaires supérieures au seuil de 40 ppb (partie par milliard-billion), soit 80 µg/m³. (3) 18 000 µg/m³ actuellement. (4) Moyenne horaire entraînant la mise en place de plans d'action à court terme. Pour le déclenchement de l'alerte, il faut un dépassement sur trois heures.