

## Robert Vautard

Directeur du Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement,  
Institut Pierre-Simon Laplace, CEA/CNRS/UVSQ

**A**vec ses trois atomes d'oxygène, l'ozone est un oxydant nocif. Pourtant, dans l'atmosphère, l'ozone joue des rôles très importants : absorbant le rayonnement UV dans la stratosphère, il protège la vie ; sa chimie contribue à réchauffer cette couche atmosphérique, maintenant sa stabilité ; dans la troposphère, il est aussi un gaz à effet de serre et contribue à réchauffer le climat. Toutes ces raisons en font un élément essentiel de l'équilibre naturel atmosphérique et climatique.

Mais l'homme a perturbé cet équilibre depuis le début de l'ère industrielle. L'émission de composés chlorés a induit une destruction hivernale de l'ozone dans la stratosphère, essentiellement confinée aux régions de hautes latitudes, permettant au rayonnement UV, nocif pour la peau, de pénétrer jusqu'au sol. Dans la troposphère (en dessous de 10 km), l'ozone a fortement augmenté, d'un facteur 2 à 5 depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Sa contribution à l'effet de serre dû aux activités humaines atteint 20 % de celle du gaz carbonique. Près du sol, son augmentation induit des effets sur la santé quantifiés dans plusieurs études, dont celles discutées dans ce numéro. Pourtant nos connaissances de ces effets et de l'impact sanitaire à grande échelle présentent encore de nombreuses zones d'ombres.

L'ozone ne vit jamais seul. Issu d'une chaîne de réactions initiées par la photo-dissociation de plusieurs molécules, il est toujours accompagné d'une série de produits oxydants ou toxiques : radicaux hydroxyle ou peroxyde, peroxy-acétyl-nitrate (PAN), hydroperoxydes, acide nitrique, aérosols secondaires, etc. Comme ces composés ne sont pas mesurés en routine, il est difficile d'en connaître les effets sur la santé à long terme. Dans

l'étude des effets de l'ozone sur la santé, il est impossible de distinguer l'effet de l'ozone de celui de ces autres composés qui constituent des " variables de confusion ". C'est donc l'effet de la pollution photochimique dans son ensemble qui est généralement étudié via l'ozone.

L'étude des relations entre l'exposition à cette pollution et la santé est également rendue difficile par d'autres facteurs : forte température lors de vagues de chaleur, facteurs sociaux, facteurs d'adaptation, etc. Une des études américaines prouve de façon qualitative comment température et pollution photo-oxydante sont liées, mais une conclusion quantitative est impossible. L'épisode de la vague de chaleur d'août 2003 montre aussi la variabilité de la réponse sanitaire à l'ozone, ou plutôt à la combinaison ozone-température. Ces études se heurtent à la limite imposée par le nombre d'observations, dès que l'on cherche à isoler l'effet de l'ozone ou la pollution photo-oxydante des autres effets qui lui sont corrélés.

Les études établissant les liens exposition – santé sont basées sur des observations d'ozone, pour la pollution photochimique. Si aujourd'hui la mesure de ce polluant ne pose pas de problème majeur, il est difficile d'en avoir une couverture spatiale et temporelle généralisée. Une piste, pour avoir accès à plus de données environnementales est d'utiliser aussi les simulations numériques des concentrations de polluants. L'ozone est généralement fidèlement reproduit aujourd'hui et de nombreuses simulations ont été réalisées, sur plusieurs années ou décennies. Les modèles ont toutefois certains biais qui peuvent compromettre l'établissement de relations précises entre pollution et santé. Une façon de s'en affranchir est d'utiliser des *analyses*

d'ozone (combinaisons optimales d'observations et de simulations obtenues par assimilation de données). Le système national français de prévision de la qualité de l'air (PREV'AIR : <http://www.prevoir.org>) apporte ce type de données qui ont une couverture spatiale et temporelle homogène.

La pollution photochimique évolue sous l'influence de différents facteurs. Dans les grandes agglomérations des régions tempérées, les réductions significatives d'émissions depuis deux décennies ont paradoxalement eu pour conséquence une augmentation des concentrations moyennes d'ozone. Cela est principalement dû au monoxyde d'azote qui, en plus faible quantité, réduit moins l'ozone à proximité des sources. Il faut donc s'attendre à une évolution de l'exposition à l'ozone et des effets sanitaires associés. Mais ce ne sont probablement pas les populations des régions tempérées qui souffriront le plus des effets de la pollution photochimique. Avec le développement de mégalo-poles dans les pays du sud et les pays émergents, ce type de pollution croît, et peu d'études existent à l'heure actuelle les concernant. Un enjeu majeur est de projeter et anticiper les problèmes sanitaires. Avec la connaissance des effets de l'exposition acquise ailleurs, et la réalisation de simulations prospectives, il sera possible de traiter cette question.

La métrologie en soi n'est pas le facteur limitant dans les études du lien entre pollution photochimique et santé. Le problème de la mesure se situe davantage au niveau

de la distribution des sites d'observation. En effet, les sites de mesure "de fond" (urbain ou non), s'ils sont représentatifs des concentrations à relativement grande échelle, souvent ne le sont pas de l'exposition réelle des cohortes de patients. Du fait de la réaction chimique rapide avec d'autres composés, dont le monoxyde d'azote, les concentrations d'ozone ne sont pas homogènes, particulièrement dans les environnements pollués. Dans les articles discutés dans ce numéro, la difficile question de la caractérisation des sites de mesure et de leur représentativité n'est généralement pas abordée.

Enfin, un autre enjeu majeur de santé publique de long terme est d'anticiper l'augmentation de la fréquence des vagues de chaleur, dont l'exemple de l'été 2003 est souvent présenté comme prémonitoire. Dans ce type de conditions, l'intensité des pics de pollutions, leur répétition sur plusieurs jours ou semaines, l'échelle spatiale du nuage de pollution photochimique (plusieurs centaines à milliers de kilomètres) et surtout l'association avec des températures extrêmes peuvent conduire à une crise sanitaire de grande échelle. De nouveaux "étés 2003", ou pire, sont attendus pour les décennies à venir, avec une fréquence qui devrait approcher un été sur deux dans la seconde moitié du siècle. En conséquence, l'organisation publique à mettre en place pour réduire et gérer les crises sanitaires liées à la pollution photochimique doit également intégrer les effets du changement climatique.