

Canicules et pollution : quelle évolution entre 2003 et 2026 ?

7.9.2026 - Bertrand Bessagnet | École Polytechnique

Les vagues de fortes chaleurs sont propices à la formation des pics de pollution à l'ozone. Lors de la canicule d'août 2003, les niveaux atteints avaient été spectaculaires. L'instauration, depuis plus de vingt ans, de politiques de lutte contre la pollution atmosphérique a permis d'éviter le pire lors des vagues de chaleur européennes du printemps et de l'été 2026.

La canicule de juin 2026 a frappé l'Europe avec une intensité remarquable. Températures dépassant les 35 à 40 °C le jour, restant élevées la nuit, ciel dégagé, atmosphère stagnante, tous les ingrédients étaient réunis pour produire un épisode majeur de pollution à l'ozone aux conséquences néfastes pour la santé humaine et celle des écosystèmes.

Pourtant, contrairement à la canicule historique d'août 2003, cette pollution à l'ozone n'a pas atteint les niveaux extrêmes du passé. Ce constat n'est pas dû au hasard : il est le résultat direct de vingt années de politiques de réduction des émissions de polluants atmosphériques, qui ont profondément transformé la chimie de l'atmosphère européenne.

Le « mauvais ozone »

Pour comprendre cette évolution, il faut revenir sur ce qu'est la pollution à l'ozone. L'ozone dont il est question ici est troposphérique. Il est parfois appelé « mauvais ozone » pour le distinguer de l'ozone stratosphérique, qui forme, de 15 kilomètres à 35 kilomètres d'altitude, la couche d'ozone qui nous protège des ultraviolets (UV) du soleil.

Le mauvais ozone, lui, apparaît dans la basse atmosphère que nous respirons. Il se forme lors de forts ensoleillements à partir de composés dits « précurseurs d'ozone » : les oxydes d'azote issus du trafic routier, de la combustion industrielle ou des feux, et les composés organiques volatils émis notamment par les véhicules et les solvants. C'est pour cela qu'il est particulièrement scruté lors des canicules.

En Europe et particulièrement en France, la pollution à l'ozone est étudiée notamment avec le modèle CHIMERE, qui permet la réalisation de simulations et de prévisions. C'est lui qui nous a permis de comprendre l'ampleur de l'évolution entre 2003 et 2026.

Août 2003 : l'épisode fondateur qui a révélé la vulnérabilité de l'Europe

Pour saisir le chemin parcouru, il faut commencer par mieux comprendre le point de départ : la canicule d'août 2003 reste l'un des événements atmosphériques les plus marquants en Europe. Les conditions météorologiques étaient également exceptionnellement favorables à la formation d'ozone.

À cette époque, les émissions de dioxyde d'azote et de composés organiques volatils (COV) à l'origine du mauvais ozone étaient très élevées, en particulier celles issues du transport, de l'industrie et des solvants. Le résultat fut spectaculaire : des concentrations d'ozone dépassant 180

microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur de vastes régions, et même $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans certaines zones françaises, comme le rappelle l'étude réalisée par le climatologue Robert Vautard et ses collaborateurs.

Ces seuils européens de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (information) et $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (alerte) pour l'ozone ont été définis dans la directive européenne « qualité de l'air » 2024/2881, à partir d'analyses toxicologiques et épidémiologiques montrant qu'une exposition de courte durée au-delà de ces niveaux entraîne des effets respiratoires mesurables, d'abord pour les groupes sensibles puis pour l'ensemble de la population.

Cet épisode a ainsi servi de déclencheur politique. Il a mis en lumière la nécessité de réduire les émissions de précurseurs de l'ozone, et a contribué à l'adoption de normes plus strictes au niveau européen.

2003-2026 : vingt ans de transformation silencieuse

Depuis 2003, l'Europe a engagé une réduction massive des émissions de précurseurs d'ozone. Les émissions de dioxyde d'azote (NO_x) ont chuté de plus de 50 %, celles des composés organiques volatils (COV) ont également fortement diminué. Les sources les plus polluantes ont été régulées avec notamment le renforcement des normes, passant d'Euro IV à Euro VI pour les véhicules, l'utilisation moindre du charbon dans la production électrique, la mise en place de zones à faibles émissions (ZFE) dans les grands centres urbains et la mise en place de nombreuses réglementations dans l'industrie.

Ces mesures ont profondément modifié la chimie de l'atmosphère. Même si les canicules sont désormais plus fréquentes et plus intenses en raison du changement climatique, elles ne produisent plus lors des pics les mêmes niveaux d'ozone qu'au début des années 2000.

Rejouer la canicule de juin 2026 dans un « monde parallèle »

Pour prendre la mesure de ces évolutions vertueuses, les travaux de modélisation numériques sont utiles. On peut modifier virtuellement la météorologie ou les émissions, mais également un autre paramètre important : les conditions aux frontières du territoire, ou « conditions limites », que l'on étudie.

Une condition limite dans un modèle de qualité de l'air à domaine limité, c'est simplement l'air qui arrive depuis l'extérieur du domaine et que le modèle doit connaître pour pouvoir calculer correctement ce qui se passe à l'intérieur. Ici, afin de mesurer l'impact réel des politiques européennes de réduction des émissions, le modèle CHIMERE a été utilisé pour simuler la canicule de juin 2026 dans trois configurations utilisant les mêmes conditions météorologiques que celles de juin 2026 :

1. la situation réelle, avec les émissions (dans les faits, les plus récentes publiées) et les conditions aux frontières européennes réelles de juin 2026 ;
2. la simulation avec les émissions de juin 2003 et les conditions aux frontières européennes typique de juin 2003 ;
3. la simulation avec les émissions de juin 2003 et les conditions aux frontières européennes réelles de juin 2026.

Cette approche permet de répondre à une question simple mais essentielle : que se serait-il passé si l'Europe n'avait pas réduit ses émissions d'origine humaine depuis 2003 ?

Des bénéfices évidents

Les résultats sont sans appel : l’ozone aurait été bien plus élevé en juin 2026 sans les politiques sur l’air.

La carte montre simplement que si l’Europe avait encore connu les émissions de pollution de 2003 et les conditions aux frontières typiques de cette année-là, l’ozone aurait été beaucoup plus élevé dans la plupart des régions. On parle de différences de l’ordre de plusieurs dizaines d’unités, donc clairement visibles particulièrement en France.

Seules quelques zones montrent des différences contrastées minimales : dans des zones très polluées comme, par exemple, au large des Pays-Bas. La complexité de la chimie de l’ozone y apparaît clairement : certains gaz des émissions détruisent normalement l’ozone ; quand on réduit ces émissions, on retire aussi ce « nettoyage », donc l’ozone peut légèrement monter. C’est un petit effet souvent local, normal en chimie atmosphérique, même si l’ozone baisse globalement partout ailleurs.

Visualisation des différentes simulations. Fourni par l'auteur

Les séries temporelles moyennées des maximums journaliers d’ozone aux stations rurales en France montrent également que les configurations 2 et 3 dépassent systématiquement les observations réelles et la simulation de référence 1.

Les différences atteignent de 20 à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant les jours les plus chauds, ce qui est considérable, mais cette moyenne lisse les contrastes : elle cache, en réalité, des écarts locaux bien plus forts, que l’on ne découvre qu’en regardant les données station par station. Certaines stations de mesures sont ainsi davantage influencées par les émissions polluantes issues de zones industrielles ou fortement urbanisées.

Fourni par l'auteur

Les émissions intra-européennes sont le facteur dominant de ces différences notamment au plus fort de l’épisode. Les conditions aux frontières du domaine, c’est-à-dire la pollution importée, jouent un rôle secondaire comme le montre le faible écart entre les courbes rouge (2) et bleu (3). La hausse des concentrations est donc principalement due à la réduction des émissions européennes.

Le diagnostic est solide parce que le modèle reproduit très bien la situation réelle (1) : la courbe simulée et la courbe des « observations » sont presque superposées. Autrement dit, si le modèle arrive déjà à reproduire fidèlement ce qui s’est réellement passé, on peut avoir confiance dans ce qu’il dit lorsqu’on change les données d’entrée.

Un bénéfice sanitaire majeur

Cette progression peut nous réjouir, car l’ozone est un oxydant puissant. Il provoque des irritations des voies respiratoires, une aggravation de l’asthme, une augmentation des hospitalisations. En juin 2026, la baisse des émissions a réduit l’exposition de millions de personnes, en particulier dans les régions les plus touchées par la chaleur.

L’ozone peut également abîmer les feuilles des végétaux et ralentir la croissance des plantes, ce qui fragilise les écosystèmes naturels. Dans les cultures agricoles, il réduit également le rendement de manière notable, car les plantes exposées produisent moins de biomasse et donc moins de grains ou de fruits.

Le message est clair, les politiques « air » fonctionnent. La canicule de juin 2026 aurait pu être un « retour à août 2003 », mais, heureusement, ne l'a pas été. Dans un climat où les canicules deviennent plus fréquentes, ces politiques sont un rempart essentiel.

Néanmoins, gardons en tête que, à l'échelle mondiale, les concentrations de mauvais ozone ont en moyenne tendance à augmenter, notamment sous l'effet du réchauffement climatique, qui favorise sa formation si l'on reste à émissions constantes. Autrement dit, ces progrès ne doivent pas conduire à baisser la garde : il faut continuer à réduire les émissions au niveau global pour éviter que le réchauffement climatique en cours ne reprenne le dessus.

Remerciements : ce travail a bénéficié d'un accès aux ressources de calcul haute performance (HPC) du Très Grand Centre de calcul (TGCC) du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), gérées par GENCI (A0190116867).

Bertrand Bessagnet, Director of Research, *Centre national de la recherche scientifique (CNRS)*; Arineh Cholakian, Modélisation atmosphérique, chimie de l'atmosphère, *Sorbonne Université*; Guillaume Siour, Ingénieur de Recherche, *Centre national de la recherche scientifique (CNRS)*; *Université Paris-Est Créteil Val de Marne (UPEC)*; Laurent Menut, Chercheur CNRS en physique de l'atmosphère, *Sorbonne Université*; Romain Pennel, Ingénieur de recherche en calcul scientifique, *École polytechnique* et Sylvain Mailler, Chercheur en modélisation de la qualité de l'air, *École Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC)*

Cet article est republié à partir de The Conversation sous licence Creative Commons. Lire l'article original.

<https://www.polytechnique.edu/actualites/canicules-et-pollution-quelle-evolution-entre-2003-et-2026>