

CHIMIE, ATMOSPHÈRE, SANTÉ ET CLIMAT, UNE HISTOIRE PARTAGÉE

Emmanuel Durocher, Noël Baffier, Jean-Claude Bernier

D'après l'article *Chimie atmosphérique et climat* de Guy Brasseur publié dans l'ouvrage « Chimie et changement climatique », EDP Sciences, 2016, ISBN : 978-2-7598-2035-1

LA COMPOSITION ATMOSPHÉRIQUE DE LA TERRE

La composition de l'atmosphère terrestre a évolué depuis la formation de la planète il y a plus de 4 milliards d'années. Par exemple, l'oxygène n'est apparu que deux milliards d'années plus tard (figure 1). Aujourd'hui, l'atmosphère est essentiellement constituée de diazote (78 %) et de dioxygène (21 %). Les autres composés sont minoritaires mais jouent un rôle important dans la chimie de l'atmosphère, la qualité de l'air et dans les problèmes climatiques. C'est le cas par exemple du dioxyde de carbone CO_2 et du méthane CH_4 qui sont deux gaz à effet de serre. L'augmentation de leur concentration atmosphérique se situe très nettement en dehors de

la zone de fluctuations naturelles que l'on a connues, il y a 20 000 ans par exemple (figure 2) et elle est corrélée à l'évolution de la température terrestre.

Cela indique que les évolutions de la composition chimique de l'atmosphère et du climat sont liées. Aujourd'hui, la question est de voir quelle sera la réponse à long terme du système terrestre à ces évolutions (1).

L'ATMOSPHÈRE EST UN MILIEU OÙ SE DÉROULENT DES TRANSFORMATIONS CHIMIQUES AYANT UN IMPACT SUR LA SANTÉ

De très nombreuses transformations chimiques se déroulent dans l'atmosphère (2).

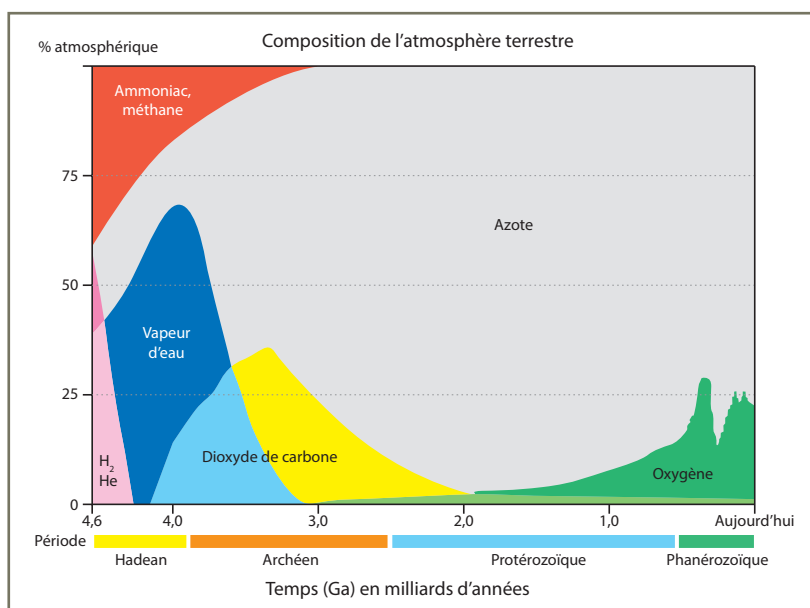


Figure 1 : Évolution chronologique de la composition chimique de l'atmosphère.

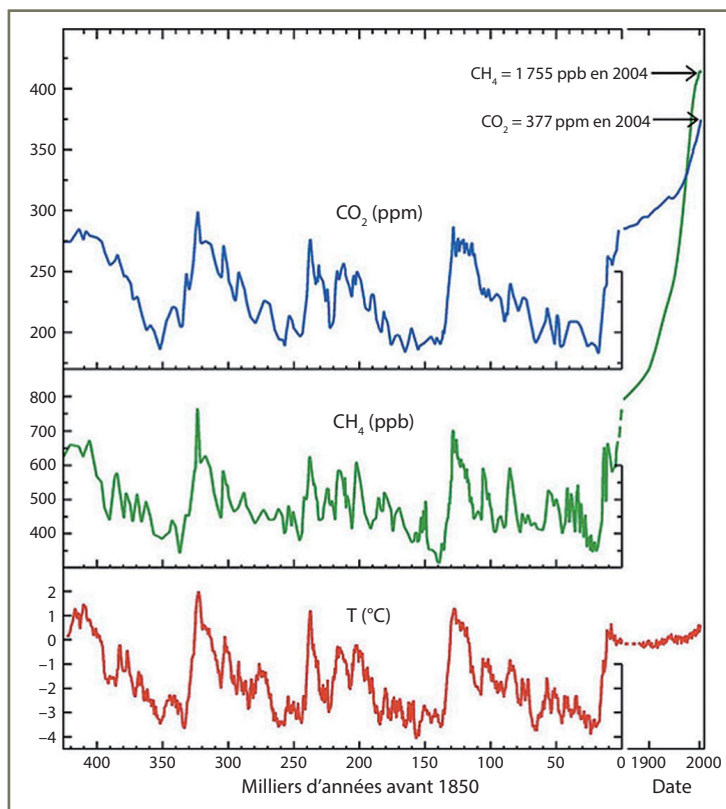


Figure 2 : L'évolution passée du climat, liée aux changements des paramètres orbitaux de la Terre autour du Soleil, a été accompagnée de changements dans la composition chimique de l'atmosphère. Aujourd'hui, la planète se trouve dans un état très différent.

L'ozone O_3 de la stratosphère (3) (seconde couche de l'atmosphère située entre 10 et 50 km d'altitude environ) est indispensable à la vie sur Terre car il protège du rayonnement solaire ultraviolet. Sa présence résulte d'un équilibre entre sa production par action du rayonnement UV sur le dioxygène O_2 et des réactions de destruction. Ces dernières sont catalysées principalement par des oxydes d'azote (naturel ou d'origine anthropique) et par le chlore, issu des jets industriels de CFCs (chlorofluorocarbures). Le trou d'ozone se produit surtout autour des pôles, par des processus complexes qui activent le chlore sur la surface des cristaux de glace dans des nuages à haute

altitude. Dès que le Soleil réapparaît au printemps austral (septembre), l'ozone est détruit en quelques semaines et sa quantité est réduite de 50 % par rapport à ce qu'elle était avant 1960 (figure 3B) ; cette destruction est très prononcée dans l'Antarctique où les températures sont 10 à 20 °C plus basses que dans la stratosphère arctique et favorisent la formation de nuages de cristaux de glace. Ce « trou » dans la couche d'ozone (figure 3A) diminue mais devrait rester présent jusqu'aux alentours de 2050-2060, le temps que le chlore d'origine humaine disparaisse. Voici un exemple probant du rôle majeur de la chimie atmosphérique sur la santé.

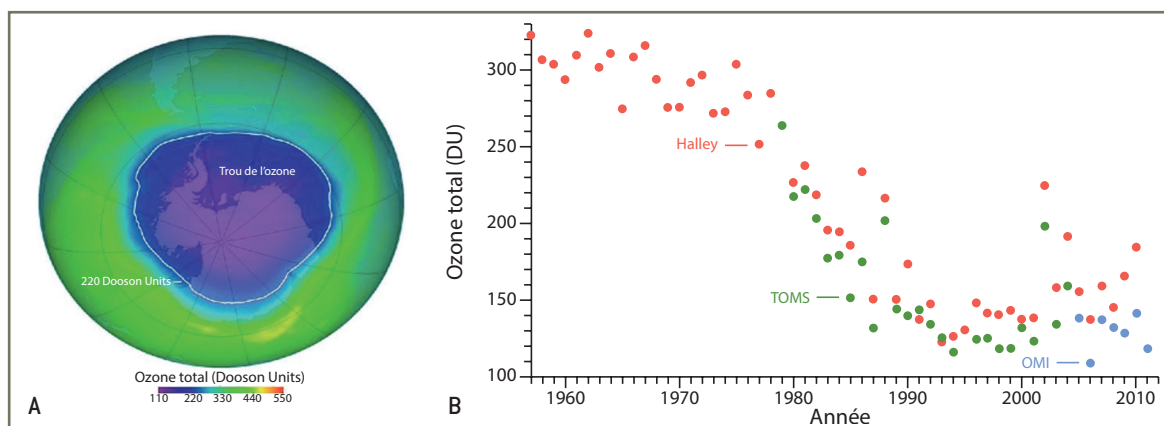


Figure 3 : [A] Début de la formation du trou d'ozone en 1980 ; [B] diminution de la quantité d'ozone en Antarctique durant les cinquante dernières années.

Un autre exemple est à chercher dans les villes, où de l'ozone est formé à proximité du sol par une série de réactions photochimiques qui font intervenir les oxydes d'azote NOx (4) et différents hydrocarbures volatils (COV) émis en grande partie par l'industrie, les activités domestiques et les transports (en particulier pendant l'été dans les régions urbaines). Si l'ozone est utile en haute atmosphère pour protéger des rayonnements UV, il est en revanche, comme les oxydes d'azote (NOx), source de maladies respiratoires et cardiaques. Il est donc nécessaire d'en limiter la présence. La figure 4 montre la présence de quantités importantes d'ozone dans les zones industrielles (couleurs chaudes) mais aussi dans les zones où l'on brûle de la biomasse, notamment

en Afrique. Aujourd'hui, grâce à de tels modèles mathématiques, on peut prévoir quotidiennement les concentrations des polluants à l'échelle globale. La figure 5 est un exemple de prévision pour les oxydes d'azote. Les quantités sont surtout importantes dans les zones urbaines, dans les zones industrielles, et très élevées en particulier en Chine.

L'ACTIVITÉ HUMAINE PRODUIT DES COMPOSÉS CHIMIQUES AYANT UN IMPACT SUR LE CLIMAT

Les aérosols atmosphériques ont un impact direct et indirect sur le climat, ce sont des mélanges de particules solides et liquides en suspension dans l'air dont l'origine peut être humaine (comme les

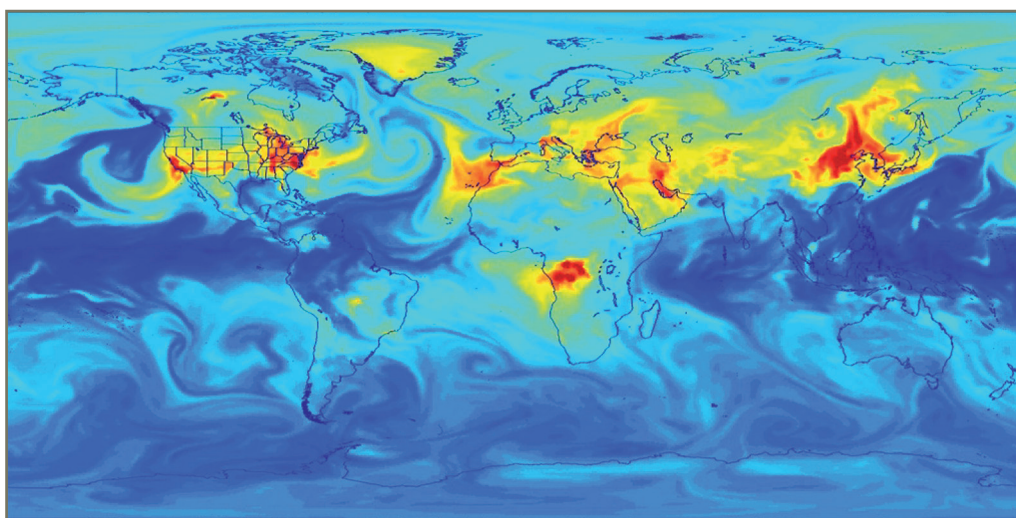


Figure 4 : Modèle global de l'ozone à la surface de la Terre mettant en évidence l'impact de l'activité humaine (résolution spatiale de 50 km). Source : Louisa Emmons, NCAR.

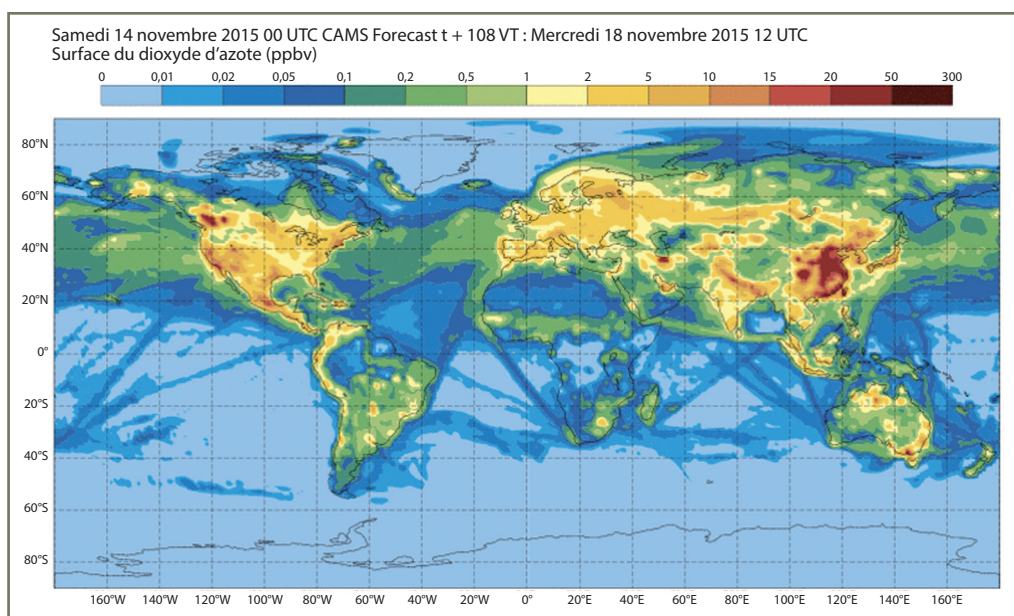


Figure 5 : Prévision de la qualité de l'air à l'échelle globale pour le 18 novembre 2015. Les concentrations de dioxyde d'azote sont surtout élevées dans les zones urbaines et dans les zones industrielles, en particulier en Chine. On repère aussi sur les océans les émissions qui résultent des navires qui sont propulsés par des moteurs en général très polluants.

sulfates résultant de la combustion du charbon) ou naturelle (comme les poussières de sable ou les sels marins). La **figure 6** montre combien la pollution de l'air peut être intense, notamment en Chine. L'effet direct résulte d'une interaction entre le rayonnement solaire et les particules atmosphériques. Les particules fines, par exemple les sulfates, diffusent la lumière et réduisent la quantité d'énergie qui atteint le sol ce qui va dans le sens d'un refroidissement de la planète. Inversement, d'autres aérosols comme la suie absorbent le rayonnement et tendent à la réchauffer. Les sources de particules sont nombreuses et d'origines diverses (**figure 7**). La présence de ces aérosols peut aussi influencer la durée de vie des nuages.

La **figure 8** présente un modèle de répartition globale d'aérosols, sur lequel on peut voir au centre, en jaune, la présence de poussières d'origine désertique ; en bleu sont figurées celle des sels marins ; en vert l'effet des feux de forêts, essentiellement visibles dans les tropiques ; en blanc, l'effet des sulfates

résultant notamment de la combustion du charbon. Cette dernière contribution est particulièrement marquée en Chine.

Le rayonnement solaire (5) parvient à la surface de la Terre, mais la quantité d'énergie qui pénètre effectivement jusqu'au sol représente environ 75 % de l'énergie reçue. Une partie est en effet absorbée – notamment par l'ozone – ou diffusée. Réciproquement, la Terre émet des rayonnements infrarouges vers l'espace mais ceci ne représente que 15 à 30 % de l'énergie émise au sol, car une partie de ce rayonnement est absorbée par les gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Sans la présence des gaz à effet de serre, la température de la Terre serait environ 30 °C plus basse que celle qui est observée. Ce sont donc ces absorptions par des constituants de l'atmosphère, les gaz à effet de serre (CO₂, vapeur d'eau, méthane, ozone) et les espèces chimiques comme les aérosols et les polluants, qui vont en grande partie déterminer l'équilibre entre l'énergie qui est absorbée par le système terrestre et celle



Figure 6 : Illustration de quelques causes de la dégradation de la qualité de l'air.

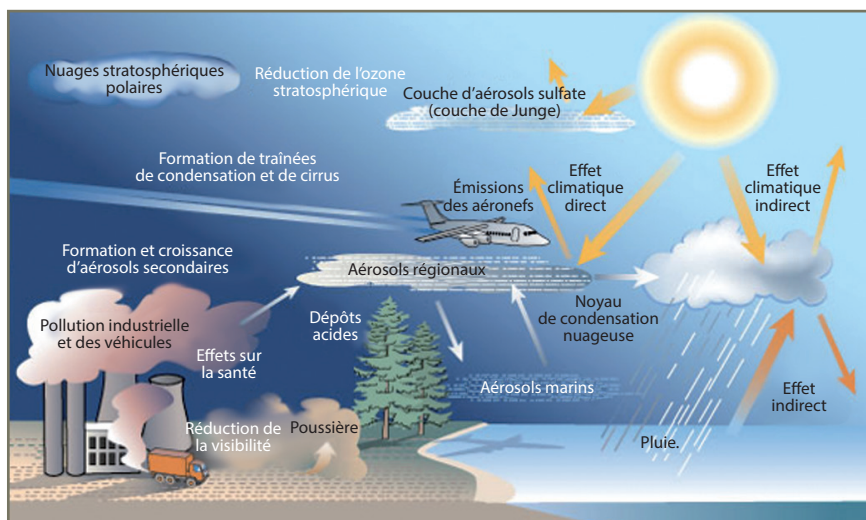


Figure 7 : Les émissions d'aérosols ont de multiples sources, humaines ou non, directes ou non.

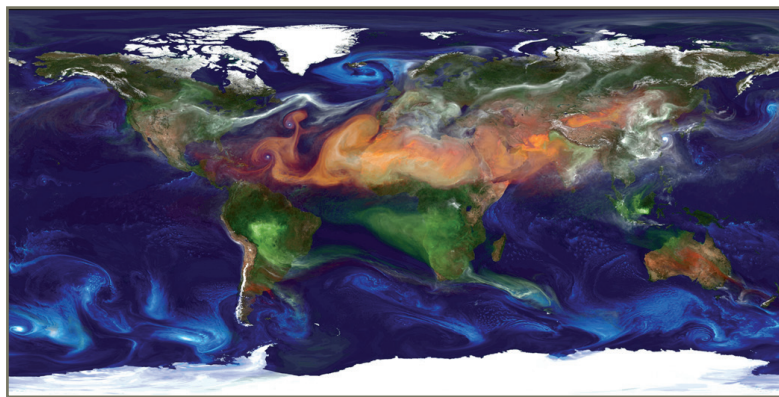


Figure 8 : Modèle global des aérosols à la surface de la Terre.

qui est émise vers l'espace de manière directe ou indirecte (voir les exemples des sulfates et de la suie dans le paragraphe précédent). L'activité humaine joue un rôle dans cet équilibre, puisqu'elle entraîne l'émission de gaz à effets de serre d'aérosols et de polluants. La réduction des effets anthropiques pourrait avoir un impact significatif. L'élimination de tous les sulfates par exemple, entraînerait un réchauffement de la Terre de l'ordre de 1 degré (figure 9). Il en résulterait donc un accroissement de température comparable à celui dû au CO₂ depuis l'ère préindustrielle.

Les phénomènes d'origine chimique de l'atmosphère ont une influence significative sur l'évolution du climat. Le trou d'ozone, par exemple, modifie quelque peu la dynamique de l'atmosphère dans l'hémisphère Sud. Les modèles montrent que la disparition du trou d'ozone, prévue vers 2050, conduira vraisemblablement au déplacement en latitude des grandes cellules de la circulation atmosphérique, dans une direction qui est opposée à celle qui devrait résulter de l'addition des gaz à effet de serre dans l'atmosphère : il y aura donc une sorte de compensation entre les deux processus qui va se produire.

Un autre exemple d'interaction entre la chimie et la dynamique de l'atmosphère est fourni par l'effet

de la pollution de l'air : la formation de particules atmosphériques liée à l'activité des pays industriels, plus importante dans l'hémisphère Nord que dans le Sud, produit vraisemblablement une modification de la circulation dans les tropiques et, en particulier, de la localisation et de l'intensité de la mousson indienne ; cela expliquerait son affaiblissement avec ses conséquences importantes sur l'agriculture de l'Inde ou de l'Asie du Sud.

L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

Même s'il est actuellement encore difficile de quantifier l'impact des changements climatiques sur la composition chimique de l'atmosphère et donc sur la qualité de l'air, on peut s'attendre à un réchauffement des continents, supérieur au réchauffement global. Ceci devrait augmenter les quantités d'ozone et d'aérosols dans ces régions. Les précipitations pourraient augmenter parce que le réchauffement entraînera une augmentation de l'évaporation, ce qui entraînera une élimination des espèces solubles des aérosols. L'augmentation de la nébulosité tendra par ailleurs à réduire la production d'ozone. Le réchauffement des pôles devrait diminuer la circulation des vents entre l'équateur et les pôles. Le bilan de toutes ces conséquences est donc complexe et difficile à déterminer.

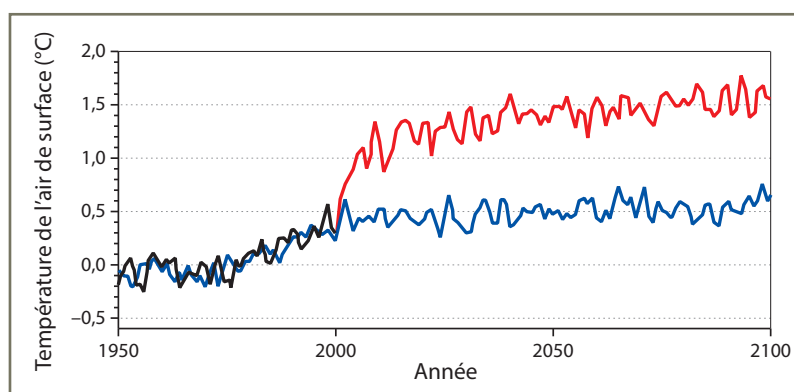


Figure 9 : Température de l'air à la surface de la Terre. Courbe rouge : sans sulfates ; courbe bleue : avec sulfates.

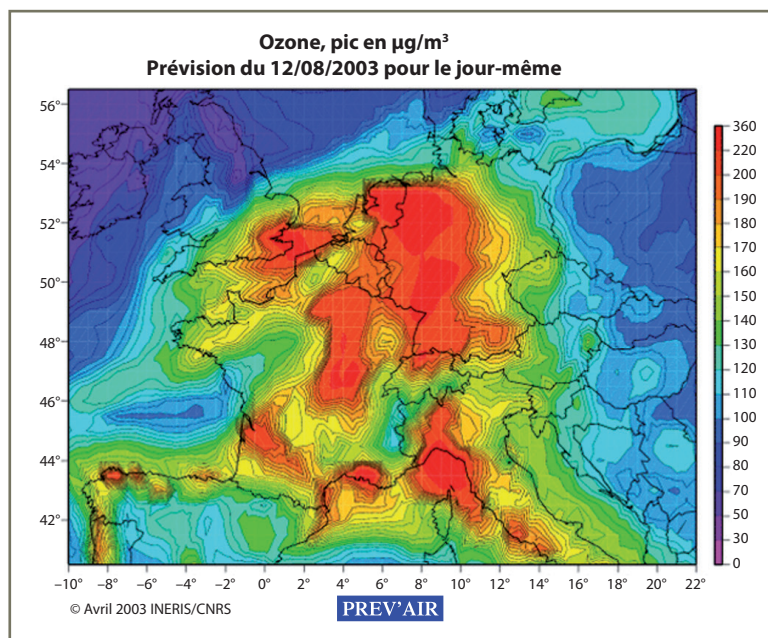


Figure 10 : Pic d'ozone lors de la vague de chaleur de l'été 2003 en Europe, un exemple d'impact des changements climatiques sur la qualité de l'air. On estime qu'en Europe il y a eu 44 000 décès prématurés pendant cette période.

L'exemple de la vague de chaleur de l'été 2003 en Europe laisse préfigurer ce que représenterait une augmentation de la température, à savoir l'apparition immédiate de pics d'ozone extrêmement élevés (figure 10). On estime à plusieurs dizaines de milliers le nombre de décès prématurés à cette période et on pense qu'un tiers, peut-être même la moitié de ces décès, a été causé par la dégradation de la qualité de l'air qui en a résulté.

Il existe donc des interactions fortes entre la composition chimique de l'atmosphère, la santé et le climat. Les modèles permettent de mesurer ces interactions et il existe des solutions à court ou à long terme qui pourraient améliorer la qualité de l'air et préserver le climat [6].

POUR EN SAVOIR PLUS

- (1) Le changement climatique (Chimie et... junior)
<http://www.mediachimie.org/node/1746>
- (2) La chimie atmosphérique : contexte, récents développements et applications
<http://www.mediachimie.org/node/329>
- (3) Formule de l'ozone
<http://www.mediachimie.org/node/856>
- (3) Les oxydes d'azote : identification et préparation
<http://www.mediachimie.org/node/1035>
- (5) Soleil, soleil...
<http://www.mediachimie.org/node/781>
- (6) La photocatalyse pour l'élimination des polluants
<http://www.mediachimie.org/node/243>

Noël Baffier, professeur honoraire d'université, ancien directeur des Études de l'École d'Ingénieurs de Chimie Paristech

Jean-Claude Bernier, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS

Emmanuel Durocher, professeur de physique-chimie, formateur dans l'académie de Créteil

Grégory Syoën, professeur agrégé, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie