

# Ozone et particules : agir pour le climat et la santé

Mener des actions précoces pour réduire le méthane, l'ozone et les particules permettrait d'aider à maintenir le réchauffement en deçà de 2° et éviterait des maladies chroniques graves, une baisse des rendements agricoles et des coûts économiques importants.

## Actions de l'ozone et des particules sur le réchauffement, la pollution, la mortalité et les coûts

### Pollution atmosphérique et climat sont liés

Le 23 octobre 2017, à l'occasion d'une rencontre des villes du C40, 12 maires de grandes villes se sont mis d'accord sur des mesures quant au climat et à la qualité de l'air [1]. Depuis le début des années 2000, alors que des villes sont régulièrement asphyxiées par des pics de pollution à l'ozone et aux particules fines (ou aérosols), les chercheurs ont publié de nombreuses études sur les liens entre changement climatique et pollution atmosphérique. « *Aujourd'hui, on a compris que nous pouvons nous attaquer à ces deux enjeux de manière conjointe* », s'enthousiasme Augustin Colette, responsable de l'Unité de Modélisation Atmosphérique et Cartographie Environnementale à l'INERIS. Car le climat pourrait bien augmenter la concentration de ces polluants qui eux-mêmes ont un effet sur lui.

« *De manière générale, la qualité de l'air s'est améliorée au cours du 20ème siècle dans les grandes villes occidentales comme Los Angeles ou Londres, qui pouvaient être affectées par des épisodes de smog intenses, comme celui de 1952 qui provoqua dans la capitale du Royaume-Uni près de 12.000 morts* », note Didier Hauglustaine, directeur de recherche CNRS au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE). La cause ? Moins de combustion de charbon et de bois au sein des villes, un déplacement des usines en dehors des agglomérations et des voitures moins polluantes bien que plus nombreuses. Les normes européennes ont aussi favorisé la diminution de concentration des particules fines.

« *Cependant tous ces efforts peuvent être anéantis ou du moins masqués par le changement climatique* », reprend le chercheur.

### Mortalité et coûts dus à l'ozone et aux particules

Malgré cette amélioration, la pollution de l'air continue de coûter la vie à de nombreuses personnes.

- Dans le monde, en 2010, plus de 3 millions de décès prématurés étaient provoqués à cause de la pollution de l'air ambiant (sans compter celle de l'air intérieur), 92% de la population mondiale vivant dans des endroits où les seuils d'exposition à celle-ci ne sont pas respectés, d'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS): 3,22 millions à cause de la pollution par les particules fines et 0,15 million à cause de la pollution à l'ozone [3] [A].

- En Europe continentale, son incidence était de 480 000 décès prématurés pour un coût exorbitant de 1 420 milliards d'euros en 2010 [B].

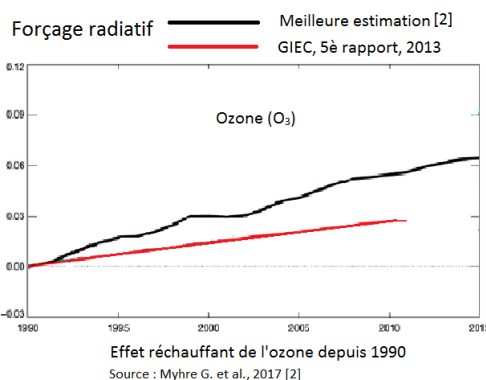
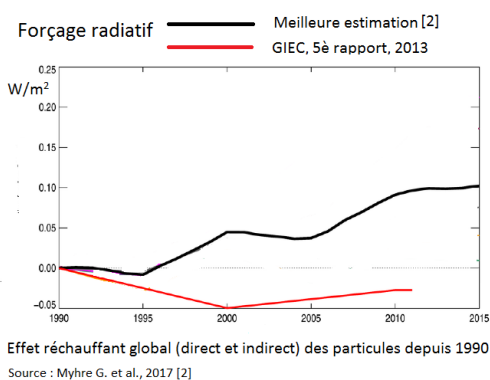
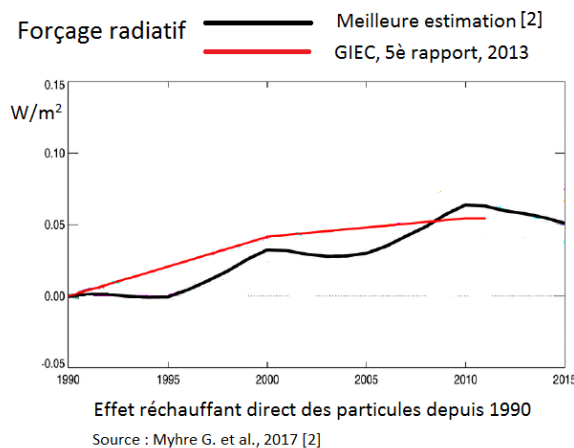
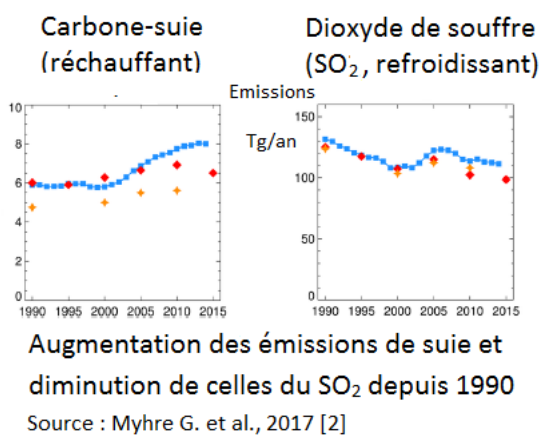
- En France, elle est de 48 000 morts par an d'après Santé Publique France, ce qui fait de la pollution de l'air la troisième cause de mortalité dans le pays. Elle y provoque une perte d'espérance de vie pouvant dépasser 2 ans en moyenne dans les villes les plus exposées, de 15 mois dans les zones urbaines de plus de 100 000 habitants et de 10 et 9 mois respectivement dans celles entre 2 000 et 100 000 habitants et les zones rurales, ces dernières également largement concernées [C]. Son coût y est de 70 à 100 milliards d'euros par an [II]. Si

toutes les communes françaises respectaient la valeur recommandée par l’OMS pour les particules fines [A], ce sont plus de 17 000 décès qui pourraient être évités chaque année en France [D].

La pollution de l’air favorise le développement de maladies chroniques graves, comme les troubles de la reproduction et du développement de l’enfant, les cancers, les maladies cardio-vasculaires (dont des infarctus et des accidents vasculaires cérébraux) et respiratoires, ou certaines pathologies neurologiques [3] [D].

### Action réchauffante des particules et de l’ozone depuis 1990

De plus, depuis 1990, les émissions de dioxyde de soufre (qui forment des sulfates refroidissant le climat) diminuent [1] alors que celles réchauffantes de carbone-suie augmentent (voir figures en haut à gauche ci-dessous) [2]. Le résultat est que, **les particules contribuent plus au réchauffement depuis la fin du XX<sup>e</sup> siècle** (voir figure en bas à gauche ci-dessous) [2] qu’estimé dans le 5<sup>e</sup> rapport du GIEC [E]. Ce résultat concerne la perturbation directe du climat par les particules en suspension dans l’air mais est vrai également si l’on prend en compte l’effet indirect qu’elles ont sur le climat en modifiant les propriétés et la distribution des nuages (voir figure de gauche ci-dessous) [2]. On notera que cet effet indirect impliquant le rôle des nuages est un sujet actif de recherche et reste soumis à de grandes incertitudes (voir article « Diminution des nuages bas et effets des aérosols : vers une amplification du réchauffement »).



Enfin, le pouvoir réchauffant de l’ozone, sur la même période, progresse lui aussi plus rapidement que celui estimé par le GIEC en 2013 (voir figure en bas à droite ci-dessus) [2].

Ces résultats sont principalement liés au fait que d’autres scénarios d’émissions de polluants plus adaptés à l’étude de la qualité de l’air ont été utilisés en plus de ceux RCP du GIEC.

## A l'avenir, ces impacts de l'ozone et des particules vont augmenter

### L'incidence de la chaleur sur l'ozone

Mais c'est surtout l'ozone qui inquiète les chercheurs. Il s'agit ici de l'ozone troposphérique (entre 0 et 8 à 15 km (voir coupe latitudinale et illustration correspondante de l'article « Diminution des nuages bas et effets des aérosols : vers une amplification du réchauffement »)) et non celui de la couche d'ozone (stratosphérique), bien plus haut dans l'atmosphère. Les particules, dont le carbone-suie, issues de la combustion des hydrocarbures, sont présentes toute l'année dans l'air. En plus, en été, se rajoute l'ozone.

« En 2003, lors de la canicule, on a observé une concentration d'ozone très élevée sur pratiquement toute l'Europe. Il y a un lien direct. S'il y a une augmentation des canicules sous l'effet du changement climatique, inévitablement il y aura aussi plus d'épisodes de pollution », estime Didier Hauglustaine. « Nous avons maintenant des résultats plus robustes sur cette question, confirme Augustin Colette. Avec plus de canicules, on s'attend à plus de pics d'ozone ». Dans un article publié en 2015, il a analysé avec d'autres chercheurs 25 modèles de projections et estiment que, d'ici 2071-2100, en été, la concentration de l'ozone dans l'air, à cause du réchauffement, pourrait augmenter de 5 ppbv (soit  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) [4].

### La difficulté d'agir sur l'ozone

Élément inquiétant pour l'ozone, il ne semble pas réagir aux efforts d'amélioration de la qualité de l'air. « Contrairement aux autres polluants, l'évolution de l'ozone est lente, sa baisse est faible », note Augustin Colette. Cet élément a une chimie plus complexe que d'autres. On n'émet pas directement de l'ozone, mais d'autres éléments comme des NOx, des oxydes d'azote, des composés organiques volatils (COVs), du monoxyde de carbone ou encore du méthane qui réagissent pour former de l'ozone. Il faut donc mesurer la quantité de ses précurseurs pour estimer la concentration d'ozone. Or ce dernier a une relation non linéaire avec eux. « Entre 2000 et 2010 par exemple, alors que les NOx ont diminué de 30 à 40 % en Europe, l'ozone lui n'a baissé en France que de 3,8% » [F]. Et si le réchauffement augmente l'ozone de 5 ppbv d'ici 2071-2100, une telle augmentation aura un impact important si l'on n'agit pas pour le diminuer d'ici là.

### Les victimes supplémentaires à venir des particules et de l'ozone à cause du réchauffement

Or, l'OMS indique que pour chaque augmentation de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  d'ozone, on observe un accroissement de 0,3% de la mortalité et de 0,4% des maladies cardiaques [A].

Un article paru en 2017 utilise les modèles du dernier rapport du GIEC pour estimer la mortalité supplémentaire dans les années à venir et sur l'ensemble du globe. Selon ces modélisations, avec le scénario RCP 8.5 [III], 43 600 morts seraient à prévoir en plus par an en 2100 par rapport à l'an 2000 à cause de l'ozone, dont l'incidence mortelle augmenterait donc de 29 % [III]. Pour les microparticules, il s'agirait de 215 000 décès supplémentaires, dont l'incidence mortelle augmenterait donc de 7 % [III]. Il y a cependant de grandes incertitudes car ces modèles et les scénarios d'évolution des émissions de précurseurs de l'ozone ne sont pas prévus pour la qualité de l'air de surface mais plutôt pour la composition atmosphérique globale [5].

Le projet Air-Climate Health Impact Assessment (A-C HIA) estime les impacts à venir de la pollution de l'air avec des scénarii plus précis que les RCP et à une échelle de temps plus courte. L'équipe de scientifiques modélise, pour 2030, 6 800 décès supplémentaires pour causes cardio-vasculaire par an dans le monde par rapport à 2016 [3].

## **Impact important de l'ozone sur les rendements agricoles en cas de scénario laissez-faire**

Un polluant comme l'ozone a aussi un rôle sur la végétation. Il entraîne une diminution de 40 à 60% de l'activité photosynthétique des plantes. Cela signifie une baisse des rendements agricoles. Un article publié en 2017 modélise qu'avec une augmentation de 4 à 5 ppb d'ozone pour le scénario RCP8.5 le risque d'impact sur la végétation augmenterait de 70%. Cependant, dans le cas du scénario RCP2.6 qui impliquerait une réduction de l'ozone de 2 à 10 ppb, ce risque diminuerait de 61%. [6]. « *C'est un stress supplémentaire pour la végétation que l'on compense par une utilisation accrue d'engrais azotés, favorisant ainsi l'émission d'ammoniac ou de monoxyde d'azote (NO) par les sols*», rappelle Didier Hauglustaine.

Or l'ammoniac, au contact des NOx, se transforme en nitrate, un aérosol, ce qui a un effet sur la qualité de l'air. Lors d'épandages agricoles, au printemps par exemple, ces nitrates d'ammonium peuvent représenter plus de 50% des particules fines (PM10). 97 % des émissions anthropiques de l'ammoniac sont dues aux déjections animales de l'élevage et à l'épandage d'engrais azotés [IV].

## **Les particules de nitrates vont devenir prépondérantes**

Ce risque de recours encore plus intensif aux fertilisants azotés en compensation d'une dégradation de la productivité agricole fait que les scénarii actuels, qui prennent en compte ces pratiques et les émissions d'ammoniac associées, estiment que cela provoquera un accroissement des nitrates d'ammonium.

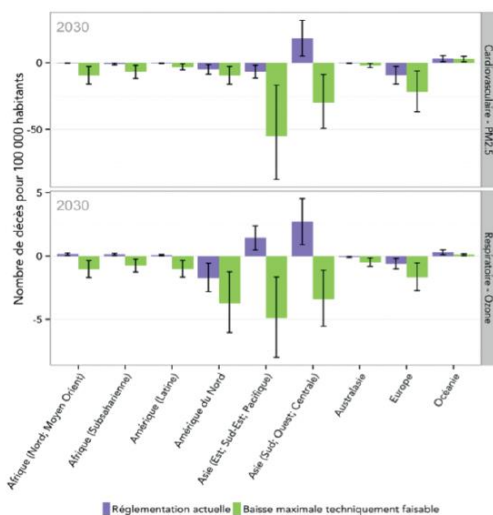
Dans un article paru en 2014, des chercheurs calculent que les nitrates augmenteraient d'un facteur 2,6 en 2100, et ce malgré la diminution estimée des NOx. Sur les quatre scénarii du GIEC [V], les nitrates deviennent les particules polluantes prépondérantes en 2100, de par le fait que l'ammoniac continue d'augmenter. C'est dans le cas du plus optimiste qu'elles obtiennent le plus grand pourcentage, avec plus de 60%, ce scénario permettant de réduire de façon plus importante l'ensemble des autres polluants.

Le forçage radiatif négatif (cad le pouvoir de refroidissement) lié aux nitrates est alors estimé à  $-0,056 \text{ W/m}^2$ , bien moindre que celui des sulfates [7], alors que celui général des aérosols atteindrait alors  $-0,27 \text{ W/m}^2$ . Chiffre à relativiser face au forçage positif (pouvoir de réchauffement) de  $3 \text{ W/m}^2$  des gaz à effet de serre.

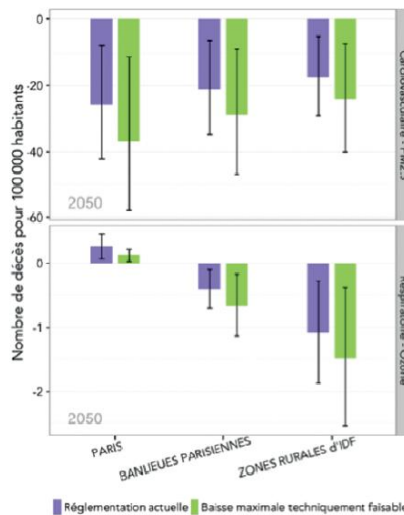
## **Mener des actions précoces pour réduire le méthane, l'ozone et les particules**

### **Réduire l'ozone et les particules pour diminuer la mortalité**

Des mesures politiques connexes entre stratégies de santé et climatique permettraient de réduire des polluants comme l'ozone et les microparticules. C'est ce que conclut un article publié en 2015. Selon les chercheurs, des mesures techniques (sans même inclure les changements de comportement (développement du vélo,...)) de réduction maximale des émissions de particules et des précurseurs de l'ozone liés aux transports, au chauffage et à l'industrie, pourraient sauver 1,5 million de personnes chaque année dans le monde dès 2030, principalement en Asie et en Amérique du Nord (voir figure de gauche, colonnes vertes, ci-dessous).



Évolution du nombre de décès (pour 100 000 habitants) associée aux évolutions des concentrations de particules fines (en haut) et d'ozone (en bas) par régions du monde en 2030 par rapport à 2010 selon les scénarios de mise en œuvre des réglementations actuelles (en violet) et de baisse maximale techniquement faisable (en vert).  
Source : Likhvar V. et al., 2016 [3]



Évolution du nombre de décès (pour 100 000 habitants) associée aux évolutions des concentrations de particules fines (en haut) et d'ozone (en bas) en Île-de-France en 2050 par rapport à 2010 pour les scénarios de mise en œuvre des réglementations actuelles (en violet) et de baisse maximale techniquement faisable (en vert).

A Paris, les décès dus à l'ozone ne feraient que croître faiblement (voir figure de droite, colonnes vertes, ci-dessus). A l'inverse, si les politiques actuelles se poursuivent, le nombre de morts augmentera encore plus en Asie (voir figure de gauche, colonnes violettes, ci-dessus). [3].

### Lutter conjointement contre le réchauffement et les particules, même refroidissantes

Si l'ozone contribue au changement climatique, ce n'est pas le cas de tous les polluants. Alors que le carbone suie a un fort pouvoir réchauffant, les autres particules, comme les sulfates et les nitrates, contribuent plutôt à refroidir l'atmosphère. « *Attention cependant, on ne peut pas choisir de réduire telles et telles émissions indépendamment et laisser telles autres, ce n'est pas à la carte* », prévient Augustin Colette.

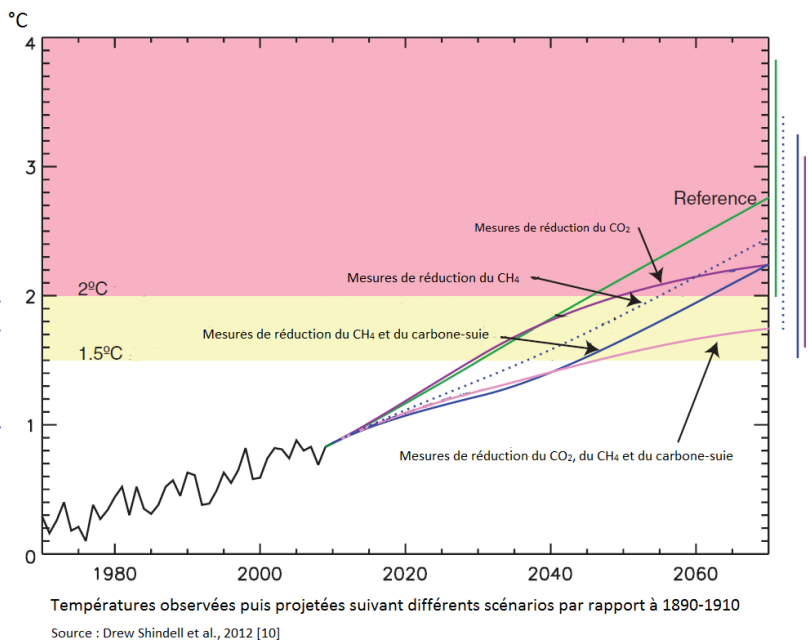
Car si l'on peut regretter que la lutte pour une meilleure qualité de l'air entraîne la diminution d'éléments pouvant réduire un peu le réchauffement climatique, ces derniers ont d'autres effets négatifs sur l'environnement. « *L'azote présent en très grande quantité dans l'atmosphère se redépose au sol et perturbe les écosystèmes terrestres et marins* », rappelle Didier Hauglustaine. En France, la réduction de 30 % des émissions d'ammoniac, accompagnée de mesures similaires (de 30%) de diminution des NOx, pourraient permettre une baisse allant jusqu'à 30% des concentrations de nitrate d'ammonium dans le sud du pays [8].

Des synergies peuvent être identifiées entre les réductions des émissions d'ammoniac, provenant de l'élevage et de l'épandage d'engrais azotés, avec les actions visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre (préservation des prairies pâturées, meilleure valorisation de l'azote des effluents d'élevage par les cultures,...) [G].

De même, en Europe, en 2050, des mesures climat ambitieuses, bénéfiques pour la qualité de l'air, éviteraient 85% des morts prématurées dus à l'ozone, soit plus de 40 000 décès par an [9]. Ces effets bénéfiques pour la santé compenseraient leur coût.

### Réduire également le méthane pour ne pas dépasser 2° de réchauffement

Mais pour maintenir le réchauffement en deçà de 2° en 2100, il faut également agir dès maintenant sur le méthane (CH<sub>4</sub>). En effet, non seulement celui-ci a un pouvoir réchauffant bien plus important que le CO<sub>2</sub> sur 10 ou 20 ans, mais c'est également un précurseur de l'ozone. Ainsi, des actions précoces ambitieuses et mondiales réduisant le CH<sub>4</sub> (voir article [Méthane et changements climatiques : un danger négligé qui s'accroît](#)), l'ozone et le carbone-suie, pourraient réduire le réchauffement projeté de 0.5° en 2050 (voir graphique ci-dessous) [10].



Elles permettraient également d'éviter, dès 2030, 2,4 millions de morts prématurées par an dans le monde [11] et augmenteraient, à partir de 2050, les rendements agricoles des cultures de 30 à 135 millions de tonnes par an, ceci par réduction de l'ozone. Les coûts de réduction du méthane sont évalués à moins de 250 \$ par tonne pour des gains en termes de diminution des impacts du changement climatique, de la morbidité et d'augmentation de la production agricole, en meilleure estimation, de 1 100 dollars par tonne de CH<sub>4</sub> évités (fourchette de 700 à 5 000 \$) [10].

### Coordonner les politiques climat et de la qualité de l'air pour le bénéfice de tous

Dans un contexte de changement climatique, il est crucial que les politiques de réduction des émissions de polluants de l'air et de gaz à effet de serre soient coordonnées, suivant les scénarios les plus ambitieux. Ceci permettra d'être plus efficace dans l'amélioration de la qualité de l'air à court terme tout en limitant les effets négatifs du changement climatique à plus long terme.

Les bénéfices de telles mesures en termes de santé, d'espérance de vie, de réduction des impacts des changements climatiques, d'augmentation des rendements agricoles et de gains économiques seraient partagés par la très grande majorité des pays dans le monde, dont la France.

### Références (revues scientifiques à comité de lecture) :

[1] Stevens Bjorn, Rethinking the lower bound on aerosol radiative forcing, Journal of Climate Vol 28, 2015 American Meteorological Society DOI: 10.1175/JCLI-D-14-00656.

<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI-D-14-00656.1>

[2] Myhre G. et al., Multi-model simulations of aerosol and ozone radiative forcing due to anthropogenic emission changes during the period 1990–2015 Atmos. Chem. Phys., 17, 2709–2720, 2017

<https://www.atmos-chem-phys.net/17/2709/2017/>

[3] Likhvar V. et al., Estimation des impacts sanitaires futurs de la pollution de l'air dans le monde, en Europe et Île-de-France : le projet A-C HIA. La Météorologie - n° 93 - mai 2016

[https://www.researchgate.net/publication/301741921\\_Estimation\\_des\\_impacts\\_sanitaires\\_futurs\\_de\\_la\\_pollution\\_de\\_l%27air\\_dans\\_le\\_monde\\_en\\_Europe\\_et\\_Ile-de-France\\_le\\_projet\\_A-C\\_HIA](https://www.researchgate.net/publication/301741921_Estimation_des_impacts_sanitaires_futurs_de_la_pollution_de_l%27air_dans_le_monde_en_Europe_et_Ile-de-France_le_projet_A-C_HIA)

[4] Colette A. et al., Is the ozone climate penalty robust in Europe ? Environmental Research Letters 10 (2015) 084015.

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/8/084015/meta>

[5] Silva R.A. et al., Future global mortality from changes in air pollution attributable to climate change. NATURE CLIMATE CHANGE | VOL 7 | SEPTEMBER 2017 | DOI: 10.1038/NCLIMATE3354

<https://www.nature.com/articles/nclimate3354>

[6] Sicard P. et al., Projected global ground-level ozone impacts on vegetation under different emission and climate scenarios. Atmos. Chem. Phys., 17, 12177–12196, 2017.

<https://doi.org/10.5194/acp-17-12177-2017>

[7] Hauglustaine D., Balkanski Y. et Schulz M. A global model simulation of present and future nitrate aerosols and their direct radiative forcing of climate. Atmos. Chem. Phys., 14, 11031–11063, 2014 ; doi:10.5194/acp-14-11031-2014

<https://www.atmos-chem-phys.net/14/11031/2014/>

[8] Bessagnet B. et al., Le rôle de l'agriculture sur les concentrations en particules dans l'atmosphère et l'apport de la modélisation. Pollution atmosphérique - numéro spécial - septembre 2016

<http://lodel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=5638>

[9] Schucht S. et al, Moving toward ambitious climate policies : Monetises health benefits from improved air quality could offset mitigation costs in Europe, environmental science & policy 50 (2015) 252 – 269

<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.001>

[10] Drew Shindell et al., “Simultaneously Mitigating Near-Term Climate Change and Improving Human Health and Food Security”, SCIENCE VOL 335, JANUARY 2012

<http://science.sciencemag.org/content/335/6065/183>

[11] Andy Haines et al., Short-lived climate pollutant mitigation and the Sustainable Development Goals Nature Climate Change | VOL 7 | DECEMBER 2017 | 863–869

<https://www.nature.com/articles/s41558-017-0012-x>

### **Rapports d'organismes internationaux ou nationaux :**

[A] Rapport OMS, Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future (2017)

<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2017/evolution-of-who-air-quality-guidelines-past,-present-and-future-2017>

OMS, « Qualité de l'air ambiant et santé », Aide-mémoire N°313, Septembre 2016

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/fr/>

Préconisation d'exposition pour les particules fines de diamètre inférieure à 2,5 microns (PM 2.5) < à 10 µg/m<sup>3</sup>

Préconisation d'exposition pour l'ozone < à 100 µg/m<sup>3</sup> (soit 50 ppbv))

[B] OMS, « Maladies et mortalité : selon une nouvelle étude de l'OMS, la pollution de l'air coûte aux économies européennes 1,6 billion d'USD par an », 28 avril 2015

[http://www.euro.who.int/fr/media-centre/sections/press-releases/2015/04/air-pollution-costs-european-economies-us\\$-1.6-trillion-a-year-in-diseases-and-deaths,-new-who-study-says](http://www.euro.who.int/fr/media-centre/sections/press-releases/2015/04/air-pollution-costs-european-economies-us$-1.6-trillion-a-year-in-diseases-and-deaths,-new-who-study-says)

Rapport OMS, « Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth, » 2015  
<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2015/economic-cost-of-the-health-impact-of-air-pollution-in-europe>

[C] Santé publique France, Impacts sanitaires de la pollution de l'air en France : nouvelles données et perspectives 21 | 06 | 2016  
<http://www.santepubliquefrance.fr/Accueil-Presse/Tous-les-communiqués/Impacts-sanitaires-de-la-pollution-de-l-air-en-France-nouvelles-données-et-perspectives>

[D] Pascal M. et al. Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique. Rapport Santé Publique France, 2016  
<http://invs.santepubliquefrance.fr/Publications-et-outils/Rapports-et-syntheses/Environnement-et-sante/2016/Impacts-de-l-exposition-chronique-aux-particules-fines-sur-la-mortalite-en-France-continentale-et-analyse-des-gains-en-sante-de-plusieurs-scenarios-de-reduction-de-la-pollution-atmospherique>

[E] GIEC, 5<sup>e</sup> rapport, GT1, 2013, Rapport complet, chapitre 7, aérosols et nuages, point 7.5.3 page 620  
[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_Chapter07\\_FINAL.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter07_FINAL.pdf)

[F] Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air, Laure Malherbe et Aude Bourin, « Analyse de tendances nationales de qualité de l'air, 2016 »  
<https://www.lcsqa.org/rapport/2016/ineris-imt-lille-douai/analyse-tendances-nationales-matiere-qualite-air>

[G] ADEME-CITEPA, Analyse du potentiel de 10 actions de réduction des émissions d'ammoniac des élevages français aux horizons 2020 et 2030, décembre 2013  
[http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/analysepotentieldedixactionsreductionemissionsammoniacellevagesfrançais\\_2020-2030\\_rapport\\_2013.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/analysepotentieldedixactionsreductionemissionsammoniacellevagesfrançais_2020-2030_rapport_2013.pdf)

ADEME Les émissions agricoles de particules dans l'air - État des lieux et leviers d'action mars 2012  
[http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/20120301\\_les-emissions-agricoles-de-particules-dans-l-air-etat-des-lieux-et-leviers-d-actions\\_ademe.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/20120301_les-emissions-agricoles-de-particules-dans-l-air-etat-des-lieux-et-leviers-d-actions_ademe.pdf)

#### Notes :

[I] Climat: douze villes-monde s'engagent à une sortie des véhicules thermiques à l'horizon 2030 8 novembre 2017 Paris.fr  
<https://www.paris.fr/actualites/objectif-zero-emission-d-ici-2030-pour-douze-villes-a-travers-le-monde-5228>

[II] Politiques publiques pour réduire la pollution de l'air, MTES, 9 janvier 2017  
<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/politiques-publiques-reduire-pollution-lair>

[III] 29 % car  $(150\,000 + 43\,600 \text{ [source [6]]}) / 150\,000 \text{ [source [3]]} = 1,29$   
7 % car  $(3\,220\,000 + 215\,000 \text{ [source [6]]}) / 3\,220\,000 \text{ [source [3]]} = 1,07$

[IV] CITEPA, Ammoniac - NH<sub>3</sub> - 25 juillet 2017  
<https://www.citepa.org/fr/air-et-climat/polluants/aep-item/ammoniac>

[V] Scénarios du GIEC RCP 8,5, 6,0, 4,5 et 2,6 : voir tableau en tête de l'article « Diminution des nuages bas et effets des aérosols : vers une amplification du réchauffement » et GIEC, 5<sup>e</sup> rapport, GT1, 2013, Résumé à l'intention des décideurs, tableau RID 2, page 23  
[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_FRENCH.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf)