

A Science-Policy
Initiative

Air Pollution and Health

Pollution de l'air
et santé



Academy of Science
of South Africa



Brazilian Academy
of Sciences



German National Academy
of Sciences Leopoldina



U.S. National Academy
of Medicine



U.S. National Academy
of Sciences

Traduction de l'anglais: « Pollution de l'air et santé. Une initiative en matière de politique scientifique de l'Académie des sciences d'Afrique du sud, l'Académie brésilienne des sciences, l'Académie allemande des sciences Leopoldina, l'Académie nationale de médecine des États-Unis et l'Académie nationale des sciences des États-Unis ». Ceci n'est pas un document officiel.

La pollution de l'air est une menace importante pour la santé, le bien-être et la réalisation du développement durable. Il est cependant possible de la gérer et de l'éviter. On estime que la pollution de l'air est responsable d'au moins 5 millions de décès prématurés chaque année dans le monde. Personne n'échappe à la pollution de l'air, mais ce sont les populations vulnérables, comme les enfants, les femmes et les personnes vivant dans la pauvreté, qui sont les plus durement touchées par ses effets néfastes, des groupes envers lesquels les États ont des obligations particulières en vertu du droit international relatif aux droits de l'homme.

La mauvaise qualité de l'air est une menace pour la vie humaine, la santé des populations et l'avenir des enfants. La pollution de l'air menace également la durabilité de l'environnement à l'échelle planétaire, car l'air pur est aussi vital à la vie sur Terre que l'eau propre.

Les preuves scientifiques sont sans équivoque : la pollution de l'air peut nuire à la santé tout au long de la vie. Elle cause des maladies, des handicaps et des décès et nuit à la qualité de vie de tout le monde. Elle endommage les poumons, le cœur, le cerveau, la peau et d'autres organes et augmente le risque de maladie et d'handicaps, avec un impact sur presque tous les systèmes de notre organisme.

Les coûts de la pollution de l'air pour la société et les économies des pays à revenu faible et intermédiaire sont énormes. Ces pertes économiques sont si importantes qu'elles peuvent représenter un frein au développement durable. Une croissance économique qui s'accommode de la pollution de l'air et ignore les impacts sur la santé publique et l'environnement n'est pas tenable à long terme et conforme à l'éthique.

La combustion des combustibles fossiles et de la biomasse est la principale source de pollution de l'air à l'échelle mondiale, lesquelles représentent également d'importantes sources de polluants climatiques à courte durée de vie comme le carbone noir, le méthane et l'ozone troposphérique, et les principales sources d'émissions de CO₂. Bon nombre des solutions aux problèmes de la pollution de l'air auront également un impact positif sur l'atténuation du changement climatique et peuvent contribuer de façon significative à la réalisation d'un objectif climatique de 1,5 °C.

Les investissements publics et privés dans la lutte contre la pollution de l'air sont insuffisants et ne sont pas à la hauteur du problème. Il existe de nombreuses possibilités de synergies entre le contrôle de la pollution de l'air, l'atténuation du changement climatique et le développement durable, mais celles-ci n'ont pas été pleinement exploitées.

La pollution de l'air est un problème évitable. Cependant, sans une action soutenue à long terme, l'exposition à la pollution de l'air continuera d'être un facteur important de mortalité à l'échelle mondiale. Avec le vieillissement de la population, la croissance démographique et l'urbanisation, de plus en plus de personnes en souffriront et mourront chaque année.

La pollution de l'air peut être contrôlée de façon économique en associant des politiques, des lois, des règlements, des normes et des mécanismes d'application, avec en parallèle de nouvelles technologies et une sensibilisation sociale accrue. La lutte contre la pollution de l'air favorise la croissance économique et profite aux économies nationales en prévenant les maladies et les pertes de productivité.

Les Académies nationales des sciences et de médecine d'Afrique du Sud, du Brésil, d'Allemagne et des États-Unis d'Amérique appellent les dirigeants gouvernementaux, les entreprises et les citoyens à prendre d'urgence des mesures pour réduire la pollution de l'air dans le monde entier, dans l'intérêt de la santé et du bien-être des populations et de l'environnement, ainsi que comme condition du développement durable. La pollution de l'air est une problématique qui traverse de nombreux objectifs de développement durable des Nations Unies.

Nos cinq Académies nationales des sciences et de médecine proposent l'adoption d'un pacte mondial sur la pollution de l'air pour faire de la lutte contre la pollution de l'air et de sa réduction une priorité universelle.

La pollution de l'air affecte la santé de tous

L'air pur est essentiel à la vie et à la santé. La pollution de l'air est aujourd'hui la principale cause environnementale de maladies et de décès prématurés dans le monde. On l'associe à au moins 5 millions de décès prématurés chaque année. Bien que la pollution de l'air touche tout le monde, le fardeau de la maladie est plus lourd chez les pauvres et les démunis, les minorités et les marginalisés.

La pollution de l'air affecte les gens tout au long de la vie, entraînant toutes sortes de maladies aiguës et chroniques depuis les premiers stades du développement de l'enfant jusqu'à un âge extrêmement avancé. Les populations particulièrement sensibles comprennent les bébés en se développant dans l'utérus, les enfants, les personnes âgées et les personnes atteintes de maladies chroniques. Presque tous les organes, systèmes et processus du corps humain peuvent être touchés : les poumons, le cœur, le cerveau, le système vasculaire, le métabolisme et la reproduction.

La pollution de l'air est une cause majeure de pneumonie, de bronchite et d'asthme chez les nourrissons et les enfants. Elle ralentit la croissance des poumons en développement chez les enfants et les adolescents. Elle favorise les maladies cardiaques, y compris les arythmies cardiaques et l'infarctus aigu du myocarde, les accidents vasculaires cérébraux, le cancer, l'asthme, la maladie pulmonaire obstructive chronique, le diabète, les allergies, l'eczéma et le vieillissement cutané. De plus en plus d'éléments laissent penser que la pollution de l'air contribue à la démence chez les adultes et a un impact sur le développement du cerveau chez les enfants.

Dans les pays à faible revenu, les femmes sont touchées plus que la moyenne par l'exposition à la pollution de l'air domestique due à l'utilisation de combustibles solides (charbon et biomasse) pour la cuisine. Elles sont aussi les plus touchées par les maladies liées à la pollution. Les femmes sont également les principales responsables des soins aux autres membres du foyer souffrant de problèmes de santé causés par la pollution de l'air.

Les risques de pollution de l'air varient d'une société à l'autre et tous les individus ne sont pas également vulnérables. Les facteurs qui influent sur la vulnérabilité com-

prennent l'âge, le sexe, l'éducation, le statut socioéconomique, le lieu et le domicile, les combustibles utilisés pour la cuisine et le chauffage, et l'emploi. Les facteurs biologiques qui augmentent la vulnérabilité de l'individu comprennent la prédisposition génétique et les maladies sous-jacentes, comme l'asthme, les maladies cardiaques ou le diabète.

Les maladies liées à la pollution de l'air entraînent des pertes de productivité qui peuvent réduire le produit intérieur brut, favoriser l'absentéisme au travail et à l'école et perpétuer les inégalités sociales. Ces maladies entraînent également des coûts de santé qui, dans les pays en voie d'industrialisation rapide, peuvent représenter jusqu'à 7 % des budgets nationaux de santé.

Le fardeau économique global entraîné par les maladies causées par la pollution de l'air (extérieure et intérieure) dans 176 pays a été estimé à 3,8 billions de dollars en 2015. Les avantages sanitaires et économiques de la lutte contre la pollution de l'air l'emportent généralement de loin sur les coûts des mesures mises en place.

Nous sommes face à un impératif éthique de coopérer à la protection de la santé de tous contre les risques de la pollution de l'air, dont les populations doivent faire les frais.

La combustion de combustibles fossiles et de la biomasse est la principale source de pollution de l'air

Les polluants atmosphériques les plus préoccupants pour la santé humaine sont les particules en suspension dans l'air. Les émissions non filtrées de la combustion contiennent des concentrations importantes de particules ultrafines, fines et grosses, y compris du carbone noir, ainsi que des gaz nocifs.

La pollution de l'air est un mélange complexe de différents composants. Les niveaux de particules fines (concentration massique de $PM_{2.5}$) et d'ozone constituent un indicateur robuste à des fins réglementaires, le carbone noir servant de variable des émissions provenant de la combustion.

Les principales sources de pollution de l'air liée à la combustion sont **A** les installations de combustion fixes, **B** le chauffage et la cuisson des ménages, **C** la combustion contrôlée de la biomasse et des déchets et **D** les sources mobiles. Le rôle relatif de ces sources varie d'un pays à l'autre.

A Les sources fixes comprennent les centrales élec-

triques, les installations de fabrication et les mines dont les émissions sont limitées. Les installations qui brûlent du charbon ou d'autres combustibles de mauvaise qualité ou qui dépendent de générateurs alimentés au diesel en raison d'un manque de fiabilité du réseau sont généralement les plus polluantes.

B Les ménages sont une source importante de pollution de l'air, en particulier dans les pays à faible revenu qui dépendent de carburants de biomasse pour le chauffage et la cuisine. Les foyers sont aussi un endroit où l'exposition est forte.

C Les sources contrôlées de combustion de la biomasse liées à la combustion des déchets agricoles et au défrichage des terres et des forêts sont d'importantes sources de pollution de l'air dans les pays en développement. Les autres combustions de biomasse, incontrôlées, sont liées à la combustion dans les foyers et d'autres déchets.

D Les sources mobiles de pollution de l'air comprennent les voitures, les camions et les autobus alimentés au pétrole dans les secteurs privé et public. Ils sont la principale source de pollution de l'air dans les villes. Les véhicules anciens et mal entretenus qui consomment des carburants de mauvaise qualité sont particulièrement dangereux. Les émissions des navires et des avions sont les principales sources mobiles de pollution atmosphérique à proximité des ports et des aéroports.

Il existe des synergies entre la lutte contre la pollution de l'air et l'atténuation du changement climatique car ces deux actions partagent des sources et, dans une large mesure, des solutions communes, tandis que la majorité des polluants atmosphériques ont également un impact sur le climat. Leurs effets s'aggravent mutuellement de différentes façons. Par exemple, les gaz à effet de serre, comme le méthane, contribuent à la formation de l'ozone troposphérique, dont les niveaux augmentent avec l'élévation des températures, laquelle augmente à son tour la fréquence des feux de friches, avec comme conséquence l'élévation des niveaux de pollution de l'air particulaire.

Le carbone noir provenant de la combustion a un impact non seulement sur la santé, mais aussi sur les températures et précipitations locales, et favorise les conditions météorologiques extrêmes. Les régions arctiques et glaciaires comme l'Himalaya sont particulièrement vulnérables à la fonte en raison des dépôts de carbone noir qui réchauffent la surface. L'évolution des régimes des précipitations due aux interactions des nuages d'aérosols de carbone noir peut avoir des conséquences d'une grande ampleur à la fois sur les écosystèmes et les moyens de subsistance, par exemple en perturbant les moussons et en favorisant les sécheresses, ce qui représente une menace pour l'agriculture dans de vastes régions d'Asie et d'Afrique.

Appel à l'action

Les cinq Académies nationales des sciences et de médecine d'Afrique du Sud, du Brésil, d'Allemagne et des États-Unis lancent un appel aux chefs d'Etat et de gouvernement, aux entreprises et aux citoyens pour réduire la pollution de l'air dans tous les pays. Cet appel s'appuie sur des preuves scientifiques sans équivoque concernant les effets de la pollution de l'air sur la santé.

De nombreux accords, résolutions, conventions et initiatives s'attaquent déjà à certains aspects de la pollution de l'air, notamment le Protocole de Montréal, la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe, la Convention-cadre de l'OMS pour la lutte antitabac et la résolution de l'Assemblée mondiale de la santé sur les incidences sanitaires de la pollution de l'air.

Par conséquent, les Académies proposent l'adoption d'un pacte mondial sur la pollution de l'air. Ce pacte garantirait un engagement durable au plus haut niveau et ferait du contrôle et de la réduction de la pollution de l'air une priorité pour tous. Il encouragerait également les décideurs et autres partenaires clés, y compris le secteur privé, à intégrer le contrôle et la réduction des émissions dans la planification nationale et locale, les processus de développement et les stratégies commerciales et financières. Pour qu'un tel processus soit couronné de succès, un leadership politique et des partenariats sont nécessaires, y compris une collaboration avec les structures multinationales existantes.

Les Académies reconnaissent qu'il n'existe aucune solution parfaite pour toutes les situations et dans tous les pays. Néanmoins, une action urgente s'impose dans les domaines suivants :

Il existe de nombreuses solutions politiques et technologiques pour réduire les produits nocifs de la combustion. Pour les sources fixes, cela comprend la mise en œuvre de contrôles des émissions pour l'industrie et les centrales électriques ou la transition à des combustibles propres. Pour les ménages, cela comprend l'accès à des combustibles domestiques propres. La combustion contrôlée de la biomasse nécessite l'application de règles visant à éliminer le brûlage des déchets et de nouvelles techniques agricoles pour réduire le brûlage des résidus des récoltes. Pour les sources mobiles, il s'agit notamment de promouvoir et d'investir dans des transports de masse et des infrastructures urbaines durables.

Des politiques et des technologies efficaces doivent être partagées. Le cas échéant, ces stratégies doivent être mises en œuvre d'urgence dans les pays du monde à tous les niveaux du développement économique. Certaines solutions font l'objet d'un large consensus. Là où ce consensus fait défaut ou là où le choix des politiques dépend dans une large mesure du contexte (étant donné l'hétérogénéité des systèmes juridiques, de la géographie, du stade de développement économique et des sources de pollution), les politiques doivent être adaptées, même si des actions transnationales s'imposent dans de nombreuses régions du monde.

Il est nécessaire de s'inspirer des réussites en matière de lutte contre la pollution de l'air dans les villes et les pays, d'en tirer des leçons et de les partager avec les pays qui commencent à s'attaquer à ce problème.

L'exposition de la population est directement liée à la densité de population, à la concentration de polluants et à la durée de l'exposition. En optimisant les coûts et l'efficacité des mesures prises pour améliorer la qualité de l'air, la priorité devrait être accordée aux sources de pollution où l'exposition de la population peut être réduite de manière économique et à la réduction de l'exposition des groupes sociaux les plus défavorisés, tout en reconnaissant la possibilité d'une incompatibilité de ces deux paramètres.

La nécessité d'une surveillance efficace des indicateurs clés de la pollution, en particulier des concentrations

de PM_{2.5} et de l'exposition de la population, s'impose dans tous les pays. Il est également nécessaire de procéder à des analyses statistiques de suivi pour l'évaluation du succès des mesures stratégiques.

Il convient d'identifier les bénéfices accessoires des différents instruments politiques. La priorité devrait être accordée aux politiques qui maximisent les synergies entre les multiples objectifs de développement, notamment l'atténuation du changement climatique et la sécurité alimentaire. L'amélioration de l'efficacité énergétique permet de réduire à la fois les émissions de CO₂ et les produits nocifs de la combustion, tout comme de nombreuses autres stratégies visant à atténuer le changement climatique, telles qu'une utilisation accrue des énergies renouvelables et l'électrification des transports.

Des efforts doivent être déployés pour élaborer des stratégies de mise en œuvre des différentes solutions. Ces stratégies peuvent comprendre le renforcement des capacités institutionnelles, l'amélioration de la gouvernance et la promotion de mécanismes de collaboration et d'application entre les organismes.

L'utilisation des outils d'évaluation des risques et d'analyse d'efficacité économique permettra une bonne définition des politiques et des objectifs. Les politiques de lutte contre la pollution de l'air devraient être conçues de manière à réduire l'exposition de manière économique. Idéalement, elles devraient également apporter des bénéfices dans d'autres domaines, comme le climat, ou dans d'autres secteurs, comme l'agriculture. Les pollueurs pourraient être incités à trouver les moyens les plus économiques de réduire la pollution et donc l'exposition.

Cet appel à l'action exige la mobilisation de fonds et des investissements substantiels dans les possibilités de réduction de la pollution de l'air. Un financement accru est également nécessaire pour la recherche, le contrôle de la pollution, les infrastructures, la gestion et le contrôle et l'interaction avec les parties prenantes.

Finalement, il faut plaider en faveur d'une action où les citoyens sont informés et incités à réduire leur empreinte en matière de pollution de l'air, et d'engagements audacieux de la part des secteurs public et privé.

Parties prenantes

Groupe de travail

Maria de Fatima Andrade, Professor of Meteorology and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Paulo Artaxo, Professor of Environmental Physics, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Simone Georges El Khouri Miraglia, Associate Professor and Leader of the Laboratory of Economics, Health and Environmental Pollution (LESPA), Federal University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Nelson Gouveia, Associate Professor of Epidemiology, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Alan J. Krupnick, Senior Fellow, Resources for the Future, Washington, DC, U.S.A.

Jean Krutmann, Scientific Director, IUF – Leibniz Research Institute for Environmental Medicine, Düsseldorf, Germany

Philip J. Landrigan, Professor of Biology and Director, Program in Global Public Health and the Common Good, Boston College, Boston, U.S.A.

Kristy Langerman, Senior Lecturer, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa

Tafadzwa Makonese, Senior Researcher and Lab Manager, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa

Angela Mathee, Director MRC Environment & Health Research Unit, South African Medical Research Council (SAMRC), Johannesburg, South Africa

Stuart Piketh, Professor of Environmental Science, North-West University, Potchefstroom, South Africa

Beate Ritz, Professor of Epidemiology and Environmental Health Sciences, University of California, Los Angeles, USA

Paulo H. N. Saldiva, Director, Institute of Advanced Studies, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Jonathan Samet, Dean, Colorado School of Public Health, Aurora, USA

Tamara Schikowski, Head of Research Group “Environmental epidemiology of lung, brain and skin aging”, IUF – Leibniz Research Institute for Environmental Medicine, Düsseldorf, Germany

Alexandra Schneider, Head of Research Group “Environmental Risks”, Institute of Epidemiology, Helmholtz Zentrum München – German Research Center for Environmental Health, Neuherberg, Germany

Kirk R. Smith, Professor of Global Environmental Health, University of California, Berkeley, U.S.A. and Director, Collaborative Clean Air Policy Centre, Delhi, India

Claudia Traidl-Hoffmann, Chair and Institute of Environmental Medicine, UNIKA-T, Technical University of Munich and Helmholtz Zentrum München – German Research Center for Environmental Health, Augsburg, Germany

Alfred Wiedensohler, Head of Department for Experimental Aerosol and Cloud Microphysics, Leibniz Institute for Tropospheric Research, Leipzig, Germany

Caradee Wright, Specialist Scientist, South African Medical Research Council (SAMRC), Parktown, South Africa

Experts externes invités

David Richard Boyd, United Nations Special Rapporteur on Human Rights and the Environment, Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights (OHCHR), Geneva, Switzerland

Valentin Foltescu, Senior Science and Programme Officer, Climate and Clean Air Coalition Secretariat, United Nations Environment, New Delhi, India

Richard Fuller, Lancet Commission on Pollution and Health Co-Chair, Pure Earth and Global Alliance on Health and Pollution, New York, U.S.A.

Dorota Jarosińska, Programme Manager, World Health Organization, European Centre for Environment and Health, Bonn, Germany

Jacqueline Myriam McGlade, Former Chief Scientist, United Nations Environment, Nairobi, Kenya

Drew Shindell, Duke University Durham, NC, U.S.A. and Chair of the Scientific Advisory Panel, Climate and Clean Air Coalition, Paris, France

Secrétariat

Marcos Cortesao Barnsley Scheuenstuhl, Executive Director of International Affairs, Brazilian Academy of

Sciences (ABC), Rio de Janeiro, Brazil

John P. Boright, Director of International Affairs, U.S. National Academy of Sciences (NAS), Washington, DC, U.S.A.

Siyavuya Bulani, Senior Liaison Officer, Academy of Science of South Africa (ASSAf), Pretoria, South Africa

Margaret Hamburg, Foreign Secretary, U.S. National Academy of Medicine (NAM), Washington, DC, U.S.A.

Kathrin Happe, Deputy Head of Department of Science – Policy – Society, German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale), Germany

Jan Nissen, Senior Officer, Department of International Relations, German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale), Germany

Isabel Scheer, Assistant, Department of International Relations, German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale), Germany

Pour plus d'informations

Évaluations intégrées

European Environment Agency. Air Quality in Europe – 2018. EEA Report. doi:10.2800/777411

International Energy Agency. Energy and Air Pollution. World Energy Outlook Special Report. Paris: 2016. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf> (accessed 21 Nov 2018).

Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, et al. The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet* 2018;391:462–512. doi:10.1016/S0140-6736(17)32345-0

United Nations Environment Programme. Healthy Environment, Healthy People. Thematic Report, Ministerial Policy Review Session. 2016 UNEA 2 Inf. Doc 5. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17602/K1602727%20INF%205%20Eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Burden of disease from the joint effects of household and ambient air pollution for 2016. Geneva: 2018. https://www.who.int/airpollution/data/AP_joint_effect_BoD_results_May2018.pdf (accessed 9 Nov 2018).

Effets sur la santé

Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, et al. Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis. *Thorax* 2014;69:660–5. doi:10.1136/thoraxjnl-2013-204492

Balakrishnan K, Dey S, Gupta T, et al. The impact of air pollution on deaths, disease burden, and life expectancy across the states of India: the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet Planetary Health* 2019;3:e26–39. doi:10.1016/S2542-5196(18)30261-4

Bowe B, Xie Y, Li T, et al. The 2016 global and national burden of diabetes mellitus attributable to PM_{2.5} air pollution. *The Lancet Planetary Health* 2018;2:e301–12. doi:10.1016/S2542-5196(18)30140-2

- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010;121:2331–78. doi:10.1161/CIR.0b013e3181d8e1
- Burke KE. Mechanisms of aging and development — A new understanding of environmental damage to the skin and prevention with topical antioxidants. *Mechanisms of Ageing and Development* 2018;172:123–30. doi:10.1016/j.mad.2017.12.003
- Calderón-Garcidueñas L, Calderón-Garcidueñas A, Torres-Jardón R, et al. Air pollution and your brain: what do you need to know right now. *Primary Health Care Research & Development* 2015;16:329–45. doi:10.1017/S146342361400036X
- Chen H, Kwong JC, Copes R, et al. Exposure to ambient air pollution and the incidence of dementia: A population-based cohort study. *Environment International* 2017;108:271–7. doi:10.1016/j.envint.2017.08.020
- Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet* 2017;389:1907–18. doi:10.1016/S0140-6736(17)30505-6
- Contreras ZA, Heck JE, Lee P-C, et al. Prenatal air pollution exposure, smoking, and uterine vascular resistance. *Environ Epidemiol* 2018;2. doi:10.1097/EE9.0000000000000017
- Dadvand P, Figueras F, Basagaña X, et al. Ambient Air Pollution and Preeclampsia: A Spatiotemporal Analysis. *Environ Health Perspect* 2013;121:1365–71. doi:10.1289/ehp.1206430
- Dimakakou E, Johnston H, Streftaris G, et al. Exposure to Environmental and Occupational Particulate Air Pollution as a Potential Contributor to Neurodegeneration and Diabetes: A Systematic Review of Epidemiological Research. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018;15:1704. doi:10.3390/ijerph15081704
- Ding A, Yang Y, Zhao Z, et al. Indoor PM_{2.5} exposure affects skin aging manifestation in a Chinese population. *Sci Rep* 2017;7:15329. doi:10.1038/s598-017-15295-8
- Di Q, Wang Y, Zanobetti A, et al. Air Pollution and Mortality in the Medicare Population. *New England Journal of Medicine* 2017;376:2513–22. doi:10.1056/NEJMoa1702747
- Eze IC, Hemkens LG, Bucher HC, et al. Association between Ambient Air Pollution and Diabetes Mellitus in Europe and North America: Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ Health Perspect* 2015;123:381–9. doi:10.1289/ehp.1307823
- Gauderman WJ, Urman R, Avol E, et al. Association of Improved Air Quality with Lung Development in Children. *New England Journal of Medicine* 2015;372:905–913. doi:10.1056/NEJMoa1414123
- Guxens M, Garcia-Esteban R, Giorgis-Allemand L, et al. Air Pollution During Pregnancy and Childhood Cognitive and Psychomotor Development. *Epidemiology* 2014;25:636–47. doi:10.1097/EDE.0000000000000133
- Health Effects Institute. State of Global Air 2019. Boston, MA. <https://www.stateofglobalair.org/> (accessed 18 Apr 2019).
- Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, et al. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environmental Health* 2013;12:43. doi:10.1186/1476-069X-12-43
- International Agency for Research on Cancer, IARC. Outdoor air pollution. 2016. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK368024/> (accessed 5 Oct 2018).
- Kaufman JD, Adar SD, Barr RG, et al. Association between air pollution and coronary artery calcification within six metropolitan areas in the U.S.A. (the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution): a longitudinal cohort study. *The Lancet* 2016;388:696–704. doi:10.1016/S0140-6736(16)00378-0
- Kirrane EF, Bowman C, Davis JA, et al. Associations of ozone and PM_{2.5} concentrations with Parkinson's disease among participants in the Agricultural Health Study. *J Occup Environ Med* 2015;57:509–17. doi:10.1097/JOM.0000000000000451
- Krutmann J, Bouloc A, Sore G, et al. The skin aging exposure. *Journal of Dermatological Science* 2017;85:152–61. doi:10.1016/j.jdermsci.2016.09.015
- Landrigan PJ. Air pollution and health. *The Lancet Public Health* 2017;2:e4–5. doi:10.1016/S2468-2667(16)30023-8
- Lee P-C, Liu L-L, Sun Y, et al. Traffic-related air pollution increased the risk of Parkinson's disease in Taiwan: A nationwide study. *Environment International* 2016;96:75–81. doi:10.1016/j.envint.2016.08.017
- Leiser CL, Hanson HA, Sawyer K, et al. Acute effects of air pollutants on spontaneous pregnancy loss: a case-crossover study. *Fertility and Sterility* 2019;111(2):341–347. doi:10.1016/j.fertnstert.2018.10.028
- Lelieveld J, Evans JS, Fnais M, et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature* 2015;525:367–71. doi:10.1038/nature15371
- Li T, Zhang Y, Wang J, et al. All-cause mortality risk associated with long-term exposure to ambient PM_{2.5} in China: a cohort study. *The Lancet Public Health* 2018;3:e470–7. doi:10.1016/S2468-2667(18)30144-0
- Malley CS, Kuynlenstierna JCI, Vallack HW, et al. Preterm birth associated with maternal fine particulate matter exposure: A global, regional and national assessment. *Environment International* 2017;101:173–82. doi:10.1016/j.envint.2017.01.023
- McConnell R, Berhane K, Gilliland F, et al. Prospective study of air pollution and bronchitic symptoms in children with asthma. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;168:790–7. doi:10.1164/rccm.200304-466OC
- Newby DE, Mannucci PM, Tell GS, et al. Expert position paper on air pollution and cardiovascular disease. *Eur Heart J* 2015;36:83–93. doi:10.1093/eurheartj/ehu458
- Ngoc L, Park D, Lee Y, et al. Systematic Review and Meta-Analysis of Human Skin Diseases Due to Particulate Matter. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2017;14:1458. doi:10.3390/ijerph14121458
- Paul KC, Haan M, Mayeda ER, et al. Ambient Air Pollution, Noise, and Late-Life Cognitive Decline and Dementia Risk. *Annual Review of Public Health* 2019;40:203–20. doi:10.1146/annurev-publhealth-040218-044058
- Pedersen M, Giorgis-Allemand L, Bernard C, et al. Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE). *The Lancet Respiratory Medicine* 2013;1:695–704. doi:10.1016/S2213-2600(13)70192-9
- Pedersen M, Stayner L, Slama R, et al. Ambient air pollution and pregnancy-induced hypertensive disorders: a systematic review and meta-analysis. *Hypertension* 2014;64:494–500. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.114.03545
- Pope III CA, Dockery DW. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2006;56:709–42. doi:10.1080/10473289.2006.10464485
- Power MC, Adar SD, Yanosky JD, et al. Exposure to air pollution as a potential contributor to cognitive function, cognitive decline, brain imaging, and dementia: A systematic review of epidemiologic research. *NeuroToxicology* 2016;56:235–53. doi:10.1016/j.neuro.2016.06.004
- Puri P, Nandar SK, Kathuria S, et al. Effects of air pollution on the skin: A review. *Indian Journal of Dermatology, Venereology, and Leprology* 2017;83:415. doi:10.4103/0378-6323.199579

- Lee KK, Miller MR, Shah ASV. Air Pollution and Stroke. *Journal of Stroke* 2018;20:2–11. doi:10.5853/jos.2017.02894
- Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *The Lancet Oncology* 2013;14:813–22. doi:10.1016/S1470-2045(13)70279-1
- Resolution WHA68.8: Health and the environment: addressing the health impact of air pollution. World Health Organization 2015. http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/wha68/a68_r8-en.pdf (accessed 8 Nov 2018).
- Ritz B, Lee P-C, Hansen J, et al. Traffic-Related Air Pollution and Parkinson's Disease in Denmark: A Case-Control Study. *Environ Health Perspect* 2016;124:351–6. doi:10.1289/ehp.1409313
- Ritz B, Liew Z, Yan Q, et al. Air pollution and autism in Denmark. *Environmental Epidemiology* 2018;2:e028. doi:10.1097/EE9.0000000000000028
- Rückerl R, Schneider A, Breitner S, et al. Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhalation Toxicology* 2011;23:555–92. doi:10.3109/08958378.2011.593587
- Samoli E, Stergiopoulou A, Santana P, et al. Spatial variability in air pollution exposure in relation to socioeconomic indicators in nine European metropolitan areas: A study on environmental inequality. *Environmental Pollution* 2019;249:345–53. doi:10.1016/j.envpol.2019.03.050
- Shah ASV, Lee KK, McAllister DA, et al. Short term exposure to air pollution and stroke: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2015;350:h1295. doi:10.1136/bmj.h1295
- Shindell D, Faluvegi G, Seltzer K, et al. Quantified, localized health benefits of accelerated carbon dioxide emissions reductions. *Nature Climate Change* 2018;8:291–5. doi:10.1038/s41558-018-0108-y
- Shiraiwa M, Ueda K, Pozzer A, et al. Aerosol Health Effects from Molecular to Global Scales. *Environ Sci Technol* 2017;51:13545–67. doi:10.1021/acs.est.7b04417
- Stanek LW, Brown JS, Stanek J, et al. Air Pollution Toxicology—A Brief Review of the Role of the Science in Shaping the Current Understanding of Air Pollution Health Risks. *Toxicol Sci* 2011;120:S8–27. doi:10.1093/toxsci/kfq367
- Stieb DM, Chen L, Eshoul M, et al. Ambient air pollution, birth weight and preterm birth: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research* 2012;117:100–11. doi:10.1016/j.envres.2012.05.007
- Suades-González E, Gascon M, Guxens M, et al. Air Pollution and Neuropsychological Development: A Review of the Latest Evidence. *Endocrinology* 2015;156:3473–82. doi:10.1210/en.2015-1403
- Taylor C, Golding J, Emond A. Adverse effects of maternal lead levels on birth outcomes in the ALSPAC study: a prospective birth cohort study. *BJOG* 2015;122:322–8. doi:10.1111/1471-0528.12756
- Thurston GD, Kipen H, Annesi-Maesano I, et al. A joint ERS/ATS policy statement: what constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework. *Eur Respir J* 2017;49. doi:10.1183/13993003.00419-2016
- Vrijheid M, Casas M, Gascon M, et al. Environmental pollutants and child health — A review of recent concerns. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2016;219:331–42. doi:10.1016/j.ijheh.2016.05.001
- Wang B, Xu D, Jing Z, et al. Mechanisms in endocrinology: Effect of long-term exposure to air pollution on type 2 diabetes mellitus risk: a systemic review and meta-analysis of cohort studies. *European Journal of Endocrinology* 2014;171:R173–82. doi:10.1530/EJE-14-0365
- World Health Organization. Fact sheet on household air pollution and health. 2018. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health> (accessed 18 Feb 2019).
- World Health Organization. Fact sheet on ambient (outdoor) air quality and health. 2018. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (accessed 18 Feb 2019).
- Wu J, Ren C, Delfino RJ, et al. Association between Local Traffic-Generated Air Pollution and Preeclampsia and Preterm Delivery in the South Coast Air Basin of California. *Environ Health Perspect* 2009;117:1773–9. doi:10.1289/ehp.0800334
- Wu J, Laurent O, Li L, et al. Adverse Reproductive Health Outcomes and Exposure to Gaseous and Particulate-Matter Air Pollution in Pregnant Women. *Research on Reproductive Health Effects Inst* 2016:1–58.

Émissions de polluants atmosphériques

Apte JS, Messier KP, Gani S, et al. High-Resolution Air Pollution Mapping with Google Street View Cars: Exploiting Big Data. *Environ Sci Technol* 2017;51:6999–7008. doi:10.1021/acs.est.7b00891

Beekmann M, Prévôt ASH, Drewnick J, et al. In situ, satellite measurement and model evidence on the dominant regional contribution to fine particulate matter levels in the Paris megacity. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2015;15:9577–9591. doi:10.5194/acp-15-9577-2015

Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet* 2014;383:785–795. doi:10.1016/S0140-6736(13)62158-3

Belis CA, Karagulian F, Larsen BR, Hopke PK. Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. *Atmospheric Environment* 2013;69:94–108. doi:10.1016/j.atmosenv.2012.11.009

Bond TC, Bhardwaj E, Dong R, et al. Historical emissions of black and organic carbon aerosol from energy-related combustion, 1850–2000. *Global Biogeochemical Cycles* 2007;21. doi:10.1029/2006GB002840

Braspenning Radu O, van den Berg M, Klimont Z, et al. Exploring synergies between climate and air quality policies using long-term global and regional emission scenarios. *Atmospheric Environment* 2016;140:577–91. doi:10.1016/j.atmosenv.2016.05.021

Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA 3rd, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010;121:2331–2378. doi:10.1161/CIR.0b013e3181d8bec1

Brown JS. Nitrogen dioxide exposure and airway responsiveness in individuals with asthma. *Inhalation Toxicology* 2015;27:1–14. doi:10.3109/08958378.2014.979960

Burnett R, Chen H, Szyszkowicz M, et al. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *PNAS* 2018;115:9592–9597. doi:10.1073/pnas.1803222115

Butt EW, Rap A, Schmidt A, et al. The impact of re-

sidential combustion emissions on atmospheric aerosol, human health, and climate. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2016;16:873–905. doi:10.5194/acp-16-873-2016

Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M, et al. Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ* 2014;348:f7412. doi:10.1136/bmj.f7412

Clifford A, Lang L, Chen R, et al. Exposure to air pollution and cognitive functioning across the life course — A systematic literature review. *Environmental Research* 2016;147:383–398. doi:10.1016/j.envres.2016.01.018

Chen H, Huang Y, Shen H, et al. Modeling temporal variations in global residential energy consumption and pollutant emissions. *Applied Energy* 2016;184:820–9. doi:10.1016/j.apenergy.2015.10.185

Dave P, Bhushan M, Venkataraman C. Aerosols cause intraseasonal short-term suppression of Indian monsoon rainfall. *Scientific Reports* 2017;7:17347. doi:10.1038/s41598-017-17599-1

Dawn Alas H, Müller T, Birmili W. Spatial Characterization of Black Carbon Mass Concentration in the Atmosphere of a Southeast Asian Megacity: An Air Quality Case Study for Metro Manila, Philippines. *Aerosol and Air Quality Research* 2018;18:2301–2317. doi:10.4209/aaqr.2017.08.0281

Franklin BA, Brook R, Pope CA 3rd. Air pollution and cardiovascular disease. *Current Problems in Cardiology* 2015;40:207–38. doi:10.1016/j.cpcardiol.2015.01.003

Gallardo L, Escribano J, Dawidowski L, et al. Evaluation of vehicle emission inventories for carbon monoxide and nitrogen oxides for Bogotá, Buenos Aires, Santiago, and São Paulo. *Atmospheric Environment* 2012;47:12–9. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.11.051

Gidden MJ, Riahi K, Smith SJ, et al. Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geoscientific Model Development* 2019;12:1443–75. doi:10.5194/gmd-12-1443-2019

Hassler B, McDonald BC, Frost GJ, et al. Analysis of long-term observations of NO_x and CO in megacities and application to constraining emissions inventories. *Geophysical Research Letters* 2016;43:9920–30. doi:10.1002/2016GL069894

Huang Y, Shen H, Chen Y, et al. Global organic carbon emissions from primary sources from 1960 to 2009. *Atmospheric Environment* 2015;122:505–512. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.10.017

Ibarra-Espinosa S, Ynoue R, O’Sullivan S et al. VEIN v0.2.2: an R package for bottom-up vehicular emissions inventories. *Geoscientific Model Development* 2018;11:2209–2229. doi:10.5194/gmd-11-2209-2018

Janssens-Maehout G, Crippa M, Guizardi D, et al. HTAP_v2.2: a mosaic of regional and global emission grid maps for 2008 and 2010 to study hemispheric transport of air pollution. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2015;15:11411–11432. doi:10.5194/acp-15-11411-2015

Jimenez JL, Canagaratna MR, Donahue NM, et al. Evolution of organic aerosols in the atmosphere. *Science* 2009;326:1525–1529. doi:10.1126/science.1180353

Klimont Z, Kupainen K, Heyes C, et al. Global anthropogenic emissions of particulate matter including black carbon. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2017;17:8681–8723. doi:10.5194/acp-17-8681-2017.

Lamarque JF, Bond TC, Eyring V, et al. Historical

(1850–2000) gridded anthropogenic and biomass burning emissions of reactive gases and aerosols: Methodology and application. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2010;10:7017–7039. doi:10.5194/acp-10-7017-2010

Liu J, Mauzerall DL, Chen Q, et al. Air pollutant emissions from Chinese households: A major and underappreciated ambient pollution source. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2016;113:7756–7761. doi:10.1073/pnas.1604537113

Madrazo J, Clappier A, Belalcazar LC, et al. Screening differences between a local inventory and the Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR). *Science of The Total Environment* 2018; 631–632:934–941. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.03.094

van der Werf GR, Randerson, JT, Giglio L, et al. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics* 2010;10:11707–11735. doi:10.5194/acp-10-11707-2010

van Donkelaar A, Martin RV, Brauer M, et al. Global Estimates of Fine Particulate Matter using a Combined Geophysical-Statistical Method with Information from Satellites, Models, and Monitors. *Environmental Science and Technology* 2016;50:3762–3772. doi:10.1021/acs.est.5b05833

Coûts et avantages économiques

Amann M, Holland M, Maas R, et al. Costs, benefits and economic impacts of the EU clean air strategy and their implications on innovation and competitiveness. IIASA report. Laxenburg: 2017. http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/clean_air_outlook_economic_impact_report.pdf (accessed 10 May 2019).

Roy R, Braathen NA. The Rising Cost of Ambient Air Pollution thus far in the 21st Century — Results from the BRIICS and the OECD Countries. OECD Environment Working Papers. 2017. doi:10.1787/d1b2b844-en

US Environmental Protection Agency Office of Air and Radiation. The Benefits and Costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020 — Summary Report. 2011. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/summaryreport.pdf> (accessed 16 Nov 2018).

The World Bank. The cost of air pollution: strengthening the economic case for action. The World Bank 2016. <http://documents.worldbank.org/curated/en/781521473177013155/pdf/108141-REVISED-Cost-of-Pollution-WebCORRECTEDfile.pdf> (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Health risks of air pollution in Europe — HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen: 2013. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf (accessed 10 May 2019).

Politiques et actions

Boyd DR. Report of the Special Rapporteur on human rights obligations relating to the enjoyment of a safe, clean, healthy and sustainable environment. Human Rights Council. 2019. <https://undocs.org/A/HRC/40/55> (accessed 28 May 2019).

DeShazo J, Sheldon TL, Carson RT. Designing policy incentives for cleaner technologies: Lessons from California's plug-in electric vehicle rebate program. *Journal of Environmental Economics Management* 2017;84:18–43. doi:10.1016/j.jeem.2017.01.002

Figueres C, Landrigan PJ, Fuller R. Tackling air pollution, climate change, and NCDs: time to pull together. *The Lancet* 2018;392:1502–3. doi:10.1016/S0140-6736(18)32740-5

Fuller R, Rahona E, Fisher S, et al. Pollution and non-communicable disease: time to end the neglect. *The Lancet Planetary Health* 2018;2(3):e96–8. doi:10.1016/S2542-5196(18)30020-2

Haines A, Landrigan PJ. It's time to consider pollution in NCD prevention. *The Lancet* 2018;392:1625–6. doi:10.1016/S0140-6736(18)32200-1

Kutlar Joss M, Eeftens M, Gintowt E, et al. Time to harmonize national ambient air quality standards. *International Journal of Public Health* 2017;62:453–462. doi:10.1007/s00038-017-0952-y

Samet JM, Gruskin S. Air pollution, health, and human rights. *The Lancet Respiratory Medicine* 2015;3:98–100. doi:10.1016/S2213-2600(14)70145-6

United Nations Environment Programme. Ministerial declaration of the United Nations Environment Assembly at its third session: Towards a pollution-free planet. UNEP/EA.3/L.19. 2017. <https://papersmart.unon.org/resolution/ministerial-declaration> (accessed 28 May 2019).

Watts N, Amann M, Ayeb-Karlsson S, et al. The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health. *The Lancet* 2018;391:581–630. doi:10.1016/S0140-6736(17)32464-9

World Bank Group. Independent Evaluation Group. Toward a clean world for all: an IEG evaluation of the World Bank Group's support for pollution management. Washington, DC: World Bank, 2017. <http://ieg.worldbankgroup.org/evaluations/pollution> (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013–2020. Geneva: 2013. https://www.who.int/nmh/events/ncd_action_plan/en/ (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Resolution WHA68.8: Health and the environment: addressing the health impact of air pollution. Geneva: 2015. http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/wha68/a68_r8-en.pdf (accessed 8 Nov 2018).

World Health Organization. Air pollution and child health: prescribing clean air. Geneva: 2018. <http://www.who.int/ceh/publications/air-pollution-child-health/en/> (accessed 31 Oct 2018).

World Health Organization. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen: 2006. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global->

update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Review of evidence on health aspects of air pollution — REVIHAAP. Technical Report. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen: 2013. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1 (accessed 28 May 2019).

Crédits

Copy-Editing

German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale), Germany
internationalrelations@leopoldina.org
www.leopoldina.org

Translation

GlobalSprachTeam, Sassenberg+Kollegen, Berlin
www.sprachteam.com.

Art Direction

Lamm & Kirch, Berlin / Leipzig
www.lamm-kirch.com

Print (English original)

Printed in Germany by Elbe Druckerei Wittenberg GmbH
www.elbedruckerei.de

Printed on recycled paper.

Publication date

June 2019

Copyright

- © Academy of Science of South Africa (ASSAf)
www.assaf.org.za
- © Brazilian Academy of Sciences (ABC)
www.abc.org.br
- © German National Academy of Sciences Leopoldina
www.leopoldina.org
- © U.S. National Academy of Medicine (NAM)
www.nam.edu
- © U.S. National Academy of Sciences (NAS)
www.nasonline.org

ISBN: 978-3-8047-4017-4 (English original)