

# RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

« Se défier du ton d'assurance qu'il est si facile de prendre et si dangereux d'écouter »  
Charles Coquebert, *Journal des mines* n°1, Vendémiaire An III (septembre 1794)



## Environnement et santé : quels impacts, quelles gouvernances ?

UNE SÉRIE DES  
ANNALES  
DES MINES  
FONDÉES EN 1794

N° 104  
OCTOBRE 2021

Publiées avec le soutien  
de l'Institut MinesTélécom

UNE SÉRIE DES  
**ANNALES  
 DES MINES**  
 FONDÉES EN 1794

**RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT**

ISSN : 1268-4783

Série trimestrielle • n°104 - octobre 2021

**Rédaction**

Conseil général de l'Économie (CGEJET), Ministère de  
 l'Économie, des Finances et de la Relance  
 120, rue de Bercy - Télédocus 797 - 75572 Paris Cedex 12  
 Tél : 01 53 18 52 68  
<http://www.annales.org>

**François Valérien**

Rédacteur en chef

**Gérard Comby**

Secrétaire général

**Alexia Kappelmann**

Secrétaire générale adjointe

**Magali Gimon**

Assistante de rédaction

**Myriam Michaux**

Webmestre / Maquettiste

**Membres du Comité de Rédaction**

**Pierre Couveinhes**

Président du Comité de rédaction

Ingénieur général des Mines honoraire

**Paul-Henri Bourrelier**

Ingénieur général des Mines honoraire, Association  
 française pour la prévention des catastrophes naturelles

**Mireille Campana**

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

**Dominique Dron**

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

**Jean-Luc Laurent**

Ingénieur général des Mines honoraire

**Richard Lavergne**

Ancien membre permanent du Conseil général  
 de l'Économie

**Michel Pascal**

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

**Didier Pillet**

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

**Claire Tutenuit**

Déléguée générale d'Entreprises pour l'Environnement (EPE)

**François Valérien**

Rédacteur en chef des Annales des Mines

Photo de couverture :

Voile de pollution recouvrant la ville de Lyon.

Photo © Stéphane Audras/REA.

**Iconographie**

Christine de Coninck

**Abonnements et ventes**

CometCom

Bâtiment Copernic - 20, avenue Édouard Herriot

92350 LE PLESSIS-ROBINSON

Sébastien RODRIGUEZ

Tél : 01 40 94 22 33

Email : [s.rodriguez@cometcom.fr](mailto:s.rodriguez@cometcom.fr)

**Mise en page** : Nadine Namer

**Impression** : EspaceGrafic

**Éditeur Délégué** :

FFE - 15, rue des Sablons - 75116 PARIS - [www.ffe.fr](http://www.ffe.fr)

Fabrication : Aïda Pereira

[Aida.PEREIRA@ffe.fr](mailto:Aida.PEREIRA@ffe.fr) - 01 53 36 20 39

**Régie publicitaire** : Belvédère Com

**Directeur de la publicité** : Bruno Slama - 01 40 09 66 17

[bruno.slama@belvederecom.fr](mailto:bruno.slama@belvederecom.fr)

La mention au regard de certaines illustrations du sigle « D. R. » correspond à des documents ou photographies pour lesquels nos recherches d'ayants droit ou d'héritiers se sont avérées infructueuses.

# Environnement et santé : quels impacts, quelles gouvernances ?

## Introduction

04

Anneliese DEPOUX, Robert BAROUKI  
et Maud DEVÈS

## Généalogie du lien entre santé et environnement

06

Puissance publique et santé environnementale en  
France : ruptures et mutations dans la longue durée  
Pascal GRISET

10

Vers une médecine fondée sur l'idée de santé planétaire  
Marie GAILLE

14

Environnement, écosystèmes et impacts sur la santé  
humaine  
Serge MORAND

## Les effets connus ou supposés de l'environnement sur la santé

19

Effets bénéfiques de l'environnement sur la santé en site  
urbain  
Denis ZMIROU-NAVIER

23

Des risques avérés aux risques suspectés : particules  
atmosphériques et nanoparticules manufacturées  
Francelyne MARANO

28

L'évaluation des risques des pesticides : entre savoir  
réglementaire et science académique  
Laurence HUC et Jean-Noël JOUZEL

## Environnement et pandémie

32

Impacts des pressions environnementales et  
des changements climatiques sur la propagation des  
maladies infectieuses et sur la vulnérabilité  
des populations  
Sébastien DENYS et Robert BAROUKI

36

Pollution atmosphérique et infections virales  
Jorge BOCZKOWSKI

42

Changement climatique ou changement global, il faut  
choisir pour la santé !  
Jean-François GUÉGAN

## Santé et environnement : quelle gouvernance ?

47

Vers le développement d'un environnement plus  
favorable à la santé au sens du concept international  
« Une seule santé »  
Cédric BOURILLET

51

Faut-il fusionner les ministères chargés de  
l'Environnement et de la Santé ? Essai d'analyse à  
la lumière de la fusion engagée en 2007 entre les  
ministères chargés de l'Environnement et de l'Énergie  
Richard LAVERGNE

## Environnement et santé : quels impacts, quelles gouvernances ?

55

La gestion du risque sanitaire en France : le défi de l'incertitude

William DAB

60

Le rôle d'une agence sanitaire face à la pandémie de Covid-19

Roger GENET

65

La santé environnementale : l'opportunité d'instaurer une gouvernance des risques multidimensionnelle et intégrée

Florence CARRÉ, Jacques GARDON, Maud DÉVÈS, Laure GIAMBERINI, Christian MOUGIN, Nicolas ECKERT et Gilles GRANDJEAN

69

Vers une écologisation de la gouvernance de la santé

Nathalie BLANC

## Ouverture internationale

73

To recover from Covid-19, we need to invest in a healthy and green future

Dr Maria P. NEIRA

75

Réglementation des substances chimiques : science et décision, lenteur et confusion

Laurence HUC et Robert BAROUKI

79

Santé-environnement : illustration de la politique du ministère de la Santé en matière de protection de la santé de la population face aux enjeux de notre société

Pr. Jérôme SALOMON, Joëlle CARMÈS et Mathilde MERLO

---

85 Traductions des résumés

90 Biographies des auteurs

---

Ce numéro a été coordonné par Robert BAROUKI, Anneliese DEPOUX et Maud DEVÈS

# Introduction

## Par Anneliese DEPOUX

Directrice du Centre Virchow-Villermé de Santé publique Paris-Berlin de l'Université de Paris, membre de l'initiative Lancet Countdown, membre du comité d'organisation du Global Consortium on Climate and Health Education de Columbia University

## Robert BAROUKI

Directeur de recherche Inserm, Unité 1124 Toxicité environnementale, cibles thérapeutiques, signalisation cellulaire et biomarqueurs (Inserm/Université de Paris). Coordinateur du programme européen HERA (Health Environment Research Agenda for Europe)

## Et Maud DEVÈS

Maître de conférences en environnement, risques et catastrophes, Université de Paris – Institut de physique du globe de Paris & Centre de recherche psychanalyse

La pandémie de Covid-19 a été l'occasion brutale de prendre conscience des conséquences sanitaires des perturbations environnementales et de leur dimension planétaire (la déforestation, l'élevage intensif, et même, selon certaines études, la pollution atmosphérique, qui favoriserait la propagation du virus). D'ici peu, la destruction des écosystèmes, le dérèglement climatique, la perte de biodiversité et la diminution de la qualité de l'air et de l'eau pourraient compter parmi les premières causes de morbidité dans le monde. Il est donc essentiel d'appréhender désormais les questions de santé publique au prisme des enjeux environnementaux. Dès 2009, un rapport publié par la revue médicale *The Lancet* lançait l'alerte en décrivant le changement climatique comme la plus grande menace du XXI<sup>e</sup> siècle en matière de santé publique. En 2016, l'initiative Lancet Countdown a été lancée pour mesurer les impacts sanitaires du changement climatique (Watts, 2017). Ce champ de recherche est aujourd'hui en pleine expansion. Il s'articule désormais autour du concept de Planetary Health qui s'est imposé comme un paradigme particulièrement fécond pour penser l'action publique à l'aune des liens entre santé et environnement. Élaboré pour mieux comprendre et aborder les manières dont l'homme, en modifiant son environnement, affecte la santé humaine, ce concept permet corrélativement d'envisager les bénéfices globaux de mesures favorables à la santé des individus (Horton et Lo, 2015 ; Halonen *et al.*, 2020). Les défis sanitaires actuels obligent à traiter de questions qui, par structure, dépassent les habituels silos de la pensée académique comme de l'action publique. Ce numéro de *Responsabilité & Environnement* vise à illustrer combien ces sorties de cadre, parfois difficiles, sont nécessaires et fructueuses.

Les changements environnementaux auxquels nous devons faire face constituent de véritables défis pour les acteurs de la décision publique. Ils affectent les citoyens non pas uniquement de manière globale mais aussi dans leur quotidien. Dans ce cadre, le programme européen HERA, dont l'objectif est de proposer des priorités de recherche en environnement climat et santé à la Commission européenne, a mis l'accent sur les 3C : Climat – Chimie – Cités, parmi de nombreux autres sujets de préoccupation (<https://www.heraresearch.eu/>). En effet, ces impacts environnementaux sont déjà une réalité. Nous ressentons les effets multifactoriels du changement climatique et de ses conséquences sur la santé, physique et mentale, les épisodes de canicule et de phénomènes météorologiques extrêmes en étant des exemples frappants. Par ailleurs, l'explosion de l'utilisation des substances chimiques est difficile à contrôler malgré de véritables efforts faits au niveau européen, notamment avec le règlement REACH. Nombreux sont nos concitoyens à être préoccupés par les perturbateurs endocriniens, les pesticides, les métaux, sans réellement savoir à quel point il faut s'en prémunir et comment il faut procéder.

Les connaissances actuelles en matière d'impact des substances chimiques ne concernent en réalité qu'une petite fraction des substances commercialisées ; une vision internationale semble donc nécessaire pour promouvoir une connaissance plus exhaustive. À ces facteurs chimiques s'ajoutent des facteurs physiques comme le bruit, la lumière, la radioactivité, les champs électromagnétiques, sans oublier les phénomènes dits naturels (séismes, inondations, glissements de terrain, etc.), qui ont des conséquences à court et à long termes sur la santé des populations et des territoires, et dont les impacts dépendent aussi de facteurs anthropiques. Enfin, une très grande majorité de la population mondiale vivra dans des villes à l'horizon 2050 ; or, ce milieu urbain pose toute une série de défis, comme les modes de transport, l'équilibre entre les espaces verts ou bleus et les espaces construits, les inégalités sociales, etc. Le milieu rural pose un tout autre type de défi qu'il ne faudra pas pour autant négliger. Ces différents défis environnementaux nécessitent une gouvernance aux échelles internationale, européenne, nationale et locale, mais aussi une participation active des citoyens. La cohérence entre ces différentes échelles de gouvernance et de décision constitue aussi un objectif important.

Un des questionnements récurrents en matière d'environnement et de santé est le degré d'incertitude que présente le lien de causalité entre un phénomène environnemental et une manifestation sanitaire. Cette incertitude a parfois été uti-

lisée pour reporter des décisions nécessaires. Certes, les sources d'incertitude sont nombreuses : multitude des facteurs environnementaux en cause, manque de données qualitatives et quantitatives sur certains facteurs environnementaux, intervalle de temps souvent très long entre une exposition et un effet sanitaire (Barouki, 2020). Si, grâce aux travaux scientifiques, il est possible de lever certains doutes, il est probable que dans beaucoup de situations, certaines décisions, en raison de la complexité de la relation environnement et santé, doivent être prises en contexte de forte incertitude. Le recours au principe de précaution est alors possible, mais requiert un transfert efficace des connaissances nouvelles depuis les lieux de recherche vers ceux de l'expertise et de la décision (Devès, 2020).

Si ce tableau général peut paraître sombre et inquiétant, il ne faut jamais oublier que l'environnement n'est pas qu'une source de problèmes, il est aussi une panoplie de solutions : organisation urbaine, agroécologie, mobilité respectueuse de l'environnement, contexte social apaisé. La gouvernance d'un tel sujet, multidimensionnel et imposant des transformations profondes sur une durée relativement courte, est un véritable défi. Mais c'est aussi un aiguillon formidable pour l'invention de nouvelles formes de vivre ensemble.

## Références

- BAROUKI R. (2020), « Environnement et santé. Incertitude et précaution », *Raison présente* (2), pp. 119-130.
- DEVÈS M. H. (2020), « Recherche, expertise et décision face à la catastrophe : vers de nouveaux défis », in *Annales des Mines – Responsabilité & Environnement*, n°98, avril, pp. 78-82.
- HALONEN J. I., ERHOLA M., FURMAN E., HAAHTELA T., JOUSILAHTI P., BAROUKI R. & ANTÓ J. M. (2021), "A call for urgent action to safeguard our planet and our health in line with the helsinki declaration", *Environmental research* 193, 110600.
- HORTON R. & LO S. (2015), "Planetary health: a new science for exceptional action", *The Lancet* 386(10007), pp. 1921-1922.

# Puissance publique et santé environnementale en France : ruptures et mutations dans la longue durée

Par Pascal GRISET

Professeur d'histoire contemporaine à Sorbonne Université

La question de la santé environnementale s'inscrit dans la longue durée. Trois périodes peuvent être distinguées pour comprendre comment cette question, se situant à la convergence de multiples domaines, devient un enjeu sociétal de tout premier plan : tout d'abord, le temps de l'industrialisation et de la « Révolution pastorienne », qui voit un développement symétrique de la connaissance et une perception plus forte des pollutions et des dangers liés à l'utilisation de certains produits ; et, ensuite, la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, où l'affirmation des technosciences permet d'envisager la santé humaine de manière différente. Avec les vaccins et les antibiotiques, la médecine semble entrer dans un âge d'or. Les questions d'environnement, qui sont par ailleurs prises en compte de manière de plus en plus forte, ne sont que rarement connectées explicitement à des questions de santé publique. Enfin, à partir des années 1980, ce « tournant environnemental » concerne de manière croissante la santé. Ce qui n'était pas détecté ou était négligé est désormais étudié et quantifié. La médecine intègre de manière croissante les risques environnementaux dans l'ensemble des espaces de vie, y compris le lieu de travail.

**P**hénomène semblant surgir des tumultes de l'actualité au tournant des XX<sup>e</sup> et XXI<sup>e</sup> siècles, la question de la santé environnementale s'inscrit en réalité dans la longue durée. Les inquiétudes quant à la qualité de l'air, de l'eau, des aliments se sont en effet exprimées dès l'Antiquité. Elles sont vives au Moyen Âge ; et le siècle des Lumières voit les préoccupations sanitaires s'exprimer avec une force fondée de manière croissante sur le savoir.

Trois périodes peuvent être identifiées pour distinguer, depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle, les grandes évolutions de la santé environnementale dans un écheveau, constamment redéfini, des relations entre santé des populations et le milieu de vie.

Il s'agit tout d'abord du temps de l'industrialisation, dès le XVIII<sup>e</sup> siècle, et de la « Révolution pastorienne » qui marque le dernier quart du XIX<sup>e</sup> siècle. Cette période voit, en lien avec l'urbanisation, les nuisances augmenter en nombre et en termes de visibilité. Symétriquement, le développement de la médecine et celui de la chimie permettent d'aborder, de manière plus rationnelle, les questions de santé associées à l'environnement et à l'alimentation.

L'affirmation des technosciences, à partir du milieu du XX<sup>e</sup> siècle, permet d'envisager la santé humaine de manière différente. Une meilleure utilisation des rayons X, le développement de la vaccination, la découverte des antibiotiques et les évolutions de la chirurgie et des technologies qui lui sont liées, permettent une augmentation considérable de l'espérance de vie.

À partir des années 1980, le « tournant environnemental », bien qu'antérieur, concerne désormais de manière croissante la santé. Les crises sanitaires des années 1990 imposent, parfois dans l'urgence, d'adopter de nouvelles approches.

## Le temps de l'industrialisation et de la « Révolution pastorienne »

Déjà au XVIII<sup>e</sup> siècle, et plus encore à partir des années 1800 et jusqu'en 1945, l'apparition de nouvelles structures de production et la mise en place d'un système scientifique accompagnent la prise en compte croissante de la question environnementale. L'accès à la connaissance multiplie les possibles mais également les inquiétudes. La Révo-

lution pastorienne apparaît à cet égard comme un pivot tant du point de vue global des sciences du vivant que de celui des interactions entre les humains, et entre eux et les mondes animal et végétal. Le mouvement hygiéniste, lié à la « pastorisation » de la société, concrétise, quant à lui, un nouveau rapport à l'environnement et une réelle prise en compte des « expositions », tout particulièrement au travers de la question des logements insalubres.

La « première révolution industrielle », amorcée autour du charbon et de la vapeur dans le dernier tiers du XVIII<sup>e</sup> siècle, et la « deuxième révolution industrielle », reposant sur le moteur à combustion interne, l'électricité, etc., bouleversent, en lien avec la libéralisation des échanges, les modes de vie, les rapports sociaux et les formes du travail. Avec le télégraphe électrique, quantification et transmission de l'information deviennent des éléments-clés d'une première gestion des risques sanitaires. L'information devient accessible, grâce à la presse, à une population qui dans sa grande majorité sait désormais lire. Catastrophes, pollutions, maladies... un sens du sensationnel est le pendant d'une information plus largement diffusée. De nouvelles formes de mobilisation sociale en découlent. Parfois très fortes, elles restent cependant directement connectées à des enjeux locaux, sans qu'une approche nationale des problèmes de santé liés à l'environnement ne soit en mesure de s'affirmer. La puissance publique n'en prend pas moins progressivement conscience des risques. Entre la crainte d'être affectée par des réactions politiques et sa volonté soutenue, par-delà les changements idéologiques, de moderniser le pays, elle fait évoluer la législation. À l'échelle nationale, mais également et souvent en premier lieu, à l'échelle municipale, de nouvelles structures faisant appel à l'expertise prennent en compte les questions relatives à l'eau, à l'alimentation et, plus globalement, à la santé publique. Le système de sécurité alimentaire et sanitaire s'est ainsi construit par étapes successives, tout au long de cette période. Il croise le développement des Grands corps techniques de l'État. La prise en compte plus spécifique de la question des émissions polluantes est marquée par le décret impérial du 15 octobre 1810 relatif aux manufactures et ateliers qui répandent une odeur insalubre ou incommode. Cette approche nationale, qui se substitue à certaines formes de règlements locaux des conflits, peut cependant être interprétée comme plus favorable aux industriels qu'aux riverains. Les avancées constatées au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, notamment en ce qui concerne la répression des fraudes, restent limitées, et de nombreux problèmes semblent être ignorés. Si la législation évolue significativement en ce qui concerne le travail, l'approche spécifique des maladies professionnelles, en lien avec les expositions, reste encore très parcellaire, voire, dans trop de cas, inexistante. Les luttes menées par les ouvriers affectés par la peinture au plomb, ou bien encore la question de la silicose en sont des exemples bien connus.

## La seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle

À partir de 1945, des transformations radicales sont à l'œuvre et modifient la relation entre la santé et l'environnement des hommes. L'émergence de

l'informatique, science nouvelle issue des mathématiques après la Seconde Guerre mondiale, constitue une rupture majeure, tout comme l'est la découverte de l'ADN en 1954.

Dans l'industrie, le fordisme se généralise. Dans l'agriculture, les intrants issus de la chimie de synthèse et une mécanisation croissante s'imposent. Ainsi, l'agriculture française, considérablement transformée, est en mesure de couvrir les besoins du pays et même d'exporter.

La recherche scientifique prend une place importante dans cette évolution. Elle s'appuie désormais sur des institutions de recherche stables. En France, l'État l'organise et la dote de moyens. Après la création du CNRS en 1939, d'autres organisations de recherche, dédiées à des secteurs plus spécifiques, sont créées. Nombre d'entre elles concernent la santé, l'alimentation et l'agriculture, comme l'INRA, le CEMAGREF, l'Institut national d'hygiène ou le CNEVA.

Les modes de vie changent également à grand pas : transports rapides et à bas coûts, nouveaux modes de conservation performants et diversifiés avec la congélation, développement du *marketing* et diversification des manières de cuisiner... Au cœur de la civilisation matérielle, l'assiette semble résumer ces transformations qui s'inscrivent dans le cadre de la « société de consommation ».

Ce modèle associant forte productivité et croissance de la consommation est contesté à partir des années 1960. Cette remise en cause peut être à la fois politique et philosophique, tout comme elle intègre des questionnements liés à la défense du consommateur (prix, sécurité, qualité). Elle s'articule aussi de manière croissante avec des préoccupations environnementales. Sans redéfinir fondamentalement l'accès à l'information et, plus globalement, au savoir, les médias de masse, et tout particulièrement la télévision, apportent aux foyers une ouverture sur le risque environnemental lors d'événements tragiques, à l'exemple des marées noires. Les questions liées à la « pollution » apparaissent donc progressivement dans l'espace public par la médiatisation de problèmes qui deviennent permanents en ce qui concerne l'air et l'eau. Le « Grand smog » de Londres, qui, en décembre 1952, provoque, selon les évaluations, entre 4 000 et 12 000 décès, est le tournant communément admis dans la relation entretenue qui lie les sociétés européennes à la pollution atmosphérique. Il provoque une prise de conscience non seulement au Royaume-Uni, mais également dans toute l'Europe. La santé environnementale devient une catégorie à part entière. Les premières grandes lois abordant globalement la question de la pollution atmosphérique sont votées dans les années qui suivent : le Clean Air Act en 1956 en Grande-Bretagne, la loi de lutte contre la pollution atmosphérique et les odeurs en France en 1961 ou la loi adoptée par le lander allemand de Rhénanie du Nord-Westphalie en avril 1962. Une science spécifiquement dédiée à ces questions se construit alors. Dans le prolongement des travaux de George Tansley, qui définit, en 1935, le concept d'écosystème, c'est toute l'écologie scientifique qui prend forme. George Hutchinson et Eugene Odum publient *Ecology* en 1963. Ces concepts sont popularisés par la for-

mule de Buckminster Fuller, le « vaisseau spatial Terre » (1968), et théorisés par James Lovelock, avec son « hypothèse Gaïa » (1979). La même année est publié le rapport Charney sur le réchauffement climatique.

L'articulation entre expositions et santé au travail, revendiquée par de nombreux combats depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, s'amorce plus concrètement dans les années 1960. La loi du 11 octobre 1946 relative à l'organisation des services médicaux du travail connaît une application plus concrète. Une nouvelle impulsion est donnée avec la loi du 8 juin 1966 (et son décret d'application du 13 juin 1969). La création du ministère de la Protection de la nature et de l'Environnement, décidée par Georges Pompidou, est effective le 8 janvier 1971. Elle s'inscrit dans le prolongement, en conférant plus d'ampleur et de légitimité au domaine, de la mise en place, en février 1970, de la direction générale de la Protection de la nature au sein du ministère de l'Agriculture. Issu du ministère de l'Agriculture, le ministère de l'Environnement n'a, à l'époque, que très peu de liens avec le ministère de la Santé. Pourtant, au sein de ce dernier ministère, l'environnement commence à se faire une place avec la circulaire du 7 juillet 1970 définissant un seuil de pollution des eaux. La loi sur l'environnement de 1976 fait évoluer cette perspective. Elle marque en effet un renversement dans les procédures administratives, puisque c'est désormais aux industriels qu'il revient de prouver que leurs activités ne sont pas destructrices de l'environnement.

## Le « tournant environnemental » des années 1980

À partir de la seconde moitié des années 1980, plusieurs éléments modifient encore plus profondément les relations entre santé et environnement : décryptage du génome, données sanitaires collectées et traitées en masse, *open science* et sciences participatives.... Les espaces et les acteurs de la science se transforment et s'appuient de manière croissante sur des approches interdisciplinaires. En matière d'économie politique, les principes néolibéraux s'imposent. L'avènement du World Wide Web, dans les années 1990, change tout à la fois l'accès à l'information et les modalités de l'expression individuelle et collective. L'émergence de réseaux d'acteurs, jusqu'alors peu nombreux et/ou isolés, structurent ce qu'il est convenu d'appeler la société civile, avec une remise en cause croissante de la démocratie représentative. La montée des inquiétudes liées à l'environnement – la santé environnementale – est explicitement prise en compte par les médias en tant que sujet politique à part entière à partir des années 2000. Le concept d'exposome, défini par Christopher P. Wild en 2005, a ainsi pour objectif d'encourager les travaux sur les déterminants « environnementaux » des pathologies chroniques chez l'homme (cancer, diabète, maladies cardiovasculaires...), par opposition aux déterminants génétiques (génome). Il s'applique à l'ensemble des expositions d'un être humain, de son état de fœtus jusqu'à la fin de sa vie. Selon un rapport de l'OMS de 2006, « près d'un quart des maladies (24 %) dans le monde sont causées par des expositions environnementales que l'on peut éviter ». Les facteurs mentionnés sont très divers.

Le paludisme ainsi que les diarrhées infantiles sont assez classiquement mentionnés, mais les substances toxiques auxquelles nous sommes exposés à notre domicile et sur notre lieu de travail apparaissent également comme des causes avérées de mortalité.

Les grandes crises sanitaires du tournant des XX<sup>e</sup> et XXI<sup>e</sup> siècles doivent être comprises dans ce contexte nouveau. La catastrophe nucléaire de Tchernobyl (1986) ou le scandale de l'amiante qui éclate en France dans les années 1990 sont autant de chocs qui fragilisent la confiance du grand public à l'égard des institutions. Les organisations en charge des domaines concernés, et plus globalement l'État, semblent en effet avoir caché la vérité. Le rôle des experts, considérés comme étant « proches du pouvoir », est plus globalement contesté. C'est pourtant le travail et la mobilisation de scientifiques qui ont permis à une question comme celle de l'amiante d'être enfin concrètement prise en compte après des décennies de déni. Des organisations nouvelles fonctionnant sur des principes adoptant comme donnée cardinale la « transparence » semblent dès lors nécessaires, puisque la légitimité même de l'État est désormais questionnée tout autant par les partisans d'une démocratie « dialogique » que par les tenants du néolibéralisme. La mise en place en France, à partir des années 1990, d'un système d'agences, accélérée par la crise de l'ESB (dite de la vache folle), est une tentative d'adaptation à cette nouvelle donne. Le dispositif repose sur des outils nouveaux de gestion de l'information et de communication garants de la transparence des procédures et sur des principes de fonctionnement qui entendent intégrer, le plus largement possible, les parties prenantes à une réflexion et à une préparation de la décision fondée sur la science. Sont ainsi créées l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa), en 1999, et l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement (Afsse), en 2001, à laquelle sont rattachées, en 2005, les questions liées au travail (Afsset). Elles fusionnent en 2010 pour créer l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. De manière encore plus globale, la révision constitutionnelle du 1<sup>er</sup> mars 2005 insère le « principe de précaution » dans le préambule de la Constitution de la V<sup>e</sup> République.

L'État articule également son action avec celle de l'Union européenne (UE) qui s'est investie sur ces questions. Si la santé ne fait pas partie des attributions de l'UE, la création de l'Agence européenne de l'environnement en 1994 lui a quand même permis d'agir. La création en 2002 de l'Autorité européenne de sécurité des aliments (l'EFSA – European Food Safety Authority) marque une nouvelle évolution, confirmée par l'adoption en 2006 de la réglementation REACH (Registration, Evaluation, Authorization and restriction of CHemicals), qui, à travers les questions d'exposition aux produits chimiques, impacte directement les questions de santé. Les inquiétudes portent sur « l'effet cocktail », au sein duquel la question des perturbateurs endocriniens suscite la mise en place de nouvelles réglementations. L'Anses a contribué à ces travaux, particulièrement à ceux portant sur le problème des critères d'identification des perturbateurs endocriniens. Dans le domaine

de l'agriculture, la problématique de l'utilisation des bio-cides montre tout à la fois la complexité de ces questions et l'implication d'acteurs (ou « porteurs d'enjeux ») diversifiés, et parfois en conflit.

Aujourd'hui, l'approche « One Health » introduite dès les années 2000 ambitionne de croiser, à l'échelle mondiale, la santé humaine, dans toutes ses interactions, non seulement avec la santé animale portée par l'OIE (Organisation de la santé animale : anciennement, l'Office international des épizooties fondé en 1924), mais également avec la santé végétale et les écosystèmes. On le comprendra, la notion de santé environnementale, en lien avec celle d'environnement, constitue désormais, à l'issue d'une longue émergence, un champ majeur de la santé publique.

## Bibliographie

BERRIDGE V. & MARTIN GORSKY M. (ed) (2012), *Environment, Health and History*, Palgrave Macmillan.

FRIOUX S. (2013), *Les batailles de l'hygiène. Villes et environnement de Pasteur aux Trente Glorieuses*, Paris, PUF, XXIII + 388 p.

GRISSET P., WILLIOTJ.-P. & BOUVIER Y. (2020), *Face aux risques – Une histoire de la sûreté alimentaire à la santé environnementale*, Paris, Le Cherche-Midi.

LE ROUX T. (2011), *Le laboratoire des pollutions industrielles*, Paris, Albin Michel, collection « L'Évolution de l'Humanité ».

RAINHORN J. (2019), *Blanc de plomb. Histoire d'un poison légal*, Paris, Les Presses de Sciences Po, coll. « Académique ».

ROSENTAL P.-A. (editor) (2017), *Silicosis: A World History*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.

SALOMON-BAYET C. (sous la direction de) (1986), *Pasteur et la Révolution pastorienne*, préface de LWOFF A., Paris, Payot, 436 p.

# Vers une médecine fondée sur l'idée de santé planétaire

Par Marie GAILLE

Directrice de recherche en philosophie, SPHERE (UMR 7219), Université de Paris-CNRS

Dans cet article, nous explorons la manière dont la médecine contemporaine est confrontée aux enjeux de santé environnementale. Tout en considérant le fait que le professionnel de santé, avec pour objectif d'agir au profit de la santé humaine, ne peut répondre seul à ces enjeux, nous nous interrogeons sur les modalités de son action et l'orientation à donner à la médecine. Nous analysons des éléments de réponse formulés à ce sujet au regard des impacts sanitaires du réchauffement climatique. Puis, nous examinons dans quelle mesure la médecine ne pourrait être amenée à réorienter son action sur la base d'une conception écologique de la santé. Nous formulons à ce titre l'hypothèse du nécessaire passage à une médecine fondée sur l'idée de santé planétaire.

## Introduction

L'élaboration des connaissances, en particulier de celles qui fondent la compréhension des maladies multifactorielles et/ou associées d'une manière ou d'une autre à l'environnement, est reconnue aujourd'hui comme étant à la fois nécessaire et d'une extrême difficulté. Depuis peu, elles constituent en France l'objet de programmes de recherche financés au niveau européen ou national, qui sont eux-mêmes désormais liés à l'agenda politique des États. Elles font l'objet de débats épistémologiques importants, portant notamment sur la question de la causalité. Dans un article qui fait date consacré à cette question, *Smoking and Carcinoma of the lung*, Austin Bradford-Hill déclara qu'il ne souhaitait pas « s'embarquer dans une discussion philosophique sur la signification de la cause » (Bradford-Hill, 1950). Pourtant, il semble bien initier une telle discussion en posant la question de savoir de quelle manière on détermine la toxicité d'un produit pour la santé humaine ou les effets d'un environnement spécifique sur celle-ci. Dans bien des cas, soulignait-il, nous n'avons d'autres solutions que d'ajouter des observations et des événements qui suggèrent une association entre un environnement et un effet sur la santé humaine, laquelle est plus ou moins forte, continue, spécifique, plausible, cohérente, analogue à d'autres mieux connues, etc. (Bradford-Hill, 1965).

La réflexion d'Austin Bradford-Hill n'a rien perdu de son actualité. Elle s'est enrichie de nombreux travaux qui ont pointé le caractère déterminant, pour élaborer des connaissances relatives aux effets de l'environnement sur la santé humaine, du choix des données étudiées, des méthodes privilégiées, de la possibilité d'accéder aux informations nécessaires pour les établir, de la sélection des substances supposées nocives et étudiées à l'exclusion

d'autres, ou encore de la détermination du seuil qui signale un niveau de danger pour la santé humaine.

Cette réflexion nous intéresse aussi parce qu'elle accorde une place au regard du médecin. Austin Bradford-Hill distingue ainsi deux regards : celui du chercheur, pour lequel « les données sont là pour être jugées selon leur mérite et, dans ce sens, le jugement doit être complètement indépendant de ce qui peut en dépendre – ou de qui peut en dépendre », et celui du médecin, qui a pour but d'agir et désire « intervenir pour supprimer ou réduire la mortalité ou la morbidité » (Bradford-Hill, 1965). Que peut faire, ou plutôt que doit faire le médecin des connaissances dont il dispose ? Cette question ne reçoit pas de réponse simple. Elle continue à se poser aujourd'hui, mais peut-être dans des termes un peu différents de ceux choisis par Austin Bradford-Hill pour la formuler. En effet, cette question est abordée avec le souci de resituer l'exercice de la médecine vis-à-vis d'autres métiers, d'autres institutions ou entités qui peuvent avoir un effet sur la santé, et spécialement sur la relation entre celle-ci et l'environnement. Il ne va pas de soi, en effet, de considérer que « tout problème de santé a nécessairement ses solutions en médecine », selon le propos du médecin Nicolas Senn (Senn, 2019), et ce d'autant plus qu'une telle vision peut être perçue comme une forme discutable de la « médicalisation de la santé de la population » (Lantz, 2019). L'hypothèse est formulée d'une nécessaire réinscription des professionnels de la santé dans un ensemble élargi de métiers et de compétences, qui ont tous, à des degrés divers, une incidence sur la relation entre l'environnement et la santé humaine : « ce qui va clairement dans ce sens, c'est que l'on considère en général qu'une part mineure (10 à 20 %) de la santé peut être attribuée aux interventions médicales, le reste étant lié à des facteurs autres, généralement dépendants de la

société dans son ensemble » (Woolf, 2019). Qui plus est, des pratiques sociales, associant santé et environnement, que celles-ci se déploient sur la base d'initiatives individuelles, au sein des familles ou dans des collectifs plus larges, sont aussi à prendre en compte parmi les éléments qui ont un effet sur la santé humaine (voir, par exemple, les travaux sociologiques de Laura Centemeri (2019) sur la permaculture).

Dans cet ensemble élargi de compétences, de métiers et de pratiques, que peut (encore) faire le médecin ? De premiers éléments de réponse sont à rechercher dans la réflexion contemporaine du monde médical sur la prise en compte des effets du réchauffement climatique. Nous allons, dans un premier temps, présenter les pistes explorées dans le cadre de cette réflexion. Puis, dans un second temps, nous nous demanderons dans quelle mesure la médecine ne serait pas contrainte de réorienter son action sur la base d'une conception écologique de la santé et nous chercherons à préciser le sens de celle-ci. L'idée de santé planétaire retiendra ici particulièrement notre attention.

## Impacts sanitaires du réchauffement climatique : le rôle des professionnels de santé

Selon Nicolas Senn, l'on peut identifier aujourd'hui quelques approches qui cherchent à tirer les conséquences, pour la pratique de la médecine, des connaissances acquises sur les impacts sanitaires du réchauffement climatique. Une première approche consiste à « s'adapter » – ce que, observe-t-il, les professionnels et les services de santé ont d'une certaine manière toujours fait au cours de l'histoire, en tentant de guérir les maladies qui survenaient ou d'accompagner les personnes atteintes de pathologies chroniques (Walker *et al.*, 2011 ; Parker *et al.*, 2019).

Cette première approche renvoie au rôle classique de la médecine : intervenir pour soigner et guérir des malades dans la mesure du possible. Une intervention qui peut être complétée par des actions préventives. Nous pensons, par exemple, dans le cas d'une hausse inhabituelle des températures, aux campagnes de santé publique ou aux recommandations que les médecins peuvent adresser à leurs patients sur l'hydratation, la nécessité de rester à l'abri du soleil et de la chaleur, de réduire leurs déplacements, indépendamment des soins médicaux qu'ils peuvent leur prodiguer lorsqu'une telle hausse survient.

Une seconde approche, toujours selon Nicolas Senn, consiste pour les médecins à jouer un rôle dans la diffusion de l'information sur le lien entre réchauffement climatique et santé, qui est loin d'être évident pour une majorité des patients et de la population (y compris chez les soignants).

Une troisième approche consiste pour eux à contribuer de façon directe à l'atténuation (on parle souvent de « mitigation » à ce sujet) des effets du changement climatique, en réformant l'organisation des services de santé pour qu'ils émettent moins de dioxyde de carbone (Gonzalez-Holguera, Niwa et Nicolas Senn, 2020) et en incitant les patients à modifier leurs comportements, par exemple alimentaires ou en termes de mobilité.

L'on pourrait vouloir, à des fins de clarté, distinguer ces deux derniers volets, car cette approche semble réunir des actions de nature très différente : d'un côté, la perspective d'une évolution des services de santé vers des modes de fonctionnement s'accompagnant d'une moindre émission de dioxyde de carbone ; de l'autre, celle de contribuer à une modification des comportements.

Soulignons aussi la complexité de cette deuxième tâche. Tout d'abord, la notion de « comportement » ne fait pas consensus – elle est adoptée par certaines épistémologies sociales, mais reste problématique pour d'autres. En outre, la population est si diverse, qu'un message unique court le risque d'avoir peu d'effets. Diverses difficultés ont déjà été identifiées au sujet de cette deuxième tâche :

- la difficulté à dépasser la fiction de *l'homo medicus* éduqué et l'insuffisante prise en compte du récepteur du message ;
- la difficulté des pouvoirs publics à connaître, entendre et accepter d'autres hiérarchies de valeurs que celles qui fondent les politiques de santé publique ;
- la difficulté à informer dans un contexte de mise en cause de l'expertise et de la démarche scientifique ;
- la difficulté à alerter sur des risques invisibles ou lointains ;
- la difficulté à élaborer un discours qui touche de façon directe et efficiente les personnes concernées (Gaille, 2019).

Finalement, toutes les difficultés déjà identifiées au sujet des campagnes d'information en matière de santé publique sont comme décuplées dans un contexte transnational, où les inégalités dites « Nord-Sud » conduisent certains pays à assumer, au nom de leur propre développement, des modes de production très pollués, ce qui aggrave le changement climatique, et où, dans certains contextes, ce sont les conditions socio-économiques mais non l'ignorance, qui semblent empêcher une prise de décision favorable à la santé (Maurice *et al.*, 2019).

Enfin, une quatrième approche réside dans le fait d'assumer une certaine exemplarité et une forme d'engagement, comme le fait Richard Horton, rédacteur en chef du *Lancet*, en apportant publiquement son soutien à la désobéissance civile du mouvement Extension Rebellion et en prônant une mobilisation collective dans la lutte contre le réchauffement climatique (Horton, 2019).

## Quelle écologie de la santé pour la médecine ?

Ces approches constituent autant de pistes pour appréhender, en tant que professionnel de santé, les impacts sanitaires du changement climatique. La question se pose de leur portée. On peut considérer qu'elles peuvent être reprises face à d'autres phénomènes que le réchauffement climatique. Mais l'on peut aussi, de façon plus générale, se poser la question de l'orientation qui peut être proposée à la médecine contemporaine compte tenu des connaissances dont nous disposons aujourd'hui pour attester, de façon massive, des effets de l'environnement sur la santé humaine tant en termes de maladies infectieuses que de pathologies chroniques.

La perspective « One health », qui met en avant les interdépendances entre la santé des humains et celle du vivant en général, est une bonne candidate pour étayer une telle orientation. Cette perspective a été énoncée par la Wildlife Conservation Society en 2004 à la fois pour lutter contre les maladies et maintenir l'intégrité de l'écosystème. Elle propose une vision « holistique » de la santé humaine, laquelle est intrinsèquement liée au respect de la biodiversité et au souci de la préservation du vivant en général et du devenir de la planète Terre comme de la biosphère (Oneworldonehealth, 2004). Selon cette perspective, la dimension holistique renvoie aux interdépendances multiples mises en évidence par l'écologie depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Elle débouche sur un repositionnement de l'être humain, envisagé comme un élément parmi d'autres du monde du vivant.

Sur le plan conceptuel, on peut cependant vouloir préciser les choses et adopter une distance critique à l'égard de certains usages terminologiques susceptibles de brouiller le sens de cette perspective. Ainsi, comme le souligne la philosophe Catherine Larrère, un point de vue holiste est potentiellement subordonné, ce qui va à rebours d'une vision qui met l'accent sur les relations : « l'étude des relations ne débouche pas sur une hiérarchie, elle permet plutôt d'établir une cartographie des dépendances et des attachements » (Larrère, 2020). Ainsi, il importe de comprendre que l'être humain n'occupe pas une place centrale dans un schéma de représentation de type « One World, one health ». De ce point de vue, certaines représentations de l'exposome, qui placent l'être humain au centre du schéma, ou celle mise en avant par Göran Dahlgren et Margaret Whitehead pour représenter l'ensemble des déterminants sociaux de la santé et rendre compte visuellement des multiples influences externes et internes de ceux-ci sur l'humain (Dahlgren et Margaret Whitehead, 2021), recèlent une certaine ambiguïté.

La notion de santé planétaire est peut-être plus prometteuse, car elle met l'accent sur les relations et l'interdépendance entre la santé humaine et le devenir des systèmes naturels de la planète Terre, sans être sous-tendue par une hiérarchie entre les entités en relation. Cette perspective fondée sur l'idée de santé planétaire n'a pas encore nécessairement trouvé une traduction en clinique et constitue à cet égard un véritable chantier de réflexion.

Cependant, les réflexions d'André Gorz dans les années 1970 (Gorz, 2020) jusqu'aux réflexions contemporaines sur les effets sanitaires de l'anthropocène (The Rockefeller Foundation-Lancet, 2015) et sur les causes de la pandémie de Covid-19 (Morand, 2020) permettent d'esquisser les implications de l'idée de santé planétaire pour la médecine. Elles mettent en avant les modes d'exploitation des ressources, de production, de consommation, de mobilité des sociétés humaines et invitent à concevoir une « gouvernance de la santé », qui doit intégrer, selon Serge Morand, l'écologie de la santé. En suivant une telle analyse, l'on peut argumenter l'idée selon laquelle il convient de passer d'une médecine de l'être humain, considéré isolément du vivant et de la planète Terre, à une médecine écologique ou fondée sur l'idée d'une santé planétaire, au sens où l'être

humain qu'elle se propose de soigner est un vivant parmi d'autres, et dont la propre santé dépend de l'inscription des sociétés humaines dans le respect des limites des systèmes naturels de la planète Terre (Steffen, 2015).

## Conclusion

En guise de conclusion, nous mettrons en avant plusieurs points. Du point de vue de l'histoire de la médecine, tout d'abord, la question très discutée de la continuité de la pensée médicale et de son héritage hippocratique semble ici rencontrer un point de butée : en effet, on a pu défendre l'idée d'une certaine continuité, du moins celle de la permanence d'« intuitions hippocratiques », en dépit de l'évolution des connaissances et des modalités d'élaboration de celles-ci (Bourdelaïs, 2010). Avec l'invitation qu'adresse l'écologie de la santé à la médecine, on va au-delà de la considération de l'environnement pour rendre compte de la santé et de la maladie par la médecine : émerge l'idée d'une médecine fondée sur le concept de santé planétaire, dans lequel la personne malade est désormais un être humain se réinscrivant au sein du vivant.

Une telle orientation implique l'idée que les professionnels de santé n'ont pas à œuvrer seuls. Selon les termes du philosophe Jean-Philippe Pierron, « à l'approche factorielle – le facteur environnement – et sectorisée des relations entre santé et environnement, il convient d'opposer une dynamique qui embrasse dans un même mouvement la médecine, le soin de l'humain, des non-humains et de la nature, à l'heure de la transition écologique » (Pierron, 2019). L'on a donc affaire à un projet social, politique, écologique et global, dans lequel les professionnels de santé pourraient exercer leurs compétences en articulation avec d'autres, et où les politiques de santé seraient co-déterminées par de nombreux ministères.

## Bibliographie

- BOURDELAIS P. (2010), « Histoire de la santé publique », chapitre 1, in HAURAY B. & FASSIN D., *Santé publique : l'état des savoirs*, Paris, La Découverte.
- BRADFORD-HILL A. & DOLL Richard (1950), "Smoking and Carcinoma of the lung", *British Medical Journal*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2038856/pdf/brmedj03566-0003.pdf>
- BRADFORD-HILL A. (1965), « Environnement et maladie : association ou cause ? », in BIZOUARN PH., COSTE J. & LEPLÈGE A. (éds.) (2011), *De Galton à Rothman – Les grands textes de l'épidémiologie au XX<sup>e</sup> siècle*, Paris, Hermann.
- CENTEMERI L. (2019), "Health and the Environment in Ecological Transition: The Case of the Permaculture Movement", in BRETTELLE ESTABLET F., GAILLE M. & KATOUZIAN M. (éds.), *Making sense of health, disease and the environment in cross-cultural history – The Arabic-Islamic world, China, Europe and North America*, op. cit., pp. 309-331.
- DAHLGREN G. & WHITEHEAD M. (2021), *European strategies for tackling social inequities in health: Levelling up – Part 2*, [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0018/103824/E89384.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0018/103824/E89384.pdf) (schéma présenté en page 20 du document).
- GAILLE M. (2019), « L'alerte en santé publique : difficultés anciennes, défis récents et ressources inédites », *Actualité et dossier en Santé publique*, mars, n°106, pp. 43-45.

- GONZALEZ-HOLGUERA J., NIWA N. & SENN N. (2020), « Co-bénéfices santé-environnement », *Revue médicale Suisse*, pp. 704-711.
- GORZ A. (2020), *Leur écologie et la nôtre*, Paris, Le Seuil.
- HORTON R. (2021), "Doctors obliged to protest about Health and Climate", vidéo accessible en ligne : <https://www.youtube.com/watch?v=2x6sBfV64N4>
- Oneworldonehealth Organization (2004), "Addressing the linkages between conservation, human and animal health, and security", <http://oneworldonehealth.org/WCCresolution2004.pdf>
- LARRÈRE C. (2020), « L'histoire du parc de la Courneuve et du crapaud calamite », in GEFEN A. & LAUGIER S. (éds.), *Le pouvoir des liens faibles*, Paris, CNRS éditions (citation page 152).
- LANTZ P. M. (2019), "The Medicalization of Population Health: Who Will Stay Upstream?", *The Milbank Quarterly* 97(1), pp. 36-39.
- MAURICE L. *et al.* (2019), "Drinking water quality in areas impacted by oil activities in Ecuador: associated health risks and social perception of human exposure", *Science of total Environment* 690, pp. 1203-1217.
- MORAND S. (2020), *L'homme, la faune sauvage et la peste*, Paris, Fayard.
- PARKER C. L. *et al.* (2019), "The Changing Climate: Managing Health Impacts", *Am Fam Physician*, Nov 15;100(10):618-626. PMID: 31730308.
- PIERRON J.-Ph. (2019), *Prendre soin de la nature et des humains – Médecine, travail, écologie*, Paris, Les Belles Lettres (citation page 503).
- The Rockefeller Foundation – Lancet Commission on Planetary Health (2015), "Safeguarding human health in the Anthropocene epoch", report of The Rockefeller Foundation – Lancet Commission on planetary health, *The Lancet*, <https://www.planetary-healthalliance.org/>
- SENN N. (2019), « Traiter la maladie ne suffit pas », conférence prononcée dans le cadre du Forum Santé Le Temps, Lausanne.
- STEFFEN W. K. *et al.* (2015), "Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet", *Science* 347(6223): 1259855.
- WALKER R. *et al.* (2011), "Health promotion interventions to address climate change using a primary health care approach: a literature review", *Health Promot. J. Austr.*, Dec. 22, Spec No:S6-12, doi: 10.1071/he11406. PMID: 22518912.
- WOOLF S. H. (2019), "Necessary But Not Sufficient: Why Health Care Alone Cannot Improve Population Health and Reduce Health Inequities", *Annals of Family Medicine* 17(3), pp. 196-199.

# Environnement, écosystèmes et impacts sur la santé humaine

Par Serge MORAND

Directeur de recherche CNRS

Institut des sciences de l'évolution CNRS – IRD – Montpellier Université, ASTRE CIRAD – Faculty of Veterinary Technology, Kasetsart University et Faculty of Tropical Medicine, Mahidol University, Bangkok, Thailand

Dans cet article, nous traitons de l'évolution des approches liant santé, environnement et écosystèmes, en partant d'une vision fixiste de l'environnement pour aller vers une vision dynamique de celui-ci. Les changements globaux en cours nécessitent, du fait de leurs impacts, de mettre en place des approches renouvelées à même de répondre aux nouveaux enjeux sanitaires. Ces approches écosystémiques sont promues par de nouvelles initiatives portées par les organisations internationales.

## Introduction

Les humains interagissent constamment avec leur environnement. Le rôle de l'environnement dans la santé est reconnu depuis fort longtemps, mais c'est récemment que le maintien d'un environnement sain est considéré comme essentiel pour améliorer la qualité de vie et les années de vie en bonne santé. À l'échelle mondiale, près de 25 % de tous les décès et la charge totale de morbidité peuvent être attribués à des facteurs environnementaux [1]. Les travaux s'accumulent démontrant l'impact des changements globaux (dérèglement climatique, pertes de biodiversité, dégradation des habitats, urbanisation) sur la santé humaine [2]. L'émergence des épidémies de maladies zoonotiques, comme la Covid-19, dont l'agent, le Sars-Cov-2, est, selon toute probabilité, issu d'une chauve-souris, nous rappellent l'importance des facteurs environnementaux qui en sont à l'origine. L'augmentation observée des épidémies de maladies infectieuses au cours des dernières décennies apparaît associée à l'augmentation de l'élevage et aux pertes de biodiversité [3], ou encore à la déforestation et à l'augmentation des plantations commerciales [4].

Dans cet article, nous traitons de l'évolution des approches liant santé, environnement et écosystèmes. L'histoire environnementale nous montre comment la vision fixiste de l'environnement s'est muée en une vision dynamique. Les changements globaux en cours et leurs impacts sur la santé des humains nécessitent de mettre en place des approches renouvelées basées sur des écosystèmes à même de répondre aux nouveaux enjeux sanitaires.

## Une longue histoire environnementale

### L'environnement comme facteur de santé

La reconnaissance en Occident du fait que la santé est liée à l'environnement remonte aux conseils donnés par

Hippocrate aux médecins de la Grèce Antique, au X<sup>e</sup> siècle avant J.-C. : « ... considérer, premièrement, par rapport aux saisons de l'année, les effets que chacune d'elles peut produire, car elles ne se ressemblent pas, mais diffèrent les unes des autres. Il [Le médecin] doit également considérer les qualités des eaux... Il examinera si le sol est nu et sec, ou boisé et humide ; s'il est enfoncé et brûlé par des chaleurs étouffantes, ou s'il est élevé et froid... » [5].

L'idée hippocratique à travers les quatre humeurs (sang, bile jaune, bile noire et mucosités), les quatre qualités (chaud, froid, sec et humide) et les quatre saisons constitue une des premières doctrines formalisant les liens entre environnement et santé. Pourtant, comme le souligne Berridge et Gorski [6], c'est une vision fataliste que nous donne Hippocrate de ces liens. Il reconnaît les connexions existant entre environnement et santé, mais celles-ci ne peuvent être modifiées.

Au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, la prégnance des liens entre l'environnement et la santé est encore bien présente chez Thomas Logan, médecin états-unien de la « Nouvelle frontière » californienne, qui écrit dans un texte de 1859 : « Une connaissance de l'étiologie des maladies peut être mieux atteinte en étudiant les affections des différentes localités en relation avec chaque condition ou circonstance estimées préjudiciables à la santé des habitants. Une telle recherche philosophique est particulièrement utile pour retracer les modifications que les maladies peuvent subir par l'intermédiaire de causes d'un caractère local ou spécial, et d'élucider les relations des maladies au climat, aux formations géologiques dominantes, la faune, les végétaux, les minéraux, les eaux, qui varient avec la croûte terrestre... » (cité par Nash [7]).

Les médecins coloniaux, à l'instar d'Hippocrate, conçoivent également l'environnement comme une donnée fondamentale de la compréhension des risques pour la santé

publique. Mais il faudra attendre le développement de l'hygiénisme pour que des politiques d'intervention sur l'environnement se mettent en place, comme l'assainissement des eaux.

### L'hygiénisme et la question de l'environnement

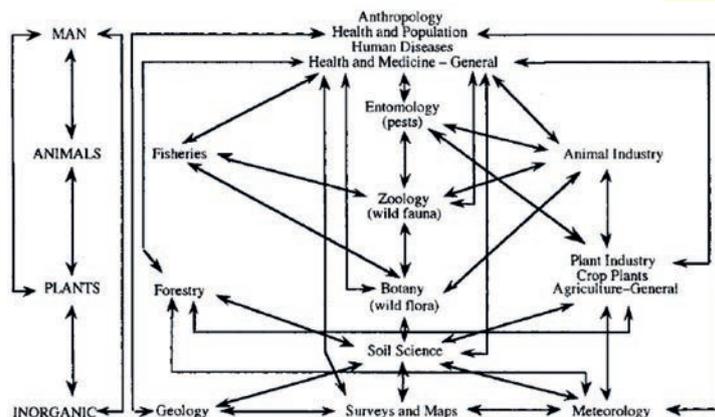
L'hygiénisme prend vraiment naissance en 1893, avec le chimiste et médecin Theodor Weyl de l'Université technique de Berlin-Charlottenburg. Celui-ci inaugure une importante entreprise éditoriale avec le « Handbuch der Hygiene », premier grand manuel d'hygiène publique. L'entreprise durera presque dix ans, avec la parution de dix volumes résumant les connaissances scientifiques et médicales de l'époque [8]. Weyl identifie le déficit de formation académique dans le domaine de la santé et la nécessité de regrouper les activités des médecins avec celles des ingénieurs. Weyl propose également que la santé et l'hygiène publique soient traitées dans le cadre d'un ministère dédié ayant à sa tête un ministre de la Santé qui, naturellement, devrait être médecin [8].

Le « Handbuch der Hygiene » est parfois qualifié de manuel de science pré-environnementale. Certains historiens de l'environnement soulignent que les mouvements pour la protection de la nature, comme les mouvements de protection du paysage et des habitats naturels, auraient pu converger avec le mouvement hygiéniste pour instaurer une politique efficace de protection de l'environnement. Cependant, le poids de l'industrie chimique et la Première Guerre mondiale ont retardé cet avènement. Ainsi, pour Schott [8], l'hygiène joue dans l'histoire de l'environnement un rôle similaire à celui que les concepts d'environnement et d'écologie ont joué depuis la fin des années 1960. Une vision qui sera portée par l'Unesco (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture) et l'IUCN (Union internationale pour la conservation de la nature). Celle-ci trouvera son origine dans les sciences coloniales.

### L'environnement et la santé dans les sciences coloniales

Dans les années 1930, l'African Research Survey regroupe un réseau d'universitaires des écoles de médecine tropicale de Londres et de Liverpool, et de gestionnaires de l'Institut forestier impérial d'Oxford et des bureaux agricoles impériaux. Sous la direction de Malcolm Hailey et du conseiller scientifique Edgar Barton Worthington, un ouvrage, *Science in Africa*, résume les travaux menés par l'African Research Survey [9]. Un diagramme inclus dans cet ouvrage illustre le projet scientifique de développement de l'Afrique coloniale (voir la Figure ci-contre). Le changement de vision des liens entre santé et environnement est en totale rupture avec les doctrines passées. Comme le souligne Worthington, « l'image réellement présentée par l'Afrique est celle du mouvement, toutes les branches de l'activité physique, biologique et humaine réagissant les unes sur les autres, pour produire ce que les biologistes appelleraient un complexe écologique » (cité par Tilley [10]). Le développement humain, celui de l'Afrique coloniale, se conçoit dans une approche écologique et écosystémique. L'écologue Julien Huxley de l'Université d'Oxford

fut l'un des mentors de cette approche. Après avoir cofondé le Fonds mondial pour la nature (WWF) et initié la création de l'UICN, Huxley a été le premier directeur de la nouvelle Unesco en 1946.



Le réseau scientifique colonial de la gestion environnementale et de la santé, extrait de *Science for Africa* [9] (voir aussi Tilley [10] et Lainé et Morand [11]).

### À retenir

Dans les conceptions anciennes de la santé environnementale, l'environnement est subi.

- Avec l'hygiénisme, la santé s'appuie sur l'amélioration de l'environnement.
- L'approche écologique et systémique de la santé naît avec les sciences coloniales.

## Santé et écosystèmes

### Conservation biologique et santé

Les liens entre le développement des sociétés, la santé et la conservation biologique sont abordés pour la première fois en 1968, lors de la Conférence de l'Unesco sur la biosphère. Les bases scientifiques de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources de la biosphère y sont élaborées [12].

En termes de santé, la perte de diversité biologique est directement associée à la détérioration de la santé physique et mentale : « Que les défis proviennent de forces physiques ou sociales, la diversité des milieux est d'une importance cruciale pour l'évolution de l'homme et de ses sociétés, car les résultats ultimes d'un environnement stéréotypé et égalisé peuvent être et sont souvent un appauvrissement de la vie, une perte progressive des qualités que nous [prêtons] à l'humanité et un affaiblissement de la santé physique et mentale. Notre politique doit être de préserver ou de créer autant d'environnements diversifiés que possible ».

La recommandation 3 « Recherche sur l'écologie humaine » du rapport final de la conférence après avoir considéré que « l'homme fait partie intégrante de la plupart des écosystèmes, non seulement en les influençant

mais aussi en subissant leur influence ; que sa santé physique et mentale, présente et future, est intimement liée aux systèmes dynamiques d'objets, de forces et de processus naturels qui interagissent avec la biosphère et incluent également la culture de l'Homme », fait la recommandation « que des recherches continues et intensifiées soient entreprises sur l'écologie des maladies humaines, avec des références particulières à celles associées aux changements environnementaux et aux zoonoses résultant des interactions entre l'homme et l'animal. »

Cette recommandation appelle à la mise en place d'une écologie des maladies zoonotiques intégrant la problématique des changements environnementaux, une recommandation qui se concrétisera avec l'approche écosystémique (Ecosystem Approach), puis avec le concept Une Santé (One Health).

### L'approche écosystémique

Les Objectifs du Millénaire pour le développement (Millennium Development Goals), et plus particulièrement le Millennium Ecosystem Assessment [13], établissent pour la première fois un lien fonctionnel entre la biodiversité, la santé et le bien-être des populations humaines. Ce lien fonctionnel s'exprime par l'approche écosystémique, également promue par l'Unesco et par la Convention sur la diversité biologique (CDB), et par la notion de services écosystémiques (*ecosystem services*).

L'approche écosystémique est la stratégie de gestion intégrée des terres, des eaux et des ressources vivantes qui vise à favoriser la conservation et l'utilisation durable de ces ressources. L'approche par le biais des écosystèmes repose sur l'application de méthodes scientifiques appropriées aux divers niveaux d'organisation biologique, qui incluent les processus, les fonctions et les interactions essentiels entre les organismes et leur environnement.

La dégradation du fonctionnement des écosystèmes et les pertes associées de biodiversité entraînent des impacts négatifs sur la qualité des services rendus par les écosystèmes, ce qui affecte la santé et le bien-être des populations. L'écosanté (*Ecohealth*) reconnaît l'interdépendance de la santé humaine, de la santé animale et de la santé des écosystèmes. Charron [14] identifie les principes fondamentaux de l'approche Écosanté que sont la transdisciplinarité, la pensée systémique, la recherche participative, la durabilité, l'équité sociale et de genre et le passage de la connaissance à l'action.

### Services écosystémiques et santé

La littérature concernant les services écosystémiques est considérable, mais les travaux analysant directement les liens entre services écosystémiques et santé sont encore peu nombreux [2]. On peut noter également l'absence d'indicateurs développés et validés pour des services écosystémiques de régulation des maladies qu'elles soient infectieuses ou non communicables.

Les études concernant les services écosystémiques et le bien-être humain montrent des effets positifs de l'environnement, souvent en interaction avec des facteurs socio-économiques. Ces effets sur le bien-être ont sur-

tout été étudiés au travers de ceux générés par les écosystèmes urbains. Les quelques travaux ayant explicitement abordé les services écosystémiques et le bien-être montrent que ces services dépendent de la présence de certains éléments de la biodiversité, comme la vue sur un beau paysage ou la présence d'un jardin dans une ville. Les urbains qui sont en contact avec des éléments de la nature, comme les parcs et les jardins urbains, sont significativement en meilleure santé physique et psychologique que ceux ne bénéficiant pas de ces contacts.

### One Health

En 2004, la World Conservation Society (WCS), une des grandes organisations non gouvernementales internationales œuvrant en faveur de la biodiversité, promeut l'initiative « Un Monde, une Santé » (*One World One Health*), et les Douze principes de Manhattan<sup>(1)</sup>. Plus particulièrement, le cinquième principe recommande le développement d'approches proactives et intégratives pour comprendre et prévenir le développement des maladies infectieuses émergentes et ré-émergentes, et ce en prenant mieux en compte toutes les interconnexions complexes qui existent entre les espèces au sein des différents écosystèmes [2, 15].

L'approche « Une Santé » (*One Health*) est officiellement lancée au Vietnam en 2008, en tant qu'accord de principe visant à une meilleure collaboration tripartite entre l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'OMS, afin d'améliorer la surveillance des maladies zoonotiques qui se situent à l'interface de la santé humaine, de la santé animale et de la santé environnementale. Un système mondial d'alerte précoce pour détecter les principales maladies animales et zoonotiques afin de lutter contre les risques sanitaires à l'interface homme-animal-écosystème est créé en 2013 dans GLEWS+. Outil de collaboration intersectoriel et multidisciplinaire, GLEWS+ a pour but de lier entre eux les domaines de la santé publique et celle animale, et plus particulièrement de la faune sauvage [16]. Les « principes de Berlin sur une seule santé » sont publiés en 2019 lors de la conférence One Planet, One Health, One Future, en tant que « mise à jour » des Principes de Manhattan [16].

L'approche écosystémique de la santé peut être mise en place en tant qu'outil mis au service d'une santé partagée entre les humains, les animaux et leur environnement.

### À retenir

- La conservation biologique et la santé se rejoignent à la fin des années 1960.
- L'approche écosystémique et les services écosystémiques intègrent les dynamiques environnementales et la santé.
- De nouvelles approches émergent comme Écosanté et « Une Santé » (*One Health*).

(1) [http://www.wcs-ahead.org/manhattan\\_principles.html](http://www.wcs-ahead.org/manhattan_principles.html)

## Les différentes approches de la santé [2, 19]

### Santé environnementale

La santé environnementale a été définie par l'Organisation mondiale de la santé comme les aspects de la santé humaine et des maladies qui sont déterminés par des facteurs environnementaux. La santé environnementale se réfère également à l'évaluation et aux contrôles des facteurs environnementaux qui peuvent potentiellement affecter la santé. La santé environnementale s'intéresse aux effets pathologiques directs des produits chimiques, des rayonnements et de certains agents biologiques présents dans les logements, l'environnement urbain, agricole ou naturel, ainsi qu'à leurs effets indirects sur le bien-être. Elle prend en compte l'environnement social et culturel, ainsi que les composantes génétiques.

### Santé écologique (*Ecological Health*)

La santé écologique est utilisée en santé humaine et pour décrire l'état de l'environnement. En santé humaine, elle apparaît très proche de la santé environnementale en s'intéressant aux expositions des hommes à des produits chimiques synthétiques, comme les pesticides ou les résidus des emballages alimentaires, libérés dans l'environnement. La santé écologique vise plus à traiter les causes qu'à porter une attention aux impacts des facteurs environnementaux sur la santé. L'urbanisme s'est approprié la santé écologique dans le cadre des villes vertes, et l'agriculture dans le cadre des productions organiques.

### Santé des écosystèmes (*Ecosystem Health*)

La santé des écosystèmes est une métaphore utilisée pour décrire l'état d'un écosystème, celle-ci trouve son origine dans les travaux d'Aldo Leopold qui a parlé de santé de la terre, laquelle est malade de la violence des pratiques, et qui a présenté la préservation comme une médecine de la terre. La métaphore médicale est revendiquée comme un outil de communication qui s'accompagne d'indicateurs d'évaluation d'objectifs environnementaux souhaitables : conservation des espèces, maintien des processus évolutifs et écologiques, ou bien encore fonctionnement des écosystèmes.

### Santé mondiale (*Global Health*)

Prônée par l'OMS, la santé mondiale témoigne de la prise de conscience des interrelations de la mondialisation et de la santé humaine, mettant l'accent sur les dimensions sociales de la santé. La santé mondiale vise à diminuer les injustices sanitaires ou économiques de manière à améliorer la santé individuelle ou celle des populations face aux risques globaux, comme ceux occasionnés par le dérèglement climatique.

### Santé planétaire (*Planetary Health*)

La santé planétaire a été promue par le *Lancet* et la Fondation Rockefeller. Elle part de la notion d'Anthropocène et des limites planétaires, dont le franchissement pourrait faire basculer le fonctionnement planétaire dans sa globalité. La santé planétaire propose une approche intégrative liant santé humaine et fonctionnement global planétaire. Cette approche nouvelle se traduit par encore peu de préconisations concrètes et abouties.

### Une Santé (*One Health*)

Une Santé est une initiative importante qui rassemble des agences onusiennes dotées d'une certaine capacité d'intervention. Malgré les principes sous l'égide desquels s'exerce son action, Une Santé ne parvient pas à véritablement intégrer les trois dimensions – médicale, vétérinaire et écologique – de son champ d'intervention. La « tripartite » OMS-FAO-OIE est restée un principe de collaboration entre agences spécialisées. La collaboration nouvelle entre la tripartite OMS-FAO-OIE et le PNUE offre de nouvelles opportunités pour intégrer l'environnement et la pensée écosystémique dans une approche « Une Santé » plus intégrée.

## Conclusion

Depuis 2008, l'approche « One Health », portée par l'accord tripartite OMS (Organisation mondiale de la santé), OIE (Organisation mondiale de la santé animale) et FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), tente de répondre aux défis et enjeux qui sont communs à la santé animale et à la santé humaine. Force est de constater qu'il manquait à cette approche un pilier essentiel, celui prenant en charge la dimension environnementale. En juin 2021, le Programme des Nations

Unies pour l'environnement (PNUE), principale autorité mondiale en matière d'environnement, s'est associé à la tripartite OMS-OIE-FAO afin de lancer conjointement un groupe d'experts de haut niveau sur le « One Health » (OHHLEP) [17]. Ce groupe d'experts est chargé de fournir une évaluation scientifique pertinente afin d'améliorer les politiques de prévention des épidémies de maladies zoonotiques résultant des interactions entre les humains, les animaux sauvages et domestiques, et les écosystèmes. Le dialogue science-politique en santé, environnement et écosystèmes ne pourra en être que renforcé.

Une nouvelle initiative internationale pour la prévention de l'émergence des zoonoses, PREZODE, a été officiellement lancée lors du One Planet Summit for Biodiversity, organisé le 11 janvier 2021. Le programme PREZODE (<https://prezode.org/>) vise à fédérer des équipes de recherche internationales pour prévenir le risque d'émergence de zoonoses se situant à l'interface de l'environnement, de la faune et de l'élevage. PREZODE peut devenir un modèle en matière de recherche-développement avec pour objectif de prévenir les risques sanitaires liés à l'émergence d'agents infectieux issus d'animaux.

Pour conclure, il est crucial, dans le but de prévenir l'émergence et la propagation des maladies zoonotiques, de développer une réflexion systémique, d'être mieux informé, plus adaptable et plus flexible. En favorisant les interconnexions entre les organisations, les institutions et les disciplines, les approches nouvelles, que ce soit « Une Seule Santé », « Écosanté » ou « Santé Planétaire » (voir l'Encadré de la page précédente), offrent l'opportunité d'envisager une nouvelle manière de conduire les recherches portant sur une santé se situant à l'interface entre celle des humains et celle des écosystèmes [18].

## Sources bibliographiques

- [1] OMS (Organisation mondiale de la santé), "Public health and environment", <https://www.who.int/data/gho/data/themes/public-health-and-environment>
- [2] MORAND Serge & LAJAUNIE Claire (2017), *Biodiversity and Health. Linking Life, Ecosystems and Societies*, London, Elsevier.
- [3] MORAND Serge (2020), "Emerging diseases, livestock expansion and biodiversity loss are positively related at global scale", *Biological Conservation* 248: 108707.
- [4] MORAND Serge & LAJAUNIE Claire (2021), "Outbreaks of vector-borne and zoonotic diseases are associated with changes in forest cover and oil palm expansion at global scale", *Frontiers Veterinary Parasitology* 24: 661063.
- [5] HIPPOCRATE (1787), *Des airs, des eaux, des lieux*, traduit du grec par M. Magnan, Paris.
- [6] BERRIDGE Virginia & GORSKY Martin (2012), *Environment, Health and History*, New York, Palgrave Macmillan.
- [7] NASH Linda (2006), *Inescapable Ecologies. A History of Environment, Diseases, and Knowledge*, Berkeley, University of California Press.
- [8] SCHOTT Dieter (2012), "The Handbuch der Hygiene: A Manual of Proto-Environmental Science in Germany of 1900?", in BERRIDGE Virginia & GORSKY Martin, *Environment, Health and History*, New York, Palgrave Macmillan, pp. 69-93.
- [9] WORTHINGTON Edgar Barton (1938), *Science in Africa. A review of scientific research relating to tropical and southern Africa*, London, Oxford University Press, <https://archive.org/details/scienceinAfrica00wort>
- [10] TILLEY Helen (2011), *Africa as a Living Laboratory Empire, Development, and the Problem of Scientific Knowledge, 1870-1950*, Chicago, The University of Chicago Press.
- [11] LAINÉ Nicolas & MORAND Serge (2020), "Linking humans, their animals, and the environment again: A decolonized and more-than-human approach to 'One Health'", *Parasite* 27: 55.
- [12] UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture) (1970), « Utilisation et conservation de la biosphère », *Actes de la Conférence intergouvernementale d'experts sur les bases scientifiques de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources de la biosphère*, Paris, Unesco, 4-13 septembre 1968.
- [13] MA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005), *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis*, Washington DC, Island Press.
- [14] CHARRON Dominique F. (2012), *Ecohealth Research in Practice. Insight and Innovation in International Development*, New York, Springer.
- [15] LAJAUNIE Claire & MORAND Serge (2021), "Biodiversity targets, SDGs and health: A new turn after the coronavirus pandemic?", *Sustainability* 13, 4353.
- [16] MORAND Serge & LAJAUNIE Claire (2021), *Biodiversity and Covid-19: a report and a long road ahead to avoid a next pandemic*, One Earth (in press).
- [17] ONE HEALTH High Level Expert Panel, [https://www.who.int/news/item/11-06-2021-26-international-experts-to-kickstart-the-joint-fao-oie-unep-who-one-health-high-level-expert-panel-\(ohhlep\)](https://www.who.int/news/item/11-06-2021-26-international-experts-to-kickstart-the-joint-fao-oie-unep-who-one-health-high-level-expert-panel-(ohhlep))
- [18] DESTOUMIEUX-GARZÓN Delphine *et al.* (2018), "The One Health concept: 10 years old and a long road ahead", *Frontiers in Veterinary Sciences* 5, 14.
- [19] MORAND Serge, GUÉGAN Jean-François & LAURANS Yann (2020), *From One Health to Ecohealth, mapping the incomplete integration of human, animal and environmental health*, Iddri, Issue Brief N°04/20.

# Effets bénéfiques de l'environnement sur la santé en site urbain

Par Denis ZMIROU-NAVIER

Professeur de santé publique honoraire, Université de Lorraine, Nancy, et ex-directeur du département Santé-Environnement-Travail de l'École des hautes études en santé publique, Rennes  
Président de la Commission nationale de la déontologie et des alertes en matière de santé publique et d'environnement (cnDAspe)

L'environnement est un important déterminant de la santé. Cet article expose comment un habitat de qualité, des espaces verts ou des espaces bleus en ville peuvent être favorables à la santé et au bien-être physique, mental et social des habitants. Il souligne en conclusion que des politiques urbaines visant à renforcer ces impacts bénéfiques doivent être attentives à la répartition spatiale équilibrée de ces aménités environnementales.

Les relations entre la qualité de l'environnement et la santé des personnes qui occupent les milieux où y travaillent sont le plus souvent analysées sous l'angle des menaces générées par la pollution des sols, des eaux ou de l'air ou par la présence d'agents microbiologiques pathogènes. Mais l'environnement peut aussi être considéré pour ses vertus « salutogènes », c'est-à-dire favorables à la santé de ses occupants ou de ses usagers. C'est ce point de vue que nous adopterons dans cet article en nous limitant volontairement à quelques aspects d'un environnement protecteur ou réparateur : l'habitat, les espaces verts, les « espaces bleus » et, enfin, la perception d'une certaine égalité dans l'accès à ces aménités environnementales. Cette présentation positive de l'environnement ne néglige pas le fait que l'envers et l'avant des interactions entre l'environnement et la santé des populations coexistent le plus souvent.

## L'habitat, un déterminant majeur de la santé et du bien-être des occupants

L'habitat, avec l'accès à la nourriture, répond à un besoin primaire de toutes les espèces vivantes, homo sapiens compris. Il protège contre les caprices de la météorologie (chaud, froid, vent, pluie) ; il protège le groupe et ses biens contre les bêtes et les voleurs ; il autorise, grâce à ces fonctions protectrices, un repos ressourçant et facilite les relations sociales, abrite la famille et accueille les amis. Au-delà de ces fonctions essentielles et immémoriales, l'habitat doit répondre aujourd'hui, lors de sa conception et pour son entretien, à des normes et à des réglementations qui visent à faire reculer la part, encore trop grande, des logements « indignes » et des locaux « impropres à l'occupation » (Code de la santé publique, Code de la construction et de l'habitation). L'habitat ne se limite pas au bâti. L'Observatoire régional de santé Île-de-France décrit l'ha-

bitat comme l'association d'une enveloppe matérielle – le logement – avec le milieu environnant, dans sa dimension physique mais également sociale et humaine (ORS Île-de-France, 2017). Ainsi, l'environnement socio-économique, les interactions sociales ou encore l'accessibilité aux services influencent aussi la qualité de l'habitat.

Un grand nombre de facteurs conditionnent la capacité d'un habitat à jouer ce rôle favorable à la santé et au bien-être (OMS, 2019 ; HCSP, 2019). Ceux jugés comme jouant un rôle majeur dans le contexte de la France métropolitaine ou ultra-marine, ont été récemment intégrés dans une grille multicritères permettant aux différents acteurs du logement et de l'urbanisme de caractériser un habitat ou un parc immobilier pour son potentiel favorable (ou défavorable) à la santé. La grille Domiscore (HCSP, 2020) a retenu quarante-six critères regroupés en seize grandes familles (éléments de protection physique, ressources en eau pour l'hygiène et l'alimentation, élimination des eaux usées et des déchets, qualité thermique du bâtiment, aération et ventilation, bruit intérieur et extérieur, éclairage du logement et de ses accès, paysage proche, commerces et services de proximité, offre pour la mobilité, etc.), chacun pouvant être coté sur la base de données d'observation et, parfois, d'échanges avec les occupants. Cette évaluation de la qualité de l'habitat appelle donc à la prise en compte globale du logement et de l'aménagement urbain de voisinage.

## Les espaces verts : de multiples fonctions contribuant au bien-être

Selon Markevych *et al.* (2017), les espaces verts remplissent trois grandes fonctions du point de vue de la santé : ils participent à la réduction des dommages d'un environnement agressif (pollution de l'air, bruit, îlots de chaleur) ; ils renforcent les aptitudes par le ressourcement (relaxation, atténuation du stress) ; et ils aident à construire

des capacités (espaces propices à l'activité physique et aux interactions sociales). Des rapports récents de l'OMS ont synthétisé les nombreux travaux attestant de ces conséquences positives qu'engendre un environnement verdoyant (espaces arborés, parcs et jardins) (OMS-Europe, 2016) et décrivent un ensemble d'expériences locales et de politiques urbaines ayant permis d'améliorer l'offre d'espaces verts de qualité (OMS-Europe, 2017). Ce dernier rapport souligne le fait que les politiques les plus efficaces en termes de santé et de bien-être sont celles qui combinent des améliorations physiques des espaces verts à l'implication des habitants, notamment de groupes ciblés (personnes âgées, femmes, catégories sociales défavorisées...).

S'agissant du rôle des espaces verts dans la réduction des dommages environnementaux, la végétation peut réduire la teneur de certains polluants atmosphériques, par absorption de polluants gazeux (composés organiques volatils, oxydes d'azote, ozone...) et piégeage des particules en suspension dans l'air ; ces impacts favorables varient selon les espèces d'arbre et le polluant (Sæbø *et al.*, 2012). Les effets ne sont pas toujours positifs ; cependant, la « canopée », dans une rue canyon, avec un fort trafic automobile, peut, au contraire, empêcher la dispersion des polluants et contribuer à des concentrations élevées (Pascal *et al.*, 2019).

La végétalisation des villes, et singulièrement de ses espaces les plus denses, est maintenant reconnue comme une composante importante de la lutte contre les îlots de chaleur urbains, et constitue une dimension majeure de l'adaptation au changement climatique (Gago *et al.*, 2013). Les deux principaux mécanismes en jeu sont, d'une part, l'ombre projetée par les feuilles et les branches des arbres, qui réduit le rayonnement solaire parvenant au sol et sur les murs des bâtiments, et, d'autre part, l'évapotranspiration, qui accroît l'humidité de l'air. La fraîcheur ainsi créée peut s'étendre sur plusieurs centaines de mètres à distance des lieux arborés ; comme pour la pollution atmosphérique, cet effet dépend du type de végétation, du climat et de la forme urbaine de la ville (Pascal *et al.*, 2019).

S'ils peuvent contribuer à certaines atténuations sonores du trafic routier lorsque les épaisseurs arborées sont assez grandes, les arbres dans les centres urbains ont en revanche un impact faible sur la diminution du bruit routier (Defrance *et al.*, 2018). Toutefois, un phénomène souvent perçu positivement, et donc participant au bien-être des habitants, est la réduction de la réverbération sonore dans des espaces urbains très minéraux, qui résulte d'une atténuation de la diffusion des ondes sonores due aux branches et aux feuilles. Un autre aspect positif est la contribution des arbres et des buissons à la beauté du paysage urbain, une qualité apaisante.

Les effets de ressourcement et la facilitation d'activités physiques sont les plus étudiés des aspects positifs pour la santé des espaces verts en ville et des espaces naturels (Bolon *et al.*, 2018). Dans les régions du monde où les espaces naturels ont été profondément marqués par le travail de l'homme, la nature est perçue comme un environnement non menaçant et est, par conséquent, ressentie

comme relaxante. De nombreux travaux ont montré que les personnes vivant dans des zones urbaines avec plus d'espaces verts ont un niveau réduit de stress et expriment un plus grand sentiment de bien-être que celles bénéficiant de moins de verdure ; cela se manifeste aussi par moins de symptômes de dépression, d'anxiété, de stress (Meyer-Schulz et Bürger-Arndt, 2019). Plus loin de la ville, la forêt se présente comme un espace soignant (Quin Li, 2018).

Le caractère bénéfique des espaces verts tient aussi à l'opportunité qu'ils offrent en matière de pratique d'exercices physiques, et certaines études signalent un lien entre le moindre risque de diabète et d'obésité et la proximité d'espaces verts en ville (Gascon *et al.*, 2016). Mais la question reste débattue tant interviennent également des déterminants socioculturels. La qualité des espaces verts accessibles dans le voisinage est également un facteur à considérer (la taille du parc ou du jardin, le caractère plaisant du paysage, le sentiment de sécurité que sa fréquentation inspire, singulièrement pour les femmes, les personnes âgées et les enfants).

Car les espaces verts sont également des lieux où s'entre-tiennent ou se nouent des relations sociales (famille, amis, voisins...), ce qui peut favoriser le sentiment d'intégration à son quartier, à sa commune... et encourager la participation à diverses activités sociales ; tous des facteurs connus pour être favorables à l'équilibre psychique et au bien-être (Yang *et al.*, 2016).

## Les milieux aquatiques, des espaces favorables à la santé

Selon des hypothèses faites sur les mécanismes mis en jeu, lesquelles sont semblables à celles avancées pour expliquer les effets positifs des espaces verts, la proximité d'« espaces bleus » (mer, lacs, rivières, quais aménagés de fleuves...) est également associée, dans plusieurs études, à des impacts sanitaires positifs (Gascon *et al.*, 2017). Distinguer les deux types d'espaces n'est cependant pas toujours aisé, car les espaces verts ont besoin de ressources en eau. On retrouve parmi ces facteurs favorables, les opportunités qu'offrent les milieux aquatiques pour pratiquer une activité physique (promenades sur les berges, pratique des sports nautiques...), le ressourcement et ses effets favorables sur le stress, l'anxiété, la dépression et autres affections mentales, la facilitation des interactions sociales, et le rôle de ces milieux dans l'atténuation des sources de nuisances environnementales (températures plus tempérées qu'en l'absence de masses d'eau, niveaux amoindris de pollution atmosphérique – exception faite des zones portuaires à fort trafic –, les mouvements de l'eau, mêmes très sonores, n'étant généralement pas considérés comme une source de bruit, mais apportant au contraire une note positive) (Georgiou *et al.*, 2021 ; White *et al.*, 2020).

## Un accès équitable aux aménités environnementales

Selon Morris et Saunders (2017), le bien-être peut être défini comme une mesure de ce qui compte pour les gens dans les différents registres de leur vie. Un état physique

## La Commission nationale de la déontologie et des alertes en matière de santé publique et d'environnement (cnDAspe)

Dans un contexte de défiance croissante vis-à-vis de l'expertise, particulièrement sur des questions touchant à l'articulation entre innovations technologiques, aspirations citoyennes et politiques publiques, les établissements publics scientifiques et techniques producteurs de connaissances et d'expertises doivent démontrer non seulement l'excellence scientifique de leurs travaux, mais aussi leur impartialité dans leur rôle visant à éclairer les décideurs publics et les citoyens. Ces attentes sont particulièrement exigeantes dans les domaines de la santé et de la qualité des milieux de vie.

La loi du 16 avril 2013 relative à l'indépendance de l'expertise et à la protection des lanceurs d'alerte en matière de santé publique et d'environnement a créé la Commission nationale de la déontologie et des alertes en matière de santé publique et d'environnement (cnDAspe), lui confiant deux missions principales :

- généraliser au sein des organismes publics d'expertise scientifique et technique intervenant dans les domaines précités une pratique déontologique de l'expertise, c'est-à-dire pluraliste, transparente et ne laissant pas la place aux conflits d'intérêts ;
- assurer l'instruction et le suivi des alertes qui lui sont adressées par la société civile pour dénoncer des violations de la réglementation de nature à menacer l'environnement, la biodiversité et la santé publique.

La Commission communique aux autorités compétentes les signalements évocateurs de véritables alertes qui remplissent ainsi une fonction de « vigilance citoyenne » faisant connaître à ces autorités, au plus profond du territoire, des actes ou des situations portant atteinte à l'intérêt général. Les signalements reçus figurent sur le site Internet de la cnDAspe, tout en protégeant l'identité de leurs auteurs.

La cnDAspe est composée de vingt-deux membres nommés pour exercer un mandat de quatre ans irrévocable, renouvelable une fois. Elle répond à des exigences de diversité, d'impartialité, d'indépendance, de parité, ses membres étant tenus à un devoir de confidentialité. La mission est bénévole.

La Commission publie annuellement son rapport d'activité qui est adressé au gouvernement, aux assemblées parlementaires ainsi qu'au Conseil économique, social et environnemental (<https://www.alerte-sante-environnement-deontologie.fr/>).

satisfaisant en est un élément important, mais une bonne santé mentale et l'intégration sociale sont aussi des composantes essentielles. Le bien-être est associé au sentiment de pouvoir saisir les opportunités (par exemple, pour l'emploi, l'éducation, les relations amicales ou l'implication civique), et aussi, au fait de vivre dans des lieux qui offrent un environnement sûr et agréable (espaces verts ou bleus de qualité, espaces publics bien entretenus, proximité d'espaces naturels – forêt, montagne...). Le bien-être a aussi à voir avec le sentiment d'équité. La frustration née du sentiment d'être relégué dans un environnement dégradé (un habitat de mauvaise qualité situé dans un milieu pollué et bruyant, où rare est la végétation, ou dans des lieux éloignés des aménités de « la ville ») conduit au mal-être et à une santé altérée (Zmirou-Navier, 2021). Les politiques urbaines soucieuses d'équité et de mixité (à travers l'occupation partagée de l'espace par des groupes démographiques et sociaux variés, et par la diversité délibérée des fonctions offertes au même endroit – logement, travail, commerce, activités culturelles...) sont déjà et doivent être encore plus attentives à la répartition spatiale équilibrée de ces déterminants environnementaux favorables à la santé.

## Bibliographie

- HOST S. & GRANGE D. (2017), « Interventions sur le logement et impacts sanitaires – Évaluation des actions, état des connaissances », Observatoire régional de santé (ORS) Île-de-France.
- OMS (2018), "Recommendations to promote healthy housing for a sustainable and equitable future", World Health Organization (WHO), Housing and health guidelines.
- HCSF (2019), « Facteurs contribuant à un habitat favorable à la santé. État des lieux des connaissances et recommandations pour asseoir des politiques publiques pour un habitat sain », hcsp.fr
- HCSF (2020), « Le Domiscore, caractérisation d'un habitat selon son impact sur la santé », hcsp.fr
- MARKEVYCH I., SCHOIERER J., HARTIG T. *et al.* (2017), "Exploring pathways linking greenspace to health: theoretical and methodological guidance", *Environmental Research* 158, pp. 301-317.
- OMS-Europe (2016), "Urban green spaces and health A review of evidence", WHO Regional Office for Europe.
- OMS-Europe (2017), "Urban green space interventions and health: A review of impacts and effectiveness", WHO Regional Office for Europe.
- GAGO E. J., ROLDAN J., PACHECO-TORRES R. & ORDÓÑEZ J. (2013), "The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25, pp. 749-758.
- PASCAL M., LAIDI K. & BEAUDEAU P. (2019), « Intérêt des espaces verts et ombragés dans la prévention des impacts sanitaires de la chaleur et de la pollution de l'air en zones urbaines », *Santé Publique* 2019/HS1 (S1), pp. 197-205.
- SÆBØ A., POPEK R., NAWROT B., HANSLIN H. M., GAWRONSKA H. & GAWRONSKI S. W. (2012), "Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces", *Science of the Total Environment* 427-428, pp. 347-354.
- DEFrance J., JEAN P. & BARRIÈRE N. (2018), « Les arbres et les forêts peuvent-ils contribuer à l'amélioration de l'environnement sonore ? », *Revue forestière française* 70, 2-3-4, pp. 341-352.

BOLON I., CANTOREGGI N., SIMOS J. & RUIZ DE CASTANEDA R. L. (2018), « Espaces verts et forêts en ville : bénéfiques et risques pour la santé humaine selon l'approche "Une seule santé" (One Health), *Santé Publique* 2019/HS1 (S1), pp. 173-186, et *Revue forestière française*, n°2-3-4, pp. 321-339.

MEYER-SCHULZ K. & BÜRGER-ARNDT R. (2019), « Les effets de la forêt sur la santé physique et mentale. Une revue de la littérature scientifique », *Santé Publique* 2019/HS1 (S1), pp. 115-134.

QING LI (2018), *Shinrin Yoku. L'art et la science du bain de forêt – Comment la forêt nous soigne*, First Editions.

GASCON M., TRIGUERO-MAS M., DAVID MARTÍNEZ D. *et al.* (2016), "Residential green spaces and mortality: a systematic review", *Environment international* 86, pp. 60-67.

YANG Y. C., BOEN C., GERKEN K. *et al.* (2016), "Social relationships and physiological determinants of longevity across the human life span", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113, pp. 578-583.

GASCON M., ZIJLEMA W., VERT C., WHITE M. P. & NIEUWENHUIJSEN M. J. (2017), "Outdoor blue spaces, human

health and well-being: A systematic review of quantitative studies", *Int. J. Hygiene Environ. Health* 220(8), pp. 1207-1221.

GEORGIU M., MORISON G., SMITH N., TIEGES Z. & CHASTIN S. (2021), "Mechanisms of Impact of Blue Spaces on Human Health: A Systematic Literature Review and Meta-Analysis", *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18, 2486.

WHITE M. P., ELLIOTT L. R., GASCON M., ROBERTS B. & FLEMING L. E. (2020), "Blue space, health and well-being: A narrative overview and synthesis of potential benefits", *Environmental Research*, vol. 191, 110169.

MORRIS G. & SAUNDERS P. (2017), "The Environment in Health and Well-Being. Oxford research encyclopedias", *Environmental science*, Oxford University Press.

ZMIROU-NAVIER D. (2021), "Health and the environment: understanding the linkages and synergies", in LAURENT E. (Ed.), *The Well-being Transition. Analysis and Policy*, Palgrave Macmillan.

# Des risques avérés aux risques suspectés : particules atmosphériques et nanoparticules manufacturées

Par Francelyne MARANO

Professeur émérite Université de Paris, Haut Conseil de la santé publique

La place de la recherche en environnement-santé est essentielle, car elle doit permettre de comprendre des relations particulièrement complexes entre les expositions multiples, à faibles doses, et donc difficiles à caractériser, et des pathologies survenant souvent à distance des expositions. Elle est nécessairement pluridisciplinaire, ce qui implique des efforts de dialogue entre les communautés : physico-chimistes, métrologistes, épidémiologistes, toxicologues, cliniciens ou encore spécialistes des sciences humaines. L'analyse de l'évolution au cours du XX<sup>e</sup> siècle des connaissances sur les effets sanitaires des particules, d'abord dans les mines, puis dans l'atmosphère au cours des multiples épisodes de pollution et, enfin, de leurs effets chroniques, met en évidence le fait que c'est la conjonction de toutes ces données qui a conduit les pouvoirs publics nationaux et internationaux à réglementer et à agir. Elles ont permis une accélération des recherches portant sur les effets sanitaires des nanoparticules manufacturées au début du XXI<sup>e</sup> siècle. Mais elles marquent aujourd'hui le pas, étant confrontées à la complexité des nanomatériaux et à la difficulté de réalisation des études épidémiologiques. Les autorités sanitaires sont dès lors confrontées à un problème difficile : comment gérer le risque en condition d'incertitude scientifique ?

## Introduction

C'est à travers les différents épisodes aigus de pollution atmosphérique d'origine anthropique de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, en particulier l'épisode dramatique du « smog » photochimique de Londres en décembre 1952 avec ses 12 000 morts et ses 150 000 hospitalisations pour troubles respiratoires, que la prise de conscience de l'impact sanitaire des polluants atmosphériques, dont les « fumées noires », a émergé (Bell *et al.*, 2004). Ces dernières étaient constituées de particules provenant essentiellement de la combustion du charbon pour le chauffage et des échappements des véhicules, une agrégation de particules fines (< 1 µm) et ultrafines (≤ 0,1 µm). Associées aux gaz polluants, le dioxyde de soufre et le dioxyde d'azote émis par les transports et les usines, elles formaient un mélange délétère pour les populations les plus fragiles : enfants, personnes âgées ou atteintes de maladies respiratoires et cardiovasculaires. À la suite de cet épisode, l'analyse conjointe des observations des cliniciens et des mesures encore embryonnaires des polluants, tels que le SO<sub>2</sub> et les fumées noires, a été une des

premières alertes sur l'impact sanitaire de la pollution de l'air. Depuis, de nombreuses autres études épidémiologiques ont suivi, menées en parallèle des recherches portant sur les mécanismes d'action biologique, et ont conduit plus de cinquante ans après à considérer la pollution de l'air, surtout particulaire, comme un risque avéré nécessitant de développer des mesures de prévention nationales et internationales.

Cependant, à l'orée du XXI<sup>e</sup> siècle, l'accumulation des connaissances sur les particules fines et ultrafines atmosphériques a eu une autre conséquence plus inattendue. Elle a été à l'origine du questionnement sur la toxicité des nanoparticules, dont l'usage se développait à grande vitesse avec l'essor des nanotechnologies, et cela avant même de disposer d'une quelconque donnée épidémiologique ou expérimentale. La communauté scientifique des toxicologues de l'environnement a été la première à se mobiliser, considérant qu'une nouvelle technologie, aussi prometteuse soit elle, ne pouvait plus se développer sans une rigoureuse évaluation de son impact sur l'homme et sur l'environnement. Cette alerte a été lancée il y a près

de vingt ans par des toxicologues du domaine des aérosols pouvant être émis en milieu professionnel (Donaldson *et al.*, 2004 ; Oberdorster *et al.*, 2005). Depuis, si plus de 10 000 publications ont concerné la nanotoxicologie, seulement vingt-sept études épidémiologiques ont été publiées. On peut regretter en outre le manque d'études longitudinales présentant une bonne caractérisation des expositions pour mettre en évidence des effets sanitaires potentiels (Schulte *et al.*, 2019). Il est donc toujours difficile d'évaluer le risque d'une exposition aux nanomatériaux pour l'homme et pour l'environnement ; *a fortiori*, de nombreuses incertitudes subsistent tant au regard de leur métrologie que de leurs effets biologiques. On reste ici dans le domaine des « risques suspectés » pour lesquels des connaissances sont encore nécessaires, mais où le principe de précaution doit pouvoir s'appliquer selon la situation.

## Des mines de charbon aux particules atmosphériques fines : des risques sanitaires avérés

Les médecins du travail avaient constaté, dès le début du XX<sup>e</sup> siècle, la relation existant entre l'exposition des mineurs aux poussières de charbon et le développement chez eux de pathologies respiratoires. Mais c'est seulement à la fin de ce même siècle que des chercheurs ont démontré que ce sont à la fois les particules de carbone et celles de silice (quartz) qui provoquent des réponses biologiques conduisant au développement d'une pneumoconiose (Donaldson et Borm, 2007). Il a fallu donc près de cent ans pour comprendre les mécanismes biologiques, cellulaires et moléculaires, une compréhension qui a permis d'établir clairement la relation causale entre l'exposition aux poussières de charbon et ses effets sanitaires avérés. Cet exemple illustre bien les difficultés à surmonter et le temps souvent long nécessaire pour arriver à démontrer qu'une exposition environnementale est clairement associée à une pathologie.

Ce sont les recherches sur les expositions aux particules en milieu professionnel qui ont servi de base au développement des études d'abord sur les particules atmosphériques, puis sur les nanoparticules manufacturées. Un concept très important a émergé dans les années 1980, celui de la surcharge pulmonaire (*overload*), c'est-à-dire le fait que des poussières peu toxiques mais inhalées pendant de longues périodes et en quantité plus ou moins importante, pouvaient être, selon les individus, à l'origine de pathologies pulmonaires chroniques par accumulation et persistance de ces poussières dans les tissus. Des mécanismes moléculaires affectent alors le poumon quand les processus d'élimination (clairance) sont dépassés ou ne sont pas suffisamment efficaces. L'accumulation de particules ne conduit pas immédiatement à une pathologie, la question de leur bio-persistance est alors centrale. Elles sont à l'origine d'une réponse biologique qui peut devenir chronique, la réponse inflammatoire. C'est elle qui est responsable sur le long terme de l'apparition d'une fibrose pulmonaire caractéristique de la silicose, ou de l'asbestose, quand ce sont des fibres d'amiante qui se sont accumulées. Enfin, elle peut être associée au développement d'un cancer (Donaldson et Borm, 2007).

Cependant, même si l'expérience acquise en matière d'exposition professionnelle aux poussières industrielles a été très utile pour le développement des recherches sur les particules atmosphériques et sur leurs effets sanitaires, elle ne peut être transposée directement en environnement général. En effet, l'évaluation des risques y est beaucoup plus complexe, car ils sont plus diffus, plus difficiles à caractériser et concernent des populations plus hétérogènes. Il s'agit de risques individuels faibles mais subis et qui touchent la totalité de la population, avec des impacts sanitaires finalement importants. Les épisodes de pollution atmosphérique aiguë de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle avaient déjà bien alerté sur les risques sanitaires associés aux particules, il a fallu pourtant plusieurs décades pour que les études épidémiologiques soient considérées comme suffisamment convaincantes pour entraîner l'élaboration de réglementations spécifiques. La première étude aux résultats non contestés car portant sur un très large périmètre – six grandes villes américaines alors largement polluées – est celle de Dockery *et al.* (1993). Elle a montré qu'une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de la pollution annuelle particulaire était responsable d'une augmentation de 1,4 % de la mortalité. Elle a été suivie de nombreuses autres études réalisées aux États-Unis et en Europe, lesquelles ont permis de démontrer l'impact de la pollution atmosphérique, et tout particulièrement des particules atmosphériques fines (PM2.5)<sup>(1)</sup>, sur la mortalité et la morbidité respiratoire, mais surtout cardiovasculaire (Pope *et al.*, 2004 ; Pelluci *et al.*, 2009). Certaines d'entre elles ont conduit le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) à classer les particules diesel ainsi que la pollution atmosphérique comme « cancérigènes certains »<sup>(2)</sup>. La dernière grande étude européenne, APHEKOM, a été coordonnée par l'Institut de veille sanitaire (aujourd'hui dénommé Santé publique France, SpF). L'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans vingt-cinq grandes villes européennes montre que l'espérance de vie pourrait augmenter jusqu'à 22 mois pour les personnes âgées de 30 ans et plus (en fonction de la ville et du niveau moyen de pollution), si les niveaux moyens annuels de PM2,5 étaient ramenés au seuil de 10 microgrammes par mètre-cube, la valeur guide préconisée par l'OMS (Pascal *et al.*, 2013) (voir la Figure 1 de la page suivante). Du point de vue économique, le respect de cette valeur guide se traduirait par un gain d'environ 31,5 milliards d'euros correspondant à la diminution des dépenses de santé, du coût de l'absentéisme, et des coûts associés à la perte de bien-être, de qualité et d'espérance de vie (Chanel *et al.*, 2016). L'étude la plus récente de SpF (publiée en 2021) évalue à 40 000 morts anticipées par an les conséquences sanitaires de la pollution par les PM2.5, un impact lié principalement à la pollution de fond plus qu'aux pics de pollution<sup>(3)</sup>.

(1) PM2,5 : particules atmosphériques dont le diamètre aérodynamique est égal ou inférieur à 2,5 micromètres. Elles comprennent la fraction ultrafine (PM1, PM0,1). Elles sont actuellement mesurées par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air.

(2) <https://www.who.int/about/iarc/fr>

(3) <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/articles/pollution-atmospherique-quels-sont-les-risques>

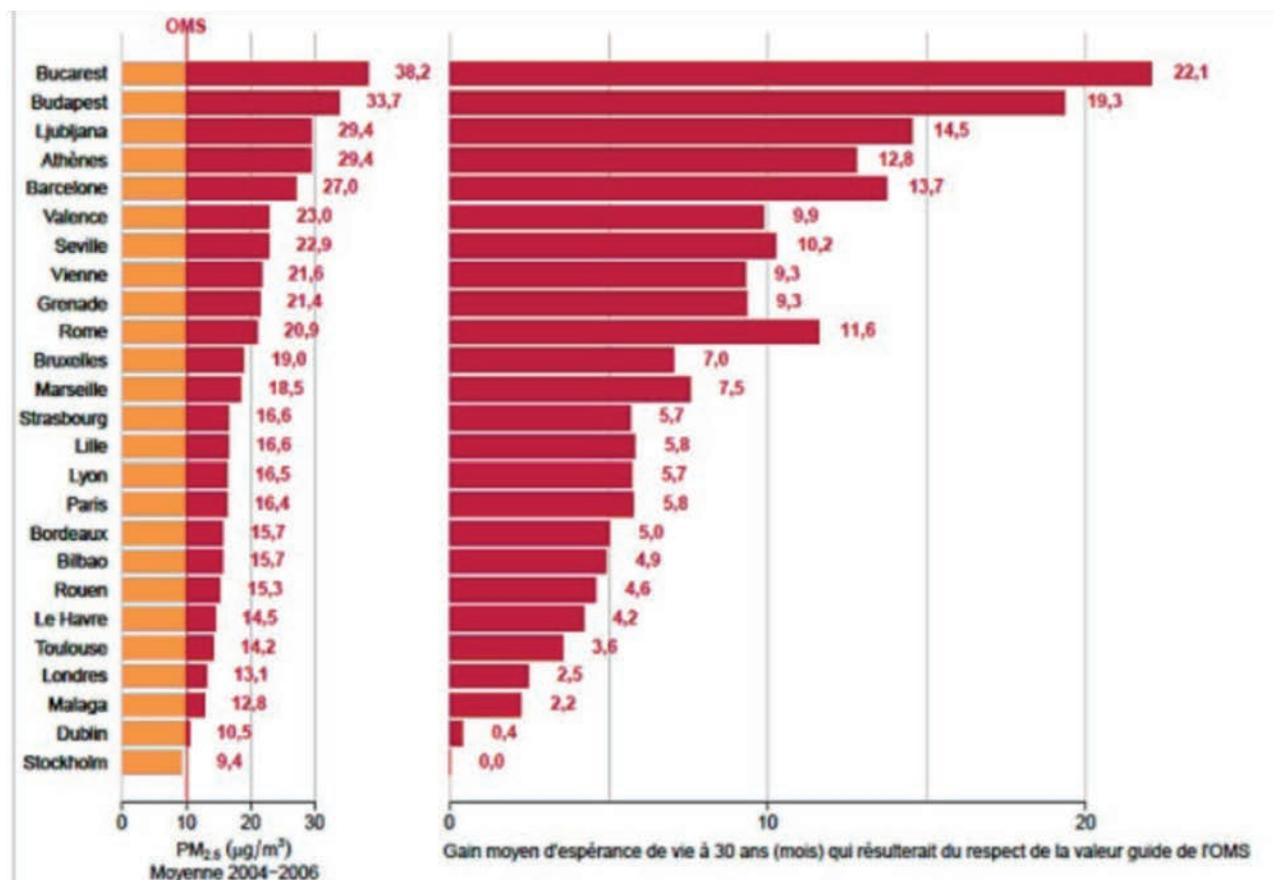


Figure 1 : Gain moyen d'espérance de vie (en mois) à l'âge de 30 ans dans les 25 villes du projet Aphekom si les niveaux moyens annuels de particules fines (PM<sub>2,5</sub>) étaient ramenés à 10 microgrammes par mètre-cube (la valeur guide préconisée par l'OMS) (d'après l'Institut de veille sanitaire – Résumé des résultats du projet Aphekom 2008-2011).

Si les données épidémiologiques sont actuellement incontestées, c'est aussi parce qu'elles ont été confortées par les très nombreuses études expérimentales sur des cultures cellulaires, chez l'animal de laboratoire, et même des études d'exposition de volontaires sains ou asthmatiques (Borm et Donaldson, 2007 ; Marano *et al.*, 2007 ; Marano, 2010). Elles ont pu établir clairement les déterminants des effets biologiques et les mécanismes d'action des particules diesel, puis des particules atmosphériques de diverses provenances. Ces particules s'accumulent dans les poumons en entraînant un épaississement et un remodelage de la paroi des bronchioles, comparables aux observations faites chez les fumeurs ou les mineurs (Churg *et al.*, 2003). Elles amplifient la réponse allergique (Diaz-Sanchez *et al.*, 1997). Elles peuvent être internalisées dans les épithéliums respiratoires bronchiques et alvéolaires et induire une réponse inflammatoire *via* la production de cytokines<sup>(4)</sup>. Le rôle du stress oxydant a été pointé ainsi que l'importance des métaux et des molécules organiques adsorbés sur les PM<sub>2,5</sub> (Marano *et al.*, 2007 ; Samet et Ghio, 2007). La question du franchissement des barrières biologiques, alvéolo-capillaire, hématoencéphalique et placentaire est toujours en débat, bien que les arguments scientifiques soient de plus en plus nombreux pour la conforter (Nemmar *et al.*, 2004 ; Bové *et al.*, 2019).

(4) Les cytokines sont des protéines sécrétées par les cellules épithéliales et sont responsables de la réponse inflammatoire.

Ces recherches ont donné des explications causales aux études épidémiologiques et ont conduit progressivement les pouvoirs publics, aux échelles nationale et internationale, à considérer que la pollution atmosphérique, et tout particulièrement celle induite par les particules fines, constituait un « risque avéré » pour la santé des populations exposées et qu'il fallait donc agir pour les en protéger au travers d'une démarche de prévention. Cette prise de conscience tardive a conduit au développement des réseaux de mesure de la qualité de l'air (AASQA)<sup>(5)</sup>, à l'adoption de réglementations de plus en plus contraignantes pour les industriels, que ce soit en matière de contrôle des émissions d'usine ou de conception de véhicules moins polluants, et aux restrictions actuelles de la circulation en ville avec la mise en place des zones à faibles émissions (ZFE).

## Les nanoparticules manufacturées : des risques sanitaires suspectés

Le domaine des nanotechnologies s'est développé de façon extrêmement rapide ces deux dernières décennies, et cela a conduit les autorités sanitaires à se poser la question de l'exposition humaine et environnementale à ces nouveaux matériaux (nanoparticules, nanotubes) à la lumière

(5) AASQA : Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air réunies au sein de la fédération Atmo France.

des crises sanitaires du XX<sup>e</sup> siècle, en particulier celle de l'amiante. La définition donnée à ces matériaux par la Commission européenne (recommandation 2011/696/UE) est la suivante : « on entend par nanomatériau un matériau naturel, formé accidentellement ou manufacturé contenant des particules libres, sous forme d'agrégat ou sous forme d'agglomérat, dont au moins 50 % des particules, dans la répartition numérique par taille, présentent une ou plusieurs dimensions externes se situant entre 1 et 100 nanomètres <sup>(6)</sup> ». Depuis, les experts et les ONG demandent sa révision en considérant qu'elle n'est pas conforme à la situation réelle en termes de taille et de pourcentage dans les poudres !

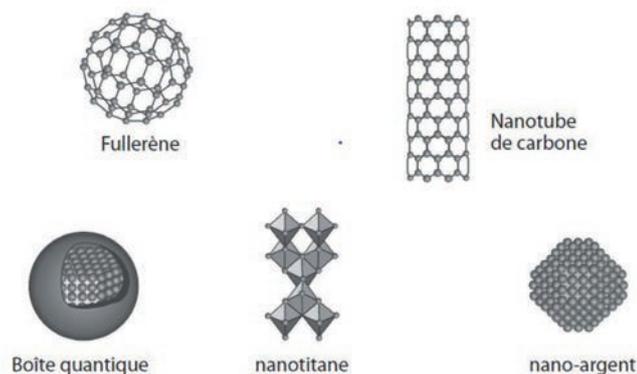


Figure 2 : Les nanoparticules peuvent présenter des formes très variées. Le schéma ci-dessus montre quelques-unes de ces formes : en sphère (fullérènes et boîtes quantiques), en tube (nanotubes) ou en cristaux (nanotitane et nanoargent) (d'après MARANO F. (2016), *Faut-il avoir peur des nanos ?*, aux Éditions Buchet-Chastel).

S'ils se rapprochent par leurs dimensions des particules atmosphériques ultrafines (PM<sub>0,1</sub>), les nanomatériaux manufacturés sont de composition chimique et de formes bien définies et très variées, à la différence des particules non intentionnelles (voir la Figure 2 ci-dessus), et ont des applications extrêmement larges. La France a été le premier pays en Europe à mettre en place une obligation de déclaration de la fabrication et de l'utilisation des nanomatériaux par les industriels : il s'agit du registre R-Nano géré par l'Anses depuis 2013 <sup>(7)</sup>. La toxicologie a joué un rôle primordial dans le déclenchement d'une « alerte » sur les effets biologiques potentiellement néfastes des nanoparticules (pour une revue, voir Lhamani *et al.*, 2010). En effet, les études épidémiologiques étaient difficiles à mettre en œuvre en l'absence de données suffisantes sur les expositions et en raison du peu de clarté sur l'utilisation industrielle de ces nanotechnologies. Les recherches se sont grandement focalisées sur le rôle des propriétés spécifiques (taille, réactivité de surface, composition chimique, solubilité...) des nanoparticules dans les réponses apportées au plan biologique et sur leurs interactions avec des molécules du vivant, telles que les protéines, les lipides ou les acides nucléiques. Ce sont ces propriétés et la capacité particulière des nanoparticules à adsorber les molécules

biologiques (corona) qui conditionnent leurs interactions avec le vivant. La question du transfert des nanoparticules et du passage des barrières biologiques (cutanée, pulmonaire, intestinale, hémato-encéphalique, placentaire), ainsi que de leur capacité d'accumulation et de biopersistance dans divers organes internes, tels que le foie, le rein ou les organes génitaux, est actuellement primordiale, car les réponses apportées vont grandement déterminer leurs conditions d'utilisation (Riediker *et al.*, 2019). Les données récentes sur le passage de la barrière intestinale et l'apparition de lésions préneoplasiques de la muqueuse intestinale après exposition par voie orale à l'additif alimentaire E171 (NP TiO<sub>2</sub>) chez le rat (Bettini *et al.*, 2017) ont conduit à un moratoire en France sur l'utilisation de cet additif qui était autorisé depuis plus de cinquante ans. Des agences nationales, comme l'Anses en France, des comités européens (SCHENNIR) et internationaux (OCDE) travaillent sur des stratégies d'évaluation des nanoparticules, en particulier dans le cadre de l'application du règlement REACH (Registration, Evaluation, Autorisation and Restriction of Chemicals). Elles soulignent la nécessité d'une caractérisation physico-chimique très soignée des nanomatériaux utilisés pour les évaluations toxicologiques, l'importance des matériaux de référence (*benchmarks*) permettant des comparaisons et la nécessité de déterminer le devenir des nanomatériaux dans les conditions réelles d'administration pour prendre en compte les modifications dans les milieux biologiques (agglutination, *coating*...). La question de la dose administrée doit être soigneusement traitée : masse, surface, nombre de particules. Les méthodes *in vivo* et *in vitro* utilisées en toxicologie des produits chimiques doivent être adaptées à ces matériaux. Alors que les autorités réglementaires avaient tout d'abord considéré que l'évaluation du danger des nanoparticules pouvait se faire selon les mêmes méthodes que celles définies pour les produits chimiques par le règlement REACH, la pression des scientifiques et les découvertes fondamentales sur leurs propriétés particulières ont conduit à un changement d'attitude de ces autorités. En effet, de nombreuses publications montrent qu'à composition chimique identique, la taille de la particule joue un rôle déterminant dans la toxicité et que des propriétés particulières étaient associées à l'échelle « nano ».

## Conclusion

L'analyse de l'impact des activités humaines sur la santé, depuis le début de l'exploitation des mines de charbon jusqu'aux nanotechnologies, montre que l'on est passé d'une phase de constat et d'action *a posteriori* à une logique de prévision qui reste encore trop insuffisamment mise en œuvre. Elle pose aussi la question de la gestion du risque en situation d'incertitude, une question que les autorités sanitaires nationales comme internationales n'ont toujours pas résolue.

Dans le domaine des risques technologiques émergents, le rôle de la recherche est déterminant pour une évaluation en amont des dangers potentiels des dites technologies pour la santé humaine et l'environnement et celle-ci devrait intervenir le plus rapidement possible sans attendre que

(6) Le nanomètre (nm) correspond au milliardième de mètre.

(7) <https://www.r-nano.fr/>

des dommages apparaissent. Cette approche, qui intègre une démarche de précaution et qui tend à promouvoir une évaluation de risques en condition d'incertitude, correspond à un changement de paradigme. Les protocoles classiques y sont mal adaptés et les experts qui œuvrent au niveau réglementaire ont encore du mal à les intégrer. Le chemin à parcourir reste donc encore important, et la position des chercheurs et des experts, face à l'opinion publique et aux décideurs, est souvent inconfortable, car ils doivent pouvoir faire accepter que l'incertitude est intrinsèque à la recherche, mais qu'elle ne doit pas empêcher la prise de décision. Cependant, il existe une demande sociale forte, et l'acceptation par le public des développements technologiques ne peut plus être obtenue sans une évaluation « bénéfique/risque », voire de type « utile/futile », et une bonne connaissance des dangers potentiels.

## Références

- BELL M. L., DAVIS D. L. & FLETCHER T. (2004), "A Retrospective Assessment of Mortality from the London Smog Episode of 1952: The Role of Influenza and Pollution", *Environ. Health Perspect.*, n°112, pp. 6-8.
- BETTINI S., BOUTET-ROBINET E., CARTIER C., COMÉRA C., GAULTIER E., DUPUY J., NAUD N., TACHÉ S., GRYSAN P., REGUER S., THIERIET N., RÉFRÉGIERS M., THIAUDIÈRE D., CRAVEDI J. P., CARRIÈRE M., AUDINOT J. M., PIERRE F., GUZYLACK-PIRIOU L. & HOUDEAU E. (2017), "Food-grade TiO<sub>2</sub> impairs intestinal and systemic immune homeostasis, initiates preneoplastic lesions and promotes aberrant crypt development in the rat colon", *Scientific Reports*, n°7:40373, doi: 10.1038/srep40373.
- BOVÉ H., BONGAERTS E., SLENDERS E., BIJNENS E. M., SAENEN N. D., GYSELAERS W., EYKEN P. V., PLUSQUIN M., ROEFAERS M., AMELOOT M. & NAWROT T. S. (2019), "Ambient black carbon particles reach the fetal side of human placenta", *Nature Comm.*, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11654-3>
- CHANEL O., PEREZ L., KÜNZLI N., MEDINA S. & APHEKOM Group (2016), "The hidden economic burden of air pollution-related morbidity: evidence from the Apekom project", *Eur. J. Health Economics*, n°17, pp. 1101-1115.
- CHURG A., BRAUER M., AVILA CASADO M., FORTOUL T. I. & WRIGHT J. L. (2003), "Chronic exposure to high levels of particulate air pollutants is associated with small airway remodeling", *Environ. Health Perspect.*, n°111, pp. 714-718.
- DIAZ-SANCHEZ D., TSIEN A., FLEMING J. & SAXON A. (1997), "Combined diesel exhaust particulate and ragweed allergen challenge markedly enhances human in vivo nasal ragweed-specific IgE and skews cytokine production to a T helper cell 2-type pattern", *J. Immunol.*, n°158, pp. 2406-2413.
- DOCKERY D. W., POPE C. A., XU X. *et al.* (1993), "An association between air pollution and mortality in six US Cities", *N. Engl. J. Med.*, n°3219, pp. 1753-1759.
- DONALDSON K., STONE V., TRAN C., KREYLING W. & BORM P. (2004), "Nanotoxicology", *Occup. Environ. Med.*, n°61, pp. 727-728.
- DONALDSON K. & BORM P. (2007), "An introduction to particle toxicology: from coal mining to nanotechnology", in DONALDSON K. & BORM P. (dir), *Particle Toxicology*, CRC Press, pp. 1-12.
- LHAMANI M., MARANO F. & HOUDY P. (2010), « Nanotoxicologie et nanoéthique », Belin, collection « Échelles », 608 p.
- MARANO F. (2010), « Les particules atmosphériques fines et ultrafines : l'apport de la toxicologie dans l'évaluation des risques pour la santé », *Poll. Atm.*, pp. 27-33.
- MARANO F., BOLAND S. & BAEZA-SQUIBAN A. (2007), "Particle-associated organics and proinflammatory signalling", in DONALDSON K. & BORM P. (dir.), *Particle Toxicology*, CRC Press, pp. 211-226.
- NEMMAR A., HOYLAERTS M., HOET P. & NEMERY B. (2004), "Possible mechanisms of the cardiovascular effects of inhaled particles: systemic translocation and prothrombotic effects", *Toxicol. Letters*, n°149, pp. 243-253.
- OBERDORSTER G., OBERDORSTER E. & OBERDORSTER J. (2005), "Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles", *Environ. Health Perspect.*, n°113, pp. 823-839.
- PELUCCHI C., NEGRI E., GALLUS S., BOFFETTA P., TRAMACERE I. & LA VECCHIA C. (2009), "Long-term particulate matter exposure and mortality: a review of European epidemiological studies", *BMC Public Health* 9:453.
- POPE C. A., BURNETT R. T., THURSTON G. D. *et al.* (2004), "Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease", *Circulation*, pp. 71-77.
- RIEDIKER M., ZINK D., KREYLING W., OBERDÖRSTER G. *et al.* (2019), "Particle toxicology and health – Where are we?", *Particle and Fibre Toxicology*, n°16:19, <https://doi.org/10.1186/s12989-019-0302-8>
- SAMET J. M. & GHIO A. J. (2007), "Particle-associated metals and oxidative stress signalling", in DONALDSON K. & BORM P. (dir), *Particle Toxicology*, CRC Press, pp. 161-182.
- SCHULTE P. A., LESO V., NIANG M. & IAVICOLI I. (2019), "Current state of knowledge on the health effects of engineered nanomaterials in workers: a systematic review of human studies and epidemiological investigations", *Scand. J. Work Environ. Health*, n°45, pp. 217-238.
- PASCAL M., CORSO C., CHANEL O., DECLERCQ C., BADALONI B., CESARONI G., HENSCHER S., MEISTER K., HALUZA D., MARTIN-OLMEDO P. & MEDINA S. (2013), "Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: Results of the Apekom project", *Sci. Total Environment*, n°449, pp. 390-400.

# L'évaluation des risques des pesticides : entre savoir réglementaire et science académique

Par Laurence HUC

Directrice de recherche à l'INRAE

Et Jean-Noël JOUZEL

Directeur de recherche au CNRS

Depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle, les pesticides constituent une catégorie de produits réglementés, dont la mise sur le marché est soumise à une autorisation administrative reposant sur une évaluation de leur efficacité et de leurs risques pour la santé humaine et l'environnement.

Dans cet article, nous mettons en évidence le décalage pouvant exister entre, d'une part, les lignes directrices qui encadrent l'évaluation réglementaire des risques des pesticides et, d'autre part, l'évolution des données issues de la recherche académique sur ce sujet. Nous montrons cela en nous intéressant aux deux étapes fondamentales de l'évaluation réglementaire des risques que ces produits induisent pour la santé humaine : l'identification et la mesure des dangers, d'une part, et l'estimation des expositions, d'autre part.

Le processus d'évaluation des risques des pesticides a connu une importante formalisation au cours des dernières décennies, en particulier sous l'effet de l'intégration européenne. Au niveau communautaire, les procédures sont fixées par le règlement européen n°1107/2009. Les substances actives sont évaluées par une agence européenne, l'Autorité européenne de sécurité des aliments (European Food Safety Authority, ou Efsa), basée à Parme. Ces substances actives entrent dans la composition de préparations commerciales, qui font l'objet d'une évaluation par les États membres, regroupés en trois régions au sein desquelles l'évaluation est mutualisée. L'ensemble de ce processus est harmonisé par des lignes directrices produites par l'Efsa ou par d'autres instances transnationales, comme l'Organisation pour la coopération et le développement économique (OCDE). Ces textes définissent les critères que doivent remplir les données fournies par les industriels à des fins d'évaluation des risques des pesticides. Cependant, les controverses qui se sont multipliées ces dernières années autour de certaines substances actives et familles de pesticides (glyphosate, chlordécone, SDHI (inhibiteurs de la succinate déshydrogénase), néonicotinoïdes, etc.) contribuent à remettre en question la fiabilité de cette procédure. Comment comprendre qu'un processus de plus en plus formalisé soit pourtant de plus en plus contesté ?

Nous mettons ici en évidence le décalage pouvant exister entre, d'une part, les lignes directrices qui encadrent

l'évaluation réglementaire des risques des pesticides et, d'autre part, l'évolution des données issues de la recherche académique sur ce sujet. Comme le soulignent de nombreux travaux de sciences sociales (Jasanoff, 1990 ; Demortain, 2017), il existe un hiatus permanent entre « savoir réglementaire » et « science académique » dans la procéduralisation de l'évaluation des risques. Le cas des pesticides en offre une illustration particulièrement frappante, comme nous allons le montrer en nous intéressant aux deux étapes fondamentales de l'évaluation réglementaire des risques que ces produits induisent pour la santé humaine : l'identification et la mesure des dangers, d'une part, et l'estimation des expositions, d'autre part.

## Le cas des SDHI et le décalage entre toxicologie réglementaire et toxicologie académique

L'un des points-clés de l'évaluation du danger des substances est l'étude de la cancérogénicité, qui repose sur des expériences conduites essentiellement chez des animaux de laboratoire afin de déterminer si une exposition longue (de 18 mois à 2 ans), à différentes doses de pesticides, induit des tumeurs. Cet effet cancérogène est particulièrement important dans les procédures réglementaires, puisque les produits classés « cancérogènes avérés ou probables » ne sont pas autorisés ou doivent être retirés du marché. Cette règle forte est une forme du principe de précaution. C'est pourquoi le caractère cancérogène

d'un pesticide cristallise des débats et des controverses, dont le glyphosate est l'exemple le plus frappant.

La catégorisation des produits comme cancérogènes est le produit d'une histoire scientifique longue. Rappelons d'abord que le cancer est une maladie multifactorielle, qui conduit à la production de cellules modifiées, caractérisées par un fort niveau de prolifération, grossissant de façon anormale au sein d'un tissu et pouvant aussi migrer vers d'autres organes. Les cellules cancéreuses possèdent des caractéristiques bien précises : elles se multiplient beaucoup, résistent à la mort programmée, ont un métabolisme énergétique modifié, ne répondent plus à des bloqueurs de croissance, échappent au système immunitaire, présentent des mutations dans leur ADN, ont une immortalité répliquative, favorisent l'inflammation, stimulent la formation des vaisseaux sanguins, deviennent invasives et forment des métastases (Hanahan et Weinberg, 2011). Un cancérogène (ou cancérogène) est une substance, un radionucléide ou une radiation qui induit la cancérogenèse, c'est-à-dire le processus de formation de cancers.

L'hypothèse d'un lien entre cancer et environnement est ancienne et est profondément ancrée dans la pensée hygiéniste des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles. Ainsi, en 1775, Percivall Pott a établi le premier cancer professionnel chez les enfants ramoneurs, en Angleterre, du fait de leur exposition aux hydrocarbures contenus dans la suie (Waldron, 1983). Mais les progrès de la biomédecine faits au cours du XX<sup>e</sup> siècle favorisent une interprétation des mécanismes d'une cancérogenèse dominée par la génétique. Dans cette perspective, c'est principalement parce qu'elle peut altérer la structure de certains gènes (propriété de mutagénicité), qu'une substance peut être considérée comme cancérogène. Ainsi, l'orientation prise par la recherche de s'intéresser quasi exclusivement aux causes génétiques des maladies (facteurs intrinsèques du cancer) a créé un territoire d'ignorance sur la part des facteurs extrinsèques, dont le stress chimique, dans la survenue des cancers (Girel, 2017). On rassemble sous le concept « exposome » – construit par analogie avec le terme « génome » – l'ensemble des facteurs extrinsèques (y compris psychiques et sociaux) (Wild, 2005). En donnant un poids plus important au génome qu'à l'exposome, on a fortement ancré le modèle du cancérogène comme « une substance endommageant l'ADN ». La « génotoxicité » est donc devenue le critère dominant quand il s'agit de classer les substances cancérogènes et de réglementer les produits, tels que les pesticides. C'est en particulier de cette manière que l'évaluation réglementaire des risques des pesticides définit la cancérogénicité de ces produits.

Pourtant, de nombreux processus biologiques conduisent au cancer sans s'accompagner d'une altération génétique. En particulier, Otto Warburg, prix Nobel de physiologie-médecine en 1931, considérait que le cancer était une maladie métabolique et que les hydrocarbures étaient cancérogènes de par leur altération du métabolisme (Warburg, 1956). Près de cent ans plus tard, le cas des pesticides SDHI semble cadrer avec ce paradigme alternatif de cancérogenèse. En effet, la succinate déshydrogénase (SDH) est une enzyme située dans les usines énergétiques des

cellules, les mitochondries. Ces dernières produisent de l'énergie à partir des sucres et de l'oxygène. La SDH contribue ainsi à la respiration cellulaire. Quand celle-ci ne fonctionne pas, le succinate s'accumule et engendre des altérations cellulaires, comme des perturbations métaboliques. En modifiant l'activité de certaines enzymes, le succinate entraîne ce que l'on appelle des modifications épigénétiques : il peut indirectement modifier le repliement de l'ADN, et cela sans affecter la séquence de ses bases, donc sans génotoxicité. Les études biologiques et biochimiques chez des malades ayant une SDH partiellement ou totalement bloquée montrent que ces modifications métaboliques et épigénétiques favorisent la cancérogenèse.

Ce savoir, produit dans la sphère académique, ne semble pourtant toujours pas avoir pénétré la sphère réglementaire qui régit les autorisations de mise sur le marché des pesticides. En effet, certains pesticides, les SDHI, font partie de la famille des inhibiteurs de la succinate déshydrogénase. Ils sont vendus pour leur propriété pharmacologique de bloquer la SDH de certains ravageurs, essentiellement de champignons pathogènes (fongicides), mais aussi de certains insectes (insecticides) ou de vers (nématocides). Or, le site de fixation des SDHI sur la SDH se trouve être le même pour de nombreuses espèces, ce qui laisse supposer que ces pesticides pourraient inhiber non seulement la SDH des champignons, des insectes et des vers, mais aussi celle de la plupart des êtres vivants, humains compris (Mawery *et al.*, 1977). Nos premiers résultats soutiennent cette hypothèse (Bénil *et al.*, 2019). De plus, l'examen des dossiers réglementaires montre que sur les douze SDHI autorisés en Europe, huit sont capables d'induire des tumeurs chez les rongeurs. Pourtant, ils ne sont pas classés cancérogènes, ou seulement cancérogènes suspectés, ce qui ne conduit pas à une interdiction de la molécule. Ainsi, ces SDHI, qui sont bel et bien cancérogènes selon des expériences réalisées en laboratoire, sont quand même autorisés.

L'exemple de l'autorisation des SDHI révèle donc un fossé entre les connaissances scientifiques et les preuves réglementaires. D'un côté, les savoirs académiques, notamment en biologie humaine clinique, notifient depuis 1995 un danger cancérogène lié à un blocage de la SDH. D'un autre, comme on l'a mentionné plus haut, l'évaluation réglementaire de l'effet cancérogène des pesticides est essentiellement basée sur la propriété génotoxique d'une substance. Même si les données obtenues chez les rongeurs attestent d'un pouvoir cancérogène, les mécanismes biologiques n'étant pas reconnus par les instances réglementaires ne constituent donc pas des signaux de prudence quant à l'effet potentiel de ces substances sur la santé humaine.

## Expologie réglementaire versus expologie académique : le cas de la mesure de l'exposition professionnelle aux pesticides

L'évaluation des risques des pesticides pour la santé humaine ne s'arrête pas avec l'identification et la mesure

des dangers. Tout un volet des dossiers de demandes d'autorisation de mise sur le marché est consacré à l'estimation au préalable des niveaux d'exposition des populations humaines concernées : travailleurs agricoles, riverains, consommateurs. Pour obtenir l'autorisation de commercialiser leurs produits, les industriels doivent démontrer que ces niveaux d'exposition sont inférieurs aux seuils jugés acceptables sur la base des données toxicologiques.

C'est en ce qui concerne les travailleurs agricoles, de loin la population la plus exposée, que cette exigence est la plus complexe à satisfaire. L'estimation de l'exposition professionnelle aux pesticides a été progressivement codifiée à partir des années 1990 en Europe. Adoptée en 1997, la ligne directrice 97-148 de l'OCDE précise ainsi les règles à suivre pour conduire des opérations de mesure expérimentale des niveaux de contamination des travailleurs effectuant la préparation, le chargement ou l'épandage des produits de traitement. L'ensemble des données produites en respectant ce cadre constituent un corpus sur la base duquel les industriels peuvent construire des extrapolations pour estimer l'exposition des utilisateurs à leurs produits, en fonction du mode d'épandage, du type de culture et de la quantité à l'hectare. Ce corpus permet également d'évaluer la protection individuelle offerte par les vêtements que peuvent porter les utilisateurs de produits pour limiter leur exposition : gants, combinaisons, masques. L'Efsa estime qu'ils abaissent de 85 à 95 % le niveau de contamination des professionnels pour les parties du corps qu'ils couvrent.

Ces vêtements de protection occupent une place stratégique dans le processus d'estimation des expositions mis en œuvre dans le cadre de l'évaluation réglementaire des risques, une estimation préalable à l'autorisation de mise sur le marché des pesticides. La ligne directrice 97-148, ainsi que les documents-guides produits par l'Efsa ou par les agences équivalentes sur d'autres continents, prévoient notamment que seules les données de contamination recueillies sur des sujets ayant utilisé le produit en conformité avec les recommandations de l'étiquette peuvent être retenues dans ce processus. Suivant cette perspective d'« usage contrôlé » (*safe use*), il est possible de commercialiser des pesticides dangereux pour peu que l'industriel parvienne à démontrer que les niveaux d'exposition des travailleurs sont très faibles, dès lors qu'est respecté le port des équipements de protection individuels qu'il préconise.

Au début des années 2000, des épidémiologistes français ont lancé leur propre campagne de mesure de l'exposition des agriculteurs aux pesticides, baptisée Pestexpo (Baldi *et al.*, 2006 ; Lebailly *et al.*, 2009). Ils ont, pour cela, suivi le protocole défini par la ligne directrice 97-148, tout en demandant aux agriculteurs inclus dans l'étude de traiter comme ils en avaient l'habitude, sans leur imposer les mesures d'hygiène prévues sur l'étiquette des produits utilisés. Les résultats de Pestexpo montrent que, dans l'ensemble, les préconisations relatives au port d'équipements de protection sont faiblement respectées. Ils montrent aussi que, dans certaines phases du travail de

traitement, les travailleurs agricoles qui portent une combinaison sont davantage contaminés que ceux qui n'en portent pas, et ce parce que les pesticides peuvent migrer à travers le tissu de la combinaison, s'accumulant et contaminant la peau. Ces données remettent en cause la pertinence du paradigme de l'usage contrôlé des pesticides et d'une estimation réglementaire de l'exposition professionnelle. Ce paradigme tient pour acquis que les utilisateurs du produit respectent les préconisations relatives au port des vêtements de protection et que ces vêtements sont efficaces. Elles ont conduit à l'ouverture d'une réflexion, sous l'accompagnement d'un ergonomiste (Garrigou, 2008), sur les conditions réelles du travail de traitement et sur le caractère fictif de la garantie de protection apportée aux agriculteurs exposés par la procédure d'autorisation de mise sur le marché des pesticides.

Pourtant, plus de quinze ans après la parution des premiers résultats de Pestexpo, ces données ne sont toujours pas prises en compte dans l'évaluation réglementaire des risques des produits considérés, au motif qu'elles ont été acquises sans respecter à la lettre les règles fixées par les documents-guides, en particulier en n'obligeant pas les sujets testés à bien se conformer aux injonctions des étiquettes. L'écart est ici patent entre une expologie réglementaire, dont les conditions de production des données sont étroitement encadrées par une série de lignes directrices, et une expologie universitaire de terrain, actuellement en pleine structuration et qui ne répond pas à une visée d'autorisation administrative et de contrôle des risques, mais de recherche et d'exploration.

## Conclusion

À travers les cas des effets cancérigènes des SDHI et de la mesure des contaminations des agriculteurs exposés aux pesticides, nous avons mis en évidence quelques aspects de l'écart constaté entre l'évaluation réglementaire des risques des pesticides et la littérature académique disponible, tant en termes de mesure des dangers que d'estimation de l'exposition. La persistance de cet écart reste un objet de questionnements. Faut-il y voir le fruit d'une « capture réglementaire » (Stigler, 1971) et de l'influence des firmes de l'agrochimie sur les institutions qui évaluent leurs produits, à la manière de ce qu'ont pu montrer les travaux sur les industriels du tabac (Proctor, 2012) ou de l'énergie (Oreskes et Conway, 2010) ? Dans le cas des SDHI, plusieurs études (Felter *et al.*, 2018 ; Rouquié *et al.*, 2014 ; Tinwell *et al.*, 2014 ; Boobis *et al.*, 2016) montrent que les critères de cancérigénicité sont discutés au sein de sociétés savantes, notamment l'ILSI (International Life Science Institute) qui est fortement financé par les grandes entreprises agrochimiques et agroalimentaires et où se côtoient universitaires et scientifiques académiques, les acteurs du privé et des agences réglementaires (Demortain, 2018 ; Horel, 2018). Dans ce contexte, nous proposons ici une voie d'analyse complémentaire prenant en considération la difficulté que représente l'intégration des données produites sur les fronts de la recherche académique dans des documents guides réglementaires qui sont le produit de négociations transnationales complexes et qui tendent

à figer un état du consensus scientifique pour de nombreuses années. Suivant cette ligne d'analyse, il conviendrait d'ouvrir une réflexion, au sein des espaces institutionnels de l'évaluation des risques des pesticides, sur les moyens d'actualiser en permanence, et non par à-coups, ces lignes directrices, en associant totalement à la démarche les chercheurs en toxicologie, en épidémiologie et en expologie, dont les travaux éclairent d'un jour nouveau les liens entre pesticides et santé humaine. Au-delà de la stratégie de blocage du secteur agricole aux plans politique et économique dans le but d'empêcher l'engagement de la diminution effective de l'usage des pesticides, la recherche interdisciplinaire sur ces produits et leurs enjeux sanitaires, agricoles, politiques et économiques doit permettre aux citoyens et citoyennes et aux personnes en charge de la décision publique de bénéficier d'un meilleur éclairage sur ces problématiques.

## Bibliographie

- BALDI I., LEBAILLY P., JEAN S., ROUGETET L., DULAURENT S. & MARQUET P. (2006), "Pesticide Contamination of Workers in Vineyards in France", *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 16 (2), pp. 115-124, <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500443>
- BÉNIT P., KAHN A., CHRETIEN D., BORTOLI S., HUC L., SCHIFF M., GIMENEZ-ROQUEPLO A. P. *et al.* (2019), "Evolutionarily Conserved Susceptibility of the Mitochondrial Respiratory Chain to SDHI Pesticides and Its Consequence on the Impact of SDHIs on Human Cultured Cells", *PLoS ONE* 14 (11), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224132>
- BOOBIS Alan R., COHEN Samuel M., DELLARCO Vicki L., DOE John E., FENNER-CRISP Penelope A., MORETTO Angelo, PASTOOR Timothy P., SCHOENY Rita S., SEED Jennifer G. & WOLF Douglas C. (2016), "Classification Schemes for Carcinogenicity Based on Hazard-Identification Have Become Outmoded and Serve Neither Science nor Society", *Regulatory Toxicology and Pharmacology (RTP)* 82, December, pp. 158-166, <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2016.10.014>
- DEMORTAIN D. (2018), "Are Scientists Agents of Corporate Power on Public Policy? Corporations and the Use of Science for Diffuse Lobbying Strategies", *ResearchGate*, [https://www.researchgate.net/publication/333567036\\_Are\\_scientists\\_agents\\_of\\_corporate\\_power\\_on\\_public\\_policy\\_Corporations\\_and\\_the\\_use\\_of\\_science\\_for\\_diffuse\\_lobbying\\_strategies](https://www.researchgate.net/publication/333567036_Are_scientists_agents_of_corporate_power_on_public_policy_Corporations_and_the_use_of_science_for_diffuse_lobbying_strategies)
- FELTER Susan P., FOREMAN Jennifer E., BOOBIS Alan R., CORTON J. Christopher, DOI Adriana M., FLOWERS Lynn, GOODMAN Jay *et al.* (2018), "Human Relevance of Rodent Liver Tumors: Key Insights from a Toxicology Forum Workshop on Nongenotoxic Modes of Action", *Regulatory Toxicology and Pharmacology (RTP)* 92, february 1-7, <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.11.003>
- GARRIGOU A., BALDI I. & DUBUC P. (2008), *Apports de l'ergotoxicologie à l'évaluation de l'efficacité réelle des EPI : de l'analyse de la contamination au processus collectif d'alerte. Pistes*, vol. 10, n°1, janvier, <http://www.pistes.uqam.ca/v10n1/articles/v10n1a1.htm>
- GIREL M. (2017), « Science et territoires de l'ignorance », Librairie Quae, <https://www.quae.com/produit/1416/9782759225934/science-et-territoires-de-l-ignorance>
- HANAHAN D. & WEINBERG R. A. (2011), "Hallmarks of Cancer: The next Generation", *Cell* 144 (5), pp. 646-674, <https://doi.org/10.1016/j.cell.2011.02.013>
- HOREL S. (2018), *Lobbytomie*, Paris, La Découverte.
- LEBAILLY P., BOUCHART V., BALDI I., LECLUSE Y., HEUTTE N., GISLARD A. & MALAS J.-P. (2009), "Exposure to Pesticides in Open-Field Farming in France", *The Annals of Occupational Hygiene* 53 (1), pp. 69-81, <https://doi.org/10.1093/annhyg/men072>
- MOWERY P. C., STEENKAMP D. J., ACKRELL A. C., SINGER T. P. & WHITE G. A. (1977), "Inhibition of Mammalian Succinate Dehydrogenase by Carboxins", *Archives of Biochemistry and Biophysics* 178 (2), pp. 495-506, [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(77\)90220-x](https://doi.org/10.1016/0003-9861(77)90220-x)
- ORESQUES N. & CONWAY E. (2010), *Merchants of doubts*, London, Bloomsbury.
- PROCTOR R. N. (2012), *Golden Holocaust*, <https://www.ucpress.edu/book/9780520270169/golden-holocaust>
- ROUQUIÉ D., TINWELL H., BLANCK O., SCHORSCH F., GETER D., WASON S. & BARS R. (2014), "Thyroid tumor formation in the male mouse induced by fluopyram is mediated by activation of hepatic CAR/PXR nuclear receptors", *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 70 (3), pp. 673-680, <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.10.003>
- STIGLER G. J. (1971), "The Theory of Economic Regulation", *The Bell Journal of Economics and Management Science* 2 (1), pp. 3-21, <https://doi.org/10.2307/3003160>
- TINWELL H., ROUQUIÉ D., SCHORSCH F., GETER D., WASON S. & BARS R. (2014), "Liver tumor formation in female rat induced by fluopyram is mediated by CAR/PXR nuclear receptor activation", *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 70 (3), pp. 648-658, <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.09.011>
- WALDRON H. A. (1983), "A brief history of scrotal cancer", *British Journal of Industrial Medicine* 40 (4), pp. 390-401.
- WARBURG O. (1956), "On Respiratory Impairment in Cancer Cells", *Science (New York, N.Y.)* 124 (3215), pp. 269-270.
- WILD C. Paul. (2005), "Complementing the Genome with an 'Exposome': The Outstanding Challenge of Environmental Exposure Measurement in Molecular Epidemiology", *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, A Publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology 14 (8), pp. 1847-1850, <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-05-0456>

# Impacts des pressions environnementales et des changements climatiques sur la propagation des maladies infectieuses et sur la vulnérabilité des populations

Par Sébastien DENYS

Directeur Santé-Environnement-Travail de Santé publique France

Et Robert BAROUKI

Directeur de l'unité Inserm 1124 à l'Université de Paris et chef de service à l'Hôpital Necker Enfants malades

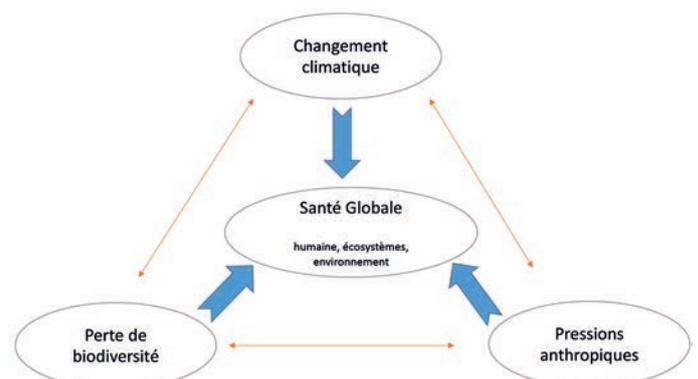
L'apparition d'épidémies infectieuses est la résultante d'une dynamique complexe influencée à la fois par des conditions environnementales propices au développement et à la propagation des agents infectieux et par les modifications technologiques, sociales et démographiques qui se multiplient. Cet article a pour objectif d'analyser ces interactions sous deux angles. Le premier est celui qui considère la dynamique globale du cycle épidémique et interroge, en particulier, l'impact de l'activité humaine sur l'émergence et la propagation des épidémies. Le second concerne les interactions entre certaines pressions qui s'exercent sur l'environnement et la vulnérabilité accrue des populations aux épidémies infectieuses. Cette analyse plaide pour renforcer les actions qui intègrent protection de l'environnement, durabilité de nos modes de production et qualité de la relation à la nature. Cette intégration se traduira par des co-bénéfices majeurs pour la santé publique et la santé globale.

## Introduction

L'apparition d'épidémies infectieuses est la résultante d'une dynamique complexe influencée à la fois par des conditions environnementales propices au développement et à la propagation des agents infectieux et par les modifications technologiques, sociales et démographiques qui se multiplient. Dès le début des années 1990, l'Institut de médecine des États-Unis insistait sur l'importance de considérer une vision globale intégrant l'environnement pour comprendre la dynamique des épidémies infectieuses (Institute of Medicine, 1992). Récemment, l'OMS a, sur ce point, produit un manifeste<sup>(1)</sup> en faveur du développement du concept de santé globale dans les politiques de santé destinées non seulement à protéger la santé humaine, mais aussi la santé animale et l'environnement.

(1) Manifeste pour un monde en meilleure santé et plus soucieux de l'environnement après la Covid-19, <https://www.who.int/fr/news-room/feature-stories/detail/who-manifesto-for-a-healthy-recovery-from-covid-19>

nement. L'IPBES (2020), dont l'expertise est centrée sur la santé des écosystèmes, souligne également la nécessité d'une telle approche dans un contexte d'augmentation probable des maladies infectieuses, du fait des changements climatiques.



Pour autant, la pratique de la santé publique cloisonne encore « risque infectieux » et « risque environnemental ». Cela n'est pas de nature à appréhender les interactions entre les épidémies infectieuses et les déterminants environnementaux, même si celles-ci sont bien établies pour quelques épidémies, notamment d'origine hydrique.

Pour de nombreuses épidémies, en particulier les épidémies infectieuses émergentes, les liens sont moins établis et *a fortiori* peu intégrés dans les politiques de santé. De ce fait, lorsque l'épidémie émerge, les efforts se traduisent avant tout par des mesures de court terme destinées à protéger la population face à un risque immédiat. Ils consistent en la mise en place de mesures visant à freiner la propagation de l'épidémie pour contrer la menace de santé publique. Dans cette phase, les conditions environnementales qui favorisent l'émergence et la propagation de l'épidémie ne sont que peu interrogées. Cependant, porter également une attention aux interactions entre l'environnement et de telles épidémies infectieuses est indispensable pour renforcer les politiques de protection de l'environnement et de la santé.

Cet article a pour objectif d'analyser ces interactions sous deux angles. Le premier est celui qui considère la dynamique globale du cycle épidémique et interroge, en particulier, l'impact de l'activité humaine sur l'émergence et la propagation des épidémies. Le second concerne plutôt les interactions entre certaines pressions qui s'exercent sur l'environnement, telles que la pollution de l'air, l'exposition aux substances chimiques ou le risque climatique, et la vulnérabilité accrue des populations aux épidémies infectieuses.

## L'environnement détermine l'émergence et la diffusion des épidémies infectieuses

Les maladies infectieuses émergentes, telles que les zoonoses, trouvent leur origine dans les réservoirs naturels. Toutefois, leur émergence est liée à différentes causes dont nombre sont environnementales et associées à l'activité humaine. Les modes de production agricoles, en particulier l'élevage, sont les premiers déterminants de l'émergence et de la propagation des zoonoses. En effet, la nature des agroécosystèmes conditionne le risque d'apparition et de propagation des agents infectieux, risque particulièrement accru dans les élevages intensifs. Selon l'IPBES (2020), 70 % des maladies émergentes, telles que le Zika ou Ebola, sont causées par des micro-organismes d'origine animale qui diffusent dans la population humaine. L'impact de l'activité humaine sur la modification de son environnement est également évoqué comme une cause probable de l'augmentation de l'émergence de certaines maladies. Ainsi, il est établi que certaines modifications de l'environnement induites par l'activité humaine accroissent de manière drastique le risque zoonotique. Parmi ces modifications, la déforestation ou la multiplication de grands centres urbains sont identifiées comme des déterminants d'une augmentation de la fréquence des zoonoses. Enfin, le changement climatique est également identifié comme l'un des facteurs probables ayant des effets sur certaines

de ces zoonoses par son impact sur les écosystèmes. Même s'il n'y a pas de consensus établi, plusieurs maladies infectieuses ont d'ores et déjà été identifiées comme climato-sensibles dans certaines régions.

Les mesures de gestion qui consistent à freiner la propagation de l'épidémie sont une autre source d'interactions. Le temps de leur mise en place, elles ont un impact notable sur l'environnement. En matière de pollution atmosphérique, les mesures mises en place lors du premier confinement, au printemps 2020, ont ainsi eu pour effet d'améliorer la qualité de l'air, notamment grâce à des niveaux faibles d'oxydes d'azote, en raison d'une diminution importante du trafic routier, et, de manière moindre, à la baisse des concentrations en particules. Ces diminutions ont eu pour effet de réduire la mortalité, avec 2 300 décès en moins pour les particules et 1 200 décès en moins pour le NO<sub>2</sub> (Santé publique France, 2021). Bien évidemment, les conditions de confinement ne sont pas des conditions durables. Néanmoins, ces résultats constituent un argument supplémentaire d'incitation à la mise en œuvre de politiques durables et de long terme destinées à limiter l'empreinte de l'activité humaine sur la qualité de l'air et, plus généralement, sur l'environnement. Ces politiques auront également un effet positif sur la prévention des épidémies infectieuses.

## Les pressions environnementales accroissent la vulnérabilité des populations aux épidémies infectieuses

Les pressions environnementales accroissent la vulnérabilité aux épidémies infectieuses, directement ou en engendrant des pathologies chroniques. La nature et la complexité des interactions sont ici illustrées au travers de trois problématiques majeures de santé publique : les expositions 1) à la pollution de l'air, 2) aux substances chimiques et 3) à des températures élevées.

### Pollution de l'air

Les polluants de l'air (NO<sub>2</sub>, particules...) diminuent la résistance aux infections en affectant le système immunitaire. Cela accroît la vulnérabilité aux infections respiratoires, telles que la grippe, et potentiellement à d'autres coronavirus. Même si cela est bien plus marqué chez des enfants ou des adultes atteints de pathologies respiratoires chroniques, l'ensemble de la population est concernée. Par ailleurs, il est également démontré que ces polluants induisent inflammation et stress oxydatif, qui exacerbent plusieurs pathologies chroniques du système respiratoire et cardio-vasculaire, mais aussi certains cancers ou maladies neurodégénératives. En France, l'exposition chronique à la pollution atmosphérique constitue l'un des fardeaux principaux de la mortalité, alors qu'il est évitable. Une estimation récente évalue à 40 000 le nombre de décès prématurés liés à la pollution de l'air en France, qui sont en partie liés à l'exacerbation de maladies respiratoires ou cardio-vasculaires. Ces pathologies ont également été identifiées comme augmentant la vulnérabilité aux infections respiratoires aiguës, dont la Covid-19. Depuis le début de la pandémie de Sars-CoV-2, des associations avérées entre la mortalité due au Sars-CoV-2 et la pollution atmosphé-

rique ont été rapportées aux États-Unis et en Italie (Conti *et al.*, 2020 ; Wu *et al.*, 2020). Cependant, ces résultats, qui reposent pour l'essentiel sur des études observationnelles dites écologiques, méritent encore d'être confortés. En effet, l'étude de ces liens est rendue particulièrement complexe du fait du caractère émergent de l'épidémie de Covid-19, de l'existence de nombreux facteurs confondants, de la diversité des mesures mises en œuvre pour contenir l'épidémie et de la complexité de caractériser de manière représentative et à maille suffisamment fine les expositions aux polluants concernés.

### Substances chimiques

Au-delà de la pollution atmosphérique, l'environnement intérieur ou l'alimentation expose la population à un nombre important de substances chimiques (Fillol *et al.*, 2021). Ces dernières ont des effets sur l'immunité, le système hormonal ou encore le métabolisme. Elles peuvent aussi être à l'origine de pathologies, telles que l'obésité, le diabète ou encore certains cancers, autant de pathologies identifiées comme des facteurs de comorbidité lors de la pandémie de Covid-19. Une étude fondée sur des approches de bio-informatique a montré un lien entre l'exposition à des perturbateurs endocriniens et des pathologies chroniques comme les maladies métaboliques ou vasculaires et l'obésité, qui favorisent les formes sévères de la Covid-19. Ces analyses ont mis en avant l'implication de voies biologiques liées à l'inflammation (Wu *et al.*, 2020). Dans une étude réalisée chez des patients Covid-19, une équipe danoise a établi une corrélation entre l'exposition à certaines substances perfluorées immunotoxiques et les formes sévères de la Covid-19 (Grandjean *et al.*, 2020). Les mécanismes précis de cette relation ne sont pas encore connus. De plus, l'exposition pendant la vie fœtale à des substances chimiques, comme les perfluorés, augmente le risque de maladies infectieuses chez le jeune enfant (Dalsager *et al.*, 2021). Ainsi, l'exposition à des substances chimiques a des impacts sur le déroulé d'une maladie infectieuse et sur sa gravité.

### Chaleur

L'exposition à la chaleur est aussi un facteur qui augmente probablement la vulnérabilité aux maladies infectieuses. Associées à des températures diurnes et nocturnes intenses, les vagues de chaleur estivales sont de plus en plus fréquentes, du fait des changements climatiques (Pascal *et al.*, 2021a). Elles engendrent un risque sanitaire élevé et une augmentation de la mortalité, notamment pour les personnes les plus âgées qui présentent des pathologies chroniques comme celles citées précédemment. Lors de l'été 2020, une augmentation sensible de la mortalité a été observée, notamment chez les plus de 74 ans, mais aussi, ce qui est plus inhabituel, chez les plus de 45 ans (Pascal *et al.*, 2021b). Bien que des analyses complémentaires portant sur les causes de décès doivent encore être menées, il est possible que l'épidémie de Covid-19 du printemps 2020 ait pu accroître la vulnérabilité de la population, en exacerbant certaines pathologies chroniques ou du fait d'un moindre recours aux soins lié au confinement (Pascal *et al.*, 2021b).

Ces exemples soulignent l'impact probable des expositions environnementales sur la gravité des épidémies infectieuses. Bien entendu, il serait réducteur de ne considérer que les seuls facteurs environnementaux. La dynamique d'évolution même des agents infectieux, les caractéristiques sociodémographiques des sociétés et la mondialisation des échanges sont également à prendre en considération.

## Conclusions

Mieux protéger la santé en intégrant les liens entre l'environnement et les maladies infectieuses est un enseignement indiscutable de la pandémie de Covid-19. Les analyses portant sur la santé humaine, la santé animale et la santé de l'environnement convergent : la pollution de l'environnement, l'altération de la biodiversité et les changements climatiques sont déterminants dans la propagation et la sévérité des épidémies infectieuses. Pour mieux comprendre ces liens, des programmes de recherche ambitieux et pluridisciplinaires sont indispensables (Barouki *et al.*, 2021). Pour autant, les observations disponibles plaident pour agir dès à présent et durablement pour améliorer la qualité de notre environnement, de nos modes de production et de notre relation à la nature. Ces actions auront des bénéfices sur notre santé. Dans ce contexte, renforcer les politiques publiques en tenant compte de ces liens est un levier indispensable de protection en matière de santé globale.

## Références

- BAROUKI R. & HERA-COVID-19 Working Group (2021), "The Covid-19 pandemic and global environmental change: Emerging research needs", *Environment International*, doi: 10.1016/j.envint.2020.106272.
- DALSAGER L., CHRISTENSEN N., HALEKOH U., TIMMERMANN C. A. G., NIELSEN F., KYHL H. B., HUSBY S., GRANDJEAN P., JENSEN T. K. & ANDERSEN H. R. (2021), "Exposure to perfluoroalkyl substances during fetal life and hospitalization for infectious disease in childhood: A study among 1,503 children from the Odense Child Cohort", *Environment International* 149:106395, April, doi: 10.1016/j.envint.2021.106395.
- FILLOL C., OLEKO A., SAOUDI A., ZEGHNOUN A., BALICCO A., GANE J., RAMBAUD L., LEBLANC A., GAUDREAU É., MARCHAND P., LE BIZEC B., BOUCHART V., LE GLÉAU F., DURAND G. & DENYS S. (2021), "Exposure of the French population to bisphenols, phthalates, parabens, glycol ethers, brominated flame retardants, and perfluorinated compounds in 2014-2016: Results from the Esteban study", *Environment International* 147:106340, doi: 10.1016/j.envint.2020.106340.
- GRANDJEAN P., TIMMERMANN C. A. G., KRUSE M., NIELSEN F., VINHOLT P. J., BODING L., HEILMANN C. & MØLBAK K. (2020), "Severity of Covid-19 at elevated exposure to perfluorinated alkylates", *PLoS One* 15(12):e0244815, December 31, doi: 10.1371/journal.pone.0244815.
- Institute of Medicine (1992), "Emerging infections: microbial threats to health in the United States", Washington, DC, Lederberg J., Shope R. E. & Oaks S. C., National Academy Press.
- IPBES (2020), "Workshop Report on Biodiversity and Pandemics of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services", IPBES secretariat, Bonn, Germany, doi:10.5281/zenodo.4147317.

CONTICINI E., FREDIANI B. & CARO D. (2020), "Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy?", *Environmental Pollution* 261: 114465.

PASCAL M., LAGARRIGUE R., TABAI A., BONMARIN I., CAMAIL S., LAAIDI K., LE TERTRE A. & DENYS S. (2021a), "Evolving heat waves characteristics challenge heat warning systems and prevention plans", *International Journal of Biometeorology*, <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02123-y>

PASCAL M., LAGARRIGUE R., LAAIDI K., BOULANGER G. & DENYS S. (2021b), "Have health inequities, the Covid-19 pandemic and climate change led to the deadliest heatwave in France since 2003?", *Public Health*, vol. 194, pp. 143-145.

Santé publique France (2021), « Impact de la pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Réduction en lien

avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données sur le poids total pour la période 2016-2019 », Saint-Maurice, 66 p.

WU Q., COUMOUL X., GRANDJEAN P., BAROUKI R. & AUDOUZE K. (2020), "Endocrine disrupting chemicals and Covid-19 relationships: A computational systems biology approach", *Environment International* 106232, October 30, doi: 10.1016/j.envint.2020.106232.

WU X., NETHERY R. C., SABATH M. B., BRAUN D. & DOMINICI F. (2020), "Air pollution and Covid-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis", *Science Advances*, vol. 6, n°45, eabd4049, doi: 10.1126/sciadv.abd4049.

# Pollution atmosphérique et infections virales

Par Jorge BOCZKOWSKI

Professeur de pneumologie, Université Paris Est Créteil (UPEC) et Assistance Publique – Hôpitaux de Paris

Directeur, Institut Mondor de recherche biomédicale (U955 Inserm – UPEC)

La pollution de l'air – ou pollution atmosphérique – est une modification de la composition de l'air par des polluants nuisibles à la santé et à l'environnement ; elle constitue la plus grande cause environnementale de maladies et de décès prématurés dans le monde actuel. Négligée initialement car considérée comme un effet adverse de la pollution atmosphérique, la relation entre la pollution et la survenue et/ou la sévérité d'infections respiratoires est devenue ces dernières années une préoccupation croissante en santé publique. En ce qui concerne les infections virales, qui constituent une majorité des infections respiratoires, différentes études montrent que leur incidence et/ou leur sévérité peuvent être corrélées aux concentrations des polluants atmosphériques, tels que le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>) et les particules. Les mécanismes sous-jacents ne sont pas complètement élucidés à l'heure actuelle, ils font probablement intervenir une facilitation de la transmission des virus et/ou une susceptibilité accrue aux effets des virus. Bien que d'autres études soient nécessaires pour mieux comprendre ces phénomènes, les données disponibles doivent inciter la prise de mesures pour diminuer la concentration des polluants dans l'air afin de contrer la surmortalité liée à la pollution, y compris les infections virales.

## Introduction

La pollution de l'air – ou pollution atmosphérique – est une modification de la composition de l'air par des polluants nuisibles à la santé et à l'environnement. Elle peut concerner l'air à l'extérieur ou l'air à l'intérieur des habitations. Dans cet article, nous nous concentrerons sur l'air extérieur, dont les polluants sont de nature gazeuse (dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>) et monoxyde de carbone (CO)) et particulaire. Les particules de la pollution (abréviation PM pour *particulate matter* sont classées selon leur diamètre aérodynamique en trois classes : PM 10 (diamètre entre 10 et 2,5 microns), PM 2,5 (diamètre entre 2,5 et 0,1 microns), et PM 0,1 (diamètre inférieur à 0,1 micron). Le diamètre conditionne, entre autres, le site de dépôt dans l'arbre respiratoire, avec un dépôt préférentiel dans le poumon des particules dont le diamètre se situe autour de 0,1 micron et un dépôt dans les voies aériennes supérieures et le nez des particules plus grosses ou plus petites.

La pollution atmosphérique est actuellement la plus grande cause environnementale de maladies et de décès prématurés dans le monde. Les maladies causées par la pollution ont été responsables d'environ 9 millions de décès prématurés en 2015 (16 % de tous les décès

dans le monde) – trois fois plus de décès que ceux causés par le SIDA, la tuberculose et le paludisme combinés (Landrigan *et al.*, 2018). La pollution atmosphérique augmente l'incidence d'un large éventail de maladies, notamment les maladies respiratoires et cardiaques, les accidents vasculaires cérébraux et le cancer du poumon (Brunekreef *et al.*, 2002 ; Beelen *et al.*, 2014 ; Raaschou-Nielsen *et al.*, 2013 ; Cohen *et al.*, 2017).

Si l'on se concentre sur le système respiratoire, principale voie d'entrée des aérocontaminants dans l'organisme, il a été clairement démontré que l'exposition aux polluants atmosphériques est un facteur de risque bien établi pour plusieurs maladies respiratoires (Cohen *et al.*, 2017). L'exposition à long terme aux polluants particulaires et gazeux a été associée à une diminution de la fonction pulmonaire chez les adultes et les enfants (Rice *et al.*, 2015 ; Gehring *et al.*, 2013), à un risque accru de développement de l'asthme, à une augmentation de la gravité de la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) (Peacock *et al.*, 2011), à une progression plus rapide de l'emphysème (Wang *et al.*, 2019) et à une augmentation de l'incidence du cancer du poumon (Raaschou-Nielsen *et al.*, 2013).

Négligée initialement car considérée comme un effet adverse de la pollution atmosphérique, la relation entre la



Pollution aux particules fines à Lyon.

« Négligée initialement car considérée comme un effet adverse de la pollution atmosphérique, la relation entre la pollution et la survenue et/ou la sévérité d'infections respiratoires est devenue ces dernières années une préoccupation croissante en santé publique. »

pollution et la survenue et/ou la sévérité d'infections respiratoires est devenue ces dernières années une préoccupation croissante en santé publique (Grigg, 2018). Différentes études montrent que les concentrations des polluants atmosphériques, tels que le  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  et les PM, sont corrélées à une morbidité accrue des infections respiratoires. Ces études ont été effectuées essentiellement chez les nourrissons (Nhung *et al.*, 2017 ; Berhane *et al.*, 2016), mais plus récemment des résultats allant dans le même sens ont été publiés concernant les adultes. Par exemple, dans une étude croisée portant sur 57 000 patients, réalisée à Pékin, les concentrations de PM 2,5, PM 10,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  et CO ont été associées au nombre de consultations externes pour des infections respiratoires des voies aériennes supérieures et inférieures (pulmonaires ; Li *et al.*, 2017). Dans le même sens, une analyse rétrospective de séries chronologiques, à Hong Kong, a révélé des associations significatives entre des expositions élevées aux PM 10, à l' $\text{O}_3$  et surtout, au  $\text{NO}_2$ , et des consultations externes générales pour une infection des voies aériennes supérieures (Tam *et al.*, 2014). Ces études examinent les effets de la pollution sur l'ensemble des infections respiratoires, qu'elles soient d'origine bactérienne ou virale. Dans cet article, nous nous focaliserons sur les infections virales à prédominance respiratoire, car les infections virales sont la cause la plus fréquente des infections respiratoires ayant des impacts importants en termes de santé

publique, tout au long de la vie (voir l'excellent article de synthèse de Ciencewicki et Jones, 2007). Bien que plus de 200 virus différents puissent être à l'origine des infections respiratoires, les virus couramment associés à ces infections sont le rhinovirus, le virus respiratoire syncytial (VRS), l'influenza, le parainfluenza, le coronavirus et les adénovirus (Dasaraju *et al.*, 1996).

### Pollution atmosphérique et incidence et sévérité des infections virales respiratoires

Le syndrome grippal est un syndrome respiratoire aigu défini par l'OMS comme un état caractérisé par une fièvre ( $> 38^\circ\text{C}$ ) accompagnée d'une toux ou d'un mal à la gorge, et qui a débuté au cours des dix derniers jours. Chaque année, le syndrome grippal constitue un problème important en matière de santé publique et entraîne une morbidité importante et des coûts économiques substantiels (Feng *et al.*, 2020). Un syndrome grippal peut résulter d'un large éventail de virus respiratoires, tels que les virus de l'influenza, le para-influenza, et le VRS (Peng *et al.*, 2012). L'exposition aux PM augmente l'incidence des syndromes grippaux (Huang *et al.*, 2016 ; Silva *et al.*, 2014 ; Su *et al.*, 2019). Toutefois, en raison de leur différence de taille et de leur capacité à pénétrer profondément dans les poumons, l'effet apparaît comme plus marqué pour les PM 2,5 que pour les PM 10.

Huang et associés (Huang *et al.*, 2016) ont examiné l'incidence de syndrome grippal chez des adultes à Nanjing, en Chine. Ces auteurs ont montré des relations entre les concentrations quotidiennes de PM 2,5 et les cas de syndrome grippal, suggérant qu'il pourrait y avoir une relation cause-effet entre les deux phénomènes. Cet effet est plutôt aigu, avec une période de latence allant de zéro à quatre jours, ce qui correspond en gros à la période d'incubation du virus de la grippe. Toczyłowski et collaborateurs (Toczyłowski *et al.*, 2021) ont montré que l'effet cumulatif d'une augmentation de la concentration de PM 2,5 est exponentiellement associé à l'augmentation du risque de syndrome grippal à Białystok, en Pologne, après ajustement de la température de l'air. Dans cette étude, les concentrations moyennes de PM 2,5 étaient plusieurs fois inférieures à celles rapportées dans des études antérieures liant la pollution atmosphérique au syndrome grippal (Feng *et al.*, 2016), y compris l'étude de Huang et collaborateurs, citée précédemment (Huang, Zhou, Chen, Chen, Liu, Chen et Tang, 2016). Cela indique que la relation entre pollution de l'air et syndrome grippal n'est pas limitée aux régions fortement polluées. De plus, les résultats de Toczyłowski *et al.* (2021) montrent que des concentrations élevées de PM 2,5 augmentent le risque de syndrome grippal non seulement au cours de la semaine d'exposition, mais aussi jusque dans les quatre semaines suivantes. Par conséquent, les mécanismes sous-jacents reliant la pollution atmosphérique à l'incidence des infections respiratoires ne se limitent pas aux seuls effets aigus.

Horne et collègues (Horne *et al.*, 2018) ont constaté chez les enfants de moins de deux ans que la probabilité de demander une consultation médicale pour une infection respiratoire aiguë était significativement accrue après leur exposition à une atmosphère avec des concentrations élevées de PM 2,5. Cette probabilité élevée persistait pendant trois semaines après survenue du pic de PM 2,5, avec une situation probablement similaire chez les enfants plus âgés. La même association a été constatée chez le sous-groupe des jeunes enfants présentant une infection avérée par VRS. Cela constitue une donnée importante, car, en 2015, à l'échelle mondiale, 33 millions d'épisodes d'infection respiratoire aiguë résultaient d'une infection par le VRS.

En plus des infections par virus entraînant un syndrome grippal, le rôle de la pollution atmosphérique a été également examiné dans les infections par coronavirus. Au cours de l'épidémie de Sars (syndrome respiratoire aigu sévère, dont la cause est l'infection par le coronavirus Sars-CoV) qui a frappé la Chine en 2003, les patients atteints de cette maladie provenant de régions où la pollution atmosphérique était élevée avaient deux fois plus de risques de mourir que ceux issus de régions où la pollution atmosphérique était faible. Cet effet était constaté pour l'exposition aiguë et chronique aux polluants (Cui *et al.*, 2003).

Des données allant dans le même sens ont été rapportées en ce qui concerne la Covid-19, dont la cause est l'infection par le coronavirus Sars-CoV-2 (voir l'excellente synthèse de la littérature récemment publiée par Katoto et collaborateurs : Katoto *et al.*, 2021). Cela étant dit, et comme

indiqué par Villeneuve et Goldberg (Villeneuve *et al.*, 2020) et également par Katoto et collaborateurs (Katoto *et al.*, 2021), ces données doivent être interprétées à la lumière des limites méthodologiques associées à la publication de résultats dans des conditions d'urgence sanitaire. Cette limitation s'applique davantage aux études portant sur les effets à court terme de la pollution.

Considérant l'exposition à court terme, les données de la littérature montrent que les augmentations de courte durée des concentrations de PM 2,5 et PM 10, qui dépendent largement des changements temporels des émissions et de la météorologie, peuvent aggraver l'incidence et la mortalité de la Covid-19 (Yao *et al.*, 2020). En ce qui concerne l'effet aigu du NO<sub>2</sub>, il a été rapporté une faible corrélation entre les niveaux de ce composé chimique et la prévalence de la Covid-19. Finalement, l'exposition aiguë à l'O<sub>3</sub> semble jouer un rôle potentialisateur de la transmission et de l'infection par le Sars-CoV-2, sans effet notable sur la mortalité de la Covid-19 (Adhikari *et al.*, 2020).

En ce qui concerne l'exposition à long terme, des données de la littérature montrent une corrélation positive entre la concentration atmosphérique de PM 2,5 et la mortalité par la Covid-19 dans le Nord de l'Italie (Coker *et al.*, 2020). De même, l'incidence et la gravité de la Covid-19 dans la métropole de Lima ont été associées, entre autres facteurs, au degré d'exposition aux PM 2,5 au cours des années précédentes (Vasquez-Apestequi *et al.*, 2020). Aux États-Unis, une étude transversale réalisée à l'échelle nationale a montré qu'une légère augmentation de l'exposition chronique aux PM 2,5 contribuait à une augmentation significative du taux de mortalité de la Covid-19 (Wu *et al.*, 2020), tandis qu'une autre étude n'a rapporté qu'un effet marginal des PM 2,5 en relation avec la susceptibilité aux différents variants du Covid-19, mais pas avec la mortalité. Cette dernière étude a cependant attribué beaucoup d'importance aux effets possibles d'une exposition à long terme au NO<sub>2</sub> (principalement due à des sources de combustion urbaines, telles que le trafic automobile) sur la susceptibilité et la mortalité de la Covid-19, indépendamment de l'exposition à long terme aux PM 2,5 et à l'O<sub>3</sub> (Liang *et al.*, 2020). De même, une étude nationale menée en Angleterre a mis en évidence une relation entre l'exposition à long terme au NO<sub>2</sub> et la mortalité due à la Covid-19 (Konstantinou *et al.*, 2021).

Pour résumer, l'exposition à court et à long termes aux PM 2,5 et l'exposition à long terme au NO<sub>2</sub> semblent être associées de manière reproductible aux données épidémiologiques et cliniques en rapport avec l'incidence de la Covid-19 dans le monde entier, mais les études évaluant les effets des expositions aiguës présentent des risques de biais non négligeables (Villeneuve et Goldberg, 2020).

## Mécanismes impliqués

Les mécanismes à l'origine de l'effet aggravant de la pollution atmosphérique sur les infections virales respiratoires ne sont pas complètement connus à l'heure actuelle. Schématiquement, deux types de mécanismes peuvent être envisagés : une facilitation de la transmission des

virus et une susceptibilité accrue aux effets des virus des personnes exposées à la pollution atmosphérique.

Concernant le premier mécanisme, il a été démontré que les particules de la pollution peuvent servir de vecteurs pour le transport de micro-organismes pathogènes (Chen *et al.*, 2010 ; Garrison *et al.*, 2014). Le virus de la grippe aviaire a été rapporté comme pouvant être disséminé à distance d'un foyer d'infection en étant transporté par des particules de la pollution (Jonges *et al.*, 2015). Des résultats similaires ont été décrits concernant le virus Sars-CoV-2 (Setti *et al.*, 2020), mais la question qui reste sans réponse claire si l'on suit cette hypothèse est le pouvoir infectant du virus transporté par les particules (Tung *et al.*, 2021). En effet, la transmission aérienne des agents pathogènes dépend de leur survie dans les gouttelettes aérosolisées, qui est elle-même soumise aux variations de température, d'humidité et de rayonnement solaire (Sooryanarain *et al.*, 2015).

Quant au second mécanisme, différentes études montrent que les polluants atmosphériques altèrent la fonction immunitaire, rendant les personnes plus sensibles aux infections respiratoires. La muqueuse respiratoire constitue la première ligne de défense contre tous les polluants et les toxines inhalés, grâce aux cellules épithéliales bronchiques et alvéolaires, aux macrophages alvéolaires, aux cellules dendritiques et aux lymphocytes T et B adaptatifs. La pollution atmosphérique peut affecter la fonction des cellules formant cette barrière muqueuse. Par exemple, des études ont montré que les macrophages alvéolaires de personnes vivant dans des villes fortement polluées ont une capacité immunitaire réduite, qui est proportionnelle à la quantité de particules phagocytées (voir l'excellent article de synthèse publié par Wang *et al.*, 2020). Ces changements causés par la pollution de l'air pourraient déréguler la réponse immunitaire antivirale, rendant les personnes exposées plus sensibles à ces infections (Cienciewicki et Jaspers, 2007 ; Glencross *et al.*, 2020). En outre, dans le cas de la Covid-19, il a été démontré que l'exposition aux PM augmente l'expression dans les cellules épithéliales respiratoires du récepteur auquel le virus se lie pour pénétrer dans les cellules, la protéine ACE-2 (Lin *et al.*, 2018). De plus, il a également été démontré que l'exposition aiguë ou chronique à des composants de la pollution atmosphérique, tels que les particules, augmente la production dans le poumon de certains des médiateurs inflammatoires présents dans l'infection par le Sars-CoV-2 (Wang *et al.*, 2020). Cela suggère qu'une exposition préalable à la pollution atmosphérique peut également renforcer l'effet inflammatoire de l'infection par le Sars-CoV-2.

## Conclusion

Les données de la littérature montrent que la pollution atmosphérique peut augmenter l'incidence et/ou aggraver les infections virales respiratoires. Des études additionnelles sont nécessaires pour mieux caractériser ce phénomène et pour identifier spécialement le rôle individuel des différents polluants. Quoiqu'il en soit, les données existantes doivent inciter à la prise de mesures pour diminuer la concentration des polluants dans l'air afin de

lutter contre la surmortalité liée à la pollution, y compris les infections virales.

## Références

- ADHIKARI A. & YIN J. (2020), "Short-Term Effects of Ambient Ozone, PM2.5, and Meteorological Factors on Covid-19 Confirmed Cases and Deaths in Queens, New York", *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17(11), p. 4047.
- BEELEN R., STAFOGGIA M., RAASCHOU-NIELSEN O., ANDERSEN Z. J., XUN W. W., KATSOUYANNI K., DIMAKOPOULOU K., BRUNEKREEF B., WEINMAYR G., HOFFMANN B., WOLF K., SAMOLI E., HOUTHUIJS D., NIEUWENHUIJSEN M., OUDIN A., FORSBERG B., OLSSON D., SALOMAA V., LANKI T., YLI-TUOMI T., OFTEDAL B., AAMODT G., NAFSTAD P., DE FAIRE U., PEDERSEN N. L., OSTENSON C. G., FRATIGLIONI L., PENELL J., KOREK M., PYKO A., ERIKSEN K. T., TJONNELAND A., BECKER T., EEFTEENS M., BOTS M., MELIEFSTE K., WANG M., BUENO-DE-MESQUITA B., SUGIRI D., KRAMER U., HEINRICH J., DE HOOGH K., KEY T., PETERS A., CYRYS J., CONCIN H., NAGEL G., INEICHEN A., SCHAFFNER E., PROBST-HENSCH N., DRATVA J., DUCRET-STICH R., VILIER A., CLAVEL-CHAPELON F., STEMPFELET M., GRIONI S., KROGH V., TSAI M. Y., MARCON A., RICCIERI F., SACERDOTE C., GALASSI C., MIGLIORE E., RANZI A., CESARONI G., BADALONI C., FORASTIERE F., TAMAYO I., AMIANO P., DORRONSORO M., KATSOUKIS M., TRICHOPOULOU A., VINEIS P. & HOEK G. (2014), "Long-term exposure to air pollution and cardiovascular mortality: an analysis of 22 European cohorts", *Epidemiology* 25(3), pp. 368-378.
- BERHANE K., CHANG C. C., MCCONNELL R., GAUDERMAN W. J., AVOL E., RAPAPPORT E., URMAN R., LURMANN F. & GILLILAND F. (2016), "Association of Changes in Air Quality With Bronchitic Symptoms in Children in California, 1993-2012", *JAMA* 315(14), pp. 1491-1501.
- BRUNEKREEF B. & HOLTGATE S. T. (2002), "Air pollution and health", *Lancet* 360(9341), pp. 1233-1242.
- CHEN P. S., TSAI F. T., LIN C. K., YANG C. Y., CHAN C. C., YOUNG C. Y. & LEE C. H. (2010), "Ambient influenza and avian influenza virus during dust storm days and background days", *Environ. Health Perspect.* 118(9), pp. 1211-1216.
- CIENCEWICKI J. & JASPERS I. (2007), "Air pollution and respiratory viral infection", *Inhal. Toxicol.* 19(14), pp. 1135-1146.
- COHEN A. J., BRAUER M., BURNETT R., ANDERSON H. R., FROSTAD J., ESTEP K., BALAKRISHNAN K., BRUNEKREEF B., DANDONA L., DANDONA R., FEIGIN V., FREEDMAN G., HUBBELL B., JOBLING A., KAN H., KNIBBS L., LIU Y., MARTIN R., MORAWSKA L., POPE C. A., 3RD, SHIN H., STRAIF K., SHADDICK G., THOMAS M., VAN DINGENEN R., VAN DONKELAAR A., VOS T., MURRAY C. J. L. & FOROUZANFAR M. H. (2017), "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", *Lancet* 389(10082), pp. 1907-1918.
- COKER E. S., CAVALLI L., FABRIZI E., GUASTELLA G., LIPPO E., PARISI M. L., PONTAROLLO N., RIZZATI M., VARACCA A. & VERGALLI S. (2020), "The Effects of Air Pollution on Covid-19 Related Mortality in Northern Italy", *Environ. Resour. Econ. (Dordr)*, pp. 1-24.
- CUI Y., ZHANG Z. F., FROINES J., ZHAO J., WANG H., YU S. Z. & DETELS R. (2003), "Air pollution and case fatality of Sars in the People's Republic of China: an ecologic study", *Environ. Health* 2(1), p. 15.

- FENG C., LI J., SUN W., ZHANG Y. & WANG Q. (2016), "Impact of ambient fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) exposure on the risk of influenza-like-illness: a time-series analysis in Beijing, China", *Environ. Health* 15, p. 17.
- FENG L., FENG S., CHEN T., YANG J., LAU Y. C., PENG Z., LI L., WANG X., WONG J. Y. T., QIN Y., BOND H. S., ZHANG J., FANG V. J., ZHENG J., YANG J., WU P., JIANG H., HE Y., COWLING B. J., YU H., SHU Y. & LAU E. H. Y. (2020), "Burden of influenza-associated outpatient influenza-like illness consultations in China, 2006-2015: A population-based study", *Influenza Other Respir. Viruses* 14(2), pp. 162-172.
- GARRISON V. H., MAJEWSKI M. S., KONDE L., WOLF R. E., OTTO R. D. & TSUNEOKA Y. (2014), "Inhalable desert dust, urban emissions, and potentially biotoxic metals in urban Saharan-Saharan air", *Sci. Total. Environ.* 500-501, pp. 383-394.
- GEHRING U., GRUZIEVA O., AGIUS R. M., BEELEN R., CUSTOVIC A., CYRYS J., EEFTENS M., FLEXEDER C., FUERTES E., HEINRICH J., HOFFMANN B., DE JONGSTE J. C., KERKHOF M., KLUMPER C., KOREK M., MOLTER A., SCHULTZ E. S., SIMPSON A., SUGIRI D., SVARTENGREN M., VON BERG A., WIJGA A. H., PERSHAGEN G. & BRUNEKREEF B. (2013), "Air pollution exposure and lung function in children: the ESCAPE project", *Environ. Health Perspect.* 121(11-12), pp. 1357-1364.
- GLENCROSS D. A., HO T. R., CAMINA N., HAWRYLOWICZ C. M. & PFEFFER P. E. (2020), "Air pollution and its effects on the immune system", *Free Radic. Biol. Med.* 151, pp. 56-68.
- GRIGG J. (2018), "Air Pollution and Respiratory Infection: An Emerging and Troubling Association", *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 198(6), pp. 700-701.
- HORNE B. D., JOY E. A., HOFMANN M. G., GESTELAND P. H., CANNON J. B., LEFLER J. S., BLAGEV D. P., KORGESKI E. K., TOROSYAN N., HANSEN G. I., KARTCHNER D. & POPE C. A., 3<sup>rd</sup> (2018), "Short-Term Elevation of Fine Particulate Matter Air Pollution and Acute Lower Respiratory Infection", *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 198(6), pp. 759-766.
- HUANG L., ZHOU L., CHEN J., CHEN K., LIU Y., CHEN X. & TANG F. (2016), "Acute effects of air pollution on influenza-like illness in Nanjing, China: A population-based study", *Chemosphere* 147, pp. 180-187.
- JONGES M., VAN LEUKEN J., WOUTERS I., KOCH G., MEIJER A. & KOOPMANS M. (2015), "Wind-Mediated Spread of Low-Pathogenic Avian Influenza Virus into the Environment during Outbreaks at Commercial Poultry Farms", *PLoS One* 10(5), pp. e0125401.
- KATOTO P., BRAND A. S., BAKAN B., OBADIA P. M., KUHANGANA C., KAYEMBE-KITENGE T., KITENGE J. P., NKULU C. B. L., VANOIRBEEK J., NAWROT T. S., HOET P. & NEMERY B. (2021), "Acute and chronic exposure to air pollution in relation with incidence, prevalence, severity and mortality of Covid-19: a rapid systematic review", *Environ. Health* 20(1), p. 41.
- KONSTANTINOUDIS G., PADELLINI T., BENNETT J., DAVIES B., EZZATI M. & BLANGIARDO M. (2021), "Long-term exposure to air-pollution and Covid-19 mortality in England: A hierarchical spatial analysis", *Environ. Int.* 146, p. 106316.
- LANDRIGAN P. J., FULLER R., ACOSTA N. J. R., ADEYI O., ARNOLD R., BASU N. N., BALDE A. B., BERTOLLINI R., BOSE-O'REILLY S., BOUFFORD J. I., BREYSSE P. N., CHILES T., MAHIDOL C., COLL-SECK A. M., CROPPER M. L., FOBIL J., FUSTER V., GREENSTONE M., HAINES A., HANRAHAN D., HUNTER D., KHARE M., KRUPNICK A., LANPHEAR B., LOHANI B., MARTIN K., MATHIASSEN K. V., MCTEER M. A., MURRAY C. J. L., NDAHIMANANJARA J. D., PERERA F., POTOCNIK J., PREKER A. S., RAMESH J., ROCKSTROM J., SALINAS C., SAMSON L. D., SANDILYA K., SLY P. D., SMITH K. R., STEINER A., STEWART R. B., SUK W. A., VAN SCHAYCK O. C. P., YADAMA G. N., YUMKELLA K. & ZHONG M. (2018), "The Lancet Commission on pollution and health", *Lancet* 391(10119), pp. 462-512.
- LI R., JIANG N., LIU Q., HUANG J., GUO X., LIU F. & GAO Z. (2017), "Impact of Air Pollutants on Outpatient Visits for Acute Respiratory Outcomes", *Int. J. Environ. Res. Public Health* 14(1), p. 47.
- LIANG D., SHI L., ZHAO J., LIU P., SCHWARTZ J., GAO S., SARNAT J., LIU Y., EBELT S., SCOVRONICK N. & CHANG H. H. (2020), "Urban Air Pollution May Enhance Covid-19 Case-Fatality and Mortality Rates in the United States", *Innovation (N Y)* 1(3), p. 100047.
- LIN C. I., TSAI C. H., SUN Y. L., HSIEH W. Y., LIN Y. C., CHEN C. Y. & LIN C. S. (2018), "Instillation of particulate matter 2.5 induced acute lung injury and attenuated the injury recovery in ACE2 knockout mice", *Int. J. Biol. Sci.* 14(3), pp. 253-265.
- NHUNG N. T. T., AMINI H., SCHINDLER C., KUTLAR JOSS M., DIEN T. M., PROBST-HENSCH N., PEREZ L. & KUNZLI N. (2017), "Short-term association between ambient air pollution and pneumonia in children: A systematic review and meta-analysis of time-series and case-crossover studies", *Environ. Pollut.* 230, pp. 1000-1008.
- PEACOCK J. L., ANDERSON H. R., BREMNER S. A., MARSTON L., SEEMUNGAL T. A., STRACHAN D. P. & WEDZICHA J. A. (2011), "Outdoor air pollution and respiratory health in patients with COPD", *Thorax* 66(7), pp. 591-596.
- PENG J., KONG W., GUO D., LIU M., WANG Y., ZHU H., PANG B., MIAO X., YU B., LUO T., HU Q. & ZHOU D. (2012), "The epidemiology and etiology of influenza-like illness in Chinese children from 2008 to 2010", *J. Med. Virol.* 84(4), pp. 672-678.
- RAASCHOU-NIELSEN O., ANDERSEN Z. J., BEELEN R., SAMOLI E., STAFOGGIA M., WEINMAYR G., HOFFMANN B., FISCHER P., NIEUWENHUIJSEN M. J., BRUNEKREEF B., XUN W. W., KATSOUYANNI K., DIMAKOPOULOU K., SOMMAR J., FORSBERG B., MODIG L., OUDINA., OFTEDAL B., SCHWARZE P. E., NAFSTAD P., DE FAIRE U., PEDERSEN N. L., OSTENSON C. G., FRATIGLIONI L., PENELL J., KOREK M., PERSHAGEN G., ERIKSEN K. T., SORENSEN M., TJONNELAND A., ELLERMANN T., EEFTENS M., PEETERS P. H., MELIEFSTE K., WANG M., BUENO-DE-MESQUITA B., KEY T. J., DE HOOGH K., CONCIN H., NAGEL G., VILIER A., GRIONI S., KROGH V., TSAI M. Y., RICCIERI F., SACERDOTE C., GALASSI C., MIGLIORE E., RANZI A., CESARONI G., BADALONI C., FORASTIERE F., TAMAYO I., AMIANO P., DORRONSORO M., TRICHOPOULOU A., BAMIA C., VINEIS P. & HOEK G. (2013), "Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE)", *Lancet Oncol* 14(9), pp. 813-822.
- RICE M. B., LJUNGMAN P. L., WILKER E. H., DORANS K. S., GOLD D. R., SCHWARTZ J., KOUTRAKIS P., WASHKO G. R., O'CONNOR G. T. & MITTLEMAN M. A. (2015), "Long-term exposure to traffic emissions and fine particulate matter and lung function decline in the Framingham heart study", *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 191(6), pp. 656-664.
- SETTI L., PASSARINI F., DE GENNARO G., BARBIERI P., PERRONE M. G., BORELLI M., PALMISANI J., DI GILIO A., TORBOLI V., FONTANA F., CLEMENTE L., PALLAVICINI A., RUSCIO M., PISCITELLI P. & MIANI A. (2020), "Sars-Cov-2RNA found on particulate matter of Bergamo in Northern Italy: First evidence", *Environ. Res.* 188, p. 109754.

- SILVA D. R., VIANA V. P., MULLER A. M., LIVI F. P. & DALCIN PDE T. (2014), "Respiratory viral infections and effects of meteorological parameters and air pollution in adults with respiratory symptoms admitted to the emergency room", *Influenza Other Respir. Viruses* 8(1), pp. 42-52.
- SOORYANARAIN H. & ELANKUMARAN S. (2015), "Environmental role in influenza virus outbreaks", *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 3, pp. 347-373.
- SU W., WU X., GENG X., ZHAO X., LIU Q. & LIU T. (2019), "The short-term effects of air pollutants on influenza-like illness in Jinan, China", *BMC Public Health* 19(1), p. 1319.
- TAM W. W., WONG T. W., NG L., WONG S. Y., KUNG K. K. & WONG A. H. (2014), "Association between air pollution and general outpatient clinic consultations for upper respiratory tract infections in Hong Kong", *PLoS One* 9(1), pp. e86913.
- TOCZYLOWSKI K., WIETLICKA-PISZCZ M., GRABOWSKA M. & SULIK A. (2021), "Cumulative Effects of Particulate Matter Pollution and Meteorological Variables on the Risk of Influenza-Like Illness", *Viruses* 13(4), p. 556.
- TUNG N. T., CHENG P. C., CHI K. H., HSIAO T. C., JONES T., BERUBE K., HO K. F. & CHUANG H. C. (2021), "Particulate matter and Sars-CoV-2: A possible model of Covid-19 transmission", *Sci. Total. Environ.* 750, p. 141532.
- VASQUEZ-APESTEGUI V., PARRAS-GARRIDO E., TAPIA V., PAZ-APARICIO V. M., ROJAS J. P., SANCHEZ-CCOYLLO O. R. & GONZALES G. F. (2020), "Association Between Air Pollution in Lima and the High Incidence of Covid-19: Findings from a Post Hoc Analysis", *Res. Sq.* 1 (preprint).
- VILLENEUVE P. J. & GOLDBERG M. S. (2020), "Methodological Considerations for Epidemiological Studies of Air Pollution and the Sars and Covid-19 Coronavirus Outbreaks", *Environ. Health Perspect.* 128(9), p. 95001.
- WANG B., CHEN H., CHAN Y. L. & OLIVER B. G. (2020), "Is there an association between the level of ambient air pollution and Covid-19?", *Am. J. Physiol. Lung. Cell. Mol. Physiol.* 319(3), pp. L416-L421.
- WANG M., AARON C. P., MADRIGANO J., HOFFMAN E. A., ANGELINI E., YANG J., LAINE A., VETTERLI T. M., KINNEY P. L., SAMPSON P. D., SHEPPARD L. E., SZPIRO A. A., ADAR S. D., KIRWA K., SMITH B., LEDERER D. J., DIEZ-ROUX A. V., VEDAL S., KAUFMAN J. D. & BARR R. G. (2019), "Association Between Long-term Exposure to Ambient Air Pollution and Change in Quantitatively Assessed Emphysema and Lung Function", *JAMA* 322(6), pp. 546-556.
- WU X., NETHERY R. C., SABATH M. B., BRAUN D. & DOMINICI F. (2020), "Air pollution and Covid-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis", *Sci. Adv.* 6(45), pp. eabd4049.
- YAO Y., PAN J., WANG W., LIU Z., KAN H., QIU Y., MENG X. & WANG W. (2020), "Association of particulate matter pollution and case fatality rate of Covid-19 in 49 Chinese cities", *Sci. Total. Environ.* 741, p. 140396.

# Changement climatique ou changement global, il faut choisir pour la santé !

Par Jean-François GUÉGAN

UMR MIVEGEC, IRD, CNRS, Université de Montpellier et UMR ASTRE, INRAE

Les changements climatiques constituent une composante importante des changements globaux. Or, les effets propres à ces changements climatiques sur l'évolution des maladies infectieuses et parasitaires restent difficiles à évaluer. D'autres facteurs notamment démographiques, environnementaux, socio-économiques et sociétaux interviennent et sont, dans la plupart des situations, prépondérants dans l'évolution actuelle et future de ces maladies.

## Introduction

Des confusions importantes sont toujours faites entre changement climatique et changement global, notamment dans le domaine de la santé. Pourtant, le concept de changement global, aujourd'hui couramment accepté, est plus « globalisant », en tant qu'il inclut toutes les forces motrices tant climatiques qu'environnementales, socio-économiques, démographiques et sociétales conduisant à ces changements mondiaux. On préfère aussi utiliser la forme plurielle lorsque l'on parle de ces changements climatiques et globaux, car leurs dimensions sont complexes et interconnectées. Le thème des changements globaux, incluant donc les facteurs climatiques, est central dans la discussion de cet article, lequel doit être lu et compris en complément d'une seconde étude menée de front par l'auteur (Guégan, 2021a).

## Une difficulté à isoler les effets du changement climatique d'autres facteurs souvent plus importants

Les micro-organismes, leurs hôtes et leurs vecteurs de transmission forment une part importante de la biodiversité (Guégan *et al.*, 2021), et sont en tant que tels soumis aux effets des dérèglements climatiques. La température, l'abondance et la distribution saisonnière des précipitations, la concentration de certains composants atmosphériques, la variation d'intensité et de fréquence des événements extrêmes, ou encore des changements de la circulation océanique, indépendamment ou en association avec certains de ces paramètres, peuvent avoir un impact sur la biodiversité (Lavorel *et al.*, 2017) et *a fortiori* sur les interactions hôtes-micro-organismes. Les changements climatiques observés depuis environ 150 ans ne sont pas, en revanche, la cause majeure de l'évolution récente des

agents infectieux ou parasitaires et de leur cortège d'espèces associées (hôtes réservoirs, vecteurs, hôtes relais, hôtes accidentels). Plusieurs études portant à la fois sur des maladies infectieuses ou parasitaires endémiques, et sur d'autres d'apparition récente, dites émergentes, montrent, en effet, que les causes largement dominantes de leur expansion actuelle sont la modification des sols sous l'effet de la déforestation et de l'urbanisation, le développement de l'agriculture et de l'élevage, la démographie humaine et les changements sociétaux, ainsi que les systèmes de santé et de soins défectueux dans certaines régions du monde (Woolhouse et Gowtage-Sequeria, 2005 ; Thoisy *et al.*, 2021). Beaucoup de choses ont été écrites sur l'impact des changements climatiques sur les systèmes infectieux et parasitaires, souvent avec exagération, mais très peu de travaux ont en réalité confronté les conséquences propres à ces modifications du climat avec d'autres causes environnementales ou anthropiques (Guégan, 2021a ; Guégan *et al.*, 2020). Récemment, Franklinos *et al.* (2019) se sont intéressés à cette question en explorant les effets du dérèglement climatique sur les maladies infectieuses à transmission vectorielle. Cette catégorie d'infections est généralement privilégiée pour étudier l'impact du réchauffement climatique, car les arthropodes vecteurs sont directement affectés par les variations de certains paramètres météorologiques, comme la température ou la pluviométrie. La méta-analyse réalisée par ces auteurs montre que 54 % des études révèlent un effet positif du changement climatique sur la distribution géographique de plusieurs maladies infectieuses et parasitaires vectorielles, mais que 46 % d'entre elles ne montrent aucun effet, voire un effet opposé se traduisant par une réduction des aires de distribution. Plus inquiétant encore, pour les 54 % d'études positives, 97 % d'entre elles n'ont utilisé que des paramètres météorologiques,



Contrôle du taux d'infection de la population au Covid-19 dans la favela de Paraisópolis, à Sao Paulo (Brésil), août 2020.

« Les causes largement dominantes de l'expansion des maladies infectieuses ou parasitaires endémiques, et d'autres d'apparition récente, dites émergentes, sont la modification des sols sous l'effet de la déforestation et de l'urbanisation, le développement de l'agriculture et de l'élevage, la démographie humaine et les changements sociétaux, ainsi que les systèmes de santé et de soins défectueux dans certaines régions du monde. »

lesquels n'ont jamais été confrontés à d'autres paramètres explicatifs potentiels, comme la démographie humaine, les déplacements d'individus ou encore la qualité de vie.

Si beaucoup d'études ont été consacrées à l'évolution des maladies infectieuses et parasitaires sous l'effet des contraintes climatiques, les travaux donnant une vue d'ensemble des changements environnementaux et anthropiques restent éparpillés, et leur compréhension encore limitée. Nous avons tous en tête l'exemple du fameux moustique-tigre, *Aedes albopictus*, et de son invasion spectaculaire pour aller du Sud méditerranéen vers des régions françaises plus septentrionales, puisqu'aujourd'hui cet insecte a atteint les portes de Paris. Chacun abonde de sa façon jusqu'aux médias les plus sérieux sur le rôle du changement climatique dans cette progression, mais qu'en est-il au juste ? Eritja *et al.* (2017) ont démontré, en s'intéressant au rôle du trafic routier dans la dispersion de ce moustique en Espagne, que de nombreux individus de cette espèce embarquaient ainsi dans les habitacles des véhicules pour coloniser d'autres régions ibères. Ces résultats viennent conforter des travaux menés précédemment en France, lesquels ont démontré une dispersion diffuse et égrainée tout le long des réseaux routiers et autoroutiers français, ce qui ne correspond donc pas

à un front de progression continu comme on pourrait s'y attendre sous l'hypothèse d'un réchauffement climatique (Roche *et al.*, 2015). Pour d'autres groupes d'insectes, notamment des espèces de papillons, une remontée en latitude en France et en Europe de l'ouest a été mise en évidence avec l'installation de populations reproductrices (Parmesan *et al.*, 1999). Il y a donc tout lieu de penser que le réchauffement climatique doit aussi opérer pour des insectes de plus petite taille comme les moustiques. Toutefois, la progression lente vers des latitudes plus élevées de ces moustiques-tigres sous l'effet d'un réchauffement climatique (le rayon de dispersion de ce type d'insecte est de quelques dizaines à centaines de mètres, guère plus !) est difficile à distinguer d'une remontée rapide de milliers de spécimens embarqués dans les habitacles de voiture ou encore dans les containers transportés par des camions ou des trains (en voiture, il faut moins de 2 h 30 mn pour rejoindre Lyon à partir de Montpellier).

### Les changements climatiques comme un des éléments du changement global

L'expression « changement global », ou celle, plus large, de « changements globaux », désignent l'ensemble des

évolutions qui s'observent à l'échelle de la planète tout entière, et fait plus spécifiquement référence aux effets de l'activité humaine sur l'environnement (Longaretti, 2013). Ces changements désignent donc des évolutions tant sociétales qu'environnementales : l'évolution de la démographie ou l'émergence d'un mode de vie urbain généralisé constituent des phénomènes sociétaux, alors que le changement climatique ou la perte accélérée de biodiversité relèvent de l'environnement. Si certains de ces changements peuvent être multimillénaires comme l'exploitation des terres arables, la plupart trouvent leur origine dans l'essor de la société industrielle moderne, au XIX<sup>e</sup> siècle. La liste des domaines soumis aux changements globaux est très étendue (Euzen *et al.*, 2013) : climat, couche d'ozone, usage des sols, cycles biogéochimiques, fonte des glaciers et des calottes polaires, montée des océans, érosion et désertification, biodiversité..., et on y inscrit aujourd'hui l'apparition de nouvelles maladies émergentes affectant les populations humaines, animales et végétales.

La complexité des changements globaux tient non seulement à leur dynamique spatiale et temporelle, mais aussi, et bien plus encore, à l'interdépendance des différentes problématiques, qui génère de nombreuses boucles de rétroaction et des phénomènes synergiques entre les différents facteurs et leurs conséquences (Longaretti, 2013). Par exemple, les zones géographiques où la croissance démographique est la plus importante au niveau mondial coïncident évidemment avec celles où l'agriculture et l'élevage se sont intensifiés, à l'instar de l'Asie du Sud-Est. Souvent, ce sont aussi des régions où les problèmes de pauvreté, de famine, d'accès à l'eau et d'érosion des sols sont les plus critiques, et où les impacts de l'activité humaine sur la biodiversité et les écosystèmes naturels sont largement mis en évidence, comme c'est le cas en Afrique subsaharienne. Ces mêmes zones sont aussi celles qui voient aujourd'hui apparaître de nouvelles infections responsables d'épidémies et de pandémies humaines (Jones *et al.*, 2008 ; Guégan *et al.*, 2020). En matière de santé, on tend ainsi à parler de syndémie, c'est-à-dire d'un entrelacement d'infections et de facteurs biologiques, environnementaux, humains et sociétaux qui par leur synergie en aggravent les conséquences sanitaires (Horton, 2020). Le même terme s'applique aussi à l'apparition de maladies affectant les humains, les animaux et les végétaux, et dont la genèse et le développement sont conditionnés par un ensemble de facteurs souvent communs. Cette nouvelle ère des syndémies interroge aussi la médecine sur ses fondamentaux, notamment son formalisme étiologique très réductionniste. En regard, cette époque met en exergue la santé publique internationale qui se réinvente au travers d'une nouvelle expression « Planetary Health », pointant ainsi l'importance de déterminants de santé qui incluent aujourd'hui les changements globaux, dont ceux associés à l'environnement et au réchauffement global. Si le changement climatique est fortement amplifié par les activités humaines, il est aussi souvent un facteur aggravant des autres changements globaux comme la perte de diversité biologique, la multiplication des phénologies déphasées entre la floraison des plantes et la reproduction de leurs pollinisateurs, ou encore les migrations septentrionales

d'arthropodes vecteurs d'infections humaines (Plantard *et al.*, 2015).

L'importance de la problématique des changements globaux tient à l'incertitude que ceux-ci font planer sur les générations présentes et futures et sur le devenir des écosystèmes et de la biodiversité dont elles dépendent. Ces changements s'inscrivent dans le long voire le très long terme, alors que nos décideurs politiques ont des difficultés à appréhender des problèmes complexes qui exigent de leur part une vision allant bien au-delà de leur mandat quadriennal ou quinquennal (Bergeron et Borraz, 2021 ; Guégan, 2021b). Les enjeux de premier rang auxquels ces changements globaux nous exposent sont eux aussi par nature interdépendants.

## Le point sur le lien entre changements climatiques et maladies infectieuses

Mais dès lors, que pensez-vous du thème changements climatiques et maladies infectieuses ? Je me suis plusieurs fois prononcé à ce sujet, ayant été président de la partie Santé du plan national d'adaptation au changement climatique en 2010 (Guégan et Pochet, 2010) et ayant eu l'occasion de m'exprimer à ce propos dans un ensemble de tribunes (Guégan, 2015a et b, 2021a ; Guégan et Moatti, 2015 ; Guégan et Simard, 2015 ; Plantard *et al.*, 2015). Je l'ai aussi critiqué du point de vue de son suivi, des formes de récupérations disciplinaires qu'il a connues et des prises de décisions politiques dont il a fait l'objet (Guégan, 2017).

Je distingue trois grandes caractéristiques importantes dans la manière dont ce thème a été abordé, principalement en France mais aussi plus largement. Avant tout, le sujet est indéfiniment complexe à traiter comme je l'ai rapidement illustré dans le paragraphe précédent. Une complexité qui tient au fait qu'il a d'abord été étudié de manière souvent très simpliste en n'intégrant que quelques paramètres météorologiques (température et pluviométrie, plus généralement) pour extrapoler, sur la base de variations de ces derniers, des situations futures possibles. Le thème a aussi été traité par un cercle d'experts réduits : nous avons ainsi identifié, avec ma collègue Mathilde Pascal de Santé publique France, environ huit à dix chercheurs internationaux travaillant à la construction d'une réflexion sur ce sujet. Par ailleurs, ces experts, une poignée somme toute, tous d'âge mur, ont sérieusement orienté la thématique en ne produisant curieusement pour la plupart d'entre eux que des articles de synthèse ou de revue publiés dans les plus grands journaux scientifiques ou médicaux, et sans apport de nouvelles données pour venir confirmer ou infirmer la thèse de départ. On a donc assisté à un *statu quo* scientifique dénotant donc avec les dimensions médiatiques de la thématique considérée, avec des articles souvent très cités, mais d'un apport bien peu substantiel. Un troisième élément, moins perceptible pour le profane, concerne l'orientation très anxigène donnée au sujet, ainsi probablement qu'une dérive possible tenant aux considérations mystiques d'un châtement divin. Nos plus grands climatologues et physiciens du climat français m'ont avoué que le thème « Changements climatiques et

santé », jugé souvent trop alarmiste par leur communauté, avait pu nuire à la problématique générale du changement climatique et à la communication associée.

Où en sommes-nous aujourd'hui sur le plan de la connaissance ? Deux études récentes nous renseignent à ce sujet. Celle de Franklinos *et al.* (2019) concerne les maladies à transmission vectorielle, comme la dengue ou le paludisme. Elle montre que nous sommes actuellement dans une connaissance partagée avec quasiment autant de travaux allant dans le sens d'une absence d'effets ou de l'existence d'effets négatifs que d'études indiquant un effet positif du changement climatique. Une des explications déjà discutées concerne le fait que des analyses ayant révélé un effet positif du changement climatique – ce que j'ai appelé l'effet « Gruyère » dans un article récent (Guégan, 2021a) – n'ont pas pris en compte d'autres paramètres explicatifs et plus locaux contribuant à créer des trous, c'est-à-dire des absences de maladies – pour produire l'effet « Emmental » (Guégan, 2021a). Au fur et à mesure qu'une conscience multidisciplinaire apparaît, on se rend ainsi compte que la somme des régions indemnes de cas peut supplanter celle des situations où les maladies progressent dans un contexte de dérèglement climatique. Le second article est celui de Thoisy et de ses collaborateurs (Thoisy *et al.*, 2021) et correspond à une enquête réalisée auprès d'experts médicaux et scientifiques en Guyane française. Cette région ultrapériphérique est la région du Monde faisant l'objet des études les plus intenses sur ces sujets d'interface. Les résultats du questionnaire montrent que le changement climatique est perçu comme un sujet de moindre importance sur le plan de la santé en Guyane par rapport à d'autres, et ce en dépit des enjeux majeurs soulevés par le phénomène de l'oscillation australe, le fameux effet El Niño Southern Oscillation (ENSO).

Mon propos général n'est pas, ici, de dénier l'importance des changements climatiques sur les maladies transmissibles, car ils pourraient se révéler majeurs dans le futur. En revanche, notre connaissance actuelle reste distordue par une conjonction d'événements que je tente de décrire ici, et dont la trajectoire est marquée par la simplicité de l'approche disciplinaire adoptée et par l'opportunisme individuel et collectif que l'on observe.

### Un thème devenu un concept parapluie et un objet de communication

En terme général, un concept parapluie est un concept qui regroupe plusieurs notions sous son ombrelle, tant et si bien que souvent l'idée mère qui a servi à sa création se trouve dépassée par le foisonnement de principes et de notions qui en émergent. Par exemple, il m'a été très souvent donné de participer à des colloques et à des congrès nationaux et internationaux consacrés au sujet des changements climatiques et de leurs conséquences sanitaires, alors qu'extrêmement peu de participants y traitaient véritablement du sujet. Le changement climatique est aujourd'hui devenu souvent un prétexte pour parler d'autres choses, et l'on parle dans ces cercles autant de pauvreté, de soins ou encore de migrations humaines sans que le

lien soit fait avec ledit changement. Des relations peuvent par ailleurs exister. Il conviendrait d'ailleurs bien mieux de les discuter en traitant de remédiation, d'adaptation et de résilience des populations par exemple, tellement ces relations avec le climat agissent comme des révélateurs de vulnérabilités territoriales. En effet, la problématique du changement climatique porte aussi sur la redéfinition des modalités d'accès aux ressources, de celle du partage du risque ou, encore, sur la capacité des collectifs à intégrer ces questions environnementales. Selon Scarwell et Le Flamanc (2010), le climat est devenu un enjeu de communication politique et publique, et parce qu'il constitue un objet d'étude relativement récent, il est parfois difficile d'en stabiliser les contours. Souvent pour des raisons d'aubaine ou d'opportunisme, le périmètre d'étude devient flou : son style incantatoire et la recherche s'y rapportant étant assez fréquemment « hors sujet ». Cela ressemble aussi à la trajectoire malheureusement prise par un autre concept parapluie plus récent, celui du One Health (Guégan, 2021c).

### En guise de conclusion – Des effets indirects certainement majeurs

Les effets indirects des changements climatiques sur la transmission des maladies infectieuses et parasitaires sont sans doute bien supérieurs aux effets directs, comme les vagues de chaleur. Ils sont cependant plus difficiles à quantifier et à lier directement à un changement global en particulier, contrairement aux conséquences d'événements subis dont on peut évaluer très rapidement les conséquences sanitaires (Chastel, 2006). De nombreuses études rétrospectives basées sur des séries temporelles de cas de malades mettent en évidence le rôle de la variabilité climatique régionale sur la transmission de plusieurs infections et parasitoses, comme celles causant le choléra, la dengue, le paludisme ou encore d'autres maladies à transmission vectorielle ou zoonotique (Thoisy *et al.*, 2021). En revanche, le rôle du réchauffement global attendu et son retentissement précis sur les maladies infectieuses et parasitaires restent difficiles à apprécier. Des facteurs autres que climatiques, comme la démographie humaine et les mouvements de personnes et de biens, l'urbanisation, les conflits et les guerres ou encore les défauts de prévention et de soins, interviennent dans l'évolution des maladies infectieuses et parasitaires. Une compréhension au long terme de ces menaces sanitaires dans le cadre du changement global qui s'opère est essentielle, participant à la veille et à la surveillance internationale intégrée qui restent à construire.

### Références bibliographiques

- BORRAZ O. & BERGERON H. (2021), *Les décideurs politiques devraient adopter une attitude scientifique*, Sciences-Po/CNRS, Centre de sociologie des organisations, Paris, <https://www.sciencespo.fr/cso/fr/content/les-decideurs-politiques-devraient-adopter-une-attitude-scientifique.html>
- CHASTEL C. (2006), « Changements climatiques et maladies infectieuses », *La Lettre de l'infectiologue* 21, pp. 258-262.
- ERITJA R., PALMER J. R. B., ROIZ D., SANPERA-CALBET I. & BARTUMEUS F. (2017), "Direct Evidence of Adult *Aedes albopictus* Dispersal by Car", *Scientific Reports* 7, 14399.

- EUZEN A., EYMARD L. & GAILL F. (2013), *Le développement durable à découvert*, Paris, CNRS Éditions.
- FRANKLINOS L. H. V., JONES K. E., REDDING D. W. & ABUBAKAR I. (2019), "The effect of global change on mosquito-borne disease", *Lancet Infectious Diseases* 19, pp. 302-312.
- GUÉGAN J.-F. (2015a), « Changement climatique et santé : des liens complexes », *Pour la Science* 89, pp. 56-58.
- GUÉGAN J.-F. (2015b), « 2050, Bamako, Mali, une saison caniculaire », *Actualité et dossier en santé publique* 93, pp. 40-42.
- GUÉGAN J.-F. (2017), « Vers de nouvelles politiques nationales intégrant la question de l'adaptation au changement climatique et des risques sanitaires », in EUZEN A., LAVILLE B. & THIEBAULT S. (eds.), *L'Adaptation au changement climatique. Une question de sociétés*, CNRS Éditions, pp. 203-212.
- GUÉGAN J.-F. (2021a), « Impacts sur l'épidémiologie des maladies infectieuses et risques épidémiques émergents », *La Presse médicale formation* (sous presse).
- GUÉGAN J.-F. (2021b), « Comment (ré)instaurer la confiance entre les citoyens et les scientifiques ? », table-ronde avec Anna Musso, *L'Humanité*, 26-28 mars, pp. 11-12.
- GUÉGAN J.-F. (2021c), « Entre contorsions de nouveaux concepts en santé et réalité actuelle en santé publique internationale. Ou "Le désespoir du singe" », in GARDON S., GAUTIER A., LE NAOUR G. & MORAND S. (eds.), *Sortir des crises. One Health en pratiques*, Paris, Quae Éditions (sous presse).
- GUÉGAN J.-F. & MOATTI J.-P. (2015), "Climate change and the issues for health in the South", in REINERT M., JANICOT S., AUBERTIN C., BERNOUX M., DOUNIAS E., GUÉGAN J.-F., LEBEL T., MAZUREK H. & SULTAN B. (eds.), *Climate change: what challenges for the South?*, Marseille, IRD Éditions, pp. 191-203.
- GUÉGAN J.-F. & POCHET A. (coordination) (2010), « Plan national d'adaptation au changement climatique – Partie Santé », rapport de groupe interministériel et parlementaire, ONERC, Paris, [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/ONERC\\_Rapport\\_concertation\\_adaptation\\_30\\_06\\_2010.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/ONERC_Rapport_concertation_adaptation_30_06_2010.pdf)
- GUÉGAN J.-F. & SIMARD F. (2015), « Changements environnementaux et maladies infectieuses : mieux coordonner la surveillance », *Actualité et dossier en santé publique* 93, pp. 22-28.
- GUÉGAN J.-F., ROCHE B. & MORAND S. (2021), "Biodiversity and human health: Go back to the basics of medicine and public health!", in LOREAU M., HECTOR A. & ISBELL F. (eds.), *The ecological and societal consequences of biodiversity loss*, Londres, ISTE Éditions (sous presse).
- GUÉGAN J.-F., AYOUBA A., CAPPELLE J. & THOISY B. de (2020), "Emerging infectious diseases and tropical forests: unleashing the beast within", *Environmental Research Letters* 15, 083007.
- HORTON R. (2020), "Covid-19 is not a pandemic", *The Lancet* 396, 874.
- JONES K. E., PATEL N. G., LEVY M. A., SOREYGARD A., BALK D., GITTLEMAN J. L. & DASZAK P. (2008), "Global trends in emerging infectious diseases", *Nature* 451, pp. 990-993.
- LAVOREL S., LEBRETON J.-D. & LE MAHO Y. (2017), *Les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques et leurs limites*, Institut de France, Académie des sciences, Paris, 157 pages.
- LONARETTI P.-Y. (2013), « Changements globaux », in EUZEN A., EYMARD L. & GAILL F. (eds.), *Le développement durable à découvert*, Paris, CNRS Éditions, pp. 40-41.
- PARMESAN C., RYRHOLM N., STEFANESCU C., HILL J. K., THOMAS C. D., DESCIMON H., HUNTLEY B., KAILA L., KULLBERG J., TAMMARU T., TENNENT W. J., THOMAS J. A. & WARREN M. (1999), "Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming", *Nature* 399 (6736), pp. 579-583.
- PLANTARD O., HUBER L. & GUÉGAN J.-F. (2015), « Vers une écologie de la santé », in « L'adaptation au changement climatique », volume spécial, *Pour la Science/INRA*, Paris, pp. 30-35.
- ROCHE B., LEGER L., LAMBERT G., LACOUR G., FOUSSADIER R., BESNARD G., BARRE-CARDI H., SIMARD F. & FONTENILLE D. (2015), "The Spread of *Aedes albopictus* in Metropolitan France: Contribution of Environmental Drivers and Human Activities and Predictions for a Near Future", *PLoS ONE* 10, e0125600.
- SCARWELL H.-J. & LE FLAMANC S. (2010), « Quand les changements climatiques transfèrent l'action publique du champ de l'expertise à la prise de décision politique, agir face au réchauffement climatique ? Comment les acteurs politiques se sont emparés de cette question ? », in SCARWELL H.-J. & ROUSSEL I. (eds.), *Le Changement climatique. Quand le climat nous pousse à changer d'ère*, Villeneuve d'Ascq, Presses Universitaires du Septentrion, pp. 231-276, <https://books.openedition.org/septentrion/15020?lang=fr>
- THOISY B. de, DURON O., EPELBOIN L., MUSSET L., QUENEL P., ROCHE B., BINETRUY F., BRIOLANT S., CARVALHO L., CHAVY A., COUPPIE P., DEMAR M., DOUINE M., DUSFOUR I., EPELBOIN Y., FLAMAND C., FRANC A., GINOUVES M., GOURBIERE S., HOUEL E., KOCHER A., LAVERGNE A., LE TURNIER P., MURIENNE J., NACHER M., PELLEAU S., PREVOT G., ROUSSET D., ROUX E., SCHAUB R., TALAGA S., THILL P., TIRARA S. & GUÉGAN J.-F. (2021), "Ecology, evolution, and epidemiology of zoonotic and vector-borne infectious diseases in French Guiana: Transdisciplinarity does matter to tackle new emerging threats", *Infection, Genetics & Evolution* 93, 104916, <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2021.104916>
- WOOLHOUSE M. E. & GOWTAGE-SEQUERIA S. (2005), "Host range and emerging and reemerging pathogens", *Emerging Infectious Diseases* 11, pp. 1842-1847.

# Vers le développement d'un environnement plus favorable à la santé au sens du concept international « Une seule santé »

Par Cédric BOURILLET

Directeur général de la Prévention des risques au ministère de la Transition écologique <sup>(1)</sup>

Santé et environnement sont des domaines étroitement liés. La dégradation de l'environnement sous l'effet des activités humaines expose les milieux (eau, air, sols), les écosystèmes ainsi que les populations humaines à des dommages sanitaires. Les conséquences liées au réchauffement climatique ainsi que la destruction des écosystèmes favorisent, notamment, l'émergence de maladies infectieuses transmissibles à l'homme.

Les politiques de santé-environnement doivent donc désormais s'inscrire pleinement dans le concept international « Une seule santé » en adoptant une approche systémique et en travaillant notamment à la réduction des expositions environnementales, dès lors qu'elles présentent des risques pour la santé humaine, la santé animale ou la santé des écosystèmes.

La prise de conscience collective des liens entre santé et environnement se développe bien souvent à l'occasion des crises. Celles-ci mettent en évidence les fragilités d'un monde soumis à des risques croissants d'origine anthropique. L'opinion publique peut alors constater par elle-même la manière dont la santé est directement affectée par des facteurs environnementaux divers et variés. Récemment, la crise sanitaire de la Covid-19 a ainsi révélé le lien étroit entre santé humaine, santé animale et santé de l'environnement, rappelant que la santé des écosystèmes, lesquels sont soumis aux mêmes contraintes environnementales, pouvaient directement et durablement impacter la santé humaine.

Pourtant, les scientifiques soulignent depuis plusieurs années le fait que la pollution humaine affecte l'ensemble des milieux (air, eau, sols...). De même, les conséquences du réchauffement climatique ainsi que la destruction des écosystèmes favorisent l'émergence de maladies infectieuses transmissibles à l'homme.

La stratégie française de 2011 <sup>(2)</sup> fondée sur le concept « Une seule santé » <sup>(3)</sup> alertait déjà sur le fait que « la biodiversité constitue une barrière importante contre les maladies ». Elle rappelait à cet égard que « ces dix dernières années ont vu un accroissement significatif de la circulation des agents infectieux et des risques de pandémies : expansion mondiale de la grippe aviaire depuis 2003, grippe H1N1 en 2009, épidémies de syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS), chikungunya et dengue » et mettait en garde sur le fait que « ces récentes épidémies mettent en évidence la mondialisation croissante des risques sanitaires ainsi que l'importance de l'interface homme-animal-écosystème dans l'évolution et l'émergence des pathogènes ».

Les politiques de santé-environnement sont donc amenées à se développer et doivent désormais s'inscrire pleinement dans le concept « Une seule santé », en adoptant une approche systémique et en travaillant notamment à la réduction des expositions environnementales, dès lors

(1) En collaboration avec Karine Boquet, sous-directrice de la Santé environnement, produits chimiques et agriculture, Émilie Hillion, cheffe du bureau de la Santé environnement, et Pascal Schuermans, adjoint à la cheffe du bureau de la Santé environnement, direction générale de la Prévention des risques.

(2) [https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport\\_One\\_Health.pdf](https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_One_Health.pdf)

(3) Ce concept constitue la base de l'écologie de la santé et un champ de recherche s'intéressant aux interdépendances entre le fonctionnement des écosystèmes, les pratiques socio-culturelles et la santé des populations humaines, animales et végétales prises ensemble. Source : <https://www.mnhn.fr/fr/recherche-expertise/actualites/one-health-pandemie-covid-19#:~:text=Plus%20que%20jamais%2C%20le%20concept,-sant%C3%A9%20des%20populations%20humaines%2C%20animales>

qu'elles présentent des risques pour la santé humaine, la santé animale ou la santé des écosystèmes.

## L'urgence d'agir : constats et enjeux

Selon la définition de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), « la santé environnementale comprend les aspects de la santé humaine, y compris la qualité de la vie, qui sont déterminés par les facteurs physiques, chimiques, biologiques, sociaux, psychosociaux et esthétiques de notre environnement.

Elle concerne également la politique et les pratiques de gestion, de résorption, de contrôle et de prévention des facteurs environnementaux susceptibles d'affecter la santé des générations actuelles et futures. »<sup>(4)</sup>

Les impacts de la dégradation de l'environnement sur la santé sont mesurés par cette même organisation internationale, qui estime que 23 % des décès et 25 % des pathologies chroniques dans le monde peuvent être attribués à des facteurs environnementaux et comportementaux<sup>(5)</sup>.

Selon l'OMS, les principales causes de mortalité dues à ces facteurs environnement sont notamment les accidents cardio-vasculaires, les cancers et les pneumopathies. Ces pathologies chroniques représentent en proportion moyenne 25 à 33 % du fardeau global de la maladie (*global burden of disease*), lequel est défini comme la différence entre l'espérance de vie brute et l'espérance de vie en bonne santé.

L'évolution des modes de vie et l'essor récent de la société de consommation, à l'échelle de l'humanité, ont un impact direct sur la présence de ces facteurs environnementaux présentant un risque pour la santé humaine, la santé animale et la santé des écosystèmes.

Les attentes citoyennes au regard des questions de santé-environnement sont de plus en plus fortes. Selon le baromètre 2020 de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) portant sur la perception des risques et de la sécurité par les Français, les préoccupations liées à la dégradation de l'environnement concernent un Français sur trois et arrivent en quatrième position.

Les défis à relever en matière de santé-environnement concernent tous les secteurs d'activité (énergie, transports, agriculture, industrie, etc.).

En effet, à titre d'exemple, selon l'Agence européenne de l'environnement<sup>(6)</sup> :

- 45 % des émissions d'oxydes d'azote sont émises par le secteur du transport en Europe ;
- la production et la distribution d'énergie sont les principales sources d'émission d'oxyde de soufre et des sources importantes d'émission d'oxyde d'azote ;
- les pratiques agricoles non durables entraînent la pollu-

tion des sols, de l'eau, de l'air et des aliments, la surexploitation des ressources naturelles ainsi que la perte de biodiversité et la dégradation des écosystèmes ;

- le secteur agricole est responsable de plus de 90 % des émissions d'ammoniac en Europe et de près de 20 % des émissions de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), tels que le benzène ou l'éthanol ;
- le chauffage domestique est une source majeure de pollution par la poussière. Les bâtiments commerciaux institutionnels et résidentiels représentent 53 % des émissions de particules fines (PM<sub>2,5</sub>). Les ménages sont également une source importante de pollution de l'eau.

La Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) attire l'attention des gouvernements sur ces problématiques et rappelle que :

- entre 540 000 et 850 000 des virus présents dans la nature pourraient infecter des êtres humains ;
- des pandémies plus fréquentes, plus mortelles et plus coûteuses sont à prévoir ;
- l'impact économique actuel des pandémies est cent fois supérieur au coût estimé de leur prévention.

## La réponse publique : des politiques intégratives des trois dimensions que sont la santé humaine, la santé animale et la santé environnementale

Le principe d'un droit à un environnement plus favorable à la santé s'est développé dans les années 1970 et prend aujourd'hui une nouvelle dimension, pour tendre vers le droit à un environnement plus favorable à une santé prise dans sa globalité (santé des milieux, des animaux et des populations humaines), au travers du concept « Une seule santé ».

La Conférence de Stockholm avait déjà affirmé ce principe en 1972, en précisant que « l'Homme a un droit fondamental à la liberté, à l'égalité et à des conditions de vie satisfaisantes, dans un environnement dont la qualité lui permette de vivre dans la dignité et le bien-être. Il a le devoir solennel de protéger et d'améliorer l'environnement pour les générations présentes et futures » (Principe n°1).

Le droit français s'est inspiré de ce principe dans le Code de l'environnement. Ce dernier dispose dans ses principes généraux que « la protection, la mise en valeur, la restauration, la remise en état et la gestion des espaces, ressources et milieux naturels, les sites et paysages, la qualité de l'air, les espèces animales et végétales, la diversité et les équilibres biologiques auxquels ils participent sont d'intérêt général et concourent à l'objectif de développement durable qui vise à satisfaire les besoins de développement et la santé des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » (article L. 110-1-I et II du Code précité).

Les récentes évolutions stratégiques européennes affichent l'ambition forte de l'Union européenne (UE), passant par le développement d'approches plus transversales et globales, pour un environnement plus favorable à

(4) Définition donnée par l'Organisation mondiale de la santé, à l'occasion de la Conférence d'Helsinki en 1994.

(5) Source OMS : <https://www.who.int/phe/infographics/environmental-health-impact-infographic3-1200px.jpg>

(6) <https://www.eea.europa.eu/fr/publications/signaux-de-12019aee-2020-vers>

« une seule santé » : le Pacte vert pour l'Europe (« Green Deal »), lancé en décembre 2019 par la nouvelle Commission européenne, porte un objectif de « zéro pollution » pour garantir des écosystèmes et un cadre de vie sains aux Européens.

Ses objectifs sont de :

- mieux prévenir et remédier à la pollution de l'air, de l'eau, des sols et des produits de consommation ;
- intégrer l'ambition de la pollution zéro dans tous les développements politiques ;
- dissocier davantage la croissance économique de l'augmentation de la pollution ;
- renforcer les liens entre la protection de l'environnement, le développement durable et le bien-être des personnes.

Sur ce dernier point, trois actions phares ont été annoncées :

- une stratégie européenne pour « la durabilité dans le domaine des produits chimiques » afin de mieux protéger les citoyens et l'environnement contre les produits chimiques dangereux. De nombreuses demandes de la France y sont reprises, comme la nécessité d'obtenir une définition des perturbateurs endocriniens ou le principe d'interdiction des substances dangereuses dans les produits de consommation courante. Dans ce cadre, la Commission européenne a lancé une consultation publique au mois de mai 2021 relative à une feuille de route pour procéder à la révision du règlement REACH (règlement (CE) 1907/2006) dans le but notamment de prendre en compte les effets combinés. La présentation de la proposition législative de la Commission est programmée pour le troisième trimestre 2022 et sera précédée d'une consultation des parties prenantes au cours du premier trimestre 2022.
- un plan d'action « zéro pollution » pour l'eau, l'air et les sols pour mieux prévenir, remédier, surveiller et signaler la pollution. Ce plan a été adopté par la Commission européenne, le 12 mai 2021.
- une révision des mesures prises en matière de lutte contre la pollution provenant des grandes installations industrielles pour garantir la cohérence de ces mesures avec les politiques menées en matière de climat, d'énergie et d'économie circulaire.

La politique française en matière de santé-environnement s'inscrit dans ce cadre européen ; et la France porte des propositions ambitieuses pour le faire évoluer. Les équipes de recherche françaises sont par ailleurs de plus en plus mobilisées dans des projets européens structurants (par exemple, le partenariat PARC).

En complément de son action au niveau communautaire, la France conduit une politique en santé-environnement forte pour répondre à des enjeux majeurs de santé publique, comme :

- connaître les risques et en informer les populations pour mieux les protéger ;
- lutter contre la pollution de l'air ;
- réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques et l'exposition des populations ;
- identifier et évaluer les perturbateurs endocriniens.

De nombreuses autres actions nationales sont portées au travers des plans et des stratégies thématiques dédiés (amiante, radon, antibiorésistance, mobilité, nutrition, rénovation énergétique, micropolluants, chlordécone, biodiversité...).

Le quatrième Plan national santé-environnement (PNSE4), publié en mai 2021, souhaite favoriser une approche systémique de la santé-environnement au travers notamment :

- d'actions transversales comme l'information, la formation, les connaissances, la recherche, la substitution et la réduction des inégalités territoriales de santé ;
- de l'organisation et du renforcement des interactions avec les stratégies et les plans thématiques nationaux en matière de santé-environnement pour garantir la prise en compte de l'ensemble des enjeux de santé environnementale et leur priorisation ;
- d'une action spécifique de surveillance de la santé de la faune terrestre et de prévention des zoonoses.

## Quelles perspectives pour renforcer les liens entre santé humaine, santé animale et santé des écosystèmes dans les politiques publiques ?

En 2010, l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Office international des épizooties (OIE) se sont réunis autour d'une alliance tripartite pour renforcer leurs interactions sur la santé humaine, la santé animale et, plus largement, sur celle des écosystèmes.

Dans son rapport d'octobre 2020 à l'attention des gouvernements, l'IPBES recommande d'aller plus loin, et notamment de :

- mettre en place un Conseil intergouvernemental pour la prévention des pandémies ;
- s'attaquer aux facteurs de risques (à commencer par la déforestation, le commerce des animaux sauvages, l'agriculture intensive, l'artificialisation des sols...) ;
- taxer les activités à haut risque de pandémie.

À la suite de la publication de ce rapport, une dynamique internationale a été enclenchée à l'occasion du One Planet Summit du 11 janvier dernier avec l'annonce par le directeur général de l'OMS de la mise en place d'un Haut Conseil d'experts, qui pourrait prendre la forme d'une structure intergouvernementale calquée sur le modèle du GIEC.

En parallèle de cette initiative internationale, la France peut agir en s'emparant des recommandations produites pour les porter dans le cadre de ses actions internationales et nationales.

Au niveau européen, la France prendra la présidence de l'UE en 2022. Cela lui offrira la possibilité de porter le concept « Une seule santé » au travers de différentes stratégies : par exemple, la stratégie consacrée au domaine des produits chimiques fixe les étapes à franchir pour parvenir à un environnement exempt de substances toxiques et faire en sorte que les substances chimiques soient produites et utilisées d'une manière qui optimise leur contribu-

tion à la société, tout en évitant qu'elles nuisent à la planète et aux générations actuelles et futures. Plusieurs sujets emblématiques à aborder sont dès à présent en phase de préparation, comme les perturbateurs endocriniens, l'interdiction du glyphosate ou la protection des pollinisateurs.

Au niveau national, la gouvernance du quatrième Plan national santé-environnement prévoit également la mise en place d'un groupe de travail « Une seule santé », dont l'objectif sera non seulement d'accompagner la mise en œuvre de l'action de surveillance de la santé de la faune terrestre et de la prévention des zoonoses, mais également de formuler des recommandations pour une meilleure prise en compte de ce concept dans les politiques publiques en matière de santé-environnement, permettant ainsi de renforcer les liens existants.

## Conclusion

Les défis en matière de santé-environnement sont croissants et révélés plus fortement à l'opinion publique dans le contexte de crises, comme celle de la Covid-19. Ils concernent tous les secteurs d'activité (énergie, transports, agriculture, industrie, etc.), y compris les secteurs visant la santé humaine, la santé animale ou la protection des végétaux. La politique de santé-environnement doit y répondre dans ses déclinaisons européennes et nationales. Elle s'appuie de plus en plus sur le concept international « Une seule santé ». Le programme porté par la France dans la perspective de l'exercice de sa présidence de l'UE en 2022 sera pleinement guidé par ce concept essentiel.

## Bibliographie

BERGERON H., BORRAZ O., CASTEL P. & DEDIEU F. (2020), « Après la crise : quelles formations pour relever les défis contemporains ? », AOC, juin.

IRSN, « Baromètre 2021 sur la perception des risques et de la sécurité ».

Ministère de la Transition écologique, « Quatrième Plan santé-environnement », <https://www.ecologie.gouv.fr/environnement-sante-decouvrez-4e-plan-national-sante-environnement>

Museum national d'Histoire naturelle, <https://www.mnhn.fr/fr/recherche-expertise/actualites/one-health-pandemie-covid-19#:~:text=Plus%20que%20jamais%2C%20le%20concept,-sant%C3%A9%20des%20populations%20humaines%2C%20animales>

Ministère des Affaires étrangères et européennes, rapport « One Health », [https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport\\_One\\_Health.pdf](https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_One_Health.pdf)

Nations Unies, <https://ipbes.net/biodiversity-pandemics-participants>

OMS, Constitution adoptée par la Conférence internationale de la santé, à New York, signée par les représentants de 61 États le 22 juillet 1946 et entrée en vigueur le 7 avril 1948, <https://www.who.int/fr/about/governance/constitution>

OMS, infographie intitulée « Comment l'environnement a-t-il un impact sur notre santé ? », <https://www.who.int/phe/infographics/environmental-health-impact-infographic3-1200px.jpg>

Agence européenne pour l'environnement, « Signaux de l'AEE 2020 – Vers une pollution zéro en Europe », <https://www.eea.europa.eu/fr/publications/signaux-de-l2019aee-2020-vers>

# Faut-il fusionner les ministères chargés de l'Environnement et de la Santé ? Essai d'analyse à la lumière de la fusion engagée en 2007 entre les ministères chargés de l'Environnement et de l'Énergie

Par Richard LAVERGNE

Ancien membre permanent du Conseil général de l'économie

La crise de la Covid-19 a été vue par certains comme le cumul de plusieurs crises, dont une crise sanitaire et environnementale. Au moment où s'amorce la sortie de crise, il peut être tentant de restructurer l'organisation administrative relative à la santé et à l'environnement, à l'image de ce qui s'est produit en 2007 avec la fusion des ministères chargés de l'Énergie et de l'Environnement. L'auteur observe que les politiques de santé et de l'énergie présentent des points communs par rapport aux questions environnementales. Mais se référant à la fusion considérée, qui, décidée par le Président de la République, Nicolas Sarkozy, a donc conduit à la création en 2007 d'un grand ministère chargé notamment de l'Énergie et de l'Environnement, l'auteur considère que la politique de santé n'aurait rien à gagner d'une telle fusion.

La crise sanitaire de la Covid-19 a conduit, dès le début de 2020, le gouvernement français, comme tous les gouvernements du monde, à s'adapter au jour le jour face au développement d'une pandémie inconnue. Le chef de l'État a justement comparé le combat à engager à une « guerre », l'ennemi étant un virus dont tout restait à découvrir : le séquençage, la dangerosité, les méthodes de protection, le traitement, les tests, les vaccins, etc. Même si la comparaison a d'évidentes limites, elle est pertinente au regard de la mise en place d'une organisation *ad hoc*, de la disponibilité de « troupes » aguerries et bien équipées ou de l'adoption de mesures pouvant restreindre provisoirement les libertés publiques. Cette parenté est apparue notamment dans l'usage d'expressions comme « travailleurs de première ligne », représentés en premier lieu par les soignants, et de « deuxième ligne », ceux en charge des services essentiels permettant de maintenir l'économie du pays en état de fonctionner, vaille que vaille, malgré les risques et plusieurs périodes de confinement.

L'incertitude régnant quant à l'origine de ce nouveau coronavirus a conduit des associations écologistes à soutenir

qu'il ne fallait pas revenir au « monde d'avant » et que cette crise sanitaire s'ajoutait à des crises environnementales et sociales, constituant les diverses faces d'une même crise globale. Cependant, l'adhésion à cette thèse n'a pas vraiment prospéré dans l'opinion publique, surtout après la mise au point relativement rapide de vaccins qui ont offert de bons espoirs de sortie de crise et dont l'efficacité a redonné confiance dans les sciences et les techniques, alors que certains écologistes les mettaient en cause dans l'apparition même de la pandémie.

Avec un peu de recul, il est permis de s'interroger sur les leçons que les pouvoirs publics tireront de la crise, tant en termes d'organisation administrative pérenne que de résilience. Certaines mesures d'urgence, relevant de la logique de « guerre » précitée, suscitent d'ores et déjà une prise de conscience européenne, avec par exemple la proposition de la Commission européenne de créer une nouvelle agence, la Health Emergency Response Authority (HERA). Des mesures sur le fonctionnement de l'État en temps de crise et la résilience de l'économie sont déjà envisagées, par exemple en matière de réduction

des temps de décision et de mise en œuvre de celles-ci, la capacité de réaliser des achats en grandes quantités (masques, respirateurs, tests, vaccins...). Mais d'autres mesures pourraient également être envisagées en ce qui concerne la structuration des administrations compétentes au niveau national pour définir la politique de santé.

## Le cas du ministère chargé de l'Énergie en 2007

Il existe un précédent, s'agissant de la modification des structures administratives françaises pour faire face à une crise, en l'occurrence la crise écologique, avec la nomination d'Alain Juppé, le 18 mai 2007, en tant que ministre d'État, ministre de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables dans le premier gouvernement du Président de la République, Nicolas Sarkozy. Depuis cette date, ce « grand ministère », actuellement dénommé « ministère de la Transition écologique », a certes vu son périmètre légèrement varier, mais le principe de son existence n'a jamais été remis en cause. Un bref intermède s'est produit, entre 2010 et 2012, où la préparation et la mise en œuvre de la politique énergétique, bien que toujours « hébergée » par la ministre de l'époque chargée de l'Environnement (Nathalie Kosciusko-Morizet), ont été placées sous double tutelle, en partage avec le ministre chargé de l'Industrie et de l'Énergie (Éric Besson).

Au début des années 2000, en lien avec la progression de l'écologie politique et sur le modèle de quelques pays nordiques, plusieurs pays européens avaient expérimenté un rapprochement entre les administrations chargées de la préparation et de la mise en œuvre des politiques de l'énergie et de l'environnement. L'idée, soutenue plus particulièrement par les ONGe<sup>(1)</sup>, était que les politiques environnementales pourraient ainsi avoir plus de poids pour faire évoluer, selon leurs vœux, le secteur de l'énergie qui impacte fortement les émissions de GES<sup>(2)</sup>, la pollution atmosphérique, le prélèvement sur les ressources naturelles ou le recours à l'énergie nucléaire.

Les ONGe françaises ont plaidé<sup>(3)</sup> et ont fini par obtenir, en 2007, que le ministère chargé de l'Environnement, traditionnellement chargé des risques et des pollutions, puisse étendre son autorité à d'autres secteurs impactant l'environnement, comme les transports, le bâtiment, l'énergie, l'aménagement du territoire, la mer, etc.

Les préoccupations environnementales et celles de santé sont fréquemment imbriquées (à tort ou à raison pour la

crise de la Covid-19) : les cas du glyphosate, de la 5G, de la qualité de l'air, de la biodiversité, du nucléaire... en témoignent. Selon l'OMS (l'Organisation mondiale de la santé), au niveau mondial, environ 20 % de tous les décès sont liés à des problèmes environnementaux. Une question est donc de savoir si la disruption de 2007, s'agissant de la préparation et de la mise en œuvre des politiques énergétique et environnementale, serait pertinente à reproduire s'agissant des politiques de santé et environnementale.

L'argument que j'oppose ici est qu'à la lumière de ce qui peut être observé depuis 2007 en ce qui concerne la politique énergétique, la politique de santé n'aurait rien à gagner d'une telle évolution.

## Des cultures pas toujours faciles à concilier

La santé et l'énergie ont en commun de représenter des biens essentiels pour lesquels sont recherchées, entre autres, l'industrialisation et l'autonomie stratégique. Prenons le risque de la caricature pour illustrer le propos : la culture des personnels de santé comme celle des énergéticiens sont ancrées dans la recherche de solutions, alors que celle des écologistes a parfois tendance à privilégier le récit (utopie, collapsologie...) et l'incantation<sup>(4)</sup> idéologique ou comportementale. La réalité est évidemment plus nuancée, d'autant plus que tout le monde prend la science comme alibi. Néanmoins, une partie des écologistes, comme Michèle Rivasi, députée européenne, expriment des réticences sur la vaccination qui rappellent l'injonction, fréquente bien que parfois injustifiée, à la sobriété énergétique<sup>(5)</sup>.

Les énergéticiens observent que leur discipline se heurte à des problèmes techniques, physiques et géopolitiques incontournables, comme la difficulté à stocker de grosses quantités d'électricité, l'engouement de certains pays pour les énergies fossiles qui sont dans leur sous-sol, etc. En parallèle, ils font remarquer que l'énergie est un facteur de production et que, depuis 2007, la désindustrialisation de la France s'est accélérée à un rythme inconnu ailleurs en Europe. Certes les préoccupations issues du Grenelle de l'environnement (2007-2010) ont lancé une dynamique, mais il n'est pas sûr qu'elle n'ait pas conduit à masquer les dégâts que créait la désindustrialisation.

## L'énergie reste un facteur-clé du développement économique et social

En ce qui concerne l'énergie, après la crise financière mondiale de 2007-2008, le retour aux fondamentaux s'est produit rapidement, sauf en France. Ainsi, dans la plupart des pays industrialisés, les gouvernements ont pris conscience du fait que la crise environnementale n'était

(1) Organisations non gouvernementales à vocation environnementale (en France : Greenpeace France, WWF, FNE, RAC, FNH, etc.).

(2) En France, 70 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) sont d'origine énergétique (78 % dans l'Union européenne et 66 % au niveau mondial).

(3) La « Lettre ouverte au Président de la République sur la place de l'écologie dans le futur gouvernement » publiée par huit ONGe, le 9 mai 2017, quelques jours avant le premier tour de l'élection présidentielle, illustre cette démarche : « La pertinence d'un grand ministère, avec à sa tête un ministre d'État, numéro deux dans l'ordre protocolaire, en charge du Développement durable (écologie, biodiversité, climat et énergie, transports, logement et urbanisme, aménagement du territoire, pêche et mer) initié dans la dynamique du "Grenelle de l'environnement" a fait ses preuves et répondra à votre volonté d'un gouvernement resserré. »

(4) Avec une prédilection pour des expressions du type : « on va droit dans le mur ! », « apocalypse pétrole », « intelligence des territoires », « nudges », « quand on veut, on peut ! », etc.

(5) Au sens de réduction de la consommation au prix du rationnement et de changements de modes de vie. À ne pas confondre avec l'efficacité énergétique.

pas due à une pénurie de ressources (*peak oil, peak gas*), mais plutôt à leur abondance<sup>(6)</sup>.

Sans renier les préoccupations environnementales, l'énergie est redevenue, un peu partout dans le monde, un moteur incontournable des politiques mises en œuvre en faveur du développement tant économique que social, pour lutter contre la montée du chômage et les délocalisations d'entreprises. Les enjeux économiques des investissements dans les énergies bas-carbone et l'efficacité énergétique, ainsi que les effets indirects de l'énergie sur la compétitivité ou la réduction du déficit de la balance commerciale, sont revenus en tête des priorités des gouvernements, mais moins vite en France que dans les autres pays.

Le secteur industriel français de l'énergie, jadis fleuron faisant référence au niveau mondial, est en effet à la peine : le nucléaire est en crise larvée, faute de perspectives claires, et les deux énergéticiens historiques (EDF et Engie) semblent désorientés. La cession en 2014 de la branche Énergie d'Alstom à l'américain GE et la prédominance d'industriels étrangers dans l'éolien et le photovoltaïque<sup>(7)</sup> (Goldwind, GE, Vestas, Siemens-Gamesa...) n'ont pas aidé. Il subsiste heureusement des pépites (Schneider Electric, Legrand, Thalès, etc.) et une R&D de pointe (CEA, IFPEN...) permettant d'espérer pour l'avenir, d'autant que le gouvernement a bien pris en compte les enjeux du domaine dans la définition de son plan de relance post-Covid-19.

La crise de 2007-2008 a donc été suivie, particulièrement en Europe, d'une vague inverse de celle de la décennie précédente : si, au cours de la première période, les ministères chargés de l'Énergie et de l'Environnement ont été fusionnés, ils ont été par la suite peu à peu séparés. L'énergie, orientée vers le bas-carbone, a été de nouveau considérée comme un facteur de production et un bien essentiel au service de la compétitivité économique du pays et du bien-être des citoyens, avant d'être un bien à rationner pour protéger l'environnement. La catastrophe de Fukushima-Daïchi au Japon, en mars 2011, n'a pas affecté cette évolution, même si quelques rares pays, dont l'Allemagne<sup>(8)</sup>, ont engagé leur sortie du nucléaire.

Les pays ayant rétabli leur gouvernance initiale sur l'énergie et l'environnement n'ont en rien oublié de lutter contre les externalités négatives de l'énergie, notamment l'incidence forte des énergies fossiles sur le changement climatique. Mais la posture adoptée par leurs ministères chargés de l'Environnement respectifs a conduit au retour d'une transversalité jugée comme plus efficace avec le développement d'énergies bas-carbone.

(6) Le titre du livre « Trop de pétrole » d'Henri Prévot (janvier 2007, Seuil) était prémoniteur.

(7) Ces industriels étrangers bénéficient des soutiens financiers publics apportés à ces formes d'énergie qui s'élèvent à plusieurs milliards d'euros par an.

(8) Toutefois, en 2013, face à l'impact budgétaire devenu considérable, le BMWi (ministère fédéral allemand de l'Économie et de l'Énergie) s'est réapproprié la responsabilité de l'ensemble de la politique énergétique, au détriment du BMU (ministère fédéral de l'Environnement).

## Aujourd'hui, la politique énergétique française apparaît peu lisible sur la scène internationale

Si l'on prend comme référence la représentation des trente pays membres de l'Agence internationale de l'énergie (soit à peu près tous les membres de l'OCDE), on observe qu'à l'exception notable de la France, elle est pratiquement toujours assurée<sup>(9)</sup> par un ministère dédié à l'énergie ou par un ministère alliant l'énergie avec l'économie, l'industrie ou les ressources naturelles (les États-Unis sont un cas extrême, avec la forte présence, constante dans le temps et incontestée politiquement, du Department of Energy). La position de la France dans cette instance en a été affaiblie, ce qui représente une perte de chances pour l'industrie française du fait que cette Agence réunit les plus gros consommateurs et producteurs mondiaux d'énergie.

Soulignons toutefois que chaque pays a ses particularités vis-à-vis de l'énergie, qui dépendent de sa géographie, de son climat, de sa culture, de son patrimoine, de sa richesse, de sa population, de sa structure économique et sociale, de sa technologie, etc. : il n'y a donc pas à espérer de bon modèle énergétique universel qui ferait de la France (ou de tout autre pays) un plus ou moins « bon élève ». D'ailleurs, la France a un système énergétique plus performant que la moyenne, mais il s'agit en grande partie d'un héritage remontant à trente ans.

## Les arbitrages intraministériels sur l'énergie dans le « grand ministère » se révèlent souvent plus difficiles à trouver et moins pertinents qu'en interministériel

La politique énergétique comme celle de la santé (où cela a été particulièrement visible lors des prises des décisions de confinement ou de déconfinement) sont forcément exposées à des arbitrages interministériels, parce que les préoccupations sont multifformes, y compris macro-économiques, et soumises à la conjoncture : sécurité d'approvisionnement, compétitivité économique (prix et facteur de production), préservation de l'environnement, cohésion sociale et territoriale (précarité énergétique, péréquation tarifaire...), participation à l'Union européenne de l'énergie...

L'hypothèse des écologistes, selon laquelle les arbitrages se feraient plus facilement en faveur de l'environnement grâce à un processus interne à un ministère « puissant » en mesure de vaincre les préoccupations économiques ou budgétaires exprimées par d'autres ministères, n'a pas été confirmée par l'expérience. En fait, compte tenu de la sensibilité sociale de la politique énergétique, un arbitrage en « intraministériel » sur une question relevant de l'énergie n'apparaît pas plus aisé ou rapide qu'un arbitrage en « interministériel », à moins de s'exposer à des déconvenues<sup>(10)</sup>. Le processus de décision peut même se révéler

(9) Aux côtés du ministère chargé des Affaires étrangères.

(10) Rappelons que le facteur déclenchant des manifestations des « Gilets jaunes », en 2018, a été la fiscalité des carburants.

plus compliqué, plus long et moins transparent, d'autant qu'*in fine*, il reste bien souvent nécessaire de « remonter » jusqu'à Matignon <sup>(11)</sup>. Par ailleurs, le ministère chargé de l'Environnement pratique l'interministériel dans d'autres secteurs non fusionnés, par exemple l'agriculture, l'éducation nationale, la justice, les affaires étrangères...

Dans le domaine de l'énergie, une autre difficulté tient à l'existence de parties prenantes, en général bien organisées <sup>(12)</sup>, expertes en « plaidoyers » et en médiatisation, qui se trouvent, grâce à leur participation à de nombreux comités et commissions, en contact permanent avec les représentants des ministères et les parlementaires. Toutes sortes de revendications sont portées par ces parties prenantes (ONGe, syndicats, entreprises consommatrices d'énergie, entreprises de l'énergie, citoyens en tant que consommateurs, collectivités territoriales...). L'interministériel est pratique pour exercer un couple de rappel contre une décision qui favoriserait un intérêt particulier ou communautaire au détriment de l'intérêt général. Or, un « grand » ministère chargé de l'Environnement – dont les meilleurs alliés sont les ONGe – a du mal à arbitrer en interne contre ces dernières ou à faire remonter spontanément un problème en interministériel, car cela révélerait les contradictions auxquelles il doit faire face. On peut considérer que les déboires connus par l'écotaxe poids lourds en 2013 ou par la « taxe carbone » en 2018 relèvent de cette difficulté.

(11) Le cas du « Fonds Chaleur » de l'ADEME illustre bien cette difficulté d'arbitrage : créé en 2009, dans le cadre du Grenelle de l'environnement, il permet d'octroyer une aide favorisant l'investissement dans un projet destiné à produire de la chaleur renouvelable. L'enveloppe de ce Fonds a stagné à un niveau avoisinant les 200 M€ par an pendant dix ans, malgré le consensus des acteurs sur son intérêt pour la transition énergétique et en dépit des multiples annonces gouvernementales d'un « prochain doublement ». Il a fallu attendre 2019 pour que soit actée une augmentation substantielle, avec un budget qui est actuellement de 350 M€ par an.

(12) L'influence des ONGe, à la différence des syndicats, ne peut pas se mesurer en fonction du nombre d'électeurs.

## Qu'en déduire pour les liens entre les ministères chargés de la Santé et de l'Environnement ?

Les secteurs de la santé et de l'énergie, qui sont tous deux des biens essentiels à l'existence humaine, présentent des analogies, comme l'importance des soutiens publics dont ils bénéficient et le besoin de disposer d'une industrie nationale permettant de procurer une autonomie stratégique. Ils présentent cependant des différences notables, notamment en termes de régulation.

L'expérience française tirée de la fusion intervenue entre les ministères chargés notamment de l'Énergie et de l'Environnement ne paraît guère encourageante pour envisager de la reproduire avec la politique de santé. Au niveau mondial, on ne trouve d'ailleurs que peu de cas de ministères en charge à la fois de l'Environnement et de la Santé. Un recensement rapide montre le cas de quelques pays en développement, d'un petit nombre d'États fédérés aux États-Unis (Colorado, Kansas) et, en Europe, de celui des Pays-Bas. Dans ce dernier pays, plus précisément, le RIVM (Institut national pour la santé publique et l'environnement) dépend du ministère de la Santé, du Bien-être et du Sport et réalise des travaux de recherche dans les domaines de la santé publique, des services de santé (dont la sûreté alimentaire), de la sûreté et de la sécurité environnementale. Il joue aussi un rôle central sur le plan du contrôle des maladies infectieuses, de leur prévention, de la vaccination et de l'observation des populations.

La voie suivie par les Pays-Bas, laquelle consiste à rapprocher les expertises des établissements publics en charge de la santé et celles des établissements chargés de l'environnement, est sans doute une solution plus efficace que celle de la fusion de leurs tutelles. En France, s'agissant de l'énergie et de l'environnement, une telle pratique a d'ailleurs été mise en œuvre au sein de l'ADEME, du CEA et de l'IFPEN, et ce bien avant le *Big Bang* de 2007.

# La gestion du risque sanitaire en France : le défi de l'incertitude

Par William DAB

Professeur émérite du Cnam (Laboratoire MESuRS)

La gestion des risques sanitaires de l'environnement se heurte en France à des difficultés de différentes natures. L'organisation actuelle des pouvoirs publics ne permet pas de répondre efficacement aux défis de la santé environnementale. La capacité de décider en situation d'incertitude est un point-clé que l'invocation du principe de précaution ne suffit pas à traiter convenablement. Faire du risque sanitaire un objet global de politique publique est un préalable indispensable à l'élaboration d'une politique cohérente.

**D**eux récents rapports, l'un de l'Assemblée nationale (2020) et l'autre du Sénat (2021), dressent un constat critique de la politique de santé environnementale. Ils font suite à un rapport non moins sévère de l'Inspection générale des affaires sociales (Igas) de 2017 sur l'évaluation du troisième Plan national santé-environnement (PNSE). Pourquoi la gestion publique des risques sanitaires de l'environnement pose-t-elle autant de difficultés ? Cet article propose quelques éléments de réponse.

Rappelons en cadrage qu'il existe quatre principaux déterminants connus de l'état de santé des populations : les facteurs génétiques et biologiques ; les comportements individuels ; le système de soins ; et l'environnement. Les succès de la médecine ont éclipsé tout au long du XXI<sup>e</sup> siècle ce rôle de l'environnement comme facteur de risque de nombreuses maladies. Ainsi, avec les progrès de l'hygiène de base, les vaccins, puis les antibiotiques et la réduction des pollutions industrielles massives, on a pu croire que les menaces environnementales étaient maîtrisées. D'autres articles de ce numéro montrent qu'il n'en est rien.

## Difficultés de définition

Une première difficulté tient à la notion même de santé environnementale qui comporte certaines imprécisions. Si l'épidémiologie a montré que les facteurs d'environnement constituent un des grands déterminants de l'état de santé, cela ne suffit pas à faire de la santé environnementale un champ de connaissances et de pratiques clairement définissable (Dab, 2020). On peut déjà remarquer la multiplicité des termes qui renvoient au fait que la santé et l'environnement sont liés : santé environnementale, environnement et santé, santé – environnement, salubrité, hygiène, sécurité sanitaire environnementale... On peut aussi remarquer que pour désigner le retentissement de l'environnement sur la santé, on a recours aux notions de danger, de risque, d'impact, de nuisance, de préjudice, d'atteinte, d'altération, de fardeau, de détrimement, d'inconvénient...

De quels facteurs parle-t-on ? Classiquement, il s'agit des agents chimiques, physiques (bruit, rayonnements, vibrations...) et biologiques présents dans les milieux de vie (environnement général, environnement domestique, environnement urbain...), avec lesquels l'homme est en contact et qui peuvent retentir sur sa santé. On peut y ajouter les catastrophes environnementales naturelles (tremblements de terre, tsunamis, températures extrêmes, incendies de grande ampleur) ou anthropiques (Tchernobyl, Bhopal, terrorisme...).

S'agissant des agents biologiques (virus, parasites, bactéries, prions), doit-on considérer que le risque infectieux devrait être inclus dans le domaine de la santé environnementale ? Ce serait logique sur le plan conceptuel, mais les compétences permettant de prévenir les risques chimiques et physiques, et celles permettant de lutter contre les épidémies et les infections, ne sont pas les mêmes. Ici, le rôle des médecins est dominant.

Autre question importante : les facteurs sociaux. L'organisation sociale, le statut social, les niveaux de revenu et d'éducation... sont également des facteurs de risque sanitaire et structurent les inégalités de répartition des risques. Font-ils partie de l'environnement ? Si l'environnement est ce qui entoure l'Homme, alors la façon dont la société fonctionne en fait partie. Mais là encore, les acteurs et les outils d'intervention et de prévention sont différents de ceux que l'on mobilise pour améliorer la qualité de l'environnement physico-chimique.

La même question se pose pour le travail. En France, la santé au travail, jusqu'à récemment, n'a été considérée ni comme un champ de la santé publique, ni comme étant reliée à une problématique plus large de santé environnementale. Pourtant, au plan international, ces liens sont clairs. Il suffit pour le réaliser de lire le titre des grandes revues scientifiques du domaine. Peu à peu, on considère, en France également, que le travail fait partie intégrante de la dimension environnementale de la santé.



Photo © Li Ziheng/XINHUA+REA

Contrôle dans le cadre de la lutte contre la pandémie de Covid-19 des arrivées à l'aéroport international de Qingdao, province du Shandong (Chine), mars 2020.

« Les problèmes "émergents" en santé environnementale correspondent à des risques nouveaux liés à la mondialisation de l'économie, à l'urbanisation, aux échanges internationaux et à l'industrialisation de nouvelles technologies qui se répandent à grande vitesse dans différents secteurs. Ils peuvent se manifester localement sous forme de *clusters* ou de façon plus diffuse dans la population. »

Ainsi, la santé environnementale est dans un dilemme existentiel : si l'environnement concerne tous les facteurs sauf les facteurs génétiques, alors une approche holistique de la santé est favorisée, mais elle est tellement complexe que personne ne peut la maîtriser ; si l'environnement est structuré en compartiments différenciés, cela favorise l'action, mais pas l'interaction.

### Difficultés liées à la notion de risque

Une autre difficulté majeure tient au concept même de risque. Pour les scientifiques, ce concept n'est pas univoque. L'épidémiologiste, le psychologue, l'économiste, le sociologue, le mathématicien, le statisticien, l'actuaire ou le juriste en donnent tous des définitions différentes. En épidémiologie, le risque est un indicateur quantitatif de la vraisemblance de la réalisation d'un danger ; c'est la probabilité (de 0 à 1) que le danger se réalise. Le risque nul signifie que le danger ne se réalisera pas ; le risque égal à 1 indique un danger inéluctable (Dab, 2021).

La notion de risque permet de sortir d'une logique binaire qui fait que le danger est présent ou absent. Elle permet de révéler la dimension sanitaire de l'environnement, qui est relativement invisible pour deux raisons principales. D'une

part, les niveaux d'exposition ont baissé, donc les risques aussi, ce qui rend leur mesure plus difficile. D'autre part, parce que les maladies chroniques, qui sont les plus fréquentes dans les pays riches, sont plurifactorielles, nous y reviendrons.

À cela s'ajoute le fait qu'il y a de nombreux indicateurs de risque qui ne donnent pas la même cartographie des problèmes. Dans les pays riches, les expositions actuelles correspondent en général à de faibles doses répétées créant des risques individuels faibles. Mais lorsqu'un risque faible touche des millions de personnes, le risque populationnel (la proportion du risque global qui peut être imputée à une exposition particulière) peut être important (Dab, 2021). Alors, sur quoi fonder la politique publique : sur le risque individuel ou sur le risque collectif ? La réponse n'est pas scientifique, mais politique.

De surcroît, sur les grands sujets de controverses portant sur les OGM, les pesticides, les perturbateurs endocriniens, ou encore les ondes radioélectriques, les différents acteurs ne parlent pas de la même chose. Pour les uns (en général, les acteurs économiques), parler de risque exige une démonstration scientifique de la causalité entre une exposition et une maladie. Pour les autres (en général, les

acteurs associatifs), l'hypothèse qu'une exposition puisse créer un danger suffit à dire que le risque existe. Le même mot est ainsi utilisé pour désigner ce qui existe réellement et ce qui pourrait exister. Du point de vue de la chose publique, cela demande évidemment une clarification.

## Difficultés liées à la diversité des problèmes

Autre difficulté, trois problématiques différentes se juxtaposent aujourd'hui en santé environnementale :

- Les problèmes « classiques » dus aux grandes pollutions qui marquèrent le début de l'ère industrielle restent prévalents dans les pays du Sud. Liés à de fortes expositions à des agents uniques, ils entraînent des maladies le plus souvent aiguës et faciles à diagnostiquer. Ils sont associés à un bas niveau socioéconomique.
- Les problèmes « actuels » pour les pays du Nord se manifestent surtout par des maladies chroniques liées à des expositions prolongées à de faibles doses de contaminants toxiques, principalement des agents chimiques.
- Enfin, les problèmes « émergents » correspondent à des risques nouveaux liés à la mondialisation de l'économie, à l'urbanisation, aux échanges internationaux et à l'industrialisation de nouvelles technologies qui se répandent à grande vitesse dans différents secteurs. Ils peuvent se manifester localement sous forme de *clusters* ou de façon plus diffuse dans la population.

Par ailleurs, un changement majeur s'opère sous nos yeux. Si, jusqu'à présent, l'environnement comme facteur de santé était une problématique locale ou régionale, il existe désormais d'énormes enjeux au niveau planétaire : changement climatique, diminution de la couche d'ozone, contaminations de nombreuses espèces vivantes par des polluants organiques persistants, OGM, perte de la biodiversité, ou encore raréfaction de la ressource en eau. C'est une véritable menace pour l'espèce humaine et l'habitabilité, pour elle, de notre planète, la Terre.

Le paysage des risques environnementaux est maintenant caractérisé par son incontrôlabilité au niveau individuel (on ne sait pas si l'on est exposé ou non) et par l'effacement d'une triple frontière : spatiale (aucune barrière géographique, administrative ou politique ne peut s'opposer à la diffusion des risques) ; temporelle (la longue latence entre l'exposition et les conséquences) ; et sociale (la complexité des sources de risques qui brouille leur traçabilité et se prête à de gigantesques batailles juridiques sur les questions de responsabilité). Ulrich Beck (2001) a le premier décrit cette complexité.

Ainsi, le risque n'est plus qu'une affaire locale. Il peut s'exprimer loin de là où il est produit, ce qu'a illustré l'affaire des farines animales et du prion.

## Difficultés scientifiques

Degré supplémentaire de complexité, de nombreuses disciplines sont concernées par la santé environnementale : épidémiologie et toxicologie au premier chef, mais aussi psychologie, sociologie, économie, sciences de la matière

et de la vie et, bien sûr, écologie. La pluridisciplinarité est souhaitable, mais elle se heurte à des difficultés structurelles et à l'hyperspécialisation croissante de la recherche scientifique.

Les risques nouveaux émergent à un rythme de plus en plus rapide. Dans le bâtiment, la ventilation, la climatisation et les normes accrues d'isolation créent des risques liés aux légionelloses ou à la qualité de l'air intérieur. L'intensification des transports internationaux facilite la diffusion de nouveaux agents infectieux. De nouveaux matériaux de synthèse apparaissent sans cesse. La crise de la vache folle a révélé la vulnérabilité induite par l'industrialisation agroalimentaire. Aucune technologie ne s'est diffusée aussi vite dans l'histoire de l'humanité que la téléphonie portable qui a bouleversé notre environnement électromagnétique. Les nanoparticules manufacturées sont incluses dans de nombreux produits de consommation courante.

La réalité, c'est qu'il y a un hiatus croissant entre la production de ces nouveaux facteurs environnementaux et la capacité de la science à en évaluer les risques sanitaires. C'est évidemment une source d'inquiétude. Le progrès technique n'est plus synonyme de bien-être. Il produit de l'incertitude. Face à cela, il n'y a pas en santé environnementale de politique de recherche structurée.

## Difficultés paradigmatiques

Quand les problèmes « classiques » étaient dominants, un modèle unifactoriel en rendait compte facilement. Dans ce modèle que l'on peut qualifier de pasteurien, il y avait une cause par maladie et une maladie par facteur d'environnement. Le saturnisme, la silicose ou la syphilis en sont des exemples parlants.

Le passage de la connaissance à l'action était alors simple à décider. On savait ce qu'il fallait faire, et ce n'était plus qu'une question de volonté et de moyens. Le modèle était simple et efficace. Le développement de la recherche épidémiologique a fait émerger un autre schéma, bien plus complexe, celui de la plurifactorialité des maladies, fondé sur la notion de risque. C'est un modèle moins intuitif, qui demande une certaine culture scientifique et qui est bien plus complexe à opérationnaliser. Il repose sur un schéma probabiliste et non plus déterministe. L'exposition augmente les risques, mais leur réalisation n'est pas constante. La question de la causalité devient centrale et elle est difficile à démontrer, surtout quand les risques sont faibles au niveau individuel.

Ainsi, le rapport entre l'environnement et la santé est aujourd'hui dominé par l'incertitude et la complexité. On peut dire que c'est le lieu d'une incertitude permanente. D'où l'émergence du principe de précaution, avec toutes les difficultés de mise en œuvre qu'il recèle et que nous évoquerons plus loin. Il est intéressant de noter que la norme ISO 31000 (management du risque) définit le risque comme « l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs ».

## Difficultés de doctrine

L'incertitude et l'universalité sont les dénominateurs communs à ces nouvelles questions de risques sanitaires liés à l'environnement, ce qui débouche sur la question de la précaution. En situation d'incertitude, à qui doit profiter le doute ? Aux acteurs économiques ou à la santé publique ?

Nous sommes entrés dans la société du risque, et, avec elle, c'est un monde de méfiance et de peur qui se présente à nous. Plus les conséquences sanitaires de ces évolutions sont complexes à évaluer, plus elles recèlent d'incertitudes et plus l'inquiétude sociale monte. De nombreux travaux sociologiques (Setbon, 2021) ont montré que la perception sociale des risques est liée non seulement à leur ampleur, mais aussi aux controverses sur leur existence. C'est dans ce sentiment de vulnérabilité qui érode la confiance sociale que se développe le besoin de précaution.

En France, le principe de précaution est inclus dans la charte de l'Environnement promulguée en 2005 en tant que loi constitutionnelle. Elle énonce que « chacun a le droit de vivre dans un environnement équilibré et favorable à sa santé ». Le principe de précaution renvoie à l'idée qu'il ne faut pas attendre d'obtenir les preuves définitives d'un danger pour commencer à agir, car quand les preuves seront établies, il pourrait être trop tard pour que l'action soit efficace. La précaution fait l'objet de controverses. Pour les uns, l'Homme n'est pas suffisamment protégé. Pour les autres, la précaution stérilise l'innovation.

La sensibilité accrue des systèmes de veille sanitaire contribue au climat d'inquiétude. Si l'on est de mieux en mieux armé pour détecter des menaces, on a aussi de grandes difficultés à rassembler des preuves formelles de causalité dans le contexte d'incertitude évoqué plus haut. La science crée plus d'incertitudes, donc d'inquiétudes que l'inverse, d'où un sentiment de perte de maîtrise.

Quel contenu donner au principe de précaution ? De quelle doctrine relève-t-il ? Plutôt que d'être pour ou contre ce principe – qui, rappelons-le, stipule qu'une situation d'incertitude doit entraîner une procédure d'évaluation –, il vaudrait mieux se demander comment trouver dans une société démocratique un équilibre conciliant l'innovation et la protection. Quand la réalité de la menace, sa nature et son ampleur sont incertaines, la question centrale est de savoir à partir de quel niveau de preuve et de quel niveau de risque, il est justifié de lancer des actions correctrices dont certaines vont évidemment heurter des intérêts économiques et nationaux. Nous n'avons pas de doctrine générale pour décider en situation d'incertitude. Parfois, nous sommes très précautionneux, comme avec les OGM, et parfois, au contraire, les intérêts économiques priment, comme pour les pesticides. Ces contradictions créent un sentiment d'incohérence propice aux procès d'intention.

Nous avons acté un principe mais, en réalité, ce qu'il faudrait, c'est une procédure de précaution permettant de faire des choix clairs et transparents pour décider dans des contextes incertains. Cette procédure fait défaut.

## Difficultés institutionnelles et organisationnelles

La santé environnementale est placée au carrefour d'un ensemble de politiques : santé, sécurité sociale, environnement, travail, énergie, logement, transports, développement industriel et agricole, consommation et répression des fraudes, etc. Ces politiques sont fondées sur des régimes juridiques, des valeurs, des normes et des dispositifs différents. Elles donnent lieu à de vives rivalités de pouvoir, à des batailles de périmètres de responsabilités qui absorbent une énergie considérable. Ce n'est pas un ensemble unifié ou cohérent de savoirs, de pratiques et de règles.

Au plan professionnel, la santé environnementale n'est d'ailleurs pas un domaine de pratique bien identifié. Et si des services du ministère chargé de la Santé portent ce nom, l'essentiel de leur tâche est consacré au contrôle de la qualité de l'eau. Il n'y a pas de praticiens de la sécurité sanitaire évaluant et gérant les risques collectifs dans leur globalité. Il n'y a pas non plus de politique de recherche, nous l'avons vu.

Quand il s'est agi d'évaluer le PNSE3, la saisine interministérielle a sollicité conjointement l'Inspection générale des affaires sociales, le Conseil général de l'environnement et du développement durable et l'Inspection générale de l'administration de l'éducation nationale et de la recherche. Bien que l'équipe émanant de ces trois services ait conduit ses travaux conjointement, elle n'a pu parvenir à un rapport commun, illustrant de profondes divergences entre ces différents corps d'inspection.

Ainsi, la santé environnementale, du point de vue des politiques publiques, reste-t-elle en grande partie un objet fictionnel. Le PNSE4 montre que c'est une addition des préoccupations exprimées par les différents départements ministériels, sans hiérarchie des risques et sans réelles priorités. Qu'on en juge : trente-sept plans sectoriels existants, vingt actions non hiérarchisées et non budgétées, des indicateurs de pilotage qui reflètent les moyens plus que les résultats, une déclinaison régionale qui est dans l'incantation faute de dotation budgétaire. Au demeurant, il n'y a pas de diagnostic de départ ni d'objectifs définis. Pas plus que les précédents, l'impact de ce dernier plan ne pourra être évalué.

## Conclusion

À l'évidence, la gestion des risques est une question complexe en raison des difficultés exposées ci-dessus. Nous héritons d'une structuration de l'État et des collectivités que l'on peut qualifier de verticale et qui est peu adaptée à une action transversale. La façon dont a été gérée l'épidémie de Covid-19 illustre cela de façon éloquente (Pittet, 2021). Faut-il changer les principes structurant l'action des pouvoirs publics ? Faut-il éviter de déstabiliser l'existant, tout en réfléchissant à une nouvelle ingénierie décisionnelle ? Ou faut-il un mélange des deux ?

Avant cela, tant que le risque ne sera pas considéré comme un objet central pour les politiques publiques, nous n'aurons pas une véritable politique du risque sanitaire.

## Références

Assemblée nationale (2020), « Rapport de la commission d'enquête sur l'évaluation des politiques publiques de santé environnementale », [https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cesanteenv/l15b3701-ti\\_rapport-enquete](https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cesanteenv/l15b3701-ti_rapport-enquete)

BECK U. (2001), *La société du risque*, Aubier.

DAB W. (2020), « Santé et Environnement », *Que sais-je ?*, n°771, PUF, 5<sup>ème</sup> édition.

DAB W. (2021), « Évaluation et quantification des risques sanitaires », *Encyclopaedia universalis*, pp. 130-133.

IGAS (2017), « Évaluation du troisième Plan national santé-environnement et préparation de l'élaboration du plan suivant », <https://www.igas.gouv.fr/spip.php?article728>

PITTET D. *et al.* (2021), « Mission indépendante nationale sur l'évaluation de la gestion de la crise Covid-19 et sur l'anticipation des risques pandémiques – Rapport final », <https://www.vie-publique.fr/rapport/279851-gestion-crise-covid-et-anticipation-de-risques-pandemiques-rapport-final>

PNSE4 (2021), <https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/les-plans-nationaux-sante-environnement/article/plan-national-sante-environnement-4-pnse-4-un-environnement-une-sante-2021-2025>

Sénat (2021), « Rapport de la commission des affaires sociales sur les orientations et la gouvernance de la politique de santé environnementale », <http://www.senat.fr/rap/r20-479/r20-479.html>

SETBON M. (2021), « Face au risque sanitaire : perceptions, émotions, décisions », Elsevier Masson.

# Le rôle d'une agence sanitaire face à la pandémie de Covid-19

Par Roger GENET

Directeur général de l'Anses

Lors de la pandémie de Covid-19, l'Anses a rapidement contribué à préciser les scénarios d'exposition humaine au nouveau coronavirus, pour lequel des transmissions alimentaires, animales et environnementales étaient suspectées, et a mis ses compétences scientifiques au service du dispositif de crise et de la protection de la population, tout en maintenant ses activités habituelles et en continuant à venir en appui à la gestion d'autres crises sanitaires.

L'expérience de cette crise souligne l'importance des liens existant entre les agences sanitaires, qui dessinent les bases d'un véritable réseau international de sécurité sanitaire. Elle incite aussi à accélérer l'adoption d'une approche intégrative et globalisée du risque sanitaire. Par ailleurs, l'expertise scientifique est une condition nécessaire mais non suffisante d'une bonne prévention et d'une bonne gestion du risque sanitaire. Mieux nous protéger implique de fortes capacités d'anticipation et de recherche sur les risques émergents ou encore incertains, et d'interroger de façon collective et constructive nos choix de société.

Issue de la fusion des deux premières agences françaises créées en matière de sécurité sanitaire, l'AFSSA (alimentation), née en 1998 après la crise « de la vache folle », et l'AFSSET (environnement-travail) créée en 2002, l'Anses apporte depuis plus de dix ans une expertise et des repères scientifiques aux décideurs publics dans le but de protéger la santé de l'homme et l'environnement face aux risques biologiques, physiques ou chimiques auxquels ils sont confrontés. Dès la survenue de la pandémie de Covid-19, début 2020, l'Anses, comme les autres agences sanitaires en France et dans le monde, a été mobilisée en urgence pour expertiser les conséquences sur la santé humaine et animale de ce nouveau coronavirus et apporter une information scientifique fiable aux gestionnaires des risques identifiés. Un défi qu'il n'aurait pas été possible de relever sans l'existence de relations fortes et régulières entre des agences sanitaires qui, aux niveaux national, européen et international, entretiennent des liens et organisent des échanges pour poser les bases d'un véritable réseau international de sécurité sanitaire.

## La mobilisation de l'Anses en temps de crise

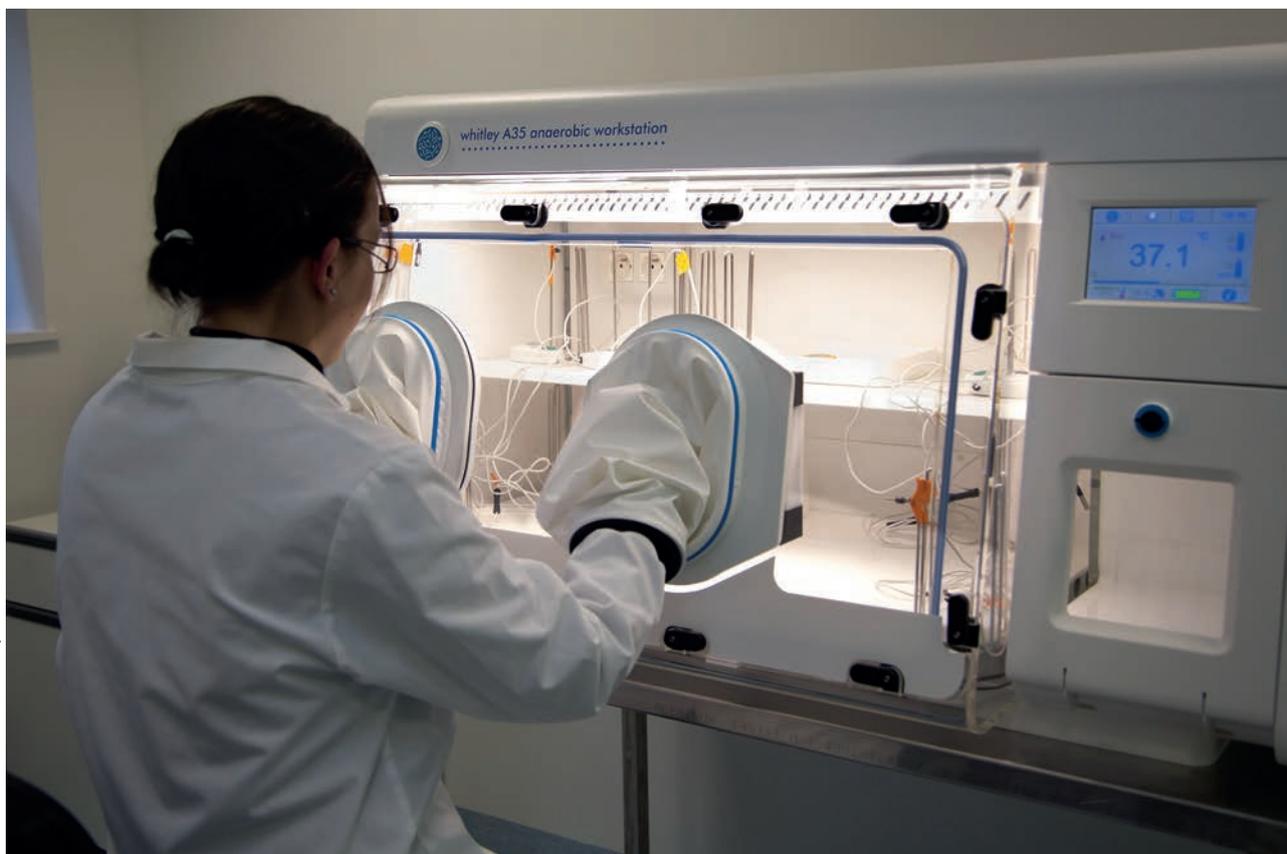
La pandémie de Covid-19 apparaît aujourd'hui comme une crise sanitaire d'une ampleur rarement égalée, tant par son extension que par le caractère « émergent » du risque auquel l'humanité a dû faire face, avec un nouveau virus dont très peu de caractéristiques étaient connues. Identifier les multiples effets physiologiques et pathologiques de ce nouvel agent infectieux, à court et à plus long

terme, ses modes de transmission (par contact, voie aérienne, alimentaire...), déterminer ses caractéristiques de virulence, sa charge infectieuse, sa persistance dans l'environnement, son ou ses réservoirs et la chaîne de transmission, la sensibilité des autres espèces animales... tout ou presque était à faire, à analyser, à comprendre, un défi majeur pour l'ensemble de la communauté scientifique et pour les services sanitaires dont le rôle est de protéger la population. Rien n'aurait été possible sans une mobilisation internationale dont l'ampleur est également inégalée.

**Dès le début de la pandémie de la Covid-19, l'Anses s'est placée au service des pouvoirs publics et des citoyens**, mobilisant l'ensemble de ses capacités, de ses laboratoires de recherche et de ses comités d'experts, pour tenter d'apporter, dans ses champs de compétences, des réponses et des solutions à cette crise.

Attachée à une articulation claire et efficace entre l'évaluation scientifique des risques et la décision publique, ainsi qu'à sa vocation citoyenne, l'Agence a, au titre de sa première contribution, la plus naturelle compte tenu de ses compétences, précisé les scénarios de l'exposition humaine au nouveau coronavirus, pour lequel des transmissions alimentaires, animales et environnementales étaient suspectées.

De mars à mai 2020, les collectifs d'experts indépendants de l'Agence se sont réunis en urgence pour examiner les données scientifiques permettant d'évaluer les risques de contamination *via* l'alimentation, l'eau et le milieu aquatique, ainsi que par l'épandage des boues provenant des



Travaux de recherche au sein du laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort, qui est spécialisé dans la santé des volailles, du lapin, des porcs, des ruminants et des poissons d'élevage. Il concourt à l'amélioration du bien-être des animaux ainsi qu'à la qualité sanitaire des denrées d'origine animale et à l'étude des conditions de travail en élevage.

eaux usées et des stations d'épuration, ou encore de transmission par les animaux d'élevage et de compagnie.

Dans le domaine de la santé au travail, des orientations utiles pour la prévention des expositions au virus en milieu professionnel ont dû être rapidement produites. Sous l'égide du ministère chargé du Travail et de l'Assurance maladie – Risques professionnels, nous avons également pris part aux groupes de travail chargés de définir des « fiches métiers » destinées à préciser pour chaque filière professionnelle des mesures de prévention très concrètes pour limiter la propagation de l'épidémie.

Compte tenu du confinement généralisé décidé par le gouvernement français, nous nous sommes rapidement interrogés sur les conséquences de cette situation exceptionnelle sur la vie quotidienne et la santé de nos concitoyens. L'Anses étant chargée de coordonner le dispositif national de toxicovigilance impliquant l'ensemble des centres anti-poisons présents sur le territoire national, il lui a été possible de repérer et d'alerter sur des intoxications liées aux mésusages domestiques des produits désinfectants. L'Agence a également formulé des recommandations pour limiter l'impact d'une sédentarité accrue et du manque d'exercice physique, ou encore du risque de déficit en vitamine D d'une large partie de la population astreinte à exercer ses activités à domicile.

Dans le domaine de la sécurité alimentaire, il s'est avéré nécessaire de rappeler les bonnes pratiques d'hygiène à

appliquer lors de la manipulation et de la préparation des aliments, en les adaptant au contexte spécifique de la prévention des contaminations dues au virus Sars-CoV-2, ou encore de mettre en garde les consommateurs contre la consommation de compléments alimentaires à base de plantes pouvant perturber la réponse immunitaire.

Les risques de transmission aéroportée ont été évoqués à de nombreuses reprises pendant cette crise, même s'il existe peu de données scientifiques disponibles. L'Anses a été chargée d'établir un état des connaissances sur la viabilité du virus Sars-CoV-2 dans l'air, notamment dans des espaces clos. Enfin, la sécurité des masques de protection s'est également, au fil des mois, élevée au rang d'enjeu sanitaire. L'Agence a ainsi été saisie en urgence pour estimer les risques potentiels liés au port de masques en tissu lavables traités par deux substances actives, la zéolithe d'argent et la zéolithe d'argent et cuivre. À l'heure où nous rédigeons ces lignes, elle est également en train d'expertiser les risques associés à la présence de substances à activité virucide qui pourraient être utilisées, tel que le graphène, alors même que celui-ci a été interdit au Canada puis en France, au nom du principe de précaution.

Pour répondre à toutes ces questions, l'Agence a pu faire appel et échanger régulièrement avec ses partenaires, *via* les instances dans lesquelles elle siège (par exemple, en tant que représentante de la France au Forum consultatif de l'Autorité européenne de sécurité des aliments) ou les



Photo © Guillaume de Rochemaurel

Le laboratoire de santé animale de l'Anses est situé à Maisons-Alfort (département du Val-de-Marne), sur le campus de l'École nationale vétérinaire d'Alfort (ENVA). Fondé en 1901, il est le premier laboratoire créé dans le monde pour lutter contre les maladies infectieuses et contagieuses animales.

réseaux européens et internationaux auxquels elle participe, ou encore dans le cadre des relations bilatérales qu'elle entretient avec les grandes agences d'évaluation des risques en Europe et au-delà, aux États-Unis ou au Canada. Ces échanges ont notamment porté sur les traitements dont sont l'objet les équipements de protection, sur les différents modes de transmission du Sars-CoV-2 ou le passage inter-espèces. La présence et la mobilisation de l'Anses aux niveaux international et européen vise avant tout à contribuer à une meilleure prévention et à une meilleure maîtrise des risques sanitaires, mais c'est également un enjeu scientifique fort puisqu'il s'agit d'intégrer le plus largement possible l'ensemble des données et des connaissances disponibles. La crise de la Covid-19 a confirmé la pertinence de cette approche.

Les laboratoires de recherche et de référence de l'Anses n'ont pas été en reste : à Maisons-Alfort, Nancy et Ploufragan, les scientifiques de l'Agence ont mis à profit leur connaissance des coronavirus animaux et leurs capacités de recherche afin de développer des modèles animaux pour servir à l'évaluation de protocoles thérapeutiques vaccinaux, ou encore pour observer l'effet de plusieurs procédés de stérilisation des masques, en appui de la réflexion sur leur recyclage portée par le gouvernement. Des échanges réguliers avec les partenaires européens de l'Agence, notamment l'Institut Friedrich Loeffler, en Allemagne, qui dispose de laboratoires haute sécurité de niveau 4 pour les gros animaux, ont permis de progresser rapidement pour éliminer le risque d'une transmission et d'une contamination pour la plupart des animaux d'élevage et sauvages, mais aussi de proposer des mesures

adaptées pour les élevages d'animaux sensibles au virus, comme les furets et les visons, et leurs éleveurs. Le laboratoire d'hydrologie, situé à Nancy, a pour sa part participé à l'analyse des performances des méthodes de détection du virus Sars-Cov2, notamment pour en surveiller la présence dans les eaux usées des stations d'épuration.

Tout au long de cette épidémie, allant au-delà de ses missions propres, **l'Anses a tenu à apporter une contribution active au dispositif de gestion de crise** piloté par les pouvoirs publics, en dédiant une partie de ses compétences scientifiques et médicales, et de ses ressources techniques. Des agents de l'Anses se sont ainsi proposés pour aider à l'organisation d'une recherche médicale mobilisée pour apporter une réponse à l'épidémie (programme REACTing de l'Inserm) ou encore des services hospitaliers (soutien aux laboratoires de diagnostic des hôpitaux), pour élaborer les dispositifs de crise ministériels ou encore pour participer de façon soutenue aux travaux du Haut Conseil de santé publique qui a dû produire, pendant toute la durée de cette crise et dans des délais extrêmement courts, un nombre considérable de rapports et de recommandations destinés aux pouvoirs publics.

Au-delà de la gestion de cette pandémie, l'actualité de l'Agence a été particulièrement riche depuis mars 2020, se rapportant à des sujets extrêmement variés. Parce qu'une crise, même quand elle est d'une telle ampleur, ne doit pas faire oublier les autres menaces pour la sécurité sanitaire, l'Anses a dû maintenir durant toute cette période de tension des capacités suffisantes pour pouvoir traiter tous les autres sujets urgents qui n'ont pas manqué, notamment pour répondre à d'autres crises sanitaires telles

que la crise Influenza aviaire qui vient une nouvelle fois de ravager les élevages de palmipèdes français, ou la lutte anti-vectorielle dans les territoires d'Outre-mer touchés par la dengue. Et ce dans un contexte où les mesures prises contre la Covid-19 compliquent les interventions des professionnels et rendent la mobilisation de la population plus difficile.

## Prévenir et anticiper les crises : fonder un système mondial de sécurité sanitaire

**L'utilité du système sanitaire et la confiance qu'il inspire reposent avant tout sur sa capacité à anticiper la crise pour qu'elle ne se réalise pas.** Si, dans cet article, nous avons commencé en dressant un panorama de nos actions face au nouveau coronavirus, c'est que cette situation illustre bien l'étendue de ce que l'Anses peut apporter dans ce registre particulier, en jouant pleinement son rôle d'agence d'expertise scientifique au service du gestionnaire public. Mais ce registre n'est certainement pas le cœur de sa vocation.

Quand bien même sa gestion serait parfaitement maîtrisée, la survenue d'une crise sanitaire est forcément le reflet d'un échec collectif. À ce titre, la pandémie actuelle ne peut que questionner l'efficacité du système de prévention des risques. Sans forcément parler d'un changement de paradigme, il semble aujourd'hui possible, et souhaitable, qu'elle contribue à accélérer certaines transitions, notamment dans le registre des risques qui mobilisent l'Anses.

Tout d'abord, le nouveau coronavirus montre la persistance d'une forte vulnérabilité, au plan sanitaire, de nos sociétés, y compris les plus avancées, face à des risques pourtant anciens – ici, une zoonose virale. Alors que le débat public tend à se cristalliser autour des risques sanitaires liés aux substances chimiques, aux particules ou aux ondes, auxquelles nous exposent nos choix de consommation et de société, un débat que l'incertitude scientifique contribue d'ailleurs souvent à alimenter, le risque infectieux revient à l'avant-scène, avec une grille de lecture renouvelée.

Jamais, en effet, la continuité entre les différents comparatifs de la santé n'aura été aussi largement mise en lumière. Jamais l'approche « One Health », théorisée et lancée par l'OMS (Organisation mondiale de la santé), la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) et l'OIE (Organisation mondiale de la santé animale), et soutenue par le Programme des Nations Unies pour l'environnement concrétisant ainsi la prise en compte des liens étroits existant entre la santé humaine, la santé animale et la santé environnementale, n'aura suscité autant d'intérêt.

L'Anses présente la singularité d'intervenir sur un très large spectre de risques. Alors que l'impact des activités humaines sur les écosystèmes, la globalisation des échanges et les effets du réchauffement climatique montrent qu'une approche intégrative de la santé devra prendre davantage de place dans les années à venir, notre Agence est en quelque sorte prédisposée au raisonnement « One Health », et inscrit déjà depuis plusieurs

années certains de ses travaux dans cette approche. La crise du coronavirus ne peut que nous inciter à engager davantage de nouvelles initiatives en ce sens.

La pandémie de Covid-19 vient aussi nous rappeler que le risque sanitaire ne s'arrête pas à nos frontières et que, dans un monde globalisé, son expansion peut être fulgurante. À partir de dispositifs solidement ancrés dans les organisations nationales, il apparaît aujourd'hui crucial de conforter et d'accentuer dans les années qui viennent les dynamiques de partage et de co-construction de dispositifs supranationaux, en capitalisant sur les agences sanitaires européennes et sur leurs homologues intervenant au niveau international, et en s'appuyant sur la mise en réseau des systèmes de veille et d'alerte existants. Ce maillage global des compétences doit avoir pour objectif futur **l'instauration d'un système mondial de sécurité sanitaire** fondé sur des règles et des valeurs partagées, orienté vers l'action et complémentaire des infrastructures politiques internationales.

Enfin, si les menaces sanitaires trouvent souvent pour une large part leur origine dans l'activité humaine, jamais l'anthropisation de la planète n'avait été autant identifiée comme source majeure de risques de maladies, voire même comme cause principale de mortalité. Dans l'écosystème global des risques, nos choix de vie et de consommation tout comme notre démographie sont plus que jamais questionnés. Le temps n'est plus à se focaliser uniquement sur la réalité de certains risques, sur les difficultés de la science à les éclairer et sur les difficultés de l'institution sanitaire à réussir à se faire entendre par-delà les méfiances tenaces héritée des grandes crises sanitaires passées. La prévention des risques suppose aujourd'hui d'engager des débats et de faire des choix de société excédant largement le périmètre de l'expertise scientifique – elle exige de faire des choix politiques au sens le plus fondamental du terme.

## Conclusion

Depuis 2010, l'Anses apporte aux décideurs publics les repères scientifiques nécessaires pour protéger la santé de l'homme et l'environnement contre les risques biologiques, physiques ou chimiques auxquels ils sont exposés. Si l'on ne peut que constater le fait qu'elle fait désormais partie intégrante du paysage sanitaire et se réjouir de l'intensité des sollicitations et de l'attention qu'elle suscite, l'Agence et, plus largement, l'ensemble des acteurs sanitaires, sont appelés à faire preuve de modestie face à la pandémie actuelle.

Notre mission première d'évaluateur du risque permet de faire avancer les connaissances face aux multiples expositions auxquelles sont soumis nos concitoyens dans leur vie quotidienne et pour pouvoir faire face à l'arrivée sur notre territoire d'organismes pathogènes ou nuisibles exogènes qu'il faut identifier précisément pour leur opposer une riposte rapide et adaptée. Pour ce faire, une approche intégrative et globalisée du risque sanitaire n'est plus une option mais une nécessité.

Comme cette crise l'aura encore démontré, l'expertise

scientifique est une condition nécessaire mais non suffisante de la bonne prévention et de la bonne gestion du risque sanitaire. Mieux nous protéger implique de dégager de fortes capacités d'anticipation et de recherche sur les risques émergents ou encore incertains, mais aussi d'interroger de façon collective et constructive, en allant au-delà du champ des missions strictes des agences sanitaires, nos choix de société.

Il nous faut continuer à progresser, sans relâche, pour limi-

ter nos vulnérabilités face à l'imprévu et pour construire un monde plus sûr, se positionnant au carrefour d'une science toujours plus robuste et réactive et d'un fructueux débat de société que nous devons contribuer à nourrir, mais auquel la science ne peut pas et ne doit pas se substituer.

De nouveaux modes de dialogue entre l'expertise scientifique, la décision publique et la société restent à imaginer. L'Anses est prête à y contribuer.

### Présentation de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail est un établissement public à caractère administratif placé sous la tutelle conjointe des ministères chargés de la Santé, de l'Agriculture, de l'Environnement, du Travail et de la Consommation. Elle compte environ 1 400 agents répartis sur 15 implantations, en France métropolitaine et en Outre-mer.

Agence d'expertise scientifique au service de la décision publique et de la protection sanitaire de tous, l'Anses œuvre chaque jour à :

- contribuer à la progression des connaissances et des méthodes scientifiques, notamment en ce qui concerne les menaces émergentes et les sujets à forte incertitude ;
- évaluer les risques sanitaires auxquels notre alimentation, notre environnement ou notre activité professionnelle nous exposent au quotidien, ou qui affectent la santé des animaux et des végétaux, et formuler des recommandations aux pouvoirs publics, en mobilisant des collectifs d'experts indépendants et les connaissances scientifiques les plus actuelles.

L'Anses traite également les demandes d'autorisation de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques, des biocides et des médicaments vétérinaires ;

- veiller à la santé des hommes, des animaux et des plantes au travers de dispositifs de surveillance et de vigilance qui permettent de capter les signaux d'alerte et grâce à un fonctionnement global conçu pour agir au plus vite, en appui aux pouvoirs publics, en cas de crise sanitaire.

L'Anses se caractérise par un large spectre d'intervention :

- risques biologiques, chimiques et physiques liés à l'eau, à l'air, aux sols, aux aliments et autres produits de consommation, avec notamment une attention particulière portée aux innovations technologiques ;
- qualité de l'alimentation ;
- risques associés à des métiers et des comportements professionnels spécifiques, évaluation des maladies professionnelles ;
- maladies et ravageurs des végétaux ;
- maladies des animaux et bien-être dans les élevages ;
- surveillance épidémiologique en santé animale et végétale, et sécurité de la chaîne alimentaire ;
- résistance aux antibiotiques chez les animaux et aux produits phytopharmaceutiques chez les végétaux ;
- risques et efficacité des médicaments vétérinaires, des produits phytopharmaceutiques, des biocides et des fertilisants ;
- toxicovigilance, nutrivigilance et phytopharmacovigilance.

# La santé environnementale : l'opportunité d'instaurer une gouvernance des risques multidimensionnelle et intégrée

Par Florence CARRÉ, INERIS  
Jacques GARDON, IRD  
Maud DÉVÈS, IPGP  
Laure GIAMBERINI, Université de Lorraine  
Christian MOUGIN, INRAE Versailles  
Nicolas ECKERT, INRAE Grenoble  
Et Gilles GRANDJEAN, BRGM

Dès 1990, l'OMS (1999) a perçu l'importance des déterminants environnementaux de la santé, ce qui l'a amenée à élargir sa définition de la santé de 1946 : « la santé environnementale comprend les aspects de la santé humaine, y compris la qualité de la vie, qui sont déterminés par les facteurs physiques, chimiques, biologiques, sociaux, psychosociaux et esthétiques de notre environnement. Elle concerne également la politique et les pratiques de gestion, de résorption, de contrôle et de prévention des facteurs environnementaux susceptibles d'affecter la santé des générations actuelles et futures. »

Partant du constat de l'impact de la qualité des écosystèmes sur la santé humaine, le concept d'exposome a émergé. Celui-ci est défini comme la totalité des expositions à des facteurs environnementaux que subit un organisme humain, depuis sa conception jusqu'à sa fin de vie en passant par le stade du développement *in utero* (Wild, 2005). La notion de « One health » élaborée par Zindsstag et collaborateurs (2011) insiste en outre sur la bidirectionnalité des relations et appelle à développer des approches intégrées pour garantir une santé environnementale globale (humaine, végétale, animale et écosystémique). À partir de différents exemples, nous questionnons ici le niveau d'intégration disciplinaire et spatio-temporelle nécessaire à la prise en compte et à l'opérationnalisation du concept de santé environnementale globale. Nous montrons ainsi que la santé environnementale offre un cadre d'actions pour répondre au besoin urgent du développement d'une gouvernance des risques multidimensionnelle et intégrée.

## Bidirectionnalité des relations entre santé et environnement : des risques multiples à considérer

La bidirectionnalité des relations entre santé et environnement est illustrée ici à partir d'exemples s'intégrant dans les nouveaux enjeux de transition (énergétique, numérique et écologique) et dans le contexte des risques liés aux changements globaux.

Les transitions énergétique et numérique à travers le monde nécessitent d'accroître les stocks de terres rares (Huang *et al.*, 2016) et de métaux stratégiques comme le lithium (Baspineiro *et al.*, 2020). Vidal et collaborateurs (2013) estiment que durant les quinze prochaines années, on extraira plus de métaux que depuis le début de l'humanité. À ces besoins industriels, il faut ajouter la spéculation sur l'or, dont les cours atteignent des sommets avec pour conséquence la multiplication du nombre

de régions aurifères exploitées. Quel que soit le contexte, l'activité minière est associée à des risques pour les travailleurs et pour la population générale. Même si elles sont rares, les ruptures des bassins de décantation des eaux et boues produites par le traitement du minerai ont des conséquences aussi bien aiguës que chroniques (Kossoff *et al.*, 2014 ; Segura *et al.*, 2016). Les anciennes zones d'extraction ne sont pas toujours protégées (puits, galeries effondrées, bassins de décantation...), devenant ainsi une source de risques physiques notamment pour les enfants des communautés avoisinantes. Outre les dégâts physiques, une des spécificités de la pollution minière est sa rémanence à travers les risques environnementaux et sanitaires chroniques liés aux pollutions chimiques, lesquelles sont souvent difficiles à évaluer (Camiluzi *et al.*, 2021). Malgré les efforts parfois consentis, la remédiation est souvent imparfaite, permettant aux drainages des mines et à l'érosion éolienne de disperser dans l'environnement des éléments métalliques toxiques. Pour les travailleurs, les risques sanitaires sont liés à des maladies professionnelles reconnues. En revanche, pour la population générale, l'établissement de relations causales entre exposition et conséquences sanitaires est souvent discuté ; et ce d'autant plus que dans les pays du Sud, là où l'activité minière est très intense, il n'existe pas de registre des maladies et de statistiques de santé pouvant mettre en exergue les relations entre l'extraction minière et la santé des populations environnantes. Néanmoins, des évaluations indirectes des risques par application de modèles d'exposition aux polluants miniers (Bonnard et McKone, 2009), comme la biosurveillance des populations locales mesurant sur plusieurs pas de temps leurs niveaux d'exposition à partir de prélèvements de sang ou d'urine (Barbieri *et al.*, 2016) ou encore les mesures d'exposition aux polluants (Olufemi *et al.*, 2019) permettent d'évaluer l'effet des polluants miniers sur la santé des populations, notamment des plus vulnérables, comme les femmes enceintes ou les enfants. Les effets relevés sur la santé s'expriment aussi bien à court terme, avec des blessures et des pertes de vie, qu'à long terme, avec des cancers, des troubles respiratoires, tels que la silicose, l'asbestose et la pneumoconiose, et des troubles cognitifs et psychiatriques (Emmanuel *et al.*, 2018 ; Stephens et Ahern, 2001).

Outre cet exemple illustrant l'impact des activités anthropiques sur l'environnement, puis sur la santé, les aléas naturels peuvent également avoir un effet négatif sur cette dernière. C'est le cas, par exemple, de l'activité volcanique. Au niveau mondial, au moins 500 millions de personnes sont exposées à des volcans actifs (à noter que les outremer français comptent de nombreux volcans actifs, dont quatre le sont tout particulièrement aujourd'hui). Les régions volcaniques sont souvent densément peuplées, les volcans sont donc une menace pour les populations locales. Par ailleurs, les dispersions des gaz ou des cendres volcaniques peuvent s'étendre sur des zones distantes de centaines, voire de milliers de kilomètres du cratère, et même se faire ressentir à l'échelle mondiale en raison de leurs impacts sur le climat (Hansell *et al.*, 2006). Aux effets directs de l'activité volcanique sur la santé, s'ajoutent les effets indirects dus aux éventuels glissements de terrain,

coulées de boue, coupures de courant, contamination de l'eau potable et déplacements massifs de personnes avec leur cortège d'aléas sociaux, économiques, sanitaires, etc. Ainsi, les effets sur la santé d'événements souvent perçus comme paroxysmaux mais de courte durée s'inscrivent non seulement dans le court terme mais aussi dans le long terme, et elles sont protéiformes : des brûlures, des blessures dues aux chutes ou aux accidents de véhicules liés aux conditions de circulation rendues difficiles par les cendres ; mais ce sont aussi les maladies infectieuses, les maladies respiratoires... Ces effets peuvent être atténués par des plans de prévention et de gestion des différents risques identifiés (Hansell *et al.*, 2006). Toutefois, il existe parfois des bénéfices à l'occupation de certaines zones à risque. Pour reprendre l'exemple des volcans, la plupart des sols volcaniques – ou andosols – présentent d'excellentes propriétés physiques qui les rendent désirables pour de nombreux usages. D'un point de vue agronomique, du fait de leur grande capacité de rétention de l'eau, de leur conductivité hydraulique élevée et de l'importante variabilité latérale des horizons pédologiques, ces sols sont parmi les plus fertiles de la planète et sont donc intensément cultivés, même si leurs usagers sont conscients des risques volcaniques (les risques de glissements de terrain, notamment) qu'ils encourent (Verheye, 2009). Cette grande fertilité contribue à nourrir de nombreuses personnes et participe ainsi à leur santé et à leur bien-être. Ainsi, la balance bénéfice-risque peut être complexe à établir étant dépendante de l'échelle considérée (individu, population, durée temporelle, etc.).

Concernant l'effet des activités liées à la santé humaine sur l'environnement, les résidus de médicaments font l'objet d'une préoccupation majeure lorsqu'ils pénètrent dans les systèmes d'eau douce (OECD, 2019). En effet, les systèmes de traitement de l'eau ne sont pas conçus pour éliminer entièrement l'ensemble des résidus de médicaments, conduisant ainsi à la diffusion de ces molécules actives dans les eaux douces. Les concentrations de ces polluants peuvent atteindre quelques milligrammes par litre dans les effluents industriels et les cours d'eau de certains pays comme les États-Unis, la Chine, la Corée, Israël ou l'Inde (Larsson, 2014). Ces mesures sont d'ailleurs souvent sous-estimées, puisque tous les types de résidus ne sont aujourd'hui pas totalement connus et ne sont donc pas mesurés. Ces médicaments ont été conçus pour agir à de faibles doses afin d'atteindre et d'interagir avec des molécules-cibles ; ainsi les mêmes réponses observées chez l'homme peuvent se retrouver pour la (micro)faune aquatique entraînant des effets mutagènes (par exemple, avec les produits anticancérogènes), des perturbations endocriniennes comme une baisse de reproductivité (par exemple, avec la pilule contraceptive) ou encore un phénomène d'antibiorésistance (par exemple, avec les antibiotiques). Sachant que ces polluants sont multiples, ils peuvent agir en synergie ou en antagonisme sur la (micro)faune. Ces effets cocktail sont difficiles à modéliser du fait que les effets d'un même type de résidus peuvent être hautement variables en fonction de son degré de dégradation dans le milieu et de métabolisation, et du degré de maturité de l'espèce-cible (Vasquez *et al.*, 2014). Or, ac-

céder à une meilleure connaissance des effets permet de prioriser la remédiation des substances et de mieux gérer les risques. Les effets de ces résidus sont bien souvent transgénérationnels, décimant ainsi des populations entières d'espèces (Schwindt *et al.*, 2014). Outre les effets sur l'environnement, il est observé une superposition temporelle des pics d'épidémies et de plus grandes concentrations de résidus dans les eaux de surface (Hong *et al.*, 2020). À moins que des mesures soient prises, la situation devrait empirer avec l'utilisation croissante de produits pharmaceutiques en lien avec la croissance économique, le vieillissement de la population et les progrès dans les soins de santé (OECD, 2019).

Ces différents exemples montrent que les interactions entre la santé humaine et l'environnement sont bidirectionnelles et complexes avec des phénoménologies spatiales, aussi bien locales que globales, et temporelles, et étant aussi bien instantanée qu'agissant à l'échelle pluridécennale. Dans ces interactions, il peut y avoir des effets négatifs pour l'homme, mais, au contraire, positifs pour l'environnement ; des effets négatifs pour l'homme, mais qui, par rétroaction, pourraient lui être positifs mais sur un plus long terme. Ainsi, il faut pouvoir raisonner sur les risques (en parallèle ou en série), de façon globale et sur de longues échelles de temps, pour gérer au mieux les territoires dans un objectif de durabilité.

## Vers un cadre de gouvernance des risques à la fois multidimensionnel et intégré

Les exemples présentés dans la section précédente mettent en exergue, pour chaque problématique, la multiplicité des disciplines concernées : sciences de la Terre, climatologie, sciences marines, (éco)toxicologie expérimentale et numérique, physico-chimie et métrologie de l'environnement, épidémiologie... Chacune de ces disciplines se réfère encore trop à son propre cadre réglementaire, agit en fonction de ses propres concepts, de son propre vocabulaire et de ses propres modèles d'évaluation du risque, qui eux-mêmes sont liés au cœur de cible de chacune d'elles : norme exprimée en durée de retour pour les géosciences, en concentration pour les chimistes, en pertes acceptables pour les financiers, etc. Il faut donc pouvoir décroiser ces différents silos en travaillant systématiquement sur des projets communs de gestion territoriale. Une telle perspective se décline au niveau international à l'horizon 2030 au travers des domaines communs couverts par les dix-sept objectifs de développement durable (ONU, 2015) et le cadre de Sendai (UNISDR, 2015) visant à réduire les catastrophes naturelles et leurs impacts. Au niveau national, le droit applicable aux installations classées pour la protection de l'environnement, principalement régies par le Code de l'environnement, garantit la minimisation des risques technologiques et environnementaux engendrés par ces installations. Par ailleurs, la loi de santé de 2016, opérationnellement déclinée dans le cadre du 4<sup>ème</sup> Plan national santé-environnement, est également une belle opportunité de travailler à l'amélioration de la compréhension des relations entre la santé et l'environnement.

À cet effet, il y est proposé de développer des observatoires interopératoires permettant de surveiller l'état de l'environnement (Green Data Hub) et l'état sanitaire de la population (Health Data Hub), ainsi que la standardisation des méthodes d'analyse pour pouvoir comparer les données et évaluer leur évolution spatio-temporelle. Au niveau européen, les mêmes initiatives sont relayées au sein du Partenariat européen pour l'évaluation des risques liés aux substances chimiques (PARC), auquel participent de nombreux instituts de recherche français travaillant sur la santé environnementale.

L'enjeu scientifique lié au développement d'un cadre de gouvernance des risques à la fois multidimensionnel et intégré est de pouvoir, pour chaque scénario de gestion, analyser les phénomènes mis en jeu dans leur dimension spatiale la plus large et d'en évaluer les risques et les bénéfices à court et long termes. Au niveau méthodologique, les normes ISO/IEC Guide 73 :2009 et ISO/IEC Guide 31010 :2009, ainsi que le guide de l'UNISDR sur la terminologie de réduction de risques de catastrophes naturelles (UNISDR, 2009) permettent de cadrer à la fois le vocabulaire et les méthodes d'évaluation des risques. Pour chaque scénario, une métrique d'analyse doit être développée au regard des objectifs de gestion et de durabilité afin de cumuler le mieux possible les différents impacts environnementaux et sanitaires. Cette métrique doit être le reflet non seulement des différentes disciplines scientifiques mobilisées, mais également de la perception qu'ont les gestionnaires et les parties prenantes du territoire des différents risques auxquels ils sont confrontés. Ces interactions entre scientifiques et acteurs du territoire appellent à une nécessaire acculturation aux risques environnementaux et sanitaires, pour que toute décision prise soit la plus éclairée possible. La formalisation et la mise en œuvre d'une telle philosophie intégratrice restent toutefois un formidable défi. Des cadres conceptuels émergent actuellement pour traduire la complexité des interrelations inhérentes aux systèmes multirisques (voir, Pescaroli et Alexander, 2018 ; Zuccaro *et al.*, 2018 ; Curt, 2020), mais ils restent à ce stade peu mis en pratique et d'une appropriation faible par les praticiens.

## Conclusion

À partir des différents exemples en lien avec la santé environnementale qui précèdent, nous avons démontré à quel point la complexité des relations entre la santé et l'environnement appelle à un maximum d'intégration disciplinaire et spatio-temporelle pour éclairer le plus possible la prise de décisions compatibles avec les objectifs de développement durable. Des cadres conceptuels et applicatifs sont en train d'émerger. Ils posent les bases d'une future gouvernance des risques à la fois multidimensionnelle et intégrée. Nos exemples illustrent toutefois qu'il reste nécessaire de les étendre et de les opérationnaliser de façon à les adapter, notamment à des situations de bénéfice-risque complexes. Il s'agit d'un besoin immédiat et crucial dans le contexte actuel d'urgence environnementale généralisée.

## Références

- BARBIERI F. L., GARDON J., RUIZ-CASTELL M., PACO V. P., MUCKELBAUER R., CASIOT C., FREYDIER R., DUPREY J.-L., CHEN C.-M., MÜLLER-NORDHORN J. & KEIL T. (2016), "Toxic trace elements in maternal and cord blood and social determinants in a Bolivian mining city", *International Journal of Environmental Health Research* 26(2), pp. 158-174, <https://doi.org/10.1080/09603123.2015.1061114>
- BASPINEIRO C. F., FRANCO J. & FLEXER V. (2020), "Potential water recovery during lithium mining from high salinity brines", *Science of the Total Environment* 720, [doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137523](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137523)
- BONNARD R. & MCKONE T. E. (2009), "Integration of the Predictions of Two Models with Dose Measurements in a Case Study of Children Exposed to the Emissions from a Lead Smelter", *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 15(6), pp. 1203-1226, <https://doi.org/10.1080/10807030903304849>
- CAMIZULI E., ROSSI M. & GASQUET D. (2021), "Trace metals dispersion from 1000 years of mining activity in the northern French Alps", *The Extractive Industries and Society* 8(1), pp. 135-146.
- CURT C. (2021), "Multirisk: what trends in recent works? – A bibliometric analysis", *Science of The Total Environment* 763, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142951>
- EMMANUEL A. Y., JERRY C. S. & DZIGBODI D. A. (2018), "Review of Environmental and Health Impacts of Mining in Ghana", *Journal of Health & Pollution* 8(17), pp. 43-52, <https://doi.org/10.5696/2156-9614-8.17.43>
- HANSELL A. L., HORWELL C. J. & OPPENHEIMER C. (2006), "The health hazards of volcanoes and geothermal areas", *Occupational and Environmental Medicine* 63(2), pp. 149-156, <https://doi.org/10.1136/oem.2005.022459>
- HONG B., YU S., NIU Y., DING J., LIN Q., LIN X. & HU W. (2020), "Spectrum and environmental risks of residual pharmaceuticals in stream water with emphasis on its relation to epidemic infectious disease and anthropogenic activity in watershed", *Journal of Hazardous Materials* 385 121594, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121594>
- HUANG X., ZHANG G., PAN A., CHEN F. & ZHENG C. (2016), "Protecting the environment and public health from rare earth mining", *Earth's Future* 4(11), pp. 532-535, <https://doi.org/10.1002/2016EF000424>
- KOSSOFF D., DUBBIN W. E., ALFREDSSON M., EDWARDS S. J., MACKLIN M. G. & HUDSON-EDWARDS K. A. (2014), "Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation", *Applied Geochemistry* 51, pp. 229-245, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.09.010>
- LARSSON D. G. J. (2014), "Pollution from drug manufacturing: Review and perspectives", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 369(1656) 20130571, <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0571>
- ISO/IEC (2009), "Guide 73:2009. Risk management – Vocabulary", International Organization for Standardization.
- ISO/IEC (2009), "Guide 31010:2009. Risk management – Risk assessment techniques", International Organization for Standardization.
- OECD (2019), "Pharmaceutical Residues in Freshwater: Hazards and Policy Responses", <https://doi.org/10.1787/c936f42d-en>
- OLUFEMI A. C., MJI A. & MUKHOLA M. S. (2019), "Health risks of exposure to air pollutants among students in schools in the vicinities of coal mines", *Energy Exploration & Exploitation* 37(6), pp. 1638-1656, <https://doi.org/10.1177/0144598718765489>
- OMS (1999), "Environmental Health Indicators: Framework and Methodologies", Genève.
- ONU (2015), « Les Objectifs de développement durable », *Développement durable*, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>
- PESCAROLI G. & ALEXANDER D. (2018), "Understanding compound, interconnected, interacting, and cascading risks: a holistic framework", *Risk analysis* 38(11), pp. 2245-2257.
- SCHWINDT A. R., WINKELMAN D. L., KETELES K., MURPHY M. & VAJDA A. M. (2014), "An environmental oestrogen disrupts fish population dynamics through direct and transgenerational effects on survival and fecundity", *Journal of Applied Ecology* 51(3), pp. 582-591, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12237>
- SEGURA F. R., NUNES E. A., PANIZ F. P., PAULELLI A. C. C., RODRIGUES G. B., BRAGA G. Ú. L., DOS REIS PEDREIRA FILHO W., BARBOSA F., CERCHIARO G., SILVA F. F. & BATISTA B. L. (2016), "Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil)", *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)* 218, pp. 813-825, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.005>
- STEPHENS C. & AHERN M. (2001), "Worker and Community Health Impacts Related to Mining Operations Internationally", *Mining, Minerals and Sustainable Developme.* 25, 59 pages, <https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/G01051.pdf>
- UNISDR (2009), "Terminology: Basic Terms of Disaster Risk Reduction", <http://www.unisdr.org/we/inform/terminology>
- UNISDR (2015), « Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 », 40 pages, [https://www.unisdr.org/files/43291\\_frenchsendaiframeworkfordisasterris.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_frenchsendaiframeworkfordisasterris.pdf)
- VASQUEZ M. I., LAMBRIANIDES A., SCHNEIDER M., KÜMMERER K. & FATTA-KASSINOS D. (2014), "Environmental side effects of pharmaceutical cocktails: What we know and what we should know", *Journal of Hazardous Materials* 279, pp. 169-189, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.069>
- VERHEYE W. H. (2009), *Land Use, Land Cover and Soil Sciences – Volume VII: Soils and Soil Sciences – 2*, EOLSS Publications.
- VIDAL O., GOFFÉ B. & ARNDT N. (2013), "Metals for a low-carbon society", *Nature Geoscience* 6(11), pp. 894-896, <https://doi.org/10.1038/ngeo1993>
- WILD C. P. (2005), "Complementing the Genome with an "Exposome": The Outstanding Challenge of Environmental Exposure Measurement in Molecular Epidemiology", *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers* 14(8), pp. 1847-1850, <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-05-0456>
- ZINSSTAG J., SCHELLING E., WALTNER-TOEWS D. & TANNER M. (2011), "From 'one medicine' to 'one health' and systemic approaches to health and well-being", *Preventive Veterinary Medicine* 101(3), pp. 148-156, <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.07.003>
- ZUCCARO G., DE GREGORIO D. & LEONE M. F. (2018), "Theoretical model for cascading effects analyses", *International journal of disaster risk reduction* 30, pp. 199-215.

# Vers une écologisation de la gouvernance de la santé <sup>(1)</sup>

Par Nathalie BLANC

Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Centre des politiques de la Terre, Laboratoire LADYSS UMR 7533

Cet article traite de l'évolution de la relation entre la nature et l'environnement urbain au cours des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles, et même jusqu'au XXI<sup>e</sup> siècle en Europe et aux États-Unis, une relation qui a été principalement abordée en termes de santé publique. L'aménagement de l'espace et les règles d'urbanisme ont longtemps été les outils d'un engagement politique s'intéressant à toutes les dimensions de la vie afin de surveiller et contrôler les atteintes qui pourraient lui être portées, et *in fine* de la préserver. La prise en compte des dimensions environnementales dans les politiques territoriales de santé conduit à revoir les liens aménagement/nature ainsi que le rôle des différents acteurs impliqués dans les politiques de santé.

Les bouleversements dans le champ de la santé sont nombreux, et encore plus lorsque l'on définit la santé comme « un état de complet bien-être, physique, mental et social, qui ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité » (voir la charte de l'Organisation mondiale de la santé (OMS)). En effet, la santé ainsi définie l'est plus selon une visée extensive et idéale que par des normes effectivement mises en œuvre. Ces changements relèvent de l'essor mondial des maladies chroniques en relation avec la dégradation de l'environnement <sup>(2)</sup>, de la transformation du rôle de l'hôpital dans la ville, ou encore de la revalorisation du local et du territoire. L'ensemble de ces changements invitent à revoir ce que pourrait être une gouvernance de la santé.

Cette brève réflexion concerne la progressive écologisation des politiques territoriales de santé, en lien avec ces bouleversements. Elle s'inscrit dans une longue histoire, celle des liens entre la santé et l'urbanisme, discipline fondatrice de l'aménagement urbain, ou encore celle de l'intégration de la nature dans l'espace urbain dans l'optique d'une valorisation des qualités des territoires.

De fait, l'écologisation des politiques territoriales de santé n'a cessé d'évoluer au cours des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles.

Par écologisation des territoires, nous fondons ici sur l'introduction du dossier dédié à l'écologisation des territoires

coordonné par Ludovic Ginelli, Jacqueline Candau, Sabine Girard, Marie Houdart, Valérie Deldrève et Camille Noûs <sup>(3)</sup>, nous entendons la redéfinition des territoires au travers des normes et des connaissances à visée environnementale. Ces dernières visent à transformer les manières de penser et de juger ainsi que les pratiques sociales sur ces mêmes territoires. Logiquement, l'écologisation des politiques territoriales de santé impliquerait la prise en compte des normes et des valeurs environnementales par les composantes organisationnelles, culturelles et sociétales du territoire dans la mise en place des politiques de santé. Par local, il ne faut pas entendre forcément un renforcement de la proximité géographique ; l'idée de territoire invite plus largement à repenser les relations, aux différentes échelles géographiques, entre les acteurs, les activités et les milieux de vie. Il s'agit de la mobilisation et de la création d'un grand nombre de ressources, qui peuvent être de différentes natures : économiques, sociales, politiques, culturelles, environnementales, paysagères... Cette écologisation des politiques territoriales de santé implique, à l'aune de la crise environnementale, la redéfinition de la qualité de vie, du bien-être et même de la santé planétaire.

Dès lors, comment ces concepts peuvent-ils être source de nouvelles normes et politiques dans l'occupation des espaces urbains et dans la mise en œuvre de *spatialités thérapeutiques* ?

(1) Cet article reprend des paragraphes du texte publié en anglais : BLANC Nathalie, "Urban Nature: (The) Good and (The) Bad", in BRETTELLE-ESTABLET Florence, GAILLE Marie & KATOUZIAN-SAFADI Mehrnaz (dirs.), *Making Sense of Health, Disease, and the Environment in Cross-Cultural History: The Arabic-Islamic World, China, Europe, and North America*, [s.l.], Springer, 2020 (Boston studies in the philosophy and history of science, v. 333), pp. 287-308.

(2) Rapport sur l'état de santé de la population en France en 2017, DREES.

(3) GINELLI Ludovic, CANDAU Jacqueline, GIRARD Sabine, HOUDART Marie, DELDRÈVE Valérie & NOÛS Camille (2020), « Écologisation des pratiques et territorialisation des activités : une introduction », *Développement durable et territoires* [En ligne], vol. 11, n°1, avril, <http://journals.openedition.org/developpementdurable/17272>, doi : <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.17272>

Dans un premier temps, nous montrerons comment l'histoire de la santé se définit historiquement par la qualité des espaces urbains. Ensuite, nous verrons comment ce contexte se renouvelle à partir de l'émergence de la problématique environnementale dans les débats publics. Il s'agit, notamment, d'une inversion du rôle de la nature et, donc, des modalités d'énonciation des conditions d'un habitat valorisant un bien-vivre urbain. Quelle est la place réservée aux mobilisations citoyennes dans cette redéfinition des problématiques de santé au sein des territoires ?

## Brève histoire

Au fur et à mesure que se sont développées des interventions publiques en matière de politiques urbaines, notamment à partir du XVIII<sup>e</sup> siècle, des politiques de contrôle de la nature sont également mises en place<sup>(4)</sup>. Toutes ces interventions s'inscrivent dans un propos d'utilité publique et d'efficacité, « de prophylaxie de l'environnement urbain »<sup>(5)</sup>. On aère, on construit de larges voies, on pave les rues, on permet aux rayons du soleil de pénétrer dans les rues et les maisons, on crée des promenades plantées et des jardins, on déplace les cimetières et les abattoirs hors des villes, on ouvre la ville sur son environnement rural, et on revégétalise les anciennes fortifications. L'air, l'eau et la lumière du soleil circulent et purifient la ville.

Les espaces vacants – les jardins, les bois ou les forêts servant de zones de séparation entre les éléments bâtis – sont une ouverture pour la circulation de l'air et la pénétration des rayons du soleil et, corrélativement, ordonnent l'organisation spatiale de la cité. Mais ils sont aussi des lieux de promenade et de détente. Enfin, la séparation introduite entre les bâtiments par ces mêmes éléments naturels est un moyen pour affecter des fonctions spécifiques à chacun des espaces (usines d'un côté, et habitations de l'autre, par exemple). L'introduction de l'hygiène est également une manière de redonner une force productive aux travailleurs. De l'exploitation de la nature et de son intégration dans le processus de production de la ville, on passe à une sélection des éléments, à un effort pour faire disparaître les inconvénients issus de la nature, grâce au développement des techniques visant à créer une ville qui réponde aux besoins des humains et soit à même d'assurer le progrès social. Ainsi, Benjamin Ward Richardson (1828-1896)<sup>(6)</sup>, médecin anglais, a inventorié dans ce qui fut initialement une communication faite lors du congrès de 1875 de la Social Science Association, les moyens de lutter contre l'état sanitaire déplorable des grandes villes. Dans sa ville

fictive d'Hygeia (la Cité de la santé), l'hygiène est la valeur unique qui détermine la localisation et le plan architectural des demeures privées et des édifices publics.

Une véritable maîtrise des effets de la nature dans l'espace urbain, conjuguée à une mise en œuvre technique ébauchant la ville comme un réseau, s'enclenche dans les grandes villes autour des années 1850. En France, ce mouvement va se concrétiser, notamment avec les transformations de Paris sous l'action du Baron Haussmann, alors préfet de la Seine (1853-1870). Les transformations de l'espace urbain vont permettre le développement et la pénétration de techniques urbaines qui favorisent non seulement le confort et l'hygiène, mais aussi l'introduction d'une nature contrôlée.

C'est de la rencontre, vers la fin du siècle dernier et vers le début de celui-ci, de ces deux tendances que sont, d'un côté, l'utopie sociale et, de l'autre, le traitement technique des grandes villes, que l'urbanisme prend corps. Le terme même d'urbanisme entre dans la langue française vers 1900-1910<sup>(7)</sup>. Le zonage et la pratique du plan vont permettre de réguler les constructions dans l'espace urbain en fonction de principes d'hygiène. Il s'agit alors de maîtriser la distance entre les constructions ainsi que l'affectation des espaces urbains. La plupart des urbanistes, proches ou issus du courant moderniste institué par Le Corbusier en 1928 en Suisse et prôné par les CIAM (congrès internationaux d'architecture moderne), cherchent à ordonner les éléments urbains. Critiques de la ville<sup>(8)</sup>, ces penseurs veulent instaurer un espace qui bonifie les conditions d'existence de l'être humain, en mettant en œuvre des principes esthétiques qui tiennent compte de ces nécessités en termes d'hygiène, mais aussi de l'intérêt qu'il y a sur le plan du confort urbain de rationaliser la production du bâti et de la ville.

## Le XXI<sup>e</sup> siècle

De nombreux risques sanitaires pèsent sur les populations en ce XXI<sup>e</sup> siècle qui ne sont plus les produits d'un environnement miasmatique ou d'une nature pourrissante, mais les résultats d'une morphologie et d'une matérialité biologique, physique et chimique, à l'échelle du bâtiment et de la ville, mais aussi de la région. Un renversement s'élabore : l'hygiénisme, doctrine de l'urbanisme moderne, n'accompagne plus l'idée de progrès. Une ville « propre » n'est même plus une ville saine. Les excès de l'hygiène en zone urbaine s'accompagnent d'une importante pollution atmosphérique, de la prolifération des sols pollués, parfois des décharges à ciel ouvert. Des changements d'optique s'affirment au cours de la décennie 1990<sup>(9)</sup>. Plu-

(4) PERROT Jean-Claude (1974), in RONCAYOLO Marcel & PAQUOT Thierry (eds.) (1990), *Villes et civilisations urbaines – XVIII<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles*, Paris, Larousse, coll. « Textes essentiels », p. 39 : « dans l'optique fonctionnelle, il s'agit de tailler, de greffer, d'amender la nature. Ainsi, une politique populationniste à travers le contrôle des empiriques (sages-femmes, chirurgiens, apothicaires), la surveillance épidémique, la naissance de la médecine sociale (consultations gratuites)... ».

(5) LUGINBUHL Yves (1992), « Nature, paysage, environnement : obscurs objets du désir de totalité », in *Du 731 milieu à l'environnement*, Paris, p. 28 : « L'hygiénisme s'instaure en tant que savoir dans le courant du XIX<sup>e</sup> siècle, savoir technique tout d'abord, savoir scientifique ensuite ».

(6) RICHARDSON Benjamin Ward (1876), *Hygeia: A City of Health*, London: Macmillan; (2004), *Early Urban Planning, vol. 1. Hygeia: A City of Health*, ed. Richard LeGates. Reprint Taylor & Francis.

(7) RONCAYOLO Marcel & PAQUOT Thierry (eds.) (1990), *Villes et civilisations urbaines – XVIII<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles*, Paris, Larousse, coll. « Textes essentiels ».

(8) L'hygiénisme a inauguré une vision unitaire de la ville comme espace de génération de maladies : le territoire urbain apparaît comme une unité sanitaire : voir MURARD Lionel & ZYLBERMAN Patrick (1985), « L'ordre et la règle. L'hygiénisme en France dans l'entre-deux-guerres », *Les cahiers de la recherche architecturale*, n°15 à 17.

(9) Voir EMELIANOFF Cyria (2008), « Enjeux et figures d'un tournant urbanistique en Europe », *Annales des Mines – Responsabilité & Environnement*, avril, n°52, pp. 15-20.



Les jardins intérieurs de l'hôpital Saint-Louis à Paris (10<sup>ème</sup> arrondissement).

« La nature peut être notre premier outil de prévention et notre premier médicament, comme le montrent les bienfaits pour la santé de sa présence en ville et les bénéfices thérapeutiques des jardins en milieu hospitalier. »

sieurs initiatives européennes prennent forme durant la première Conférence européenne sur les villes durables, à Aalborg, en 1994 : le texte de la charte adoptée dans le cadre de cette conférence s'oppose en tous points à celui de la charte d'Athènes<sup>(10)</sup>. La charte d'Aalborg appelle à l'élaboration de politiques urbaines transversales, qui intègrent les impacts du développement sur l'environnement, écologique et social, à plusieurs échelles. Elle met l'accent sur le potentiel des villes et même sur le pouvoir de celles-ci dans la résolution d'un certain nombre de problèmes écologiques et sociaux. Elle les invite à se ré-appropriier pleinement l'espace politique local, celui de la démocratie urbaine. En 2013, lors de sa présentation du troisième plan national santé-environnement au cours du Conseil des ministres du 12 novembre, la ministre Ségolène Royal a déclaré : « La nature peut être notre premier outil de prévention et notre premier médicament, comme le montrent les bienfaits pour la santé de sa présence en ville et les bénéfices thérapeutiques des jardins en milieu hospitalier<sup>(11)</sup> ».

La tentation a été grande dernièrement de mettre en œuvre un génie écologique qui se substitue au génie civil et de remplacer les systèmes techniques urbains par des systèmes quasi naturels. Le paysage urbain, du point de vue écologique, doit devenir aussi efficace que l'espace rural. Dès lors, l'urbanisme, né il y a un siècle, commence à se dégager, dans le contexte occidental, bien sûr, de l'emprise hygiéniste et fonctionnaliste lorsqu'il appréhende la question environnementale et sociale ; il reste encore difficile de réfléchir à habiter autrement que ce que prévoyait les cadres de l'urbanisme moderne. La ville a été récemment pensée et bâtie par des professionnels relativement à ses fonctions et à ses usages, en ignorant le fait qu'elle est un milieu de vie et d'épanouissement, en particulier pour les êtres humains non seulement sur le plan fonctionnel, mais aussi dans leur vie de tous les jours, dans le respect de leurs sensibilités différentes. Les citoyens ont besoin de faire vivre leurs perceptions et leurs sensibilités, de s'insérer dans un monde allant bien au-delà de la seule sphère productive.

La santé doit s'avérer plus pleinement écologique et sociale. Lorsque les parties prenantes sont diversifiées, les effets combinés de l'écologisation et de la territorialisation semblent plus équilibrés. En ce qui concerne la santé, les acteurs du territoire (associations locales et en réseaux, services publics et territoriaux, populations locales, etc.) et

(10) Élaboré en 1933 lors d'un congrès international d'architecture moderne tenu à Athènes, ce texte constitue le manifeste de l'urbanisme moderne. Il sera publié anonymement en 1942 (Le Corbusier, 1957).

(11) Voir le site de l'Association nationale des villes pour le développement de la santé publique : <http://www.espt.asso.fr/activites/participation-au-debat-public/seminaires-colloques-et-rencontres/357-5e-congres-national-sante-environnement-organise-par-la-sfse.html>

de la qualité des environnements locaux (biodiversité, pollution, etc.) doivent être associés aux acteurs de la santé, pour promouvoir le lien entre les spécialistes thématiques et les acteurs du territoire. Dans ce contexte nouveau où l'environnement est devenu une véritable problématique, les enjeux en termes de santé et de soins ont évolué. Des pratiques voient le jour en contexte hospitalier, lesquelles traduisent plus généralement un rapport à la nature modifié. L'écopsychologie, par exemple, désigne un discours sur la psyché en relation avec la Terre, et oblige à se pencher sur la relation entre l'être humain et la nature.

L'exemple de la pollution atmosphérique montre le rôle des associations et des autres acteurs de proximité dans la redéfinition d'une problématique de santé environnementale. Dans les années 1990, de grandes études épidémiologiques sur les liens entre la santé et la pollution ont exprimé les risques collectifs (et non pas individuels) avérés de la pollution de l'air ambiant (redécouverte de la pollution de l'air intérieur). La métrologie de la pollution atmosphérique fragmente cette dernière, la caractérise polluant par polluant, et est souvent réalisée loin de la source. Or, les pollutions atmosphériques de proximité liées au tissu urbain dense sont davantage au cœur des nuisances ressenties et dénoncées par les citoyens. Les politiques municipales, très attentives à l'époque de l'hygiénisme à l'encadrement des pollutions industrielles, se sont détournées de la question de la pollution atmosphérique, dont elles ont confié la mesure à des réseaux chargés de sa surveillance. Les mouvements sociaux (considérés dans leur dimension collective) accroissent de plus en plus leurs capacités pour être à même de dialoguer avec des scientifiques ou des techniciens. Les plaintes sont territorialisées, renvoient aux sens, et la position de riverain se construit. En somme, la gestion de la pollution perçue est inséparable de la gestion de la pollution nocive qui forme le cœur de la santé environnementale.

## Conclusion

L'aménagement de l'espace et l'urbanisme sont depuis longtemps les outils d'une biopolitique, c'est-à-dire d'une politique qui régit les rapports des corps vivants entre eux et avec eux-mêmes. Comme l'a dit Michel Foucault, on assiste à partir du XVIII<sup>e</sup> siècle à « une sorte d'étatisation du biologique », c'est-à-dire à un investissement par le politique de la vie dans toutes ses dimensions pour la surveiller, la préserver, la réguler... La santé publique devient ainsi l'objet d'une biopolitique définie par l'auteur comme la manière dont on a essayé, depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle, de rationaliser les problèmes posés à la pratique gouvernementale par des phénomènes propres à un ensemble d'êtres vivants constitués en population : santé, hygiène, natalité, longévité, races...<sup>(12)</sup> En dépit de sa relation d'opposition avec certains penseurs des utopies alternatives à l'État, les réflexions de Michel Foucault demeurent pertinentes pour comprendre ces utopies urbaines comme étant des postures régulatrices du corps vivant, une régulation mais pas de la même façon qu'un État peut vouloir le faire.

Les origines de cette posture remontent à la seconde moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle, avec la construction de notions-clés (comme celle de population), l'émergence de nouvelles formes de la connaissance (comme la statistique et la démographie), de nouvelles pratiques (l'hygiène, la sécurité publique, etc.)<sup>(13)</sup> (Foucault, 2004). Ces différentes notions sont toutes nées en liaison avec l'essor de l'urbanisme moderne conçu en tant que discipline. Agir sur le territoire, c'est agir sur les populations catégorisées comme des corps.

(12) FOUCAULT Michel (2004a), *Naissance du biopolitique*, Paris, Gallimard/Le Seuil, 688.

(13) FOUCAULT Michel (2004b), *Sécurité, territoire, population. Cours au Collège de France (1977-1978)*, Paris, Le Seuil-Gallimard, 692.

# To recover from Covid-19, we need to invest in a healthy and green future

By Dr Maria P. NEIRA

Director of Environment, Climate Change and Health at the World Health Organization

In this year of unprecedented change, advanced economies have a once in a generation opportunity to demonstrate true global solidarity. Governments can lead the way by investing in pandemic recoveries that improve the long-term public health populations, both within and outside of their borders. For this, stimulus packages need to be pollution-free and climate-safe, while avoiding locking in economic development patterns that will do permanent and escalating damage to the ecological systems that sustain all human health and livelihoods. It is the only way for us to get out of the current health crisis and prevent future ones.

**A**dvanced economies have a once in a generation opportunity to demonstrate true global solidarity. It is the only way for us to get out of the current health crisis and prevent future ones.

The year 2021 has been extreme for many reasons: millions of casualties from Covid-19; disrupted societies; and growing extreme weather events<sup>(1)</sup> and climate change impacts. While the world is responding to the current health crisis, the climate crisis is already here.

To address these crises, governments have two significant challenges in front of them; first, charting a path out of the acute phase of the pandemic while leaving no one behind, second, kickstarting the global economy in the wake of Covid-19 in a way that avoids worsening the climate crisis.

Both challenges will require global solidarity and radical change, and the financial commitments to match them.

In recent months, WHO and others have repeatedly called on advanced economies<sup>(2)</sup> for a stepped-up coordinated strategy, backed by new financing, to vaccinate the world in a fair manner. The recent commitments<sup>(3)</sup> from high-income countries, to share 870 million Covid-19 vaccine doses in 2021 and 2022, are a significant step in the right direction, but these pledges must be realized now to remedy the growing vaccine inequity. Vaccines donated next year will be far too late for those dying today.

Taking a more long-term view, however, global solidarity also means investing in resilient, just and green

recoveries<sup>(4)</sup>. Stimulus packages must improve public health, be pollution-free and climate-safe, while avoiding locking in economic development patterns that will do permanent and escalating damage to the ecological systems that sustain all human health and livelihoods.

Despite the now undeniable health impact of climate change, G20 governments have committed more than USD 300 billion<sup>(5)</sup> in stimulus funding to support fossil fuel energy since the pandemic started. This is terrible news for our health. Fossil-fueled air pollution causes about 13 premature deaths a minute<sup>(6)</sup>, or 7 million every year. It is the silent pandemic, the consequence of decades of inaction despite stark warnings from science.

We must put a stop to it, this decade, and we can.

Investing now to rapidly scale up clean energy technologies and infrastructure is one of the greatest contributions governments, companies and investors can make today to improve long-term public health. It will also create millions of new jobs, boost growth and well-being globally<sup>(7)</sup>, and help avoid the worst health impacts of the escalating climate crisis<sup>(8)</sup>.

We're working hard to show what that change can look like. In collaboration with GAVI and UNICEF, we are providing solar panels to power the fridges needed to keep vaccines safe at health facilities without mainstream electricity supply, making hospitals more resilient to outages from

(1) <https://www.france24.com/fr/am%C3%A9riques/20210630-au-canada-une-canicule-historique-fait-plusieurs-dizaines-de-morts>

(2) <https://www.washingtonpost.com/opinions/2021/05/31/why-we-are-calling-new-commitment-vaccine-equity-defeating-pandemic/>

(3) <https://www.who.int/news/item/13-06-2021-g7-announces-pledges-of-870-million-covid-19-vaccine-doses-of-which-at-least-half-to-be-delivered-by-the-end-of-2021>

(4) <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/who-manifesto-for-a-healthy-recovery-from-covid-19>

(5) <https://www.energypolicytracker.org/region/g20/>

(6) [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1)

(7) <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

(8) <https://www.who.int/news/item/03-12-2019-climate-risks-to-health-are-growing-but-prioritized-funding-lacking-to-safeguard-human-health-from-climate-change>

unstable grids and closing the large energy gap <sup>(9)</sup> that still remains for many hospitals.

Another example is the health programme <sup>(10)</sup> we have designed in partnership with the UK government – the incoming presidency of the COP26 UN climate conference in Glasgow this November – which calls on governments to build health systems that are both climate resilient and low carbon.

These are great examples of projects that – with support – can be scaled up rapidly to safeguard our health and our

climate. They have the added benefit of keeping fossil fuel fumes out of our lungs and atmosphere.

The damage from air pollution cannot be offset by green actions somewhere else in the world, or at a later date. It must be prevented instead. Cutting all permits, subsidies and financing to fossil fuel use is a crucial first step. This would free up significant budgets that can be redirected to healthy, green recoveries. Governments can send a clear and aligned signal on greening their own recoveries, while providing significant funds and incentives to other governments to do the same.

It is time to invest in the future we want. That means financing a healthier, fairer, and more resilient world.

Let's get to work.

---

(9) <https://www.who.int/initiatives/health-and-energy-platform-of-action>

(10) <https://www.who.int/publications/item/cop26-health-programme>

# Réglementation des substances chimiques : science et décision, lenteur et confusion

Par Laurence HUC

Directrice de recherche à l'INRAE

Et Robert BAROUKI

Directeur de recherche Inserm, Unité 1124 Toxicité environnementale, cibles thérapeutiques, signalisation cellulaire et biomarqueurs (Inserm/Université de Paris)

Coordinateur du programme européen HERA (Health Environment Research Agenda for Europe)

Dans les relations riches et complexes existant entre science, société et décision publique, la réglementation des substances chimiques tient une place tout à fait éminente.

À travers les exemples de la cancérogénicité des substances chimiques, de la perturbation endocrinienne et du concept d'exposome, nous discuterons dans cet article de la mécanique de la relation entre science et réglementation, en observant que le délai entre l'acquisition des connaissances scientifiques et leur prise en compte dans la réglementation semble très long.

L'authorisation des substances chimiques est soumise depuis des décennies au dépôt d'un dossier réglementaire fourni par la firme. Il contient un ensemble d'informations sur l'intérêt de l'usage de la molécule chimique, mais également un certain nombre de données prouvant qu'elle ne présente pas d'effets délétères pour les personnes utilisatrices, consommatrices, et les différentes espèces de la faune sauvage. Les données fournies sont issues de tests réalisés selon des normes précises établies par des experts internationaux et doivent répondre à une liste de critères consignés dans les lignes directrices de l'OCDE. Depuis 2008, la classification des substances cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR) (ECHA 2017) repose sur des critères stricts : les substances ayant des propriétés cancérogènes, mutagènes et/ou reprotoxiques ne sont pas autorisées sur le marché ou doivent être retirées. Ainsi, une évaluation particulière, portée au niveau européen par l'ECHA (Agence européenne des substances chimiques), implique la conduite de tests pour démontrer que les substances ne sont pas CMR.

On ne peut donc que se féliciter de la prise en compte par la réglementation des données scientifiques, en particulier dans certains domaines précis. Ce fut une réelle avancée au cours de la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle. En revanche, le délai entre l'acquisition des connaissances scientifiques et leur prise en compte dans la réglementation semble très long. Même si l'Europe est le continent le plus avancé dans ce domaine, la relation entre science et décision, si elle est

bien réelle, demeure problématique en ce qui concerne ses délais et son étendue. Un autre aspect critique est la manière dont on peut prendre en compte le poids des preuves et le traduire de manière pratique dans les décisions réglementaires. En nous appuyant sur les exemples de la cancérogénicité des substances chimiques, la perturbation endocrinienne et le concept d'exposome, nous discutons ici de la mécanique de la relation entre science et réglementation.

## La cancérogénicité des substances chimiques

Le rôle des progrès scientifiques dans la réglementation est parfaitement illustré par les tests de génotoxicité (altération du matériel génétique susceptible de conduire à des mutations de l'ADN et, potentiellement, à un processus de cancérogenèse). Ces derniers ont beaucoup profité des connaissances accumulées en biologie moléculaire sur la stabilité de notre matériel génétique, l'ADN et les mécanismes de réparation des dommages créés par l'environnement. Il s'agit là d'un bel exemple de transfert de savoirs vers la réglementation, et donc la décision publique. La génotoxicité est alors devenue une norme de cancérogenèse dans la sphère réglementaire, conduisant probablement à tort à restreindre l'essentiel de la cancérogenèse à ce seul aspect des mutations produites à la suite de l'altération de la séquence de l'ADN. Or, depuis quelques dizaines d'années, la recherche scientifique a mis en évidence toute une série de mécanismes de cancérogenèse non liés à

la génotoxicité. Cela est merveilleusement illustré par des revues réalisées par Weinberg et Hanahan depuis l'an 2000, décrivant ce que l'on appelle les caractéristiques des cancers (*hallmarks of cancer*) (Hanahan et Weinberg, 2000 ; 2011). Ces caractéristiques recouvrent des mécanismes biologiques multiples, comme la capacité des cellules à migrer, l'inflammation, les modifications métaboliques, en plus des phénomènes génotoxiques. En réalité, dans les tests de cancérogénicité de longue durée chez l'animal, les critères examinés sont l'apparition de tumeurs et le caractère génotoxique. Les autres mécanismes ne sont pas recherchés, parmi lesquels figure la dérégulation du métabolisme énergétique. La cellule cancéreuse change en effet sa façon de produire de l'énergie, ce qui lui permet de survivre dans des conditions extrêmes correspondant à un faible approvisionnement en oxygène et en glucose (Warburg). Or, de nombreuses substances chimiques sont capables de modifier le métabolisme énergétique et de favoriser ainsi la cancérogenèse (Robey *et al.*, 2015 ; Duarte-Hospital *et al.*, 2019).

Au-delà de l'insuffisance du nombre des tests réglementaires et de la faible couverture des mécanismes biologiques, il peut y avoir des controverses, même lorsque ces tests sont bien présents. Ainsi, pour citer un exemple parlant, la cancérogénicité du glyphosate fait grandement débat autour de sa capacité à induire des tumeurs chez les rongeurs et à être génotoxique. Le Centre international de recherche sur le cancer (le CIRC), qui est une instance internationale placée sous l'égide de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), considère, sur la base d'études scientifiques, que le glyphosate est un cancérigène probable pour l'humain, le classant 2A en 2015 (Guyton *et al.*, 2015). Cet avis n'a pas été suivi par les agences réglementaires qui ont la charge de délivrer les autorisations de mise sur le marché des pesticides, et encore très récemment par l'EFSA (Agence européenne de sécurité alimentaire) (EFSA, report 2016). La question de la cancérogénicité et de la génotoxicité du glyphosate fait rage, puisque sa classification comme CMR entraînerait son retrait du marché.

## Le cas des perturbateurs endocriniens (PE)

La notion de perturbation endocrinienne s'est développée progressivement à la fin du XX<sup>e</sup> siècle. Elle est la conjonction d'observations faites dans la nature, notamment sur des troubles de la reproduction chez des animaux terrestres et aquatiques exposés à des polluants chimiques, de quelques observations chez l'humain et de travaux expérimentaux de laboratoire (Darbre, 2019 ; Bergman Åke *et al.*, 2013 ; Colborn *et al.*, 1996). En 1991, Theo Colborn a réuni à Wingspread des scientifiques de différentes disciplines liées à cette thématique : la notion de perturbation endocrinienne y a été élaborée. Au tout début des années 2000, l'OMS a proposé une définition de la perturbation endocrinienne, laquelle réunit trois critères : l'interférence avec la quantité ou l'activité des hormones, un effet toxique net (cancer, maladie métabolique, neurologique, rénale, etc.) et une relation causale entre l'effet endocri-

nien et l'impact toxique. Étant donné la difficulté à remplir cette troisième condition, la notion de perturbateur endocrinien suspecté a été développée quand tous les critères n'étaient pas réunis. La Commission européenne a mis environ quinze ans pour proposer *in fine* la même définition. Beaucoup a été dit et écrit sur les raisons de ce retard, notamment sur la nécessité d'avoir une étude de l'« impact » que pourrait avoir cette définition. Ce dernier argument est choquant pour tout scientifique, puisqu'une définition technique ne peut pas dépendre d'un éventuel impact économique. Toujours est-il, qu'après un retard considérable, le caractère de perturbateur endocrinien est bien perçu aujourd'hui comme préoccupant au niveau de l'Union européenne.

Pour que la gestion du risque chimique lié aux perturbateurs endocriniens soit réellement efficace, il est important que l'on ne s'intéresse pas uniquement aux PE avérés, à savoir ceux qui remplissent tous les critères énoncés dans la définition. En effet, un des critères, qui est celui du lien de causalité entre la perturbation des hormones et l'effet toxique, est particulièrement difficile à remplir : en effet, les effets toxiques n'apparaissent souvent que longtemps après l'exposition, rendant le lien causal difficile à documenter. Par ailleurs, nous manquons souvent d'une évaluation fiable de l'exposition. Il est donc impératif, pour une bonne gestion, de pouvoir s'intéresser à des substances qui seraient des PE suspectés ou présumés, donc avec des niveaux de preuve inférieurs à ceux des PE avérés. C'est d'ailleurs ce que font certaines agences internationales, notamment européennes et américaines, pour classer les substances cancérigènes ; il serait cohérent de garder la même logique pour les PE, ce qui permettrait de couvrir un nombre de substances nettement plus large, d'adapter la réglementation au niveau de preuve, de mieux orienter la recherche et de mieux protéger la population.

Une des leçons que l'analyse de la perturbation endocrinienne nous fournit est que les premières alertes ne sont pas issues des tests réglementaires réalisés selon des normes précises, mais plutôt d'études scientifiques réalisées dans le milieu académique, qu'il s'intéresse aux écosystèmes ou à la santé humaine. C'est une leçon qui doit inciter à faire évoluer les tests réglementaires, mais la mise à jour de ces derniers est particulièrement lente et ardue. Cette difficulté décourage les scientifiques qui hésitent à passer un temps considérable pour faire valider un test.

## L'exposome et les effets cocktail

L'exposome correspond à l'ensemble des expositions qu'un individu (ou un écosystème) peut subir tout au long de sa vie (Wild, 2005). Il est le complément du génome. Ces expositions peuvent être de natures très différentes : chimique, physique, biologique ou psycho-sociale. Dans le domaine des substances chimiques, l'exposome recouvre une logique conduisant à s'intéresser à un ensemble de substances plutôt qu'à une seule. On parle alors de l'effet de mélanges de substances ou d'effet cocktail (Drakvik *et al.*, 2020) ; d'ailleurs, l'intérêt pour les effets des mélanges date de bien avant la naissance du concept d'exposome.

Or, toute la réglementation est fondée sur le principe d'analyse et de décision par substance, voire par substances présentes dans un produit donné. Nous savons tous et toutes que nous sommes exposés quotidiennement à des milliers, voire à des dizaines de milliers de substances ; or, la réglementation s'obstine à les considérer les unes indépendamment des autres. Il y a donc un risque de sous-évaluer la nocivité d'une exposition combinée si les effets des substances sont synergiques ou additifs. Il existe ainsi une base scientifique pour mieux prendre en compte les impacts possibles des mélanges de substances.

Curieusement, cette question, qui n'est pas nouvelle, avait reçu une réponse réglementaire dans le passé. En effet, dans le cas des dioxines, des furanes et de certains PCB (polychlorobiphényles), qui ont un mode d'action biologique et toxique identique, il est recommandé d'additionner les doses des différents congénères en tenant compte du potentiel toxique de chacun (multiplication de la dose de chaque congénère par un facteur de correction, avant l'addition des doses équivalentes). Cela est fait depuis plus de trente ans, et il est très étonnant que cette démarche n'ait pas été étendue à d'autres groupes de substances toxiques. À présent, les agences sanitaires européennes tentent d'appliquer une démarche similaire dans le cas des phtalates et de certains pesticides. Même si le cas des dioxines est scientifiquement plus solide que celui d'autres groupes de substances, il n'est pas interdit de penser que l'application de cette démarche pour les dioxines a été facilitée par le fait que ces dernières sont des produits de combustion et non des substances synthétisées dans un but commercial. Malgré tout, l'importance du délai entre la prise en compte de l'effet cocktail pour les dioxines et le début d'une prise en compte pour d'autres substances est difficilement justifiable et plaide pour une accélération du transfert des données scientifiques vers le champ réglementaire.

L'exposome ne se limite pas aux substances chimiques. Il recouvre les stress physiques, biologiques et psychosociaux. La prise en compte des interactions possibles entre différents types de stress est un sujet difficile à traiter en matière de réglementation. Ces interactions existent bien pourtant ; ainsi des substances chimiques, en interagissant avec les réactions immunitaires, pourraient aggraver une infection ou modifier la réponse à la vaccination (Wu *et al.*, 2020). Par ces temps de pandémie, ce sont des sujets assez critiques. De même, il existe des données montrant que les stress psycho-sociaux peuvent augmenter les risques de l'exposition à des substances toxiques et générer un impact plus néfaste de celles-ci. Le milieu du travail est un écosystème particulier, où plusieurs types de stress peuvent co-exister. Enfin, les populations vulnérables cumulent un ensemble de stress liés à la pauvreté : habitat dégradé, pollution, mauvaise alimentation, stress lié à l'emploi précaire. Tout cela concourt à un cumul de risques et à de profondes inégalités sociales en matière de santé environnementale (Fassin, 2020). La manière dont les agences réglementaires pourront prendre en compte ces interactions et, par voie de conséquence, améliorer la protection des populations vulnérables, est un sujet im-

portant pour les années à venir. Il est aussi en lien avec d'autres sources de vulnérabilité (période foetale, enfance, personnes âgées). Faut-il alors adopter des règles générales tout en étant sûr qu'elles protègent les plus vulnérables ou est-il opportun d'adopter des règles spécifiques pour chaque catégorie de population ?

## Accélérer la prise en compte des avancées de la science dans la décision

Cet objectif est poursuivi depuis longtemps et, comme nous venons de le montrer *supra*, il n'est pas encore complètement atteint. Les quelques règles que nous pouvons proposer sont les suivantes :

- Clarifier les critères scientifiques à la base des décisions, sans interférence avec d'autres motivations. Par exemple, l'élaboration d'une définition technique ne doit pas dépendre d'autres critères que ce que la science induit.
- Amplifier l'utilisation du poids des preuves accompagnant les analyses scientifiques et en tenir compte dans les classifications des substances chimiques. Cela est déjà pratiqué, mais comme nous l'avons vu pour les PE, l'application de cette règle est parfois considérablement retardée.
- Prendre en compte l'ensemble des preuves produites dans les différents champs disciplinaires : la santé humaine est étroitement liée à la santé des écosystèmes. Comme cela a été le cas dans les années 1990 pour les PE, la production de savoirs interdisciplinaires permet de répondre aux enjeux globaux liés à la santé planétaire.
- Améliorer la justification et la transparence des motivations des décisions, quelles qu'elles soient. Il est tout à fait possible que des décisions s'appuient sur des arguments scientifiques, mais aussi sur des arguments sociaux et économiques. Il n'est pas juste de « forcer » les arguments scientifiques, lorsque les véritables motivations sont ailleurs. La transparence dans les motivations des décisions est nécessaire.
- Faciliter la validation de méthodes scientifiques pour qu'elles puissent être utilisées dans le champ réglementaire. La pertinence scientifique, toxicologique et médicale doit être l'argument principal pour un passage dans le champ réglementaire d'une méthode robuste. Personne ne nie l'importance de la rigueur, mais la protection des personnes et de l'environnement justifie une accélération des procédures.
- Prendre en compte les alertes des sociétés savantes, même si celles-ci n'ont aucun rôle dans la réglementation. L'histoire récente montre que les décisions auraient été plus rapides si les messages des sociétés savantes avaient été pris en compte.
- Se rappeler que le principe de précaution est un principe de décision fondé sur la science la plus sophistiquée, puisqu'il est proposé dans des situations d'incertitude, et qu'il doit pouvoir évaluer le poids et les implications de ces incertitudes. Ce principe n'est ni un principe de frilosité qui serait contraire à l'innovation, ni un principe d'interférence médiatique dans la gestion des risques. C'est un

principe qui doit s'appuyer sur les données scientifiques les plus actuelles pour faciliter les décisions publiques sur des sujets complexes, en mettant au cœur de ces décisions la protection de la santé publique et de la biodiversité.

## Bibliographie

- BERGMAN Åke, HEINDEL Jerrold J., KASTEN Tim, KIDD Karen A., JOBLING Susan, NEIRA Maria, ZOELLER R. Thomas *et al.* (2013), "The Impact of Endocrine Disruption: A Consensus Statement on the State of the Science", *Environmental Health Perspectives* 121 (4): a104-6, <https://doi.org/10.1289/ehp.1205448>
- COLBORN Theo, DUMANOSKI Dianne, PETERSON MYERS John & MURDEN Margaret (1996), *Our stolen future: are we threatening our fertility, intelligence, and survival?: a scientific detective story*, New York, Dutton.
- DARBRE Philippa D. (2019), "The history of endocrine-disrupting chemicals", *Current Opinion in Endocrine and Metabolic Research*, Endocrine Disruptors, 7 august, pp. 26-33, <https://doi.org/10.1016/j.coemr.2019.06.007>
- DRAKVIK Elina, ALTENBURGER Rolf, AOKI Yasunobu, BACKHAUS Thomas, BAHADORI Tina, BAROUKI Robert, BRACK Werner *et al.* (2020), "Statement on advancing the assessment of chemical mixtures and their risks for human health and the environment", *Environment International* 134, january: 105267, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105267>
- DUARTE-HOSPITAL Carolina, HUC Laurence, BORTOLI Sylvie & COUMOUL Xavier (2019), "Xenobiotics and their impact on metabolic diseases", *Cahiers de nutrition et de diététique* 54 (5), pp. 286-293, <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2019.07.002>
- ECHA (2017), "Guidance on the Application of the CLP Criteria-Guidance to Regulation (EC) No 1272/2008 on classification, labelling and packaging (CLP) of substances and mixtures", july, <https://echa.europa.eu/guidance-documents/guidance-on-clp>
- EFSA, report 2016, [https://ec.europa.eu/food/system/files/2021-06/pesticides\\_aas\\_agg\\_report\\_202106.pdf](https://ec.europa.eu/food/system/files/2021-06/pesticides_aas_agg_report_202106.pdf)
- FASSIN Didier (2020), « L'inégalité des vies », <https://www.college-de-france.fr/site/didier-fassin/inaugural-lecture-2020-01-16-18h00.htm>
- GUYTON Kathryn Z., LOOMIS Dana, GROSSE Yann, EL GHISSASSI Fatiha, BENBRAHIM-TALLAA Lamia, GUHA Neela, SCOCCIANTI Chiara, MATTOCK Heidi & STRAIF Kurt (2015), "Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate", *The Lancet Oncology* 16 (5), pp. 490-491, [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)70134-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)70134-8)
- HANAHAN Douglas & WEINBERG Robert A. (2000), "The hallmarks of cancer", *Cell* 100 (1), pp. 57-70, [https://doi.org/10.1016/s0092-8674\(00\)81683-9](https://doi.org/10.1016/s0092-8674(00)81683-9)
- HANAHAN Douglas & WEINBERG Robert A. (2011), "Hallmarks of cancer: the next generation", *Cell* 144 (5), pp. 646-674, <https://doi.org/10.1016/j.cell.2011.02.013>
- BROOKS Robey R., WEISZ Judith, KUEMMERLE Nancy, SALZBER Anna C. G., BERG Arthur, BROWN Dustin G., KUBIK Laura *et al.* (2015), "Metabolic reprogramming and dysregulated metabolism: cause, consequence and/or enabler of environmental carcinogenesis?", *Carcinogenesis* 36 (Suppl 1): S203-31, <https://doi.org/10.1093/carcin/bgv037>
- WILD Christopher Paul (2005), "Complementing the genome with an 'exposome': the outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology", *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* 14 (8), a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology, pp. 1847-1850, <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-05-0456>
- WU Qier, COUMOUL Xavier, GRANDJEAN Philippe, BAROUKI Robert & AUDOUZE Karine (2020), "Endocrine disrupting chemicals and Covid-19 relationships: A computational systems biology approach", *Environment International* 106232, october, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106232>

# Santé-environnement : illustration de la politique du ministère de la Santé en matière de protection de la santé de la population face aux enjeux de notre société

Par Pr. Jérôme SALOMON

Directeur général de la Santé – Ministère des Solidarités et de la Santé

Joëlle CARMÈS

Sous-directrice de la Prévention des risques liés à l'environnement et à l'alimentation – DGS

Et Mathilde MERLO

Chargée de mission Plan national santé-environnement – DGS

Depuis plus d'un siècle, le ministère chargé de la Santé s'attache à protéger la santé des populations à travers une politique de prévention, de promotion et d'accès aux soins pour tous. La santé-environnement est au cœur de cette politique. Elle se caractérise par des attentes sociétales de plus en plus fortes, des modes de vie et des connaissances scientifiques en constante évolution, notamment dans le contexte du changement climatique. Au travers de quatre exemples, cet article illustre cette politique en adaptation permanente pour répondre aux enjeux de notre société et aux interactions étroites entre notre santé et notre environnement, incluant la santé des animaux et celle des écosystèmes.

Le ministère chargé de la Santé exerce depuis plus de cent ans une compétence générale en matière de protection de la santé publique. Il définit la politique de santé de l'État afin d'assurer la promotion de conditions de vie favorables à la santé, à l'amélioration de l'état de santé de la population et à la réduction des inégalités sociales et territoriales. Cette politique doit également garantir la meilleure sécurité sanitaire possible et l'accès effectif de la population à la prévention et aux soins.

La politique de santé comprend la surveillance et l'observation de l'état de santé de la population et l'identification de ses principaux déterminants en s'appuyant sur le concept d'exposome, entendu comme l'intégration sur la vie entière d'un individu de l'ensemble des expositions qui peuvent influencer sur sa santé. Elle comprend également la promotion de la santé dans tous les milieux de vie, la réduction et la gestion des risques sanitaires liés à l'alimentation et aux facteurs environnementaux, ainsi que la préparation et la réponse aux alertes et aux crises sanitaires.

La santé-environnement, notion proposée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), concerne tous les aspects

de la santé et de la qualité de vie qui résultent de l'action positive ou négative sur l'Homme des facteurs biologiques, chimiques et physiques de l'environnement, qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique. Les facteurs environnementaux sont un des principaux déterminants de l'état de santé des populations. La qualité de l'eau, de l'air intérieur et extérieur, des aliments, le niveau de radioactivité, du plomb ou du bruit, le milieu de travail, tous influencent de façon directe la survenue de nombreuses maladies.

Cet article s'attache à illustrer au travers de quatre exemples concrets, la mise en œuvre de la politique du ministère chargé de la Santé en matière de santé-environnement depuis plus d'un siècle ainsi que ses perspectives : la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, la lutte contre l'insalubrité dans l'habitat, la gestion sanitaire des sites et des sols pollués et, enfin, la priorisation des actions de santé-environnement dans le cadre du Plan national santé-environnement (PNSE).

## La sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine et la lutte contre l'habitat insalubre : des enjeux permanents de santé publique

### Qualité des eaux destinées à la consommation humaine

L'accès à l'eau et à l'assainissement est reconnu comme un droit de l'Homme par l'Organisation des Nations Unies depuis 2010. La protection des captages, le traitement des eaux, le développement des adductions collectives ainsi que la collecte et le traitement des eaux usées permettent aujourd'hui l'éradication des grandes épidémies d'origine hydrique dans de nombreux pays.

En France, les eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) font l'objet d'un suivi sanitaire régulier, depuis la ressource jusqu'au robinet, au travers de la surveillance exercée par la personne responsable de la production et de la distribution d'eau (PRPDE) et du contrôle sanitaire mis en œuvre par les Agences régionales de santé (ARS), faisant de l'eau du robinet l'aliment le plus contrôlé. Ainsi, chaque année, au titre du contrôle sanitaire, plus de 310 000 prélèvements d'eau et 17 millions d'analyses portant sur des paramètres microbiologiques, physico-chimiques ou radiologiques, permettent de s'assurer que ces eaux sont conformes aux exigences réglementaires de qualité et ne présentent pas de risques pour la santé des consommateurs. Le nombre des paramètres contrôlés est en constante augmentation.

Les règles de sécurité sanitaire des EDCH sont édictées par le ministère chargé de la Santé et sont, en partie, harmonisées au niveau européen. La nouvelle directive européenne relative à l'eau potable, parue en décembre 2020 et actuellement en cours de transposition en droit français, poursuit cinq enjeux majeurs pour améliorer la sécurité sanitaire de l'eau et la confiance du consommateur : des exigences de qualité supplémentaires, le déploiement des plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau (PGSSE), une évaluation harmonisée des matériaux au contact de l'eau, une information plus complète des consommateurs et un accès à l'eau pour tous.

Le PGSSE consiste en une approche globale visant à garantir en permanence la sécurité sanitaire de l'eau destinée à la consommation humaine, à toutes les étapes de sa production, depuis la ressource en eau, le captage, le traitement et la distribution de celle-ci jusqu'au robinet du consommateur. Ce principe, déjà en cours d'application en France, devient obligatoire avec la nouvelle directive européenne.

Malgré les progrès considérables accomplis depuis plus d'un siècle en matière de sécurisation de la qualité des EDCH, la fourniture à la population d'une eau du robinet de bonne qualité demeure un enjeu de santé publique et une préoccupation primordiale des pouvoirs publics. En effet, l'émergence de nouvelles problématiques sanitaires (comme les sous-produits de désinfection, les métabolites de pesticides, etc.) nécessite d'entretenir une vigilance et

une adaptation régulière des mesures permanentes de gestion.

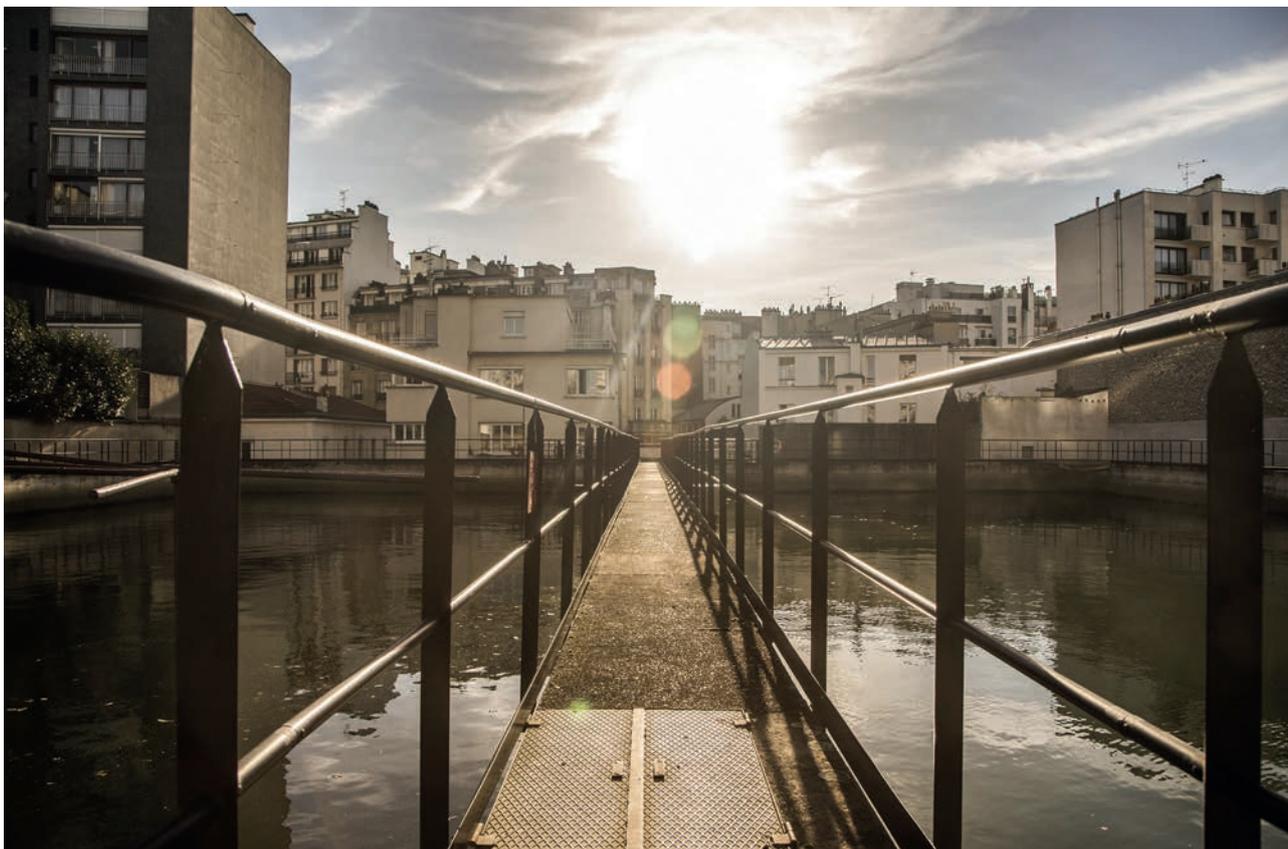
Par ailleurs, la raréfaction de la ressource en eau liée au changement climatique conduit au développement de l'utilisation d'eaux non potables pour des usages jusqu'ici couverts par de l'eau potable du réseau de distribution. Ainsi, l'une des mesures issues de la seconde séquence des Assises de l'eau, tenues en juillet 2019, prévoit le triplement, d'ici à 2025, du volume d'eaux non conventionnelles utilisé aujourd'hui. S'il s'agit d'une mesure nécessaire pour répondre aux enjeux du changement climatique à l'échelle de la planète, ces nouveaux types d'eau pourraient exposer les usagers des bâtiments à des organismes pathogènes ou à des substances toxiques et dégrader, sous l'effet d'un retour d'eau, la qualité de celle distribuée au robinet. Il est donc indispensable de concilier la sécurisation sanitaire de ces nouveaux usages avec le maintien d'un haut niveau de qualité des eaux destinées à la consommation humaine auquel nous sommes progressivement parvenus depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. L'enjeu au cours des prochaines années sera d'améliorer la connaissance des risques sanitaires liés à l'utilisation d'eaux non conventionnelles et d'accompagner chacun de nous dans l'usage de ces eaux à notre domicile et dans l'ensemble des bâtiments que nous fréquentons.

### Lutte contre l'habitat insalubre

L'habitat définit le milieu de vie d'un individu, comprenant le logement en lui-même ainsi que son environnement proche. Il constitue un déterminant de santé majeur qui est le reflet d'importantes inégalités sociales, comme l'a mis en évidence la crise de la Covid-19. Un habitat dégradé ou au contraire favorable à la santé impactera différemment la santé physique, mentale et sociale de ses occupants.

Le Code de la santé publique est venu, depuis la loi du 15 février 1902 relative à la protection de la santé publique, consacrer la lutte contre l'habitat insalubre. Cette loi, qui porte sur l'hygiène publique, est intervenue dans un contexte marqué par l'amélioration des connaissances en matière médicale, le développement des activités industrielles, la croissance urbaine et celle des maladies infectieuses, plus particulièrement la tuberculose associée à l'insalubrité des logements.

La lutte contre l'habitat insalubre relève d'une politique de prévention globale favorisant la prise en compte de la santé dès les règles de construction et pendant toute la durée d'utilisation à des fins d'habitation. Elle s'appuie également sur l'amélioration des comportements des occupants, notamment en termes d'usage et d'entretien des logements. Elle se traduit par la mise en place de plans d'actions comprenant, par exemple, des campagnes de communication à destination du grand public portant sur certains dangers, comme l'amiante, le plomb, le radon et les intoxications au monoxyde de carbone. Elle comporte également l'instruction de procédures de lutte contre l'insalubrité par les ARS ou les services communaux d'hygiène et de santé, lesquelles sont mises en œuvre sous l'autorité des préfets de département.



Réservoir de Grenelle, un des cinq réservoirs secondaires d'eau de la ville de Paris, situé rue de l'Abbé Groult à Paris (15<sup>ème</sup> arrondissement).

« La raréfaction de la ressource en eau liée au changement climatique conduit au développement de l'utilisation d'eaux non potables pour des usages jusqu'ici couverts par de l'eau potable du réseau de distribution. »

Cette politique a participé à la baisse significative de la prévalence du saturnisme chez les enfants. Le saturnisme désigne l'intoxication aiguë ou chronique par le plomb, dont les effets sont particulièrement graves chez les enfants (effets neurologiques, retard de développement, perte de points de quotient intellectuel). C'est pourquoi les cas de saturnisme infantile font l'objet d'une déclaration obligatoire. Selon l'enquête nationale de prévalence du saturnisme infantile en France menée par l'Institut de veille sanitaire (InVS) en 2008-2009, le nombre d'enfants âgés de 1 à 6 ans ayant un taux de plomb dans le sang supérieur à  $100 \mu\text{g.L}^{-1}$  a été divisé par vingt depuis 1995-1996. La prévalence du saturnisme infantile est maintenant estimée à 0,1 % (contre 2,1 % en 1995-1996).

La lutte contre l'habitat insalubre demeure aujourd'hui un enjeu majeur de santé publique compte tenu de l'accroissement des inégalités sociales, lesquelles impactent en particulier les conditions de logement, et de la nécessité d'adapter l'habitat pour tenir compte des impacts du changement climatique.

Aussi, afin de consolider cette politique, la loi du 23 novembre 2018 portant évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (dite loi Elan) a prévu l'harmonisation et la simplification des polices des immeubles, locaux et installations. L'ordonnance du 16 septembre

2020, prise en application de cette loi, apporte des simplifications importantes en créant une nouvelle et unique police administrative spéciale de la sécurité et de la salubrité des immeubles, en lieu et place de plus d'une dizaine de procédures existantes relevant de plusieurs codes (santé publique, construction et habitation...). L'insalubrité reçoit une définition unique dans le Code de la santé publique. Le lien est établi entre la définition de l'insalubrité et les prescriptions des décrets pris après avis du Haut Conseil de la santé publique (HCSP), qui ont vocation à se substituer aux règlements sanitaires départementaux en matière de logement. En appui à cette politique, un nouvel outil, le Domiscore, conçu à partir de l'expertise du HCSP, permettra de caractériser un habitat et d'obtenir un score global renseignant sur les impacts positifs et négatifs qu'il peut avoir sur la santé et le bien-être de ses habitants.

### Les sites et sols pollués : un enjeu sanitaire territorial

La gestion sanitaire des sites et des sols pollués est profondément ancrée dans les territoires et étroitement liée à l'histoire industrielle passée et actuelle de chacun d'entre eux. L'occupation et l'exploitation des sols et des sous-sols par l'Homme depuis des millénaires ont généré une pollution qui devient problématique du fait de la croissance

des populations vivant sur ou à proximité de ces sols. Les situations d'exposition sont ainsi de plus en plus fréquentes.

Si le ministère chargé de l'Écologie assure en premier lieu la gestion des anciens sites et sols pollués, le ministère chargé de la Santé y contribue également sur le plan sanitaire, en particulier au niveau des ARS qui peuvent être sollicitées par le préfet suite à la réception d'un signal sanitaire ou environnemental. Souvent, ces situations suscitent de préoccupations fortes et des interrogations nombreuses dans les populations locales (pôle industriel de Fos, étang de Berre, bassin industriel de Lacq, vallée de l'Orbiel, etc.). Elles nécessitent l'organisation d'une réponse rigoureuse au niveau tant national que local afin de protéger les populations.

À l'échelle locale, les ARS jouent un rôle essentiel dans la gestion sanitaire des sites et des sols pollués, en intervenant dans le cadre des comités de coordination pilotés par le préfet, en particulier pour :

- l'évaluation de la situation sanitaire pour les populations concernées, en lien avec Santé publique France (SpF) ;
- la définition et la mise en œuvre d'une stratégie d'intervention en vue de limiter les expositions environnementales individuelles et collectives ;
- la définition des modalités d'une prise en charge médicale individuelle, le cas échéant ;
- le suivi, la traçabilité et l'évaluation des mesures de gestion sanitaire mises en œuvre.

En complément, la direction générale de la Santé mobilise, au niveau national, l'expertise des agences et des autorités sanitaires en fonction de leurs champs de compétences respectifs, pour venir en appui des ARS au niveau local. Ainsi :

- l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), au travers d'une approche « milieu », produit les valeurs toxicologiques de référence (VTR) utiles à la réalisation des études d'interprétation de l'état des milieux ou d'évaluation quantitative des risques sanitaires ;
- Santé publique France (et les cellules de SpF en région), avec une approche « populationnelle », mène des études en santé auprès des populations locales afin d'estimer les conséquences sanitaires éventuelles d'une exposition environnementale à des contaminants ;
- la Haute Autorité de santé (HAS), dans une approche « médicale », établit les protocoles de prise en charge sanitaire en lien avec une exposition environnementale (par exemple, à l'arsenic en mars 2020) ;
- le Haut Conseil de santé publique (HCSP), venant en appui à la gestion, définit les mesures de prévention (de type mesures hygiéno-diététiques) associées à des valeurs de gestion dans les milieux.

La gestion sanitaire des sites et des sols pollués s'appuie sur le programme national de biosurveillance, piloté par SpF, qui estime l'imprégnation de la population française à différentes substances présentes dans l'environnement. Ces résultats sont indispensables pour disposer d'une échelle de comparaison avec les résultats des dosages

biologiques qui peuvent être effectués localement autour de sites et sols pollués. La France, en particulier par l'intermédiaire de l'Institut national de la santé et de la recherche (Inserm), de l'Anses et de SpF, participe activement aux programmes européens de biosurveillance (HBM4EU<sup>(1)</sup> et PARC<sup>(2)</sup>).

## Le PNSE : un outil structurant de la politique de santé-environnement

La France s'est dotée, depuis 2004, d'un plan national santé-environnement (PNSE) dans le cadre de la loi du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique. Celui-ci, prévu par le Code de la santé publique, est établi tous les cinq ans ainsi que sa déclinaison en plans régionaux santé-environnement (PRSE). Ce plan prend en compte les effets sur la santé des agents chimiques, biologiques et physiques présents dans les différents milieux de vie, y compris le milieu de travail, ainsi que ceux associés à des événements météorologiques extrêmes. Les PRSE sont mis en œuvre par les Agences régionales de santé, les services de l'État et les conseils régionaux. Le bureau régional de l'OMS pour l'Europe contribue à la structuration de la politique européenne en matière de santé-environnement grâce à l'organisation régulière de conférences dédiées (Budapest en 2004, Parme en 2010 et Ostrava en 2017). Ces conférences sont l'occasion de définir un cadre commun de priorités en matière de santé-environnement et de les faire évoluer pour tenir compte des progrès des connaissances et des attentes de la société civile.

Cet instrument quinquennal est un outil essentiel de priorisation interministérielle de la politique de santé-environnement et s'attache à la promotion d'environnements favorables à la santé, en utilisant trois leviers d'action majeurs :

- la prévention par l'information et la formation de tous les publics, y compris les professionnels, en ce qui concerne la qualité de l'environnement et l'impact de celui-ci sur la santé (qualité de l'air extérieur et intérieur, exposition aux substances chimiques, nuisances sonores, etc.) ;
- la réduction des expositions et des risques par des mesures incitatives ou contraignantes ;
- l'amélioration des connaissances relatives aux liens entre la santé et l'environnement, par la recherche et l'expertise scientifique.

En complément des missions régaliennes décrites *supra*, ce plan est l'occasion de répondre aux attentes de plus en plus fortes de la société civile, notamment au regard des risques émergents comme les radiofréquences, les nanomatériaux, les punaises de lit, la lutte antivectorielle ou contre les espèces envahissantes dans le contexte de changement climatique, etc.

(1) Human Biomonitoring for Europe – Coordinating and advancing human biomonitoring in Europe to provide evidence for chemical policy making, <https://www.hbm4eu.eu/>

(2) European Partnership for the Assessment of Risks from Chemicals, <https://www.anses.fr/en/content/anses-participating-preparation-european-partnership-assessment-risks-chemicals>

Le PNSE, co-piloté par les ministères chargés de la Santé et de l'Écologie, associe plusieurs autres ministères (Agriculture, Consommation, Recherche, Éducation nationale, Enseignement supérieur, Travail, etc.) autour d'un enjeu commun. Des agences comme l'Anses et SpF, grâce à leur expertise, jouent un rôle essentiel dans la définition des priorités inscrites dans cet outil de programmation. Depuis le Grenelle de l'environnement en 2009, la gouvernance du PNSE associe également l'ensemble des parties prenantes à la co-construction, au suivi et à l'évaluation des PNSE. Ainsi, le Groupe santé-environnement (GSE), présidé par un(e) député(e) de l'Assemblée nationale, réunit l'ensemble des représentants de la société civile. Le Haut Conseil de santé publique (HCSP) ainsi que les différentes inspections générales compétentes procèdent régulièrement à l'évaluation des PNSE. Le PNSE contribue, par des actions concrètes, à la déclinaison des enjeux de la Stratégie nationale de santé 2018-2022 définie par le ministère chargé de la Santé.

Le 4<sup>ème</sup> PNSE, publié le 7 mai 2021, consacre deux sujets majeurs : l'amélioration de la territorialisation de la politique de santé-environnement à toutes les échelles du territoire (communes, établissements publics de coopération intercommunale, départements, régions) et le concept « Une seule santé » se déclinant en un grand nombre d'actions veillant à l'interaction étroite entre la santé humaine, la santé animale et la santé des écosystèmes dans le contexte de la crise sanitaire de la Covid-19.

## Bibliographie

Union européenne, directive (UE) 2020/2184 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2020 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

Ministère de la Transition écologique et solidaire, Assises de l'eau, « Un nouveau pacte pour faire face au changement climatique », dossier de presse, juillet 2019.

Haut Conseil de la santé publique, « Élaboration d'un outil de caractérisation d'un habitat du point de vue de la santé et du bien-être – Le "Domiscore" », Rapport de faisabilité, novembre 2020.

Haute Autorité de santé, Recommandation de bonnes pratiques « Dépistage, prise en charge et suivi des personnes potentiellement surexposées à l'arsenic inorganique du fait de leur lieu de résidence » – Méthode, recommandations pour la pratique clinique, février 2020.

Ministère des Solidarités et de la Santé, Instruction n°DGS/EA1/2019/43 du 13 juin 2019 précisant les missions des Agences régionales de santé dans la gestion sanitaire des sites et sols pollués.

Organisation mondiale de la santé, bureau régional de l'Europe, Déclaration de la sixième conférence ministérielle sur l'environnement et la santé, Ostrava, juin 2017.

Ministère des Solidarités et de la Santé et ministère de la Transition écologique, Plan national santé-environnement 4 (PNSE 4), « Un environnement, une santé », mai 2021.

# ENJEUX NUMÉRIQUES

## Le numérique et la refondation du système électrique

### Introduction

**Edmond BARANES**

Le numérique au service de la modernisation des réseaux d'électricité

**Jacques PERCEBOIS**

Les enjeux réglementaires du numérique dans les systèmes électriques

**Ivan FAUCHEUX**

Les enjeux technologiques et industriels du numérique dans les réseaux électriques

**Michel MORVAN**

L'intégration des équipements numériques dans les systèmes électriques : quelques enjeux de politique publique pour l'Europe

**Patrice GEOFFRON**

Le *cluster* 5 d'Horizon Europe au cœur des problématiques des systèmes énergétiques

**Annabelle RONDAUD**

Green energy pricing for digital Europe

**Claude CRAMPES** et **Yassine LEFOUILI**

Les plateformes numériques d'échange d'électricité

**Thomas CORTADE** et **Jean-Christophe POUDOU**

L'effacement diffus, métier numérique associant les consommateurs à la transition écologique

**Pierre BIVAS**

Le numérique, facteur de succès de la mobilité électrique

**Jean-Rémy GAD** et **Marc MOREAU**

Integration of electromobility with the electric power systems:

The key challenges

**Yannick PEREZ** et **Wale AROWOLO**

La transition vers l'électrique pour des milliers de bus à la RATP : la puissance du numérique au service d'un projet titanesque

**Agathe BASTIT** et **Felix von PECHMANN**

Suivre ses kilowattheures sur le compteur communicant d'électricité ?

Une enquête sur les pratiques ordinaires de comptage domestique

**Aude DANIELI**

L'optimisation de la consommation électrique d'un *cloud provider*

**Aurélien TANIÈRE**

Coévolution des systèmes électriques et informatiques du Groupe EDF depuis vingt ans

**Vincent NIEBEL**

### HORS DOSSIER

Intelligence artificielle et Management des ressources humaines : pratiques d'entreprises

**Françoise CHEVALIER** et **Cécile DEJOUX**

(Article rattaché au N° 12, décembre 2020,

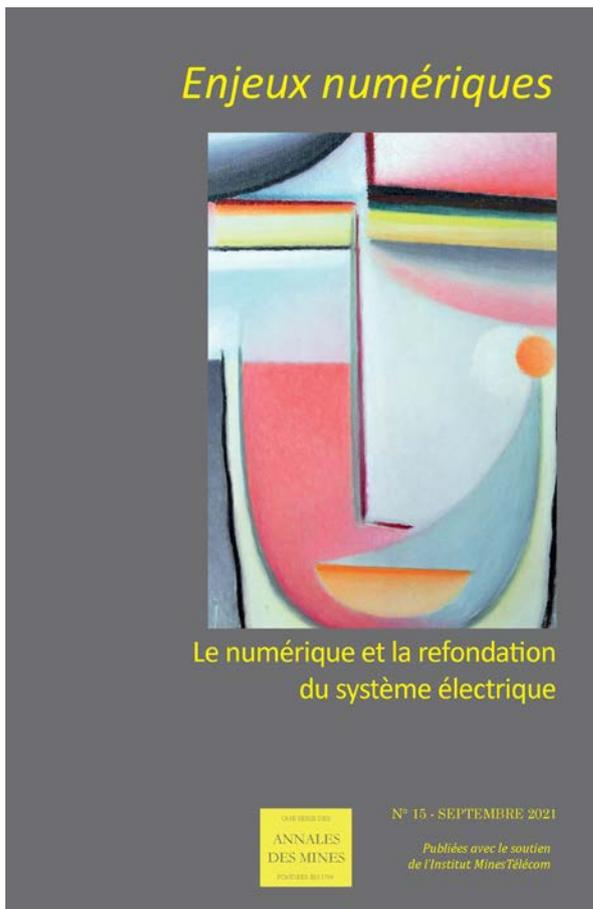
« Intelligences artificielles et humaines, quelles interactions ? »)

L'utilisation de l'IA dans la gestion de la crise sanitaire

**Félicien VALLET** et **Bertrand PAILHÈS**

(Article rattaché au N° 14, juin 2021,

« Réponses numériques à la crise sanitaire »)



Septembre 2021

Ce numéro a été coordonné par **Edmond BARANES**

Ce numéro peut être consulté et téléchargé gratuitement sur notre site  
<http://www.anales.org>

# Environment and health: What effects? Which governance?

## Introduction

**Anneliese Depoux**, director of the Virchow-Villermé Center for Public Health Paris-Berlin (Paris University), and member of Lancet Countdown and of the organizing committee of the Global Consortium on Climate and Health Education (Columbia University); **Robert Barouki**, research director, INSERM Unit 1124 (Environmental Toxicity, Therapeutic Targets, Cellular Signaling and Biomarkers, Paris University), coordinator of Health Environment Research Agenda for Europe (HERA); and **Maud Devès**, associate professor on the environment, risks and catastrophes, Paris University – Institut de Physique du Globe de Paris and Center of Psychoanalytical Research

## Genealogy of the relation between health and the environment

### Public authorities and environmental health in France: Long-run disruptions and changes

**Pascal Griset**, professor of contemporary history at Sorbonne University

The issue of environmental health has a long history. Three periods can be distinguished in order to understand how, at the convergence of multiple spheres, this question became a major societal issue. First of all, the time of industrialization and the “Pastoral Revolution”, which saw a symmetrical development of knowledge and a stronger perception of pollution and of the dangers linked to the use of certain products. The second half of the XX<sup>th</sup> century, when the affirmation of techno-sciences, allows to consider human health in a different way. With vaccines and antibiotics, medicine seems to enter a golden age. Environmental issues, which are increasingly taken into account, are only rarely connected explicitly to public health issues. From the 1980s onwards, this “environmental turnaround” increasingly concerned health. What was not previously detected or was neglected is now studied and quantified. Medicine is increasingly integrating environmental risks in all living spaces, including the workplace.

### Toward a medicine grounded on the idea of planetary health

**Marie Gaille**, research director in philosophy, SPHERE (UMR 7219), Paris University-CNRS

This article explores the way in which contemporary medicine is confronted with environmental health issues. While considering that the health professional cannot act alone in the face of these issues for the benefit of human health, it questions the modalities of his/her action and the orientation to be given to medicine. It analyses some of the answers formulated on this subject in relation to the

health impacts of global warming. Then, in a second step, it examines to what extent medicine should not reorient its action on the basis of an ecological conception of health. It formulates the hypothesis that a shift to a medicine based on the idea of global health is necessary.

### The environment, ecosystems and the impact on human health

**Serge Morand**, research director, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut des Sciences de l'Évolution (CNRS – IRD – Montpellier University), ASTRE (CIRAD – Faculty of Veterinary Technology, Kasetsart University and Faculty of Tropical Medicine, Mahidol University, Bangkok, Thailand)

This article deals with the evolution of approaches linking health, environment and ecosystems, starting from a fixist view to a dynamic view of the environment. The ongoing global changes and to their impacts require the implementation of renewed approaches able to respond to new health challenges. These ecosystem-based approaches are promoted by new initiatives led by international organizations.

### The environment's known or suspected effects on health

#### The environment's beneficial effects on health in urban areas

**Denis Zmirou-Navier**, honorary professor of public health, Lorraine University, Nancy, former director of the department Health-Environment-Work (École des Hautes Études en Santé Publique, Rennes) and chairman of the Commission Nationale de la Déontologie et des Alertes en Matière de Santé Publique et d'Environnement (cnDASpe)

The environment is an important determinant of health. This paper exposes the contribution of good quality housing, of green or blue spaces, to health and physical, mental and social wellbeing of urban areas inhabitants. Its conclusion underlines that urban policies aiming at strengthening these positive impacts should pay attention to a fair spatial distribution of these environmental amenities.

#### From proven to suspected risks: Atmospheric particulates and manufactured nanoparticles

**Francelyne Marano**, professor emeritus, Paris University, High Council on Public Health

Research has a key place in the environment-health equation. It should help us understand the very complex relations between multiple exposures, low doses with hard-to-determine effects, and the pathologies that often occur long after exposure. This research is necessarily multidisciplinary, thus implying a dialog between physicists/chemists, meteorologists, epidemiologists, toxicologists,

clinicians or even specialists in the human sciences. The effects on health of particles were first studied in mines and then in the atmosphere during multiple episodes of pollution; more recently, their chronic effects have come under examination. As shown by the study of the changes in this store of knowledge during the 20<sup>th</sup> century, the conjunction of all these data is what has led national and international authorities to react and regulate. At the start of the 21<sup>st</sup> century, research accelerated on the health effects of the nanoparticles produced by industry; but it has now stalled given the complexity of nanosubstances and the difficulty of conducting epidemiological studies. Health authorities thus face a tough problem: how to manage a risk under conditions of scientific uncertainty?

### The risk assessment of pesticides: Between regulatory know-how and academic science

**Laurence Huc**, research director at NRAE, and **Jean-Noël Jouzel**, research director at the Centre National de la Recherche Scientifique

Since the mid-20<sup>th</sup> century, pesticides have come under regulation. The marketing of this category of products is now subject to administrative authorizations based on an assessment of their efficiency and risks to human health and the environment. Light is shed on the discrepancy that might exist between, on the one hand, the guidelines for regulatory risk assessments of pesticides and, on the other hand, the changing data resulting from academic research on this topic. Attention is paid to the two fundamental phases of the regulatory risk assessment of these products: on the one hand, identifying and measuring the dangers for human health, and, on the other hand, estimating and calculating exposures.

## Environment and epidemics

### The impact of environmental pressures and climate changes on the spread of infectious diseases and exposure to them

**Sébastien Denys**, director Health-Environment-Work, Santé Publique France, and **Robert Barouki**, director Inserm Unit 1124, Paris University, and department head at Hôpital Necker Enfants Malades

Epidemics of infectious diseases break out owing to complex processes stemming both from the environmental conditions conducive to the development of the disease and the spread of its infectious agents and from multiple technological, social and demographic changes. These interactions are analyzed from two angles. The first, based on the epidemic cycle's global dynamics, inquires into the impact of human activities on the outbreak and spread of an epidemic. The second focuses on interactions between pressures on the environment and the increased exposure of the population to epidemics. An argument is made for reinforcing the actions that take into account the protection of the environment, the sustainability of our modes of production, and the quality of relations with nature. All of this, if taken into account, would have major benefits for public and global health.

## Atmospheric pollution and viral infections

**Jorge Boczkowski**, professor of pulmonology, Paris-Est Créteil University (UPEC) and Assistance Publique – Hôpitaux de Paris, and director of the Mondor Institute of Biomedical Research (U955 Inserm – UPEC)

Air pollution, defined as a change in the composition of the air by pollutants that are harmful to health and the environment, is the largest environmental cause of illness and premature death in the world today. Although initially overlooked as an adverse effect of air pollution, the relationship between pollution and the occurrence and/or severity of respiratory infections has become a growing public health concern in recent years. Regarding viral infections, which constitute the majority of respiratory infections, different studies show that their incidence and/or severity can be correlated to concentrations of air pollutants such as nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>) and particulate matter. The underlying mechanisms are not fully elucidated at present, but probably involve facilitation of virus transmission and/or increased susceptibility to virus effects. Although further studies are needed to better understand these phenomena, the available data should prompt action to reduce the concentration of pollutants in the air to combat pollution-related excess mortality including viral infections.

### Climate or global change – The choice must be made for health's sake!

**Jean-François Guégan**, UMR MIVEGEC, IRD, Centre National de la Recherche Scientifique, Montpellier University and UMR ASTRE, INRAE

Climate changes are a major aspect of global changes. However their specific effects on the trends of the diseases caused by germs and parasites are hard to evaluate. Other factors (demographic, environmental, socioeconomic and societal) come into play and, in most situations, are predominant for the current and future evolution of these diseases.

## Health and the environment: Which governance?

### Toward developing an environment conducive to health in the sense of the international concept "One Health"

**Cédric Bourillet**, director-general of risk prevention at the Ministry of the Environmental Transition

Health and the environment are closely linked fields. Environmental degradation resulting from human activities exposes environments (water, air, soil), ecosystems and even human populations to health damage. The consequences on global warming as well as the destruction of ecosystems notably favor the emergence of infectious diseases transmissible to humans.

Environmental health policies must henceforth be fully in line with the international concept of "one health" by adopting a systemic approach and by working in particular to reduce environmental exposures when they present risks to human health, animal health or ecosystem health.

### Should the ministries of the Environment and of Health be merged? An analysis in the light of the merger in 2007 of the ministries of the Environment and of Energy

**Richard Lavergne**, former member of the Conseil Général de l'Économie

Some observers have seen COVID-19 as an accumulation of several crises, including a health and environmental crisis. As we are beginning to catch sight of the end of this epidemic, we might be tempted to think that the administrative organization of Health and the Environment should be overhauled along the lines of the 2007 merger of the ministries of Energy and the Environment. In effect, health and energy policies have some points in common with environmental issues. With reference to this earlier merger that, decided by President Nicolas Sarkozy, led to setting up a big ministry in charge of Energy and the Environment, the author thinks that health policy would have nothing to gain from such a merger.

### The management of health risks in France: The challenge of uncertainty

**William Dab**, professor emeritus, CNAM (MESuRS Laboratory)

The management of risks related to health and the environment encounters various difficulties in France. The current organization of this public sector is incapable of effectively responding to the challenges of environmental health. The capacity for making decisions in a situation of uncertainty is a key point that cannot be fittingly handled by invoking the precautionary principle. Turning health risks into a global public policy issue is a prerequisite for drafting a coherent policy.

### The role of a health agency given the COVID-19 pandemic

**Roger Genet**, director-general of ANSES

During the COVID-19 pandemic, the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety (ANSES) quickly contributed to the scenarios of human exposure to the new coronavirus (for which food-, animal- or environment-borne transmission was suspected). It placed its scientific competence at the service of the arrangements set up to manage the crisis and protect the population, while maintaining its usual activities and continuing to provide support to the management of other health problems. The experience of the pandemic has drawn attention to the importance of relations between health agencies, a factor that serves as the grounds for an international network of health security. It also tends to accelerate the adoption of an integrative, globalized approach to health risks. Scientific expertise is a necessary but not sufficient condition for effectively preventing and managing these risks. Better protection calls for improving our capacity for research and preparedness in order to handle risks that are emerging or are still uncertain, and to raise questions collectively and constructively about our choice of a society.

### Environmental health: The opportunity for a multidimensional, integrated governance of risks

**Florence Carré**, INERIS, **Jacques Gardon**, IRD, **Maud Dévès**, IPGP, **Laure Giamberini**, Lorraine University, **Christian Mougin**, INRAE Versailles, **Nicolas Eckert**, INRAE Grenoble, and **Gilles Grandjean**, BRGM

Realizing how important environmental factors are in relation to health, the WHO broadened, in 1999, its definition of environmental health to cover the aspects of human health, including quality life, that are determined by physical, chemical, biological, social, psychosocial and aesthetic factors in our environment. Environmental health also has to do with managerial policies and practices for reabsorbing, controlling and forestalling the environmental factors likely to have an impact on the health of current and future generations. Starting from the observation of how the quality of ecosystems affects human health, the concept of exposome has been defined as the total of all exposures to environmental factors that a human being experiences from fertilization till the end of life. In addition, the concept of "One Health" worked out by Zindstag *et al.* (2011) has insisted on the bidirectionality of relations and calls for developing integrated approaches for guaranteeing global environmental health: humans, plants, animals and ecosystems. Different examples are used to inquire into the level of disciplinary and spatiotemporal integration necessary for taking the concept of global environmental health into account and making it operational. Environmental health provides a framework for actions in response to the urgent need to develop a multidimensional, integrated governance of risks.

### Toward an "ecologization" of health governance

**Nathalie Blanc**, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Centre des Politiques de la Terre, Laboratory LADYSS UMR 7533

This article focuses on the changing relation between nature and the urban environment during the 19<sup>th</sup> et 20<sup>th</sup> centuries (and even until the 21<sup>st</sup>) in Europe and the United States, a relation described mainly in terms of public health. Territorial planning and development along with the rules of urbanism have long been the means for political interventions interested in dimensions for the purpose of monitoring and controlling violations and ultimately preserving life. Taking account of the environmental dimensions in urban health policies leads us to re-examine the relations between territorial planning and nature as well as the role played by various stakeholders in the health policy field.

### An international opening

#### To recover from Covid-19, we need to invest in a healthy and green future

**Dr Maria P. Neira**, Director of Environment, Climate Change and Health at the World Health Organization

In this year of unprecedented change, advanced economies have a once in a generation opportunity to demonstrate true global solidarity. Governments can lead the way by

investing in pandemic recoveries that improve the long-term public health populations, both within and outside of their borders. For this, stimulus packages need to be pollution-free and climate-safe, while avoiding locking in economic development patterns that will do permanent and escalating damage to the ecological systems that sustain all human health and livelihoods. It is the only way for us to get out of the current health crisis and prevent future ones.

### **Regulating chemicals: Science and decision-making, slowness and confusion**

**Laurence Huc**, research director, INRAE, and **Robert Barouki**, research director, INSERM Unit 1124 (Environmental Toxicity, Therapeutic Targets, Cellular Signaling and Biomarkers, Paris University) and coordinator of Health Environment Research Agenda for Europe (HERA)

The regulation of chemicals has a noteworthy place in the complex relations between science, society and public decision-making. Through examples about the carcinogenicity of chemical substances, endocrine disruption and the concept of an exposome, the relations between science and regulation are brought under discussion. Attention is drawn to the apparently very long lag between the acquirement of scientific knowledge and its integration in regulatory texts.

### **Health environment: An illustration of the Ministry of Health's policy about protecting the population's health**

**Jérôme Salomon**, director-general of Health, Ministry of Solidarity and Health, **Joëlle Carmès**, deputy director of the prevention of risks related to the environment and food supply, DGS, and **Mathilde Merlo**, project leader Plan National Santé-Environnement, DGS

For more than 100 years, the Ministry of Health has been protecting the health of populations through a policy of prevention, promotion and access to healthcare for all. Environmental health is one of the priorities of this policy. It is characterized by increasingly strong societal expectations, constantly evolving lifestyles and scientific knowledge, particularly in the context of climate change. Through four examples, this article illustrates this policy in permanent adaptation to meet the challenges of our society as close as possible to the territories and the close interactions between our health and our environment, including animal health and that of ecosystems.

*Issue editors: **Robert Barouki**, **Anneliese Depoux** and **Maud Devès***

# RÉALITÉS INDUSTRIELLES

## Immigration et insertion professionnelle

### Préface

**Brigitte KLINKERT**

### Introduction :

**Immigration et économie : à travers le brouillard sémantique et le brouillard statistique**

**Claude TRINK**



### Le point de vue de l'État et de collectivités

L'emploi des réfugiés : quelles perspectives ?

**Alain RÉGNIER**

L'accès au marché du travail pour les demandeurs d'asile et les réfugiés en France : des droits différents et une application lacunaire

**Stella DUPONT**

L'intégration des réfugiés dans la ville d'Autun

**Vincent CHAUVET**

L'intégration des immigrés dans un village des Hauts-de-France

**Christian VANNOBEL**

L'expérience de la grande métropole, Grenoble-Alpes Métropole, en matière d'insertion professionnelle des bénéficiaires de la protection internationale

**Sonia RULLIÈRE**

### Le point de vue des économistes

L'insertion professionnelle des immigrés dans les pays de l'OCDE

**Jean-Christophe DUMONT**

L'immigration professionnelle en France depuis 2000

**Hippolyte d'ALBIS et Ekrame BOUBTANE**

### Le point de vue d'employeurs et de partenaires sociaux

Les Geiq, un mouvement d'entreprises engagées pour l'insertion par la qualification

**Francis LÉVY**

Travailleurs étrangers sans-papiers, et s'il était temps d'appliquer notre Constitution et de garantir l'égalité de traitement et la cohésion sociale !

**Marilyne POULAIN**

L'immigration de travail et le travail des immigrés

**Frédéric SÈVE**

### L'expérience des opérateurs de l'insertion et d'autres acteurs

L'approche et l'expérience de Forum réfugiés-Cosi, au travers des programmes Accelair ou PRIR dédiés aux réfugiés

**Olivier BORIUS**

L'approche de Kodiko au regard de l'intégration des personnes réfugiées

**Cécile PIERRAT SCHIEVER**

L'approche et la méthode de Simplon.co à travers Welcode et Refugeeks

**Christine HUYNH**

Les actions d'AKTO en faveur de l'intégration professionnelle des réfugiés

**Jean-Marie GLOWACKI**

Que du réseau !

**David ROBERT**

**Mai 2021**

L'expérimentation EDNA : la méthode IOD au service de l'intégration professionnelle des étrangers primo-arrivants en France

**Thomas AUVIN et Delphine KERUZEC**

Devenir employable ou réaliser son projet ? L'émergence de nouveaux acteurs de l'intégration des réfugiés - **Sylvie CHEVRIER et Théo SCUBLA**

Les jeunes migrants face au défi de leur insertion professionnelle - **Thierry LE ROY**

Mineurs non accompagnés : de l'accueil à l'insertion professionnelle - **Anne LE CABELLEC, Félix LAVAUX, Brigitte BAUDRILLER et Quentin JOSNIN**

Réinventer des liens - **Simon KARLESKIND**

### Des expériences étrangères

L'insertion professionnelle dans le cadre de la politique d'immigration du Canada - **Louise VAN WINKLE**

L'insertion professionnelle des personnes éloignées de l'emploi, en Israël - **David HARARI**

L'intégration des réfugiés dans le marché du travail en Allemagne

**Maëlle DUBOIS, Dr Christiane FRITSCHÉ, Doritt KOMITOWSKI et Dr Christian PFEFFER-HOFFMANN**

Organizing Labour market integration support for immigrants in Sweden - **Andreas DIEDRICH**

### Hors Dossier

Création numérique et propriété industrielle, vers la réconciliation ? - **Olivier ITEANU**

Ce numéro a été coordonné par **Claude TRINK**

Ce numéro peut être consulté et téléchargé gratuitement sur notre site  
<http://www.anales.org>

# Ont contribué à ce numéro



D.R

**Robert BAROUKI** est PU-PH, directeur de l'unité Inserm 1124 à l'Université de Paris et chef de service de Biochimie métabolomique et protéomique, à l'Hôpital Necker Enfants malades. Il a consacré ses travaux de recherche récents à l'étude des mécanismes de toxicité des polluants de l'environnement

comme la dioxine, des pesticides et des perturbateurs endocriniens et aux effets de mélanges de toxiques. Il s'intéresse au concept d'exposome et aux approches multidisciplinaires et intégrées dans le domaine environnement/santé et dans celui des maladies métaboliques. Il coordonne ou participe à plusieurs programmes européens. Dans une perspective plus générale, il s'intéresse de près à la communication faite auprès du grand public et portant sur des concepts et des données scientifiques. Il est le lauréat OPECST-Inserm 2018.



D.R

**Nathalie BLANC** est directrice de recherche au Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et directrice du Centre des politiques de la terre, lequel est né en 2019 d'une collaboration entre l'UP, l'IPGP et Sciences Po. Elle a été directrice de l'UMR CNRS LADYSS (2014-2019) et est basée à l'Université de Paris.

Pionnière de l'écocritique en

France, elle a publié et coordonné des programmes de recherche sur des domaines tels que la nature dans la ville, l'esthétique environnementale et les mobilisations environnementales. Membre fondateur du portail français des Humanités environnementales, elle a également été, de 2011 à 2015, la déléguée française du réseau de recherche européen COST « Investigating cultural sustainability » et a été par la suite déléguée du programme européen COST sur les nouveaux matérialismes « How Matter Matters » (2016-2019). Parmi ses projets de recherche récents figurent CAPADAPT – Soutenir l'adaptation au changement climatique par le renforcement des capacités citoyennes (ADEME-GICC 2017-2020) et CIVIC ACT sur les croisements entre inégalités socio-environnementales et mobilisations collectives à l'échelle du Grand Paris (Université de Paris-Sciences Po).

Elle a publié plusieurs ouvrages, dont : *Les animaux et la ville*, O. Jacob, 2000 ; *Vers une esthétique environnementale*, Quae, 2008 ; *Ecoplasties. Art et environnement*, Manuella, 2010 ; et *Form, art, and environment: engaging in sustainability*, aux Éditions Routledge, 2016.

Elle anime et coordonne un projet de LAB ArtSciences, le Laboratoire de la culture durable consacré successivement aux sols urbains de l'Anthropocène (sols fictions)

et à l'alimentation durable (la table et le territoire), lequel est devenu un projet de recherche-crédation à l'échelle européenne qui donne lieu à des expérimentations en matière d'écriture et d'exposition (Domaine de Chamarande ; Ferme des cultures du monde à Saint-Denis ; Art-Mill en République tchèque ; Campo Adentro en Espagne ; PAV en Italie et Locus Solus en Grèce).



D.R

**Jorge BOCZKOWSKI** est médecin pneumologue, ancien directeur de recherche à l'Inserm (DR1) et est actuellement PU-PH de pneumologie, directeur de l'Institut Mondor de recherche biomédicale (IMRB, UMR 955 Inserm – UPEC). Ses travaux de recherche examinent les conséquences respiratoires de

l'exposition aux contaminants de

l'environnement, notamment la fumée de cigarette et les nanoparticules manufacturées. Il a été le coordinateur de plusieurs programmes de recherche en toxicologie environnementale, et a participé et participe à différentes instances scientifiques et d'expertise (CSS 6 Inserm, groupe de travail Nanomatériaux de l'IRESP, commission scientifique de la direction des Risques chroniques de l'INERIS, groupe de veille sur les impacts sur la santé de nanomatériaux au HCSP, Observatoire de micro et nanotechnologies, comité d'évaluation du programme Contaminants-Écosystèmes-Santé de l'ANR, conseil scientifique de l'École nationale vétérinaire d'Alfort, chargé de mission scientifique au HCERES...). Il a été assesseur à la commission recherche de l'UPEC (domaine Biologie Santé) entre 2012 et 2014 et professeur invité à l'Université métropolitaine de Tokyo entre 2015 et 2020. Il est l'auteur de plus de 150 publications parues dans des journaux internationaux à comité de lecture.



D.R

**Cédric BOURILLET** est directeur général de la Prévention des risques, au ministère de la Transition écologique, et est délégué interministériel aux Risques majeurs. Il a exercé plusieurs fonctions en services déconcentrés de l'État et en administration centrale, et a participé à l'élaboration de politiques sectorielles et transversales en matière

de santé-environnement, ainsi qu'à des négociations européennes et internationales sur ces thématiques.

**Joëlle CARMÈS** a obtenu en 1983 le diplôme d'ingénieur physique de l'Institut national des sciences appliquées de Rennes, puis, en 1984, celui d'ingénieur sanitaire de l'École des hautes études en santé publique. Elle



D.R

début sa carrière en mars 1985 à la direction générale de la Santé (DGS), où elle est en charge de dossiers relatifs à la gestion de risques environnementaux.

Elle rejoint l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) en octobre 2000, pour exercer au sein de l'unité des Risques liés à l'eau. À partir de

décembre 2002, elle occupe le

poste de cheffe de bureau Bâtiments, Bruit, Milieu de travail à la DGS. En avril 2008, elle est nommée adjointe au sous-directeur, cheffe du département des Urgences sanitaires à la DGS, avant d'assurer, à partir de janvier 2014, les fonctions de sous-directrice de la Prévention des risques liés à l'environnement et à l'alimentation à la DGS, d'abord par intérim, avant d'être nommée officiellement en mai 2017.



D.R

**Florence CARRÉ** est ingénieure agronome et titulaire d'un master of science, d'un DEA et d'un doctorat en sciences du sol, d'une licence de psychologie et d'une maîtrise de neuropsychologie clinique intégrative. Précédemment fondatrice et gestionnaire d'un bureau d'études spécialisé en cartographie des sols, puis enseignante-chercheuse à Unilasalle, avant d'être chercheuse au Centre commun de recherche de la Commission européenne, elle

travaille depuis onze ans à l'Ineris (Institut national de l'environnement industriel et des risques). Sa mission y est de développer des méthodes de gestion intégrée et inclusive de risques de natures différentes (cyber, environnementaux, technologiques et humains).



D.R

**William DAB**, ancien directeur général de la Santé (2003-2005), est professeur émérite, ancien titulaire de la chaire « Hygiène et sécurité » et membre du laboratoire Modélisation, épidémiologie et surveillance des risques sanitaires (MESuRS) du Cnam.

Médecin, ancien interne des Hôpitaux de Paris et Docteur ès sciences (épidémiologie), ses

travaux ont concerné la surveillance épidémiologique et l'évaluation des risques et des actions de prévention, notamment dans les domaines de l'environnement et du travail.

Membre d'une dizaine de sociétés savantes, ancien vice-président de la Société française de santé publique, il a été membre élu du comité exécutif de l'OMS et président du comité européen Environnement et Santé de l'OMS pour la région Europe (53 pays membres).

Il est l'auteur de six livres et d'une centaine de publications

scientifiques, notamment :

- « La santé et le travail », Arnaud Franel, 2018 ;
- « Agir face aux risques – Pour un pacte de confiance sanitaire », PUF, 2013 en collaboration avec D. Salomon ;
- « Santé et environnement », Collection « Que sais-je ? », n°3771, PUF, 2020 ;
- « Les fondamentaux de l'épidémiologie », presses de l'EHESP, 2021.

Il est expert près de la cour d'appel de Paris.



D.R

**Sébastien DENYS**, ingénieur agronome, docteur et habilité à diriger des recherches en sciences agronomiques, est directeur Santé-Environnement-Travail de Santé publique France. Il compte plus de vingt ans d'expérience scientifique sur l'évaluation des expositions, des risques et des impacts de l'environnement sur la santé. Sa

direction pilote différents programmes de surveillance centrés sur les expositions et la santé, des enjeux principaux liés à l'environnement : substances chimiques et amiante, changements climatiques, pollution de l'air et des sols, impact de l'activité industrielle, conditions de travail... Son activité est plus particulièrement tournée vers la promotion de l'intégration des résultats issus de ces programmes dans les politiques publiques afin de protéger et d'améliorer la santé des populations. Il contribue aux principaux plans de santé publique portant sur les champs de la santé environnementale et de la santé au travail, et participe, à ce titre, aux différentes instances de gouvernance de ces plans, ainsi qu'à différents groupes d'expertise au niveau national ou européen. Il est aussi amené à participer à de nombreuses réunions d'échanges avec les représentants associatifs, les citoyens et les parties prenantes au niveau territorial ou national.



D.R

**Anneliese DEPOUX** (PhD) dirige le Centre Virchow-Villermé de Santé publique Paris-Berlin de l'Université de Paris. La question des impacts sanitaires du changement climatique fait partie des champs d'intervention prioritaires du Centre, qui s'est imposé sur la scène internationale comme un des lieux essentiels pour fédérer les acteurs de santé publique engagés dans l'étude des impacts sanitaires du changement climatique.

Elle fait partie de l'initiative Lancet countdown et est membre du comité d'organisation du Global Consortium on Climate and Health Education de Columbia University. Elle conduit ses recherches au sein du Centre des politiques de la terre de l'Université de Paris.



D.R.

**Maud H. DEVÈS** est maîtresse de conférences à l'Université de Paris, où elle est affiliée à l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP) et à l'Institut humanités, sciences et sociétés (IHSS). Ses recherches portent sur les risques et les catastrophes naturelles, thématique qu'elle aborde grâce à une double formation en géophysique (doctorat, 2010)

et en psychologie (master, 2013). Elle a publié une trentaine d'articles et de chapitres d'ouvrages portant sur la connaissance des aléas géophysiques, leur rôle dans l'histoire de l'évolution humaine, le rôle des scientifiques et des médias face aux risques et aux crises ou encore les enjeux psychiques de la relation entre les êtres humains et leur environnement. Elle co-pilote actuellement le projet ANR V-CARE sur les enjeux décisionnels en matière d'alerte volcanique et le projet MAYVOLCANO sur les obstacles à une circulation efficace de l'information entre scientifiques, autorités et populations dans le cadre de crises telluriques comme celles que connaît Mayotte. Elle est membre de la commission spécialisée Sciences de la terre et de l'environnement de l'Institut de recherche pour le développement (IRD) depuis 2020, membre du conseil scientifique du Collège international des sciences territoriales et du bureau de direction du Centre de recherche interdisciplinaire des Politiques de la terre de l'Université de Paris depuis 2018. Elle a également présidé le conseil scientifique de l'Association française de prévention des catastrophes naturelles entre 2016 et 2020 et préside depuis 2018 le comité scientifique Flash Ouragans 2017 de l'Agence nationale de la recherche.



D.R.

**Nicolas ECKERT** est chercheur dans le domaine des risques naturels en montagne à l'INRAE de Grenoble, où il co-anime l'équipe Risques gravitaires et cryosphère en montagne. Normalien, ingénieur en chef des Ponts, des Eaux et des Forêts, docteur en statistique appliquée d'AgroParisTech et titulaire d'une HDR de l'Université Grenoble Alpes, ses

travaux portent sur la caractérisation des aléas et des risques en montagne et les réponses à apporter aux changements environnementaux. Chargé de mission Risques naturels et environnementaux de l'INRAE, il est également directeur adjoint recherche en charge de l'axe Risques de l'OSUG et co-animateur du GET Risques environnementaux de l'alliance AllEnvi.

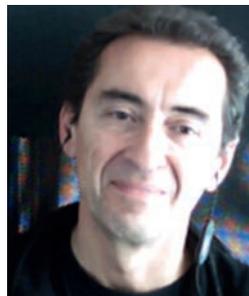
**Marie GAILLE** est directrice de recherche en philosophie au CNRS et directrice adjointe scientifique à l'Institut des sciences humaines et sociales du CNRS. Ses recherches portent sur les décisions médicales qui engagent une conception de la vie valant d'être vécue aux seuils de l'existence (prénatal, fin de vie) et dans les situations



D.R.

de longue vieillesse. Elle travaille également sur la relation entre santé, maladie et environnement et sur la place accordée au milieu de vie du malade en clinique. Elle porte actuellement un projet ANR, Epiphinore (2021-2024), dont l'objet est la signification du désir de vie « ordinaire », « normale » ou « comme avant » pour les malades chroniques multimorbides et l'étude de ses implications sur le plan clinique et sur la conception des parcours de soins. En 2020, elle a coordonné, avec Philippe Terral, un rapport de recherche sur les sciences humaines et sociales face à la pandémie et à sa gestion (accessible en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-03036192v1>).

Pour plus d'informations la concernant : <http://www.sphere.univ-paris-diderot.fr/spip.php?article1040>



D.R.

**Jacques GARDON** est directeur adjoint d'Hydrosciences Montpellier (HSM – CNRS, IRD, Université Montpellier). Ce laboratoire étudie, quantifie et prévoit les impacts du changement global sur le cycle de l'eau et ses rétractions sur l'homme et les écosystèmes. Directeur de recherche à l'IRD et médecin épidémiologiste, il s'intéresse aux

impacts des pollutions métalliques sur la santé publique. Ses recherches concernent les populations qui vivent dans des contextes miniers pollués ou naturellement minéralisés, avec des risques d'exposition à l'arsenic, au mercure, au plomb... Dans ce cadre, il aborde à la fois la mesure de l'exposition, les effets sanitaires liés à celle-ci et l'adaptation métabolique.



© P. Sordoillet

**Roger GENET** est directeur général de l'Anses depuis mai 2016. Il est titulaire d'un doctorat en enzymologie, d'une habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Université Paris Sud Orsay et ingénieur du Conservatoire national des arts et métiers.

Il a consacré les vingt-cinq premières années de sa carrière à la recherche scientifique, au sein de la direction des Sciences du vivant du Commissariat à l'énergie atomique (CEA), où il est entré en 1981. Nommé directeur de recherche au CEA en 2004, il s'est également engagé dans des activités d'enseignement en tant que professeur à l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN). Il est l'auteur d'une trentaine de publications scientifiques et co-auteur de six brevets d'invention.

En février 2005, il intègre le cabinet du ministre chargé de la Recherche en tant que conseiller pour les sciences du

vivant, la santé et la bioéthique, avant de rejoindre, en mai 2007, le CEA, en qualité de directeur adjoint des sciences du vivant et directeur du centre de recherche de Fontenay-aux-Roses, où il conduit la reconversion de ce site dans les technologies de santé.

En février 2009, Roger Genet prend la tête du Cemagref qui devient, sous son impulsion, l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement (IRSTEA), dont il sera le premier président exécutif. Adeptes d'une approche coopérative, il a proposé la création de l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement, AllEnvi, dont il sera le premier président de 2010 à 2012. Il sera également nommé président du conseil scientifique de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) en 2012.

De mars 2012 à mai 2016, Roger Genet a été directeur général de la Recherche et de l'Innovation au ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



D.R

**Laure GIAMBERINI** est titulaire d'un doctorat en écotoxicologie depuis 1993. Elle est professeure à l'Université de Lorraine et directrice du Laboratoire interdisciplinaire des environnements continentaux – UMR 7360 CNRS.

Elle est chercheuse en écotoxicologie aquatique et spécialiste en toxicologie de l'environnement soumis à différentes

pressions anthropiques (activités minières, contaminants métalliques, nanoparticules, stress thermiques) et en bioévaluation de la qualité de l'environnement. Ses études sur les écosystèmes dulçaquicoles l'ont également conduite vers la parasitologie environnementale afin d'étudier notamment le parasitisme chez les bivalves en lien avec la qualité du milieu.



D.R

**Gilles GRANDJEAN** est titulaire, depuis 1992, d'un doctorat en géophysique de l'Université de Montpellier et a obtenu, en 2000, une HDR. Il rejoint le BRGM en 1995, en tant que chercheur, puis prend en charge la chaire de « Géophysique et géologie de l'ingénieur » à l'Université de Liège en 2002 pendant une année sabbatique, avant de revenir

au BRGM, où il devient responsable de l'unité Instabilités gravitaires. Il y occupe à partir de 2013 le poste de directeur adjoint de la direction Risques et prévention, avant de prendre, depuis 2019, la direction du programme de recherche sur les risques naturels, dans le cadre duquel sont développés des axes de recherche sur la phénoménologie des risques naturels, leur modélisation et leurs applications en appui aux politiques publiques.



© David Richard/Transit pour L'Express (2015)

**Jean-François GUÉGAN** est directeur de recherche (classe exceptionnelle) à l'IRD, en accueil à l'INRAE. Il est enseignant à l'Université de Montpellier et professeur à l'École des hautes études en santé publique, Rennes et Paris, où il enseigne la spécialité Changements planétaires et santé dans le cadre du master international de Santé publique (MPH), dont il a assuré pendant dix ans la

responsabilité d'une spécialité affichée Erasmus Mundus. Il s'intéresse au transfert des connaissances scientifiques vers les décideurs publics et est co-organisateur d'un séminaire annuel sur les conséquences sociétales, économiques et sanitaires des maladies infectieuses émergentes. Il a participé ou dirigé de nombreux programmes de recherche nationaux ou internationaux sur la transmission infectieuse environnement-humain et animal-humain, et, en tant qu'ancien membre du Haut Conseil de la santé publique, a (co-)présidé plusieurs travaux sur les conséquences du changement climatique sur la santé (dont la partie Santé du PNACC) et sur les maladies infectieuses émergentes, notamment pour la Convention sur la diversité biologique et l'OMS. Il a publié plus de 250 publications scientifiques, a donné plus de 180 conférences, et a (co-)produit onze ouvrages, dont cinq pour l'enseignement supérieur. Écologiste numéricien et parasitologue, il s'intéresse depuis plus de vingt ans aux conséquences des modifications environnementales, du changement climatique, de la perte de diversité biologique et des modifications de l'habitat sur la transmission infectieuse et le risque infectieux émergent. Il développe actuellement des recherches sur l'ulcère de Buruli, une infection cutanée nécrosante, en Afrique et en Amérique du Sud, ainsi que sur les leishmanioses cutanées néotropicales. Membre de plusieurs conseils scientifiques nationaux et internationaux, il est en particulier conseiller du programme international FutureEarth des Nations Unies pour sa composante Santé, expert à l'OMS ainsi que conseiller de Santé publique France et du Conseil national français sur les changements globaux. Il est, depuis l'automne 2020, président du conseil scientifique de l'École nationale vétérinaire de Toulouse. À l'INRAE, il coordonne le développement d'un programme international sur la transition agricole et les risques infectieux émergents.



D.R

**Pascal GRISET** est professeur d'histoire contemporaine à Sorbonne Université. Spécialiste d'histoire économique et technique, il anime le Centre de recherche en histoire de l'innovation au sein de l'UMR Sirice. Il coordonne depuis 2018 le projet Horizon 2020 « InSciDe: Inventing a Shared Science Diplomacy for Europe ». Il préside le Comité

pour l'histoire de l'INSERM. Ancien auditeur de l'Institut des stratégies industrielles, il est membre du Comité pour

l'histoire économique et financière de la France (IGPDE – Ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance). Il a présidé la Commission interdisciplinaire 42 du Comité national du CNRS et dirigé l'Institut des sciences de la communication du CNRS. Ancien boursier Fulbright, il a été fellow du Netherlands Institute for Advanced Studies in the Humanities and Social Sciences (Wassenaar, Pays-Bas).

Il a récemment publié avec Jean-Pierre Williot et Yves Bouvier, *Face aux risques – Une Histoire de la sûreté alimentaire à la sécurité environnementale*, (Le Cherche Midi, 2020) ; avec Andreas Fickers, *Communicating Europe. Technologies, Information, Events (1850-2000)* (London, Palgrave, 2019) ; et avec Pierre Corvol et Céline Paillette, *L'épidémiologie entre le terrain des épidémies et l'approche populationnelle, XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles* (Med. Sci., Paris). Ainsi que : "Innovation Diplomacy: A New Concept for Ancient Practices?", *The Hague Journal of diplomacy*, vol. 15, issue 3, Online 19 august 2020, pp. 383-397 et 2019 Nov;35(11), et *Académie de médecine – 200 ans, une histoire de la santé* (Le Cherche-Midi, 2019, 205 p.).



D.R

**Laurence HUC** est directrice de recherche à l'INRAE, magistérienne à l'ENS-Lyon et HDR. Elle est responsable de l'équipe Contaminants & Stress cellulaires à Toxalim à Toulouse. Toxicologue, elle travaille sur la cancérogenèse environnementale, en lien avec les expositions aux polluants (hydrocarbures aromatiques polycycliques, dioxines, mélanges de pesticides, SDHI). Elle coordonne ou participe à des programmes nationaux (ANR, FRM, Fondation ARC, Ligue contre le cancer, Ecophyto2+-OFB, ANSES). Elle anime le réseau scientifique interdisciplinaire Holimitox, intégrant les champs de la biologie, de la médecine, de la physiologie, de l'écotoxicologie, de l'épidémiologie, de la chimie, de l'agronomie, de l'économie, de la sociologie et de l'histoire des sciences, pour traiter, de façon intégrative, la question de l'usage des pesticides SDHI selon une approche EcoHealth. S'intéressant aux liens entre science, savoir réglementaire, décision publique et enjeux globaux de la santé environnementale, elle réalise le master 2 Philosophie – Parcours Logique, philosophie des sciences et philosophie de la connaissance (LOPHISC) à la Sorbonne-Université. Elle fait partie de l'Institut interdisciplinaire PhilInBioMed (Institute for Philosophy in Biology and Medicine) coordonné à l'Université de Bordeaux. Elle est lauréate des Lauriers INRAE 2020 de l'Impact de la recherche.

**Jean-Noël JOUZEL** travaille sur les controverses liées aux enjeux de santé environnementale et de santé au travail. Dans une perspective croisant science studies, sociologie de l'action publique et sociologie des mobilisations, ses recherches participent à l'essor actuel des travaux sur la construction sociale de l'ignorance. Ses enquêtes actuelles portent sur les pesticides et leurs effets sur la santé



D.R

des populations exposées (travailleurs et riverains), sur la surveillance des risques chimiques liés aux nanomatériaux et sur le rôle de la médecine hospitalière dans la connaissance et la reconnaissance des maladies professionnelles.



D.R

**Richard LAVERGNE** est ingénieur général honoraire du Corps des Mines, diplômé de l'École polytechnique (promotion 75) et de l'École supérieure de métrologie et de Télécom Paris. Il est à la retraite depuis janvier 2021.

Il a été membre permanent du Conseil général de l'économie (ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance) de

janvier 2017 à janvier 2021, où il était notamment référent « Énergie et climat ». Il a été aussi chef de projet du jumelage UE-Maroc « Appui au renforcement du secteur de l'énergie » de 2018 à 2020.

De 2008 à 2016, il était conseiller auprès, à la fois, du directeur général de l'Énergie et du Climat (DGEC) et de la Commissaire générale au Développement durable (CGDD), au sein du ministère chargé de l'Environnement et de l'Énergie. À ce titre, il a assuré notamment les missions de vice-président du Comité permanent pour la coopération à long terme de l'Agence internationale de l'énergie, de président pour l'UE du Groupe thématique sur les marchés et les stratégies énergétiques dans le cadre du Dialogue énergétique UE-Russie, de secrétaire général du Comité pour l'économie verte et de secrétaire général du Comité d'experts pour la transition énergétique.

En 2011 et 2012, il a été rapporteur général de la Commission Énergies 2050 créée par le ministre Éric Besson, chargé de l'Industrie et de l'Énergie. Et, en 2012 et 2013, il a été fortement impliqué à différents titres dans l'organisation du Débat national pour la transition énergétique. De 2008 à 2017, il a été membre du comité directeur de l'Association française des économistes de l'énergie.

De 1995 à 2008, il a été directeur de l'Observatoire de l'énergie et des matières premières au sein du ministère chargé de l'Énergie et, de 1990 à 1995, il a été directeur du Réseau national d'essais (RNE, actuellement COFRAC). Richard Lavergne est aussi l'auteur de nombreuses publications. Par ailleurs, il est chevalier de la Légion d'honneur et officier dans l'ordre du Ouissam Alaouite (Maroc).

**Francelyne MARANO** est professeure émérite de biologie cellulaire et toxicologie à l'Université de Paris. Elle a créé, en 1987, un laboratoire sur l'étude des mécanismes d'action des polluants atmosphériques (amiante, particules diesel, particules atmosphériques, nanoparticules) à l'Université Paris Diderot et, en 2005, le master Toxicologie, Environnement, Santé. Elle est l'auteure de nombreux



D.R

livres et publications (237), dont des ouvrages de vulgarisation scientifique. Elle a participé à divers comités d'experts nationaux et européens dans le domaine de la toxicologie environnementale. Elle a été présidente du conseil scientifique de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement (AFSSE), à sa création.

Elle a été impliquée dans l'élaboration des quatre plans nationaux santé-environnement (PNSE) et dans le suivi de leur mise en œuvre. Elle a été membre fondatrice et présidente de la Société française de santé-environnement (SFSE). Elle est présidente de la commission spécialisée sur les risques environnementaux au Haut Conseil de la santé publique.

Ses derniers livres de vulgarisation sont : *Toxique ? Santé et environnement : de l'alerte à la décision*, avec Robert Barouki et Denis Zmirou, 2015 ; *Faut-il avoir peur des nanos ?* », aux Éditions Buchet-Chastel, 2016 ; *Notre air est-il respirable ?*, avec Lise Loumé, aux Éditions Quae, 2018 ; *Les méthodes alternatives en expérimentation animale, pratiques et éthique*, aux Éditions Quae, 2020.

Pour plus d'informations : [https://www.researchgate.net/profile/Francelyne\\_Marano](https://www.researchgate.net/profile/Francelyne_Marano)



D.R

**Mathilde MERLO** est ingénieure de l'École nationale supérieure de chimie de Rennes depuis 2001 et ingénieure sanitaire de l'École des hautes études de santé publique depuis 2002. Elle a d'abord exercé à la direction générale du Travail au ministère chargé du Travail (2003-2006), puis à la direction de l'Eau et de la biodiversité au ministère chargé

de l'Écologie (2006-2008). Elle rejoint l'Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation (AFSSA, devenue ANSES) en 2008. Elle y exercera dix ans, d'abord en tant que chargée d'études sur les polychlorobiphényles, puis comme cheffe de l'Observatoire des résidus de pesticides à partir de mars 2012, avec un champ de compétence élargi au dispositif de phytopharmacovigilance en 2014. Depuis mars 2019, elle assure la coordination du plan national santé-environnement (PNSE) au sein de la sous-direction de la Prévention des risques liés à l'environnement et à l'alimentation à la direction générale de la Santé.



D.R

**Serge MORAND** est chercheur au CNRS et au CIRAD, et est professeur invité à la Faculté de médecine tropicale de l'Université Mahidol à Bangkok. Il analyse les liens entre changements planétaires globaux, biodiversité, santé et sociétés en Asie du Sud-Est. Écologue et parasitologue de terrain, il a conduit

de nombreuses missions de terrain dans plusieurs pays d'Asie du Sud-Est. Serge Morand s'intéresse plus spécifiquement au rôle de la biodiversité dans la réduction des risques liés aux maladies infectieuses zoonotiques ou encore aux facteurs favorisant l'émergence de la résistance aux antibiotiques aux interfaces environnement, animal sauvage et domestique, et humain. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages sur la conservation de la biodiversité et l'écologie de la santé.



D.R

**Christian MOUGIN** est titulaire d'un DEA et d'un doctorat en agrochimie. Il est directeur de recherche à l'INRAE (Institut national de recherche en agriculture, alimentation et environnement). Sa problématique de recherche concerne l'écotoxicologie des sols et le développement d'outils et de méthodes en biochimie environnementale. Ses activités s'inscrivent aujourd'hui dans le concept « Une seule santé » et dans la relation environnement/santé.



D.R

**Dr Maria P. NEIRA** has been directing the Department of Environment, Climate Change and Health at the World Health Organization, Geneva, Switzerland since September 2005. Throughout her tenure and up until now she has led and advised on policy and management in key areas of environmental health.

Prior to that she served as Under-Secretary of Health and President of the Spanish Food Safety Agency.

From 1993-1998, she was Coordinator of the Global Task Force on Cholera Control.

Dr Maria Neira began her career as a medical coordinator working with refugees in El Salvador and Honduras for Médecins Sans Frontières (Doctors Without Borders). She then spent several years working in different African countries during armed conflicts.

Born in the city of Oviedo, Asturias, Dr Maria Neira is a Spanish national, a medical doctor by training and specialized in Endocrinology and Metabolic Diseases; and Public Health.

Among many distinctions, she has been awarded the Médaille de l'Ordre national du Mérite by the Government of France and received an Extraordinary Woman award by HM Queen Letizia of Spain. In early 2019, she was nominated among the top 100 policy influencers in health and climate change.



D.R

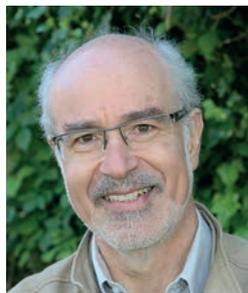
**Jérôme SALOMON** est médecin spécialiste de santé publique. Il est professeur des universités – Praticien hospitalier en maladies infectieuses et tropicales à l'hôpital de Garches, Hôpitaux Universitaires Paris Île-de-France Ouest, Assistance publique – Hôpitaux de Paris (AP-HP). Il enseigne à l'UFR des sciences de la

santé Simone Veil, Université Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), Paris Saclay.

Titulaire d'un doctorat de l'université et d'une habilitation à diriger des recherches en épidémiologie, il est chercheur au sein de l'UMR 1181 (Inserm, Institut Pasteur, UVSQ) et travaille sur les maladies émergentes, les épidémies, la résistance aux antibiotiques et possède une solide expérience de gestion de crises sanitaires.

Il a été nommé, le 8 janvier 2018, directeur général de la Santé au ministère des Solidarités et de la Santé.

Il est membre du comité exécutif de l'OMS.



D.R

**Denis ZMIROU-NAVIER** est professeur honoraire de santé publique de l'Université de Lorraine. Il a dirigé le département Santé-Environnement-Travail et Génie sanitaire de l'École des hautes études en santé publique, Rennes (2010-2017), et a été, durant cette même période, directeur adjoint du centre de recherche Inserm UMR 1085-IRSET

(Institut de recherche en santé-environnement-travail) à Rennes. Il est l'auteur de nombreux articles et ouvrages en épidémiologie environnementale et en évaluation du risque lié à l'environnement, avec un accent particulier mis sur le thème de la pollution atmosphérique et sur les inégalités sociales et territoriales au regard de l'exposition aux risques liés à l'environnement ([http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Zmirou-Navier%20D%22\[Author\]OR%22Zmirou%20D%22\[Author\]](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Zmirou-Navier%20D%22[Author]OR%22Zmirou%20D%22[Author])).

Il a siégé au sein de plusieurs instances d'expertise nationales et de l'Organisation mondiale de la santé. Membre du Haut Conseil de la santé publique et président de la Commission spécialisée des risques liés à l'environnement entre 2009 et 2021, il est actuellement président de la Commission nationale de la déontologie et des alertes en matière de santé publique et d'environnement.