



POLLUTION CHIMIQUE
DE L'ENVIRONNEMENT
ET SANTÉ PUBLIQUE

EXPOSOME ET PRÉVENTION

Avant-propos

La Fondation de l'Académie de Médecine, reconnue d'utilité publique depuis 2013, a pour mission de sensibiliser, prévenir et innover pour permettre à chacun d'être acteur de sa santé et de la protéger au mieux. Elle fédère les experts et agit sur le terrain pour diffuser les connaissances et les bonnes pratiques en santé. Elle encourage la philanthropie en abritant et soutenant des fondations partageant sa vision et ses valeurs.

Dans le cadre de son plan stratégique 2022-2026, la Fondation de l'Académie de Médecine s'investit avec ses experts et ses partenaires sur cinq enjeux prioritaires : Accès à la santé, Vieillesse, Santé des femmes, Alimentation et Environnement.

À l'heure de la surinformation relayée par les réseaux sociaux dont l'exactitude n'est pas garantie, la Fondation de l'Académie de Médecine organise des débats constituant des portes d'entrée à un savoir certifié et accessible. Elle met au service de la société sa capacité unique à réunir les meilleurs experts issus des sphères scientifiques, politiques, économiques, médiatiques et associatives, pour répondre concrètement à ces 5 enjeux prioritaires, avec une garantie de crédibilité et d'éthique reconnue à l'Académie Nationale de Médecine.

Ces débats ont pour objectifs de :

- Créer un lieu d'échange ouvert à tous,
- Éditer un livre blanc pour diffuser ces échanges et sensibiliser le grand public,
- Porter les messages clés aux décideurs politiques lors d'une séance de restitution au Parlement,
- Développer des programmes de prévention et de recherche sur la thématique du débat.

Le sujet de l'exposition humaine aux mélanges de contaminants chimiques est d'une importance sanitaire majeure et se complexifie de jour en jour comme l'illustrent les cas des polluants à effets perturbateurs endocriniens, des métabolites de pesticides ou de la contamination de l'air. Cette pollution est parfois visible, comme dans le cas du smog de grandes mégapoles (Pékin, New Delhi...), ou invisible comme pour la présence de pesticides, de plastifiants ou de solvants dans l'environnement, les aliments ou des objets du quotidien. Les expositions se font chaque jour au domicile, dans les transports, sur les lieux de travail ou de loisirs... Les effets de cette pollution sur la santé (cancers, infertilité, troubles cognitifs, diabète, obésité, troubles respiratoires...) et les impacts économiques associés sont de mieux en mieux quantifiés. Pour l'Union Européenne, le coût annuel de l'impact des perturbateurs endocriniens a été estimé à environ 157 milliards d'euros. La prévention est indispensable surtout aux périodes les plus fragiles de la vie (grossesse, développement, puberté...). Un travail considérable est encore indispensable pour mieux quantifier les risques résultant de la combinaison de la présence des dangers chimiques souvent en mélange, de leurs effets et des expositions des populations. Une très grande ambition visant à mieux évaluer les expositions et quantifier les risques se développe, en particulier au niveau européen dans le cadre des recherches sur l'Exposome au sens de la totalité de l'exposition d'un individu induisant des effets souvent à moyen ou long terme.

Le sujet de l'exposition aux polluants chimiques de l'environnement, des effets sur la santé publique et des stratégies de prévention a fait l'objet de trois grands débats à l'Académie nationale de médecine et d'une séance de restitution et d'échanges à l'Assemblée nationale. L'édition de ce livre blanc est le fruit de ce cycle de débats.



POLLUTION CHIMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT ET SANTÉ PUBLIQUE

EXPOSOME ET PRÉVENTION

GLOSSAIRE



La Fondation de l'Académie de Médecine a édité un glossaire dédié à la facilitation de la compréhension des éléments détaillés dans ce Livre Blanc.

<http://fam.fr/debats-de-la-fam/glossaire-exposome>

CYCLE DE DÉBATS

« Pollution chimique de l'environnement et santé publique »

DÉBAT 1

Risques sanitaires liés à la multiexposition aux polluants chimiques

02/11/2020

Ce premier débat a abordé les définitions, les exemples de perturbateurs endocriniens, les forces et limites des domaines destinés à élaborer la quantification des risques liés aux multi-expositions chimiques (chimie analytique, toxicologie, épidémiologie, analyse des risques, programmes « Exposome »), ainsi que les incertitudes et exigences de gestion à court terme (contraintes d'éthique, de communication, d'information, de formation).

1 / Exposome et dangers

- Hélène Budzinski - Mesurer les polluants chimiques et les expositions
- Fabrice Nesslany - Évaluations des dangers et risques de mélanges
- Cécile Chevrier - Risques sanitaires liés à la multi exposition aux polluants chimiques : Apports et importances de l'épidémiologie

2 / Évaluer les risques et agir pour la prévention sanitaire

- Pr Robert Barouki - Ambition et apports des programmes européens sur l'exposome
- Matthieu Schuler - Évaluer les risques et agir pour la prévention : Apports et défis de la prise en compte de l'exposome pour l'expertise collective
- Véronica Manfredi, Michel Vialay, Pr Emmanuel Hirsch
Table ronde : Agir en association des bases solides de connaissances ou en appliquant les principes de prévention ou précaution ?
- Pr Yves Lévi, Olivier Brousse, Pr Bernard Charpentier - Aspects conclusifs

Visionnez l'intégralité du débat sur notre site :
www.fam.fr/sante-environnement/

DÉBAT 2

Liens entre Exposome et maladies, effets perceptibles et connus sur les populations

26/04/2021

L'exposition des populations aux mélanges de contaminants chimiques notamment par l'air, les aliments, les boissons et des contacts cutanés se produit tout au long de la vie. De grands progrès scientifiques permettent de mieux identifier la nature des agents chimiques et de mieux connaître leurs voies, leurs cibles d'action et leurs effets sur la santé humaine.

Ce débat a approché les niveaux de connaissance sur des impacts sanitaires connus et mesurés au niveau international. Les maladies liées aux perturbateurs endocriniens (cancers hormonaux dépendants, troubles du développement, maladies métaboliques...), les conséquences de la pollution de l'air, les cancers, les syndromes fonctionnels cognitifs et comportementaux liés à des expositions environnementales ont été abordés.

1 / Introduction

- Sébastien Denys - L'estimation des impacts de l'environnement sur la santé : enjeux et finalités

2 / Maladies « hormonodépendantes » et rôle des perturbateurs endocriniens

- Pr Philippe Bouchard - Avant-propos
- Luc Multigner - Chlordécone : un perturbateur endocrinien emblématique
- Pr Claude Jaffiol - Perturbateurs endocriniens et diabète de type II
- Charline Warembourg - Expositions aux contaminants chimiques et santé de l'enfant
- Sylvia Medina - Impacts sur la santé de la pollution de l'air ambiant

3 / Autres cancers et autres expositions environnementales : amiante, rayonnement UV etc.

- Pr Béatrice Fervers - Cancers : étude comparative des causes de cancers en France
- Pr Henri Rochefort - L'influence des perturbateurs endocriniens sur l'incidence des cancers du sein
- Jérôme Foucaud - Environnement et cancer : dispositifs et perspectives à l'INCa
- François Veillerette - Présentation sur les retours de terrains concernant les inquiétudes de riverains exposés par leur environnement agricole à des pulvérisations de pesticides

4 / Conclusion

- Florence Lassarade
- Rapport du Sénat « Santé environnementale : une nouvelle ambition »

Visionnez l'intégralité du débat sur notre site :
www.fam.fr/sante-environnement/

DÉBAT 3

Connaissances et incertitudes : comprendre, interpréter, dialoguer en confiance

24/03/2022

Des 2 premiers débats, il ressort que les progrès accomplis ont permis d'identifier de nombreux agents, des situations et des populations à risques mais des éléments notamment toxicologiques et épidémiologiques sont encore trop limités pour construire parfaitement les politiques de prévention sanitaires et un travail considérable est encore indispensable pour mieux quantifier le risque résultant de la combinaison de la présence d'un danger, de ses effets et des expositions des populations. Au regard des nombreuses inquiétudes face aux informations sur les polluants de notre environnement, les aspects concernant les risques (avérés, suspectés ou supposés), la prise en compte des incertitudes et des limites, la confiance dans les informations scientifiques ont été abordés.

- 1 / Pr Yves Lévi - **Quantifier le risque dans un contexte d'incertitudes**
- 2 / Ludivine Gili - **Que nous apprennent 30 années de baromètre IRSN sur la perception des risques par les français ?**
- 3 / Étienne Klein - **Risque chimique et société**
- 4 / Corinne Lepage - **Exposome chimique et orientations judiciaires**
- 5 / Pr Thierry Meyer - **Biais cognitifs dans la communication des risques et les interventions**
- 6 / Élisabeth Toutut-Picard - **Restaurer la confiance et le dialogue citoyens/décideurs politiques envers les risques en santé-environnementale**

Visionnez l'intégralité du débat sur notre site :
www.fam.fr/sante-environnement/



SÉANCE DE RESTITUTION À L'ASSEMBLÉE NATIONALE

Prévention des risques sanitaires liés à la pollution chimique de l'environnement

14/06/2023

Le cycle de débat organisé par la Fondation de l'Académie de Médecine en collaboration avec Madame la députée Anne-Cécile Violland, présidente du « groupe santé environnement » sur le thème de la multiexposition aux risques chimiques, s'est conclu par une séance de synthèse et d'échange de perspectives sur cet enjeu sanitaire et environnemental majeur intégrant la science, les exigences de gestion préventive, l'appropriation citoyenne et la formation.

- 1 / Anne-Cécile Violland - **Introduction**
- 2 / Pr Robert Barouki - **Exposome : une nécessité, des défis**
- 3 / Christian Heison - **Cas concret d'un élu local**
- 4 / Pr Thierry Meyer - **Informersur les risques et rétablir la confiance**
- 5 / **Table ronde : développement, perspectives, dialogues pour les progrès dans la gestion de risques**
 - Rémy Slama
 - Pr Didier Lepelletier
 - Fabienne Chauvière
 - Sandrine Le Feur

Visionnez l'intégralité du débat sur notre site :
www.fam.fr/sante-environnement/



REMERCIEMENTS À NOS INTERVENANTS

Débats organisés sous la direction du Professeur Yves Levi

/// Pr Robert Barouki*

Directeur de recherche, Inserm UMR-S 1124
Toxicologie Pharmacologie et Signalisation
Cellulaire, Service de Biochimie Hôpital Necker
Enfants malades, Université Paris Cité

/// Pr Philippe Bouchard*

Endocrinologue, Hôpital Foch

/// Hélène Budzinski

Directeur de recherche au CNRS,
Laboratoire LPTC – EPOC- UMR 5805 CNRS -
Université de Bordeaux

/// Pr Bernard Charpentier*

Président de l'Académie nationale de médecine
2021 et Vice-Président de la Fondation
de l'Académie de Médecine (2013-2020)

/// Fabienne Chauvière

Journaliste à France Inter

/// Cécile Chevrier

Directrice de recherche Inserm, co-responsable
de l'équipe « épidémiologie et science »
de l'exposition en santé-environnement,
IRSET-UMR 1085, Rennes

/// Sébastien Denys

Directeur de la direction santé-environnement
travail de l'agence Santé publique France

/// Jean-Marie Dru

Président de la FAM (jusqu'en 2021)

/// Pr Béatrice Fervers

Coordinatrice Département Prévention Cancer
Environnement, Centre Léon Bérard, Lyon

/// Jérôme Foucaud

Responsable du Département Sciences
Humaines et Sociales-Épidémiologie-Santé
Publique, au sein du Pôle recherche de l'INCa

/// Ludivine Gilli

Adjointe au chef du service de la programmation,
de la prospective, des partenariats et de l'appui
à l'innovation, Institut de radioprotection et de
sûreté nucléaire

/// Pr Jean-Pierre Goullé*

Président de l'Académie nationale de médecine
(2023)

/// Christian Heison

Maire de Rumilly, Président de la Communauté
de Communes Rumilly Terre de Savoie

/// Pr Emmanuel Hirsch*

Professeur émérite d'éthique médicale à
l'université Paris-Saclay

/// Pr Claude Jaffiol*

Président de l'Académie nationale de médecine
(2017)

/// Étienne Klein

Physicien, philosophe des sciences, directeur
du laboratoire de recherche sur les sciences
de la matière du commissariat à l'Énergie
atomique et aux Énergies alternatives

/// Florence Lassarade

Sénatrice de la Gironde

/// Sandrine Le Feur

Députée du Finistère

/// Corinne Lepage

Avocate – ancienne Ministre de l'environnement

/// Pr Didier Lepelletier

Président du Haut Conseil Santé Publique

/// Pr Yves Levi*

Professeur émérite Université Paris-Saclay,
Vice-président de la Fondation de l'Académie
de Médecine, Membre des académies nationales
de médecine, de pharmacie et des technologies.

*Membre de l'Académie nationale de médecine

✓ **Veronica Manfredi**

Directrice pour la Qualité de la Vie à la Direction Générale de l'Environnement de la Commission Européenne

✓ **Dr Sylvia Medina**

Coordinatrice des programmes de surveillance de la pollution de l'air et la santé de l'agence Santé publique France

✓ **Pr Thierry Meyer**

Professeur de psychologie sociale, Université Paris Nanterre

✓ **Luc Multigner**

Directeur de recherche Inserm – Institut de recherche en santé, environnement et travail, Rennes

✓ **Fabrice Nessler**

Président de la Société française de toxicologie (2019-2022), Institut Pasteur de Lille

✓ **Pr Henri Rochefort***

Ancien directeur de l'Unité Inserm (U148) Hormones et Cancer

✓ **Matthieu Schuler**

Directeur général délégué à l'Anses en charge du pôle Sciences pour l'expertise

✓ **Rémy Slama**

Directeur de l'Institut Thématique de Santé Publique de l'Inserm

✓ **Élisabeth Toutut-Picard**

Députée de la Haute-Garonne (2017-2022), Ancienne présidente du Groupe Santé Environnement à l'Assemblée nationale

✓ **Pr Patrice Tran Ba Huy***

Président de l'Académie nationale de médecine 2022

✓ **François Veillerette**

Porte-parole de l'association « Générations futures »

✓ **Michel Vialay**

Député des Yvelines (2017-2022) et Commission du développement durable

✓ **Pr Richard Villet***

Secrétaire Général de la Fondation de l'Académie de Médecine

✓ **Anne-Cécile Violland**

Députée de Haute-Savoie, présidente du Groupe Santé Environnement

✓ **Charline Warembourg**

Chargée de recherche en épidémiologie environnementale à l'Institut de Recherche en Santé, Environnement, travail (Irset-Inserm UMR 1085), Rennes

*Membre de l'Académie nationale de médecine





01

DES ENVIRONNEMENTS MULTI-CONTAMINÉS

PAGE 12



02

NE PAS CONFONDRE DANGERS ET RISQUES

PAGE 16



03

IL EST IMPOSSIBLE D'ANALYSER TOUT, PARTOUT ET TOUT LE TEMPS

PAGE 22



04

MESURER LES EFFETS

PAGE 26



05

CONNAÎTRE ET MESURER L'EXPOSOME : UNE AMBITION DE PROGRÈS INDISPENSABLE

PAGE 30



06

PRENDRE EN COMPTE LES INCERTITUDES ET LES LIMITES DE LA CONNAISSANCE

PAGE 34



07

PROGRESSER COLLECTIVEMENT POUR GÉRER UN PROBLÈME COMPLEXE

PAGE 38

A person in a dark jacket is seen from behind, looking out over a city skyline at sunset. The sky is a mix of orange and yellow. A large white '01' is overlaid on the image, with the '0' partially covering the person's head and the '1' extending to the right.

01

DES ENVIRONNEMENTS
MULTI-CONTAMINÉS

Les émissions de produits chimiques dans l'environnement ont toujours existé sur la planète, en rapport avec des causes naturelles (éruptions volcaniques, feux de forêt...) ou à la suite des activités humaines (utilisation des métaux, développements de la chimie, dispersion de déchets...).

Le développement exceptionnel de la chimie moderne, depuis les années 1940-50, a offert à l'humanité une immense quantité de produits et matériaux, inconnus auparavant, qui ont apporté des progrès considérables et des développements dans tous les domaines, y compris pour protéger et améliorer la santé des populations.

Cependant, la production industrielle de produits de synthèse (pesticides, plastifiants, médicaments...) ainsi que l'extraction de matières premières naturelles (métaux, gaz, hydrocarbures...) et leur transformation sont devenus inévitablement générateurs de grandes quantités de rejets chimiques dans l'environnement.

La diversité chimique des polluants de l'environnement est donc considérable.

À l'échelle mondiale, le registre du « Chemical Abstracts Service » (CAS) compte plus de 142 millions de références chimiques. Environ 40 000 à 60 000 produits chimiques industriels qui seraient commercialisés dans le monde, dont 6 000 représentant plus de 99 % du volume total¹.

Les grandes familles de polluants sont classées selon la catégorie de leur usage (pesticides, plastifiants, détergents, médicaments, engrais, solvants...), selon leurs structures chimiques (hydrocarbures, métaux, molécules de synthèse...) ou selon certaines de leurs propriétés (acides, colorant, odorant...).

Ces produits dispersés dans la nature volontairement ou non vont, en fonction de leurs caractéristiques chimiques, rester présents (persister) plus ou moins longtemps dans l'eau, les sols ou l'air. Certains sont indestructibles et d'autres sont, plus ou moins rapidement, dégradés par des microorganismes (bactéries, champignons...), par la chaleur, par les rayonnements ultra-violet solaires ou par réaction avec l'eau (hydrolyse).

Ces dégradations réduisent leur présence dans l'environnement mais génèrent des produits dérivés parfois aussi nocifs et polluants. La liste de ces produits de dégradation, qui n'étaient que très rarement recherchés dans l'environnement, voire méconnus jusqu'à présent, commence à s'allonger de manière importante.

Concernant ses déchets, l'humain a depuis toujours :

- déposé et enfoui dans le sol d'où ils diffusent aussi vers les eaux (décharges, stockages...),
- utilisé l'eau pour nettoyer et les évacuer au loin de ses lieux de vie (égouts, déversements en mer...),
- brûlé en envoyant des produits de combustion dans l'air dont certains très toxiques,
- évacué dans l'atmosphère (gaz de combustion, solvants...).

Toute cette dispersion des déchets liquides, gazeux ou solides pollue chaque jour la planète.

Des produits ont été inventés pour être très résistants à la dégradation et sont classés dans la famille des polluants organiques persistants (POP)², certains étant désormais interdits d'usage par la Convention de Stockholm³.

Tous les environnements sont concernés :

Les compartiments généraux (eaux, air, sols) ainsi que les environnements intérieurs des structures bâties (habitats, lieux de travail et de loisirs, transports...). La pollution chimique diffuse librement entre les compartiments et, par conséquence, contamine les aliments d'origine végétale ou animale qui sont également porteurs. S'y ajoutent les objets de la vie quotidienne (matériaux plastiques, colles, peintures, moteurs thermiques et combustions...).

La pression qu'exerce cette pollution chimique est qualifiée de « globale » car elle ne connaît pas de frontières et diffuse dans l'atmosphère, se déplace des rivières vers les océans, des sols vers les eaux souterraines et imprègne les animaux ou végétaux. Les milieux urbains, les sites industriels, les zones agricoles sont particulièrement émetteurs de pollutions et concernés.

¹ ONU - Programme pour l'environnement (2019) Perspectives mondiales en matière de produits chimiques II, des séquelles du passé à des solutions innovantes. 88 p., ISBN : 978-92-807-3745-5

² <https://www.ecologie.gouv.fr/polluants-organiques-persistants-pop>

³ Convention de Stockholm (2001). <http://chm.pops.int/>

Cette pollution globale, de notre environnement le plus proche jusqu'à celui de l'étendue planétaire, des déclinaisons locales ou régionales avec leurs spécificités aux situations internationales, constitue **une pression chimique permanente sur la biodiversité, parmi laquelle se trouve l'humain.**

Les structures chimiques des produits conditionnent plusieurs éléments importants en termes d'effets sur les organismes vivants : la diffusion dans l'organisme par contact (voie cutanéomuqueuse), par inhalation (voie respiratoire) ou par ingestion (voie orale). La peau et les muqueuses, qui sont une importante protection contre les agressions extérieures, sont

parfois franchies. Les structures chimiques des composés conditionnent aussi le type et l'intensité des effets toxiques et leur possible neutralisation et leur élimination par le corps.

Une partie de ces pollutions est à l'origine des maladies étudiées dans le cadre du domaine de la santé environnementale. Le bureau européen de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime qu'en 2019 en Europe, 569 000 morts prématurées sont attribuables à la pollution de l'air extérieur et 154 000 à la pollution de l'air intérieur. 269 500 morts sont attribuables à certains produits chimiques de l'environnement⁴.

- ▶ La chimie ne doit pas être systématiquement dénigrée : toute la structure concrète de l'univers est chimique, y compris le corps humain lui-même avec tous les composants biochimiques de son fonctionnement. La chimie de synthèse apporte des éléments d'importance exceptionnelle ayant permis d'augmenter l'espérance de vie, de soigner, de protéger, de nourrir... C'est une partie de la production chimique industrielle, ou l'usage et la transformation d'éléments naturels, qui est en interaction avec la santé de l'humain et des écosystèmes.
- ▶ Chaque activité humaine (transports, production industrielle et agricole, énergie ...) est associée à la libération de déchets chimiques solides, gazeux ou liquides.
- ▶ Tout au long de sa vie, l'humain est au contact de mélanges de faibles doses de contaminants chimiques, partout et en permanence : dans les produits courants (aliments, boissons, objets, produits d'entretien ou de travail...) ou dans les compartiments de l'environnement quotidien (air de l'habitat et des transports, air extérieur, eaux, sols).
- ▶ L'environnement possède une compétence limitée à la (bio)dégradation permettant d'éliminer une grande part de cette pollution mais pas toute et notamment des toxiques pour la biodiversité et les produits inventés justement pour être résistants.
- ▶ Progresser dans la connaissance de la multi-pollution chimique de l'environnement est une nécessité.
- ▶ Avec lucidité, il est urgent de mieux prendre conscience et de se préoccuper des conséquences négatives de la présence durable et très complexe de la diversité de la pollution chimique sur la planète et d'agir pour la réduire.



La recherche sur les exposomes est d'une grande pertinence en apport aux efforts de lutte contre la pollution. Le cadre juridique européen doit mieux évaluer les effets liés à l'exposition notamment aux mélanges de produits chimiques.

Véronica Manfredi,

Directrice pour la Qualité de la Vie à la Direction Générale de l'Environnement de la Commission Européenne

⁴ OMS (2023) A healthy environment in the WHO European Region: why it matters and what steps we can take to improve health. WHO/EURO:2023-7588-47355-69518. www.who.int/europe/health-topics/environmental-health



Les progrès accomplis dans les méthodes d'analyse ont permis de mettre en évidence un nombre croissant de composés révélant la généralisation de la contamination de l'environnement.

Ces méthodes visent à caractériser des mélanges de plus en plus complexes et sont capables de mesurer de très faibles concentrations sans pour autant être capables de tout caractériser.

Il faut poursuivre les efforts actuels pour révéler les produits de transformation des polluants et augmenter la représentativité des analyses face à la variabilité des pollutions en augmentant le nombre d'analyses grâce à l'automatisation.

Les analyses chimiques ne sont pas en mesure de prédire les effets biologiques notamment en raison des effets à long terme, mais en couplant des essais biologiques (sur cellules ou sur bactéries) avec les méthodes d'analyses, il est possible de mieux isoler et identifier les composés présentant les effets les plus significatifs.

Hélène Budzinski,

Directeur de recherche au CNRS,
Laboratoire LPTC – EPOC- UMR 5805 CNRS - Université de Bordeaux



A close-up photograph showing a hand holding tweezers that are picking up a tiny, bright green microplastic particle. The background is a dark surface covered with a large amount of colorful plastic debris, including small pieces of orange, blue, purple, and white plastic. A large, white, stylized number '2' is overlaid on the image, with the tweezers and the green particle positioned within the '0' of the number.

2

NE PAS CONFONDRE
DANGERS ET RISQUES

L'être humain n'étant qu'une des composantes de la vie sur la terre, les liens sont fondamentaux entre la vie des végétaux, des humains, des autres animaux et celle de l'environnement dans son sens général. Il s'agit du concept « Une seule santé (One health) », de plus en plus envisagé dans les politiques publiques⁵.

La présence d'un élément chimique dans l'environnement au contact avec un organisme vivant ne signifie pas nécessairement et systématiquement l'apparition d'un effet indésirable.

Il est donc indispensable d'évaluer si des situations de contact entre le corps humain et des dangers chimiques sont susceptibles d'induire des risques pour la santé publique. C'est pourquoi l'expertise scientifique s'est développée pour permettre la caractérisation et l'évaluation quantitative des risques.

Les deux notions très importantes de « danger » et de « risque » ne doivent pas être confondues.

Le danger est l'agent chimique lui-même associé à ses caractéristiques (nature, structure, solubilité dans l'eau ou les solvants, stabilité...) et aux effets qu'il est susceptible d'induire sur un organisme vivant. Ces caractéristiques et ces effets sont évalués en laboratoire.

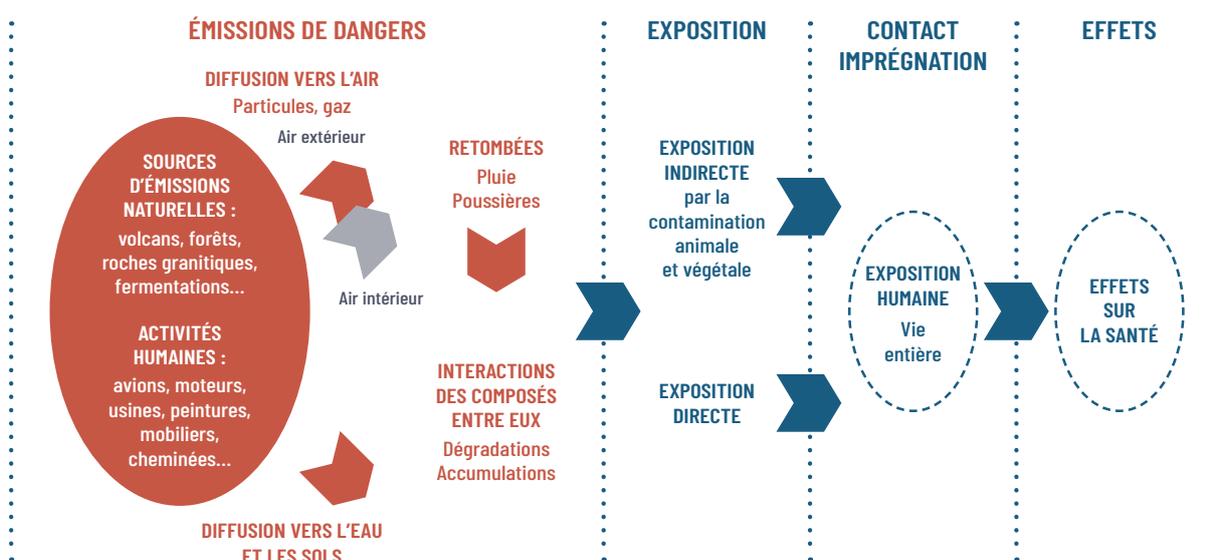
Le risque pour la santé **est la probabilité calculée** que l'exposition à un (ou plusieurs) danger(s) induit un trouble ou une maladie pour l'humain. Le risque est calculé par des groupes d'experts puis qualifié comme « négligeable, faible, modéré, important ou très important ». Une molécule, ou un mélange de composants chimiques, peuvent être inertes et sans effets (par exemple : le gaz azote), être favorables à la santé (calcium, antibiotique...), être toxiques (arsenic, benzène...) ou simplement être indésirables sans nécessairement être toxiques (par exemple en induisant une mauvaise odeur).

L'exposition d'un individu, depuis sa conception jusqu'à sa mort, se complète en fonction de son alimentation, de tous les lieux fréquentés, de son (ses) métier(s), de ses activités et de ses comportements individuels (tabagisme/cannabisme...).

Le calcul du risque tient compte des effets liés aux expositions aux dangers, des vulnérabilités particulières éventuelles des individus, des doses et de la durée des expositions. Une faible exposition de courte durée peut être sans effets mais si la durée augmente, des effets peuvent alors se manifester. Les effets peuvent apparaître assez rapidement (allergie) ou très longtemps après des expositions (cancers).

Figure 1

De l'émission de polluants aux effets sur la santé humaine : un cheminement permanent pour l'humain dans ses environnements



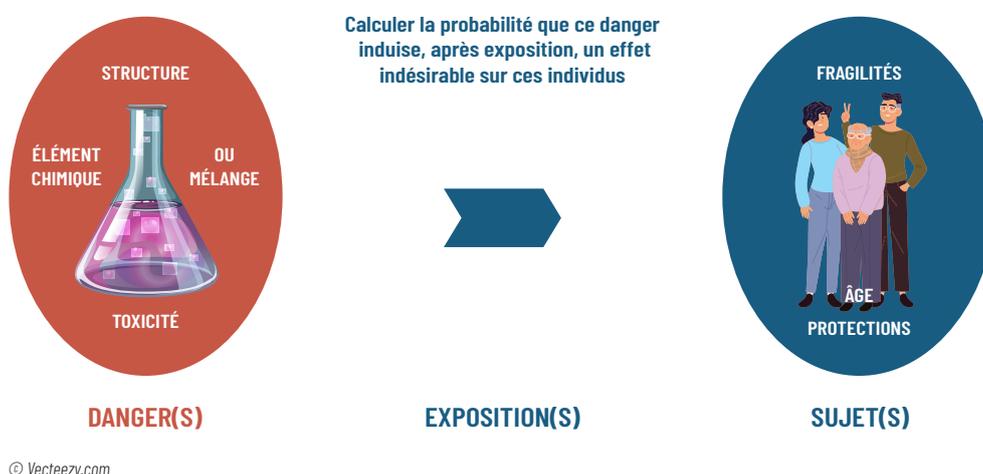
⁵ <https://www.anses.fr/fr/content/one-health-une-seule-santé-pour-les-êtres-vivants-et-les-écosystèmes>

Pour protéger la santé des populations, il faut quantifier au mieux les risques afin d'agir pour les réduire, les rendre insignifiants ou les supprimer. Il faut donc émettre des réglementations avec des normes et valeurs limites nationales ou internationales qui sont définies et appliquées sur la base de données scientifiques. En absence de données suffisantes, des valeurs dites « de gestion » sont fixées par des groupes d'experts nationaux ou internationaux.

L'expertise visant à protéger la santé humaine intègre donc, selon une démarche bien codifiée, des éléments précis pour quantifier les risques pour la santé humaine et s'applique aux agents chimiques, physiques et biologiques. Ces expertises sont réalisées au sein d'agences publiques de plusieurs pays réunissant des groupes d'experts. En France, c'est l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) qui effectue la plupart de ces missions.

Figure 2

La démarche globale de la quantification des risques en santé environnement



© Vecteezy.com

La démarche de calcul des risques se déroule de la manière suivante :

1 / La première action consiste à recenser et bien **connaître le danger** ce qui intègre l'identité de l'agent chimique (une molécule, un mélange) ainsi que ses éventuels effets. Il s'agit de connaître les produits chimiques, leur structure, leurs caractéristiques chimiques mais aussi les effets biologiques qu'ils peuvent induire lorsqu'ils sont au contact et intégrés dans l'organisme. Certains peuvent présenter plusieurs effets comme, par exemple, dans le cas d'un minéral qui peut être à la fois radioactif et présenter également une action toxique pour le fonctionnement d'un organe. Dans ce cas, l'effet jugé le plus critique est choisi et sert à définir les valeurs de limite de sécurité les plus faibles afin de protéger le plus possible la santé publique. Ces effets sont, en général, mesurés en laboratoire chez l'animal.

2 / Il faut ensuite mesurer la relation entre la concentration (ou la dose) et l'effet. Tout élément chimique est susceptible, selon la dose, d'induire

des effets favorables ou défavorables à la santé. Par exemple, le sucre consommé à faible dose est une source d'énergie mais, consommé à forte dose et pendant de longues périodes, conduit à un excès de poids et contribue à des maladies métaboliques. Autre exemple, une trop faible consommation de vitamines est préjudiciable à la santé. Il existe donc des doses favorables ou défavorables selon le produit.

Des **essais de toxicité** sont réalisés selon des conditions très rigoureuses sur des cellules, des bactéries ou des animaux (études toxicologiques) afin de permettre de fixer ces seuils. Pour de nombreux composés chimiques, il est possible de déterminer une valeur seuil d'exposition quotidienne en dessous de laquelle les expertises internationales confirment une absence d'effet significatif. Pour d'autres, et en particulier les produits cancérigènes, calculer ce seuil est impossible car des effets se produisent à très faibles doses souvent en raison d'une longue durée d'exposition.

3 / Le troisième élément important est la **mesure des expositions** des individus ou des populations. Pour cela, des analyses sont réalisées sur des prélèvements (aliments, air, eau...) liés à la vie des sujets concernés. Par exemple, pour des analyses d'air, des dispositifs sont installés dans des pièces ou portés accrochés aux vêtements pendant une ou plusieurs journées, permettant d'accumuler les contaminants pour ensuite les analyser. Cette observation des expositions, la plus réaliste possible, permet de calculer au mieux les doses d'exposition pendant une période donnée.

4 / Si tous ces éléments sont réunis et les données d'une qualité indiscutable, l'expertise peut alors **calculer un risque**, c'est-à-dire **une probabilité d'impact sanitaire**, pour un danger donné, suite à une exposition donnée, pendant un temps précisé et pour une population définie (population générale, femmes enceintes, personnes âgées, nourrissons, enfants).

Les mesures de gestion des risques sont alors engagées par les décideurs sur la base des évaluations quantitatives des risques (normes de qualité ou d'exposition, interdictions de mise sur le marché, réduction des émissions, protection des travailleurs...).

Si l'évaluation est impossible faute de données suffisantes ou jugées de trop mauvaise qualité par le groupe d'expertise, les décisions de gestion se feront suivant des orientations de précaution ou de prévention.

- ▶ La présence d'un danger ne signifie pas systématiquement l'existence d'un risque.
- ▶ Des progrès ont été accomplis pour limiter la mise sur le marché de produits aux risques très significatifs, mais le niveau est très insuffisant et les réglementations trop hétérogènes d'un pays à l'autre.
- ▶ L'évaluation quantitative des risques sanitaires en santé environnement (EQRS) par des agences reposant sur des expertises collectives indépendantes nationales et internationales sur la base des données scientifiques validées est la seule voie objective et indispensable permettant de guider les décisions de gestion.
- ▶ C'est en développant de manière significative l'acquisition des données (toxicologie, identification et concentration des polluants dans l'environnement, exposition réelle des populations) que l'expertise améliore ses évaluations de risques pour aider aux décisions de gestion visant à protéger la santé des populations.
- ▶ Ces notions de dangers et de risques doivent être enseignées à l'école et expliquées au plus grand nombre car elles sont fondamentales pour développer la prévention en santé, modifier à juste titre les situations à risques, savoir prendre conseil auprès des instances compétentes et éviter les messages trompeurs ou faux.
- ▶ De nombreuses informations existent sur les sites des agences sanitaires nationales (Anses) ou internationales (Centre international de recherche sur le cancer-CIRC, Santé Canada, Institut national de la santé publique et de l'environnement des Pays-Bas-RIVM, Agence de l'environnement des États-Unis-USEPA...).



Plusieurs éléments sont des déterminants de la santé :

- ▀ L'accumulation dans le temps des expositions aux dangers et le caractère différé de l'apparition de certains effets sur la santé (notamment suite aux expositions chroniques),
- ▀ La prise en compte de la « fenêtre d'exposition » : les mêmes expositions à des dangers ne produisent pas les mêmes effets suivant la période de vie où l'être humain est exposé,
- ▀ Le cumul des expositions externes, aussi bien en termes de dangers (physiques, chimiques, microbiologiques), que de voies d'exposition (ingestion, respiration, contact...) conduisant à une exposition interne de différents organes et systèmes biologiques,

- ▀ L'interaction entre ces dangers dans l'activation de voies de réponse adverse au niveau cellulaire puis des organes conduisant à l'expression de maladies,
- ▀ L'influence des facteurs psycho-sociaux en tant que déterminant des motifs et des trajectoires d'exposition.



Estimer les impacts c'est résoudre un puzzle dont les pièces principales sont la connaissance de l'exposition des populations aux nuisances, la mesure des relations entre la dose d'un toxique et la réponse biologique et la connaissance des risques de maladies. Ceci exige de fonctionner en mode collaboratif entre les disciplines de la toxicologie, l'expologie et l'épidémiologie.

Sébastien Denys,

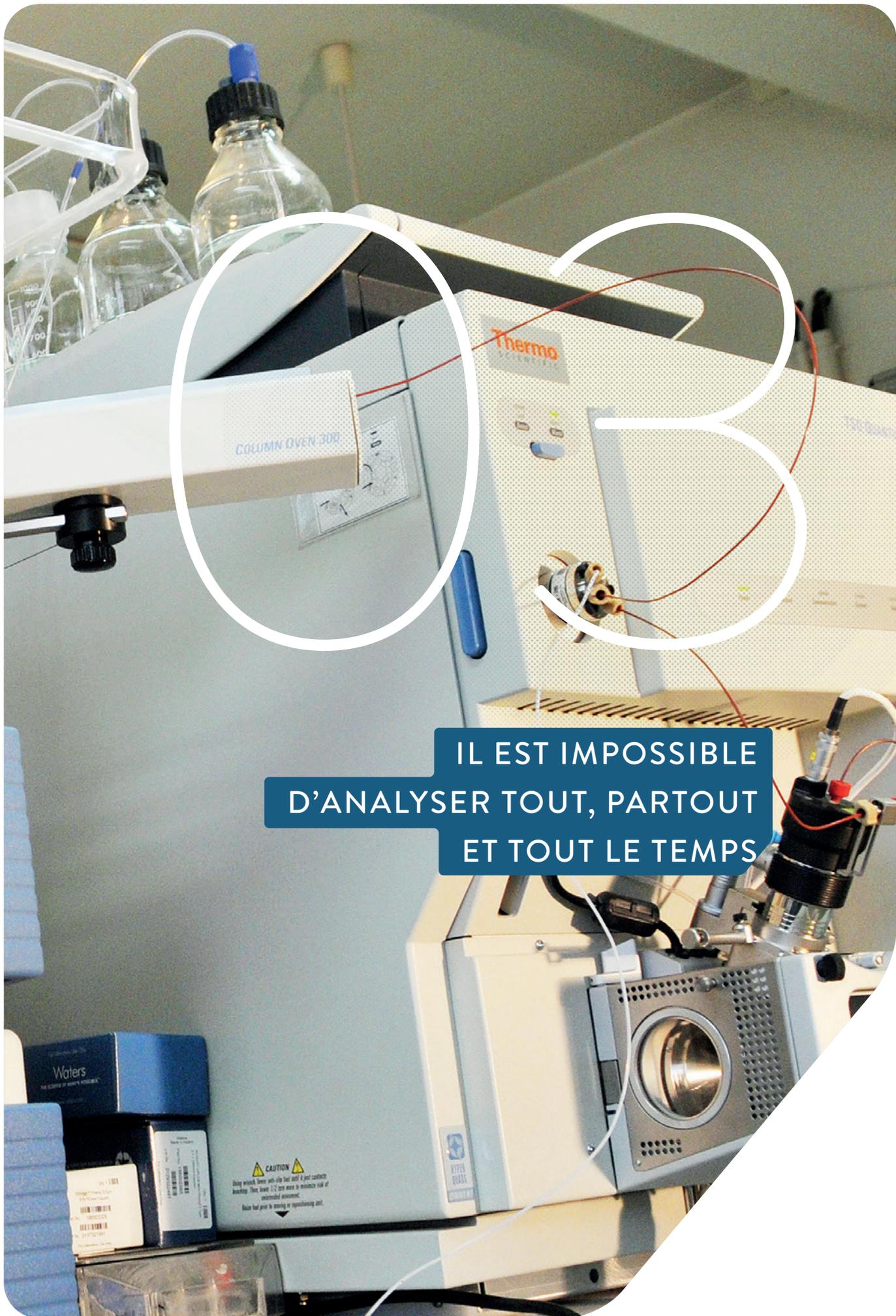
Directeur de la direction santé-environnement travail
de l'agence Santé publique France



La pollution de l'air est classée par l'OMS 4^e facteur de risque de mortalité dans le monde après l'hypertension, le tabagisme et les risques alimentaires, et Santé publique France a évalué à près de 40 000 décès annuels attribuables en France. La pollution par les particules fines, par une action pro-inflammatoire et de stress oxydatif, induit, entre autres, des maladies respiratoires et cardiovasculaires ainsi que des cancers du poumon et des impacts au niveau neurologique. Une réduction de la mortalité attribuable a été observée simultanément à la baisse de pollution de l'air constatée pendant le confinement du printemps 2020 lié à la crise COVID.

Sylvia Medina,

Coordinatrice des programmes de surveillance
de la pollution de l'air et la santé de l'agence Santé publique France



IL EST IMPOSSIBLE
D'ANALYSER TOUT, PARTOUT
ET TOUT LE TEMPS

Connaître la nature de tous les polluants, leurs concentrations dans les différents milieux environnementaux au contact des individus chaque jour serait indispensable pour calculer les risques et guider les décisions de gestion, mais la tâche est immense et trop coûteuse. Différentes stratégies sont donc élaborées permettant d'approcher au mieux, et à un coût acceptable, la connaissance des niveaux d'exposition aux polluants chimiques.

La connaissance de la diversité de la pollution chimique de l'environnement s'est développée avec l'invention, puis les perfectionnements, de méthodes d'analyse de plus en plus sensibles et précises utilisées par les chercheurs et les laboratoires de contrôle. Ces impressionnants progrès, accomplis les vingt dernières années, ont permis d'augmenter considérablement la connaissance du nombre et de la diversité des polluants détectés dans l'air, dans l'eau, dans les sols ou dans les aliments animaux ou végétaux. La liste est devenue très importante et couvre une très grande diversité de structures chimiques. Des analyses sont maintenant réalisées en ciblant des polluants précis mais aussi en effectuant de larges recherches sans a priori pour détecter la plus large gamme de contaminants.

De plus, tous ces polluants se retrouvent sous forme de mélanges plus ou moins complexes qu'il faut détecter et quantifier au sein de matrices souvent très difficiles à analyser comme des eaux d'égout, des sols ou des tissus animaux ou végétaux.

Cette aggravation continue de la carte des dangers présents fait prendre conscience de leur vaste diversité et de leur présence dite « ubiquitaire », c'est-à-dire une quasi-omniprésence dans l'environnement avec des variations selon les lieux et les périodes.

Les méthodes d'analyses, malgré leurs progrès exceptionnels, ne peuvent pas tout détecter facilement. C'est pourquoi, certains polluants n'ont été découverts que récemment car ils étaient indétectables avec les méthodes disponibles auparavant. Ils entrent dans la catégorie des « polluants émergents ».

La notion de polluants « émergents »

Certains polluants sont connus et analysés depuis très longtemps et d'autres sont qualifiés d'émergents car ils n'ont été découverts et étudiés que depuis peu d'années. Ceci accentue l'inquiétude générale au regard de l'augmentation de la liste des dangers à surveiller et des effets indésirables potentiels. Plusieurs causes expliquent ces récentes découvertes :

- ▶ les polluants étaient présents depuis longtemps dans l'environnement mais n'étaient pas recherchés auparavant par absence d'intérêt ou parce que personne n'y avait pensé,
- ▶ ils étaient présents mais les méthodes d'analyse n'étaient pas assez modernes ou sensibles pour pouvoir les détecter malgré les recherches effectuées,
- ▶ les produits à l'origine de la pollution sont arrivés sur le marché assez récemment ou leurs utilisations ont considérablement augmenté récemment,
- ▶ la concentration de certains de ces polluants, et notamment des produits issus de leur dégradation, a augmenté progressivement au cours du temps pour devenir suffisamment importante et permettre leur détection.

Il s'agit notamment de résidus de médicaments (paracétamol, antibiotiques...), de plastifiants (bisphenol A, phtalates...), de produits de dégradation de pesticides (métabolites), d'ignifugeants (polybromés...) ou d'imperméabilisants (per- et polyfluoroalkyles - PFAS).

La liste ne cesse de s'allonger.

Les concentrations en polluants sont élevées dans les cas de pollutions accidentelles massives ou d'émissions de déchets liquides ou gazeux non épurés qui vont ensuite diffuser et se diluer dans l'environnement. Doser les fortes concentrations est plus aisé.

Dans le cadre de la pollution générale, il s'agit de faibles traces de polluants avec des concentrations qui varient notamment selon :

- ▀ les périodes d'usage (ex. : épandage de pesticides au printemps et en automne...),
- ▀ les épisodes pluvieux qui lessivent les surfaces polluées (toitures, rues, végétaux traités aux pesticides...),
- ▀ les niveaux d'activités des populations (augmentation de la fréquentation saisonnière dans les lieux de tourisme et de vacances...).

Les dosages de faibles ou très faibles concentrations exigent alors des précautions importantes et des instrumentations de haute qualité dans un environnement de laboratoire garantissant la fiabilité des mesures (assurance qualité).

De très nombreuses données existent décrivant ces pollutions des différents compartiments de l'environnement. Elles ont progressivement confirmé, et fait prendre conscience, d'une pollution générale et globale de la planète par certains polluants et notamment les plus persistants. Des cartes décrivent, au niveau mondial, la grave étendue des problèmes. Toutefois, ces données sont encore très incomplètes selon les pays, les régions ou les types de matrices analysées.

Compte tenu des dizaines de milliers de composés chimiques existant sur le marché et entrant dans la composition des très nombreux produits et matériaux de la vie courante, **il est quasiment impossible de connaître la totalité des polluants auxquels les humains sont exposés chaque jour** dans toutes leurs activités et lieux fréquentés.

Si la pollution des eaux est assez bien décrite car très surveillée, de nombreuses inconnues subsistent sur la pollution complète de l'air, des sols et des aliments notamment par les polluants dits « émergents ».

Pourtant, il est d'une grande importance de disposer du même niveau de connaissance pour tous ces éléments, afin de calculer avec précision la part respective de chacun dans les expositions de l'humain. Dans ses études sur l'alimentation des Français, l'Agence de sécurité sanitaire Anses montre que les expositions aux pesticides ingérés proviennent à plus de 90 % des aliments et pour moins de 5 % de l'eau de boisson⁶.

Pour effectuer une campagne d'analyse, les laboratoires de recherche ou de contrôle se fixent un objectif (nature de la matrice à analyser, liste des contaminants à rechercher...). Une stratégie d'échantillonnage est ensuite programmée en fonction des moyens financiers disponibles conditionnant le nombre d'échantillons, le nombre de campagnes de prélèvements et de mesure, les périodes de prélèvement, avant de procéder aux analyses.

Il est indispensable que ces préalables soient menés avec une grande rigueur faute de quoi, les résultats ne sont pas statistiquement valables ni interprétables. Ce point est très important car il n'est pas possible, ni convenable, de raisonner sur la base d'un nombre trop faible de données ou un échantillonnage mal réalisé et non représentatif pour évaluer les risques pour la santé de l'humain. De mauvaises conditions de prélèvement peuvent biaiser le résultat, par exemple en prélevant au mauvais endroit ou à une mauvaise période.

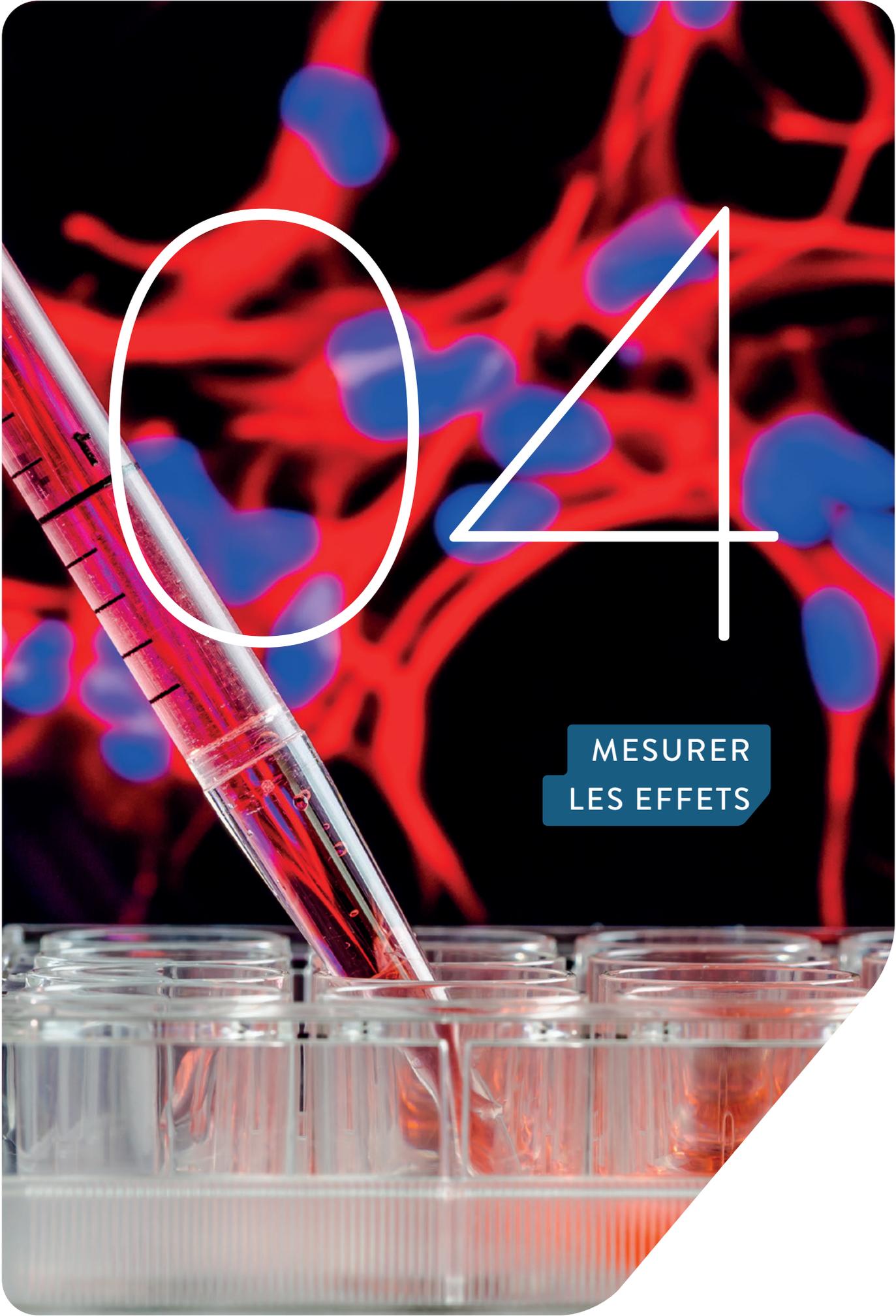
⁶ <https://www.anses.fr/fr/system/files/GRP-Ra-PesticidesEau.pdf>

- ▶ Grâce aux progrès accomplis, les laboratoires sont en mesure de réaliser des analyses de très faibles traces d'une large gamme de polluants dans l'environnement et dans les prélèvements biologiques (sang, cheveux, ongles...).
- ▶ Les données obtenues ont considérablement augmenté la connaissance sur la diversité et l'intensité de la pollution et permet, sous réserve d'un échantillonnage adapté, représentatif et rigoureux et d'analyses réalisées dans des conditions de garantie de fiabilité, de mieux connaître l'exposition aux polluants et leur présence dans les organismes.
- ▶ Toutefois, toute la pollution n'est pas encore analysable : une partie des contaminants n'est pas connue, ni encore accessible.
- ▶ Il est indispensable de quantifier l'attribution respective de chaque source d'exposition (air, aliments, boissons...) aux polluants chimiques de l'humain pour mieux orienter les actions de prévention ou de gestion.
- ▶ Une étude de contamination des milieux ou des individus doit comporter un plan d'échantillonnage garantissant la représentativité et un nombre de données qui permettent un traitement objectif et statistique. Aucun raisonnement ne doit se faire sur la base d'un nombre d'échantillons trop faible et non représentatif de la réalité des expositions.
- ▶ Le développement de la connaissance de la diversité des contaminants de l'environnement est indispensable et doit être considérée comme une aide à la mise en œuvre de procédures de prévention.



04

MESURER
LES EFFETS



Prendre connaissance de la présence d'une liste de polluants dans un échantillon d'air ou d'aliments soulève avec logique une grande inquiétude et pose la question légitime de la nature des effets pouvant se produire et donc du risque associé.

Dans la démarche de calcul des risques, la mesure des effets biologiques et des relations entre la concentration (ou la dose) et les effets sur les organismes sont d'une très grande importance. Les cibles d'action des produits chimiques sont multiples et notamment le patrimoine génétique (ADN), le système hormonal (glandes endocrines produisant les hormones, transport sanguin des hormones, récepteurs aux hormones...) et d'autres éléments du fonctionnement cellulaire (respiration, multiplication, oxydation...) et donc de tout l'organisme.

Les effets sur la santé peuvent être observables très rapidement lorsque les doses sont importantes en cas d'accident mais, dans la majorité des cas, l'exposition à des contaminants de l'environnement se produit à de faibles concentrations et les effets, lorsqu'ils existent, sont souvent non perceptibles avant une longue période rendant très difficile le constat du lien entre le danger et l'effet.

Il s'agit donc d'un défi permanent auquel est confrontée la toxicologie pour arriver à développer et combiner des essais biologiques capables de prédire les effets et de pouvoir en extrapoler les résultats à l'humain. Lorsque le polluant, ou le mélange de polluants, est placé au contact de cellules (essais *in vitro*) ou d'organismes entiers (essais *in vivo*), les effets significatifs observés constituent des signaux qui sont utilisés pour calculer les doses limites visant à protéger la santé. Il faut que les modèles cellulaires (cellules animales, bactéries...) ou les organismes employés (souris, poissons...) soient adaptés au type d'effet à mesurer, faute de quoi rien ne sera observé.

Les essais *in vitro* (sur cellules, bactéries ou organes isolés) permettent d'obtenir des résultats assez rapides avec des coûts réduits, mais ils ne peuvent refléter parfaitement ce qui se passe dans un organisme et à plus forte raison en population générale. Les essais sur des organismes vivants permettent de constater les effets du métabolisme complet sur les toxiques testés. Ils sont toutefois plus longs, plus onéreux et réservés, par éthique, aux situations indispensables.

La relation dose-effet

Pour certifier qu'un danger chimique est responsable d'un effet et en mesurer l'importance, il est indispensable de vérifier la relation entre la concentration du produit et l'intensité des effets observés dans un essai biologique. Ainsi, plus la concentration augmente, donc la dose appliquée, plus l'effet doit être important pouvant à l'extrême conduire à la mort. À l'inverse, aux faibles concentrations, une absence d'effet peut être mesurable.

C'est ainsi, suite à des essais *in vitro* ou *in vivo*, que s'observent des doses sans effets observables en dessous desquelles il est possible, en ajoutant un coefficient de sécurité, de calculer et fixer les valeurs limites de résidus dans l'environnement permettant de protéger la santé des populations.

Pour certains contaminants (cancérogènes, radioéléments...), il n'est pas considéré de doses sans effets.

Pour d'autres, et notamment quelques perturbateurs endocriniens, des relations doses-réponses non linéaires sont observées aux très faibles doses rendant plus complexes les décisions de gestion.



Il faut intégrer la notion de mélange, coordonner les recommandations de nutrition et de toxicologie et, pour chaque réglementation, considérer l'exposome global comme source d'interactions ou de biais.

Pr. Robert Barouki,

Directeur de recherche, Inserm UMR-S 1124 Toxicologie Pharmacologie et Signalisation Cellulaire,
Service de Biochimie Hôpital Necker Enfants malades, Université Paris Cité,
Membre correspondant de l'académie nationale de médecine

Pour une molécule ou un composé donné, les études de toxicologie *in vitro* ou *in vivo* permettent d'identifier les cibles et les fonctionnements perturbés. Ces études sont souvent longues et coûteuses. Elles sont obligatoires, notamment en Europe, avant l'autorisation de mise sur le marché de nouveaux médicaments et, plus récemment, de nouveaux produits chimiques. Il s'agit de la réglementation européenne Reach (Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques) qui vise à n'autoriser la mise sur le marché que des produits dont les risques pour la santé publique sont jugés négligeables. Toutefois, malgré son intérêt, la mise en œuvre de ce programme est limitée par le manque de données, des moyens limités, des diversités d'évaluation selon les pays, le très grand nombre de composés chimiques à évaluer...

L'évaluation toxicologique devient extrêmement complexe lorsqu'il s'agit d'examiner les effets des mélanges de polluants en très faibles concentrations individuelles. Certains présentent des effets qui s'associent et qui peuvent s'additionner si les cibles sont les mêmes. La pollution de l'environnement étant le plus généralement constituée de mélanges, l'enjeu de l'évaluation de leurs effets combinés est un défi majeur pour la science qu'il importe de relever avec toute l'ambition nécessaire.

Les effets indésirables peuvent se révéler sur un organisme un très long délai après les expositions. Ceci constitue un défi supplémentaire que doit aussi relever l'épidémiologie qui étudie les événements de santé et leurs causes sur les humains. La toxicologie, par des expériences en laboratoire, tente d'estimer au mieux les effets à moyen ou long terme sur l'humain. L'épidémiologie permet d'observer des effets à l'échelle des populations mais est confrontée à de grandes difficultés pour établir le lien avec les multiples expositions intervenues au cours de la vie des sujets étudiés.

Une situation peut suggérer des risques pour la santé comme habiter près d'une décharge d'ordures ménagères, d'une zone industrielle ou d'une station-service mais cette notion de relation (voire de corrélation) n'est pas suffisante et doit être vérifiée et validée afin de procéder aux mesures de protection et de prévention. Il faut donc des études

et expertises qui définissent la causalité, c'est-à-dire le lien démontré entre l'exposition à un (ou plusieurs) danger(s) et les effets de santé déplorés (par exemple la présence de concentrations élevées de fibres d'amiante dans l'air et les cas de cancers de la plèvre).

L'épidémiologie est un domaine scientifique qui étudie sur les populations la fréquence et la répartition des problèmes de santé dans le temps et dans l'espace, ainsi que le rôle des facteurs qui les déterminent. Elle réalise des études sur des groupes choisis (femmes enceintes, habitants d'une ville, riverains de domaines agricoles...) ou des populations entières en observant les états de santé et les très nombreux éléments pouvant les influencer. Sont parfois analysés, selon des protocoles rigoureux, des échantillons prélevés sur les sujets étudiés (sang, urine, cheveux...) pour mesurer l'imprégnation, c'est-à-dire la présence des polluants dans le corps. En France, ces recherches et études sont effectuées par de nombreuses équipes parmi lesquelles des centres universitaires associées à l'Inserm ou par l'agence Santé publique France. De grandes études permettent de mieux connaître les expositions des populations comme, à titre d'exemples en France l'étude Esteban (Étude de Santé sur l'Environnement, la Biosurveillance, l'Activité physique et la Nutrition⁷). Cette étude nationale de santé publique permet de mesurer l'exposition des Français (6 à 74 ans en France métropolitaine) à certains contaminants de l'environnement, à mieux connaître leur alimentation et leur activité physique et à mesurer l'importance de certaines maladies chroniques dans la population. Des données démographiques, socio-économiques, sur l'alimentation, l'activité physique, la sédentarité, l'environnement résidentiel et professionnel, la santé générale et la consommation de soins ont été recueillies à travers différents questionnaires. Des mesures et des prélèvements biologiques (sang veineux, urines, mèche de cheveux) ont été effectués dans le cadre d'examens de santé. Elle est construite pour être répétée tous les 7 ans environ. D'autres grandes études existent comme la cohorte Elfe sur le suivi de la santé d'un grand groupe d'enfants, l'étude Pelagie (Perturbateurs Endocriniens : Étude Longitudinale sur les Anomalies de la Grossesse, l'Infertilité et l'Enfance).

⁷ <https://www.santepubliquefrance.fr/etudes-et-enquetes/esteban/les-resultats-de-l-etude-esteban>

Il convient également de citer l'importance des registres populationnels des maladies et notamment des cancers dont les données permettent de relier une exposition avec l'augmentation d'une maladie dans un territoire.

- ▶ Mesurer avec précision les effets indésirables liés aux expositions aux polluants est une composante fondamentale de l'évaluation quantitative des risques.
- ▶ Le développement puissant des études de toxicologie, particulièrement pour les mélanges de polluants comme ils existent dans la nature, est indispensable pour progresser.
- ▶ Un soutien significatif doit également être apporté aux études épidémiologiques qui révèlent et identifient les effets sur les populations et mettent en évidence les liens entre ces effets et les diverses expositions notamment aux dangers chimiques présents dans l'environnement.
- ▶ Le soutien et le développement des registres populationnels des maladies est une composante indispensable de progrès.



Concernant la toxicité des mélanges, il faut en amont vérifier la pertinence des modèles utilisés et la capacité de transposition des résultats in vivo ce qui veut dire utiliser des modèles parfaitement caractérisés et dont l'interprétation est maîtrisée. Un composant chimique peut présenter un ou plusieurs effets toxiques.

Fabrice Nesslany,
Président de la Société française de toxicologie (2019-2022),
Institut Pasteur de Lille



Concernant la multi-exposition, l'épidémiologie permet d'observer des situations en expositions réelles et considère le rôle important des biomarqueurs pour identifier les co-expositions, modéliser les relations dose-réponse, identifier les sources et voies d'exposition. Néanmoins, la mesure est difficile dans les cas de variabilité de multi-exposition dans le temps, dans les cas de période longue de latence de la maladie, ce qui signifie qu'il faut des suivis longitudinaux (sur de longues périodes de temps) indispensables.

Cécile Chevrier,
Directrice de recherche Inserm, co-responsable de l'équipe « épidémiologie et science »
de l'exposition en santé-environnement, IRSET-UMR 1085, Rennes

⁸ <https://www.elfe-france.fr/>

⁹ <https://www.pelagie-inserm.fr/>



CONNAÎTRE ET MESURER
L'EXPOSOME : UNE AMBITION DE
PROGRÈS INDISPENSABLE

Une part importante des maladies est liée à des éléments qui ne sont pas transmis par l'hérédité, mais qui sont dus aux expositions environnementales et aux comportements et conditions socio-économiques qui accompagnent la vie des individus. Il est donc indispensable de connaître au mieux le maximum des expositions subies par les populations ou les individus au cours de leur vie. C'est pourquoi les acteurs de la recherche en santé ont fait émerger la notion d'exposome. L'exposome d'un individu ou d'une population se caractérise par la prise en compte, tout au long de la vie, des expositions aux agents chimiques, physiques (bruit, température...) et biologiques (microorganismes, pollens...) présents dans son environnement et son alimentation ainsi que les carences alimentaires au cours du développement et également des facteurs psycho-socio-économiques (stress, inégalités sociales). Les inégalités sociales entraînent des différences d'expositions (habitat défavorisé, travaux plus exposés...) ainsi que les spécificités de genre (métiers à risques, différences d'évolution de toxiques dans l'organisme, perturbateurs des hormones...).

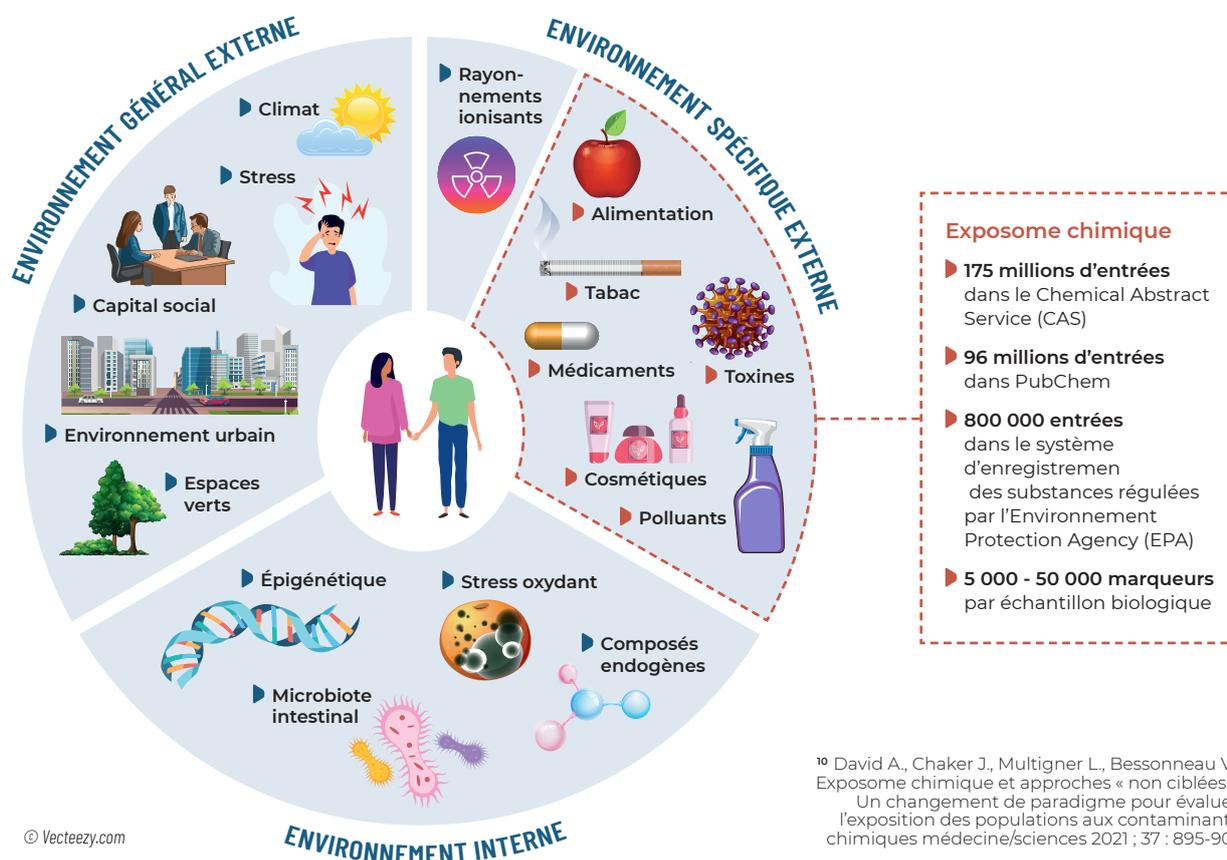
L'ambition majeure de l'étude et des progrès dans la connaissance de l'exposome est d'identifier et de mesurer le plus parfaitement possible les liens entre les expositions et la survenue de maladies humaines et notamment les cancers, les troubles du développement, les maladies neurodégénératives ou celles liées aux perturbations endocriniennes.

Bien entendu, cette ambition s'inscrit au-delà de la santé humaine dans le cadre du thème « une seule santé », car les expositions aux contaminants chimiques concernent également tous les organismes vivants dont certains contribuent à l'exposome humain en tant qu'aliments.

La portée de la notion d'exposome est immense puisqu'elle implique de mettre en œuvre les campagnes de mesures pour obtenir une masse suffisante de données permettant de caractériser l'ensemble des expositions significatives pour le plus grand nombre de situations et d'individus. Il s'agit des expositions sur les lieux de travail, au cours des déplacements, au domicile, pendant les activités de loisir... Sont intégrées également les expositions liées à l'alimentation, les pratiques à risque (tabac, cannabis, alcool, autres drogues...), la consommation de médicaments...

Figure 3

L'exposome chimique composante de l'exposome global, avec son nombre considérable d'agents chimiques référencés dans les banques de données internationales¹⁰.



¹⁰ David A., Chaker J., Multigner L., Bessonneau V., Exposome chimique et approches « non ciblées » Un changement de paradigme pour évaluer l'exposition des populations aux contaminants chimiques médecine/sciences 2021 ; 37 : 895-901

Parallèlement à ces mesures, doivent être associées les données de santé notamment grâce à des suivis de la santé de grands groupes de populations au long de leur vie (cohortes), aux registres de cancers et d'autres maladies et aux nombreuses données recueillies notamment par l'assurance maladie. L'analyse de ces données représente un travail immense qui permettra d'établir les relations entre des maladies et certaines expositions ou certains dangers. Ces relations sont souvent très difficiles à percevoir car les impacts sanitaires peuvent se produire de nombreuses années après des expositions ou être la résultante de combinaisons complexes de diverses expositions subies pendant une longue période de la vie. Les périodes plus vulnérables de la vie au regard des expositions chimiques sont particulièrement étudiées : périodes *in utero*, néonatale et de la petite enfance, adolescence, ménopause...

Les résultats permettront de développer des actions de prévention en santé les plus efficaces pour le plus grand nombre. Ceci implique des quantités considérables de données de qualité indiscutable devant être analysées grâce aux outils de traitement des grandes masses de données les plus puissants.

Cette phase de progrès s'accélère notamment grâce aux nouveaux logiciels de traitement des grands nombres de données (Big data) et d'intelligence artificielle et le développement de grandes bases de données de santé comme le « Health Data Hub » français. Ce groupement d'intérêt public, créé par la Loi du 24 juillet 2019 relative à l'organisation et la transformation du système de santé, associe 56 parties prenantes, en grande majorité issues de la puissance publique¹¹.

Cette recherche de grande ambition est porteuse de nombreux progrès envisagés non seulement pour guider les actions de prévention destinées à protéger la santé de groupes ou de populations, mais aussi pour aider dans les actions de prévention en médecine individualisée et aider à mieux vieillir en bonne santé.

D'importants programmes internationaux de recherche sur ce thème se sont développés ces dernières années¹² ainsi que des groupes spécialisés comme par exemple, France exposome¹³.

- ▶ Les recherches sur l'exposome représentent, sous réserve d'une garantie de traitement confidentiel des données et de respect absolu de la vie privée, une force majeure de progrès pour orienter les décisions de prévention et de gestion sanitaire.
- ▶ Intimement associés à l'épidémiologie, ces travaux constituent un progrès majeur, parfois qualifié de nouvelle révolution dans le domaine de la santé, se développent mais exigent d'urgence un véritable saut d'ambition justifiant un investissement très significatif au soutien de ses recherches.

¹¹ <https://www.health-data-hub.fr>

¹² <https://www.humanexposome.eu/>

¹³ <https://www.france-exposome.org/>



Après les décennies d'efforts portés sur le génome, des efforts similaires doivent être développés sur l'exposome (recherche, expertise, surveillance). Il faut identifier les moyens de contrôler l'exposome (prévention éducation à la santé, recherche interventionnelle en population...) mais le niveau individuel ne suffit pas à tout contrôler. Pour cela, il faut un modèle de recherche en santé environnement avec une logique de financement adapté.

Rémy Slama,
Directeur de l'Institut Thématique de Santé Publique de l'Inserm



Les apports de l'exposome devraient permettre de lever les différentes sources d'incertitude sur les risques mais ne pourront de suite transposer les résultats acquis pour les populations à l'individu et pour cela il faut considérablement augmenter les données.

Matthieu Schuler,

Directeur général délégué à l'Anses en charge du pôle Sciences pour l'expertise



Les études sur l'exposome constituent une révolution après celle de la génétique et permettent :

▶ *Des innovations méthodologiques considérables notamment pour l'évaluation des expositions (satellites, détecteurs, capteurs individuels...), de leurs effets et des relations de causalité (bioinformatique, biostatistique...),*

▶ *Une conception multifactorielle des maladies, des messages de santé publique pour la prévention avec une possibilité de prévention individuelle (ex : asthme, diabète, personnes âgées, nouveaux nés...)*

▶ *Toutefois, les travaux sur l'exposome sont longs et ne permettent pas de répondre à des demandes urgentes. Les réglementations sont fondées sur des expositions ou des substances bien définies et, en général, pas sur leur intégration : (eau, air, aliments, EDCs, métaux, bruit...), alors que le concept d'exposome repose sur cette prise en compte large de l'intégration des expositions.*

Pr. Robert Barouki,

Directeur de recherche, Inserm UMR-S 1124 Toxicologie Pharmacologie et Signalisation Cellulaire,
Service de Biochimie Hôpital Necker Enfants malades, Université Paris Cité.
Membre correspondant de l'académie nationale de médecine



La forte progression du diabète observée dans le monde n'est pas liée uniquement aux dérives alimentaires et à la sédentarité, mais aussi aux expositions à des polluants chimiques à effets perturbateurs endocriniens dont le rôle diabéto-gène a été montré sur animaux. Il faut donc limiter les expositions à ces produits avant et pendant la grossesse, chez les nourrissons et les adolescents et chez les sujets exposés professionnellement.

Pr. Claude Jaffiol,

Président de l'Académie nationale de médecine (2017)



PRENDRE EN COMPTE
LES INCERTITUDES ET LES LIMITES
DE LA CONNAISSANCE

Il est souvent difficile d'admettre que la connaissance scientifique est associée à des degrés d'incertitudes et d'imprécision et qu'elle n'est parfois pas encore en mesure d'apporter une réponse à toutes les questions surtout s'il s'agit de notre santé.

Pourtant, les incertitudes sont toujours présentes sur tous les éléments mesurés et peuvent être liées notamment :

- ▀ aux limites dans la qualité et la représentativité des données,
- ▀ à des méthodes d'analyse très différentes et des stratégies d'échantillonnage différentes,
- ▀ à la comparaison de données issues de sources différentes non normalisées entre les laboratoires ayant réalisé les mesures ou entre les pays,
- ▀ au choix d'un modèle mathématique plutôt qu'un autre,
- ▀ au choix de facteurs par défaut comme la masse corporelle moyenne d'une population par exemple...

C'est pourquoi, que ce soit pour le cadran du tableau de bord d'une voiture, l'aiguille d'une montre ou un résultat d'analyse de sang, il existe un degré d'imprécision sur la valeur donnée qui se doit d'être la plus faible possible.

Ce degré d'incertitude doit être connu, compris et intégré dans l'observation des phénomènes et la prise de décision en gestion.

Les normes de qualité concernant la pollution chimique de l'environnement fixent généralement une valeur précise sans associer de variation acceptable autour de cette valeur (ex : 10 mg/L plus ou moins 0,5 mg/L). Cet intervalle dépend des méthodes et instruments utilisés et des opérateurs. Pour connaître et limiter ce degré d'imprécision, des essais inter-laboratoires sont réalisés afin d'harmoniser au maximum les méthodes et résultats¹⁴.

Concernant les échantillons prélevés dans l'environnement, il existe également de nombreuses sources de variabilité entre les heures de la journée, l'emplacement choisi dans un espace. Il en est de même dans les études sur l'humain avec des variabilités entre les individus d'un groupe de sujets étudiés (Âge, emploi, comportements ...) ou la matrice étudiée pour un même sujet (cheveux, sang, urine...).

Toutes ces raisons font que les interprétations des données ne peuvent être réalisées qu'à condition que l'échantillonnage ait été conduit dans des conditions adaptées et rigoureuses avec un nombre de campagnes et d'échantillons suffisants, et que les analyses aient été menées par des équipes reconnues ou certifiées pour leurs compétences et la fiabilité de leurs résultats. Des protocoles de vérification de la qualité des analyses doivent être rigoureux avec des témoins positifs (servant à vérifier la calibration des appareils de mesure) et négatifs (permettant de vérifier la propreté générale des opérations et notamment les flacons et le matériel utilisé) et un nombre de répétition d'analyses du même échantillon permettant de connaître la variabilité sur la mesure.

Ainsi, lorsque le résultat d'une analyse est comparé avec la valeur stricte d'une norme réglementaire, il est (au-delà du strict respect de la réglementation) nécessaire de le faire en prenant en compte le degré d'imprécision qui lui est accordé.

Des degrés d'incertitude existent donc à chaque niveau de l'évaluation des risques que ce soit pour les paramètres chimiques, le niveau d'exposition des populations ou les mesures des effets biologiques. Cette objectivité s'oppose parfois à des affirmations dénonçant des certitudes de risques alors que les éléments disponibles ne sont pas suffisants. C'est pourquoi l'élaboration des valeurs limites est, la plupart du temps, menée par des groupes d'expertises collectives, nationales et internationales permettant de confronter les avis de plusieurs spécialistes. Dans les décisions, des coefficients d'incertitude sont appliqués selon la qualité des données mises à disposition lors de la fixation de valeurs limites réglementaires afin de toujours chercher à protéger au mieux la santé des populations.

Concernant le risque chimique, le déroulé de l'expertise doit d'abord formuler clairement la question, puis procéder à la recherche bibliographique des documents disponibles (littérature scientifique, rapports d'organismes d'expertise reconnus) en lien avec la question. Les études publiées doivent être sélectionnées individuellement sur des critères de qualité de leurs protocoles et des éléments de conclusions. L'expertise examine ensuite le niveau de preuve sur la base de chaque étude puis sur l'ensemble et convertit le niveau de confiance par type d'étude en niveau de confiance global sur l'ensemble.

¹⁴<https://www.association-aglae.fr/>

Ainsi, pour réduire les incertitudes et conclure notamment à un risque sanitaire, le travail d'expertise se doit d'être très rigoureux et les conclusions sont présentées en complète transparence et accompagnées du déroulé des éléments ayant conduit la réflexion et les calculs.

C'est pourquoi un dialogue absolument transparent et argumenté doit exister dans ces domaines complexes liés à la santé pour lesquels les inquiétudes, qui sont souvent légitimes, doivent savoir prendre en compte, avec confiance, les travaux des expertises collectives scientifiques et rigoureuses et savoir déceler les abus de dénonciateurs n'apportant aucuns éléments de preuve de leurs affirmations ou biaisant des informations existantes.

Cette expertise collective rigoureuse aux résultats démontrables et robustes s'oppose, sur le principe de validation, à l'affirmation d'un individu, se qualifiant d'expert à tort ou à raison, à moins qu'il sache dérouler en parfaite transparence les éléments objectifs et rigoureux de ses conclusions.

Les moyens n'étant pas illimités, le temps est souvent nécessaire pour obtenir des certitudes. Il faut développer des programmes expérimentaux prenant souvent plusieurs années, répéter les études pour confirmation, confronter les éléments obtenus avec ceux d'autres équipes de recherche dans le monde. Ce délai entre une suspicion et une certitude est complété par celui nécessaire aux instances nationales ou internationales pour élaborer et éditer des réglementations qui ne peuvent, sauf pour des situations à risques extrême avérés, aboutir dans l'urgence.

- ▶ L'évaluation des risques en santé environnement, comme dans tous les domaines, est accompagnée d'incertitudes et de limites dans les connaissances.
- ▶ Ces éléments doivent être connus et pris en compte dans les décisions de gestion, mais aussi pour investir dans les actions de recherche et développement visant à les réduire.
- ▶ Face au cas particulièrement complexe de l'exposition aux multiples dangers chimiques de l'environnement, les évaluations internationales des risques par des expertises collectives prennent en compte ces éléments pour élaborer des normes. Des facteurs d'incertitude sont appliqués afin de fixer une marge de sécurité largement suffisante pour protéger les populations les plus vulnérables.
- ▶ Toutefois, lorsque l'absence de données est trop importante, l'analyse de risque est impossible et la protection sanitaire élabore des décisions de gestion ne reposant pas sur une base scientifique.
- ▶ L'examen des normes de qualité chimique de l'environnement doit se faire dans le cadre des degrés de précision et d'incertitude connus.



Il est nécessaire de prévoir les risques pour le présent mais aussi pour les générations futures. La société doit comprendre l'incertitude ce qui constitue un enjeu de dialogue social et de coresponsabilité donc de pédagogie. Se révèle alors la question du savoir qu'il faut mobiliser et comment organiser la décision dans l'intérêt collectif avec des concertations publiques et la hiérarchisation des prises de risques. Il faut donc travailler sur les moyens de rétablir la confiance sur des sujets qui, par principe, génèrent de la défiance dans un contexte d'incertitude et de conflits des valeurs.

Emmanuel Hirsch,

Professeur émérite d'éthique médicale à l'université Paris-Saclay,
Membre correspondant de l'académie nationale de médecine

¹⁵Anses (2017) Illustrations et actualisation des recommandations pour l'évaluation du poids des preuves et l'analyse d'incertitude à l'Anses.
<https://www.anses.fr/system/files/AUTRE2015SA0090Ra-2.pdf>



L'incertitude est l'ennemi du juge et de la victime car tout le système juridique repose sur le lien de causalité au centre des débats de la responsabilité. Ce lien n'est démontré en santé-environnement que dans de rares cas comme celui de l'amiante.

Corinne Lepage,
Avocate, ancienne Ministre de l'environnement



Les risques chimiques sont ceux qui enregistrent, en France en 2020, les plus faibles taux de confiance et les plus forts taux de défiance de la population particulièrement envers les pesticides (61 %), la pollution des sols (54 %), les déchets chimiques (52 %). Rendre publics les rapports d'expertise est jugé une mesure « prioritaire » pour 71 % des Français. Les précisions sur les perturbateurs endocriniens sont mal connues du public mais, après avoir reçu les informations, l'inquiétude augmente et cette réaction est inverse avec le sujet du nucléaire.

Ludivine Gilli,
Adjointe au chef du service de la programmation, de la prospective, des partenariats et de l'appui à l'innovation, Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire



Des recommandations multiples dans des domaines multiples émises par des sources multiples (agences de santé, assurances, industries...) crée de la confusion et trop de recommandations induisent des effets de saturation. La complexité des informations est délétère pour les plus défavorisés induisant un gradient social. Il faut soutenir le sentiment d'efficacité individuelle et collective, éviter les alertes multiples, préconiser des actions concrètes, s'appuyer sur des approches basées sur la preuve dans les interventions.

Pr. Thierry Meyer,
Professeur de psychologie sociale, Université Paris Nanterre



Il ne faut pas confondre la science (le savoir acquis) et la recherche (on recherche parce que l'on ne sait pas), faute de quoi apparaît un doute sur la science. Avoir une opinion radicale dédouane certains d'avoir à acquérir la connaissance. L'absence de preuve n'est jamais la preuve de l'absence ce qui perturbe les débats. Les gens modérés s'engagent souvent avec modération alors qu'il faudrait qu'ils s'engagent sans modération. Une absence d'action pour réduire un risque fait que ce n'est plus un risque mais une sorte de fatalité. La perception d'un risque donné masque le fait que la solution trouvée peut parfois générer d'autres risques. La vulgarisation scientifique n'est efficace que chez ceux qui sont réellement demandeurs.

Étienne Klein,
Physicien, philosophe des sciences, directeur du laboratoire de recherche sur les sciences de la matière du commissariat à l'Énergie atomique et aux Énergies alternatives



PROGRESSER COLLECTIVEMENT
POUR GÉRER UN PROBLÈME
COMPLEXE

Face à l'important problème de la présence de contaminants chimiques dans l'environnement et de leurs risques pour l'écosystème en général, et pour la santé humaine en particulier, les voies de progrès exigent une combinaison d'actions collectives véritablement ambitieuses.

L'importance de la pression chimique exercée sur la planète est comparable à celle du changement climatique dans ses enjeux globaux sans limites de frontières. Les actions à mener ne peuvent se limiter au niveau national notamment en raison de l'universalité du problème et des budgets nécessaires pour améliorer la situation. Néanmoins, il importe d'agir pour progresser significativement au niveau national, voire local.

Considérant tous les éléments indispensables que la chimie apporte aux sociétés y compris pour la santé, les produits issus de ce grand domaine industriel (chimie lourde, chimie fine, chimie pharmaceutique...) seront toujours présents dans l'environnement. Il faut donc identifier et éliminer les sources de risques jugées prioritaires.

Cette forte nécessité de changement et d'évolution peut donner le sentiment d'objectifs irréalisables, ce qui attise les inquiétudes et suscite des abus. Pourtant, les objectifs en termes de recherche scientifique et de politiques d'amélioration sont à portée, sous réserve de la prise en compte collective des actions à mener, du niveau individuel au collectif, et que les moyens nécessaires soient rendus disponibles au réel niveau de l'ambition que porte ce sujet pour la prévention sanitaire et l'espérance de vie en bonne santé. La responsabilité d'action est collective : décideurs politiques, industriels, scientifiques, autres citoyens...

Les compétences et les motivations existent en France et doivent être connues et reconnues, notamment des laboratoires de recherche associant universités et grands établissements (CNRS, Inserm, BRGM...), des agences sanitaires (Anses, Santé publique France...), le Haut Conseil de la santé publique... Des plans nationaux santé-environnement existent et les instances internationales ont développé des départements santé-environnement qui se préoccupent de la pollution chimique. Des progrès accomplis depuis 20 ans sont significatifs, notamment dans les méthodes de détection et d'analyse, dans le domaine des bioessais, également grâce à des études épidémiologiques de grandes cohortes. Les nombreux résultats obtenus permettent d'une part de mieux caractériser les inquiétudes et les alertes sur les liens entre la multipollution chimique et la santé et renforce la prise de conscience générale de la nécessité d'agir.

Il importe déjà de connaître, valoriser et appliquer les éléments existants. Toutefois, la vitesse d'action est insuffisante et le nombre de nouveaux polluants détectés est en croissance, augmentant les doutes et inquiétudes. Les différentes informations transmises aux citoyens sont excessives ou insuffisantes, abusives ou peu compréhensibles, de bonne qualité ou trop culpabilisantes...

L'effort collectif doit donc s'amplifier et aborder plusieurs aspects parmi lesquels :

- renforcer la confiance dans les instances scientifiques et d'expertise qui œuvrent chaque jour pour permettre de quantifier les risques,
- développer les actions de réduction des émissions de contaminants chimiques dans l'environnement,
- comprendre que la recherche et les études ont besoin de temps pour éclairer un sujet aussi complexe que les liens entre la multi-exposition chimique et la santé, mais exigent aussi des moyens à la véritable hauteur de l'ambition, motivés par un cadre politique,
- comprendre les différences entre un danger et un risque sanitaire et respecter les valeurs limites réglementaires protectrices de la santé tout en considérant la faible connaissance sur les effets des mélanges,
- intégrer des mesures de préventions dans la vie courante car les effets ne sont la plupart du temps observables qu'à long terme et qu'il existe des périodes de vulnérabilité (1 000 premiers jours, période pré-pubertaire...),
- favoriser un dialogue dans la transparence sachant présenter les lacunes de connaissances internationales, les progrès en cours et comprendre les mesures de gestion mises en œuvre en solutions transitoires,
- calculer la part de responsabilité de chaque source d'expositions pour agir plus rapidement et efficacement sur celles jugées les plus préoccupantes.

Les progrès se construisent en renforçant les actions de 3 axes principaux qui se complètent :

1 / Accélérer l'acquisition de connaissance sur les risques prioritaires, les dangers et leurs sources, favoriser l'évaluation quantitative des risques et construire l'exposome.

Dans ce cadre, se situe la notion large de l'exposome en mesurant, pour les principales catégories de populations, les expositions cumulées et les principaux effets de perturbation sur la santé. Pour une part, les compétences et les outils de mesure sont disponibles mais exigent de leur consacrer des moyens ambitieux à la hauteur de l'enjeu.

Il s'agit de développer :

- la toxicologie des mélanges, la mesure des effets à faible dose avec exposition chronique, le développement de modèles pour identifier les effets sur la vie entière,
- les données épidémiologiques des principales maladies associées (cancers, malformations, troubles de la reproduction, obésité, diabète...) grâce à des suivis de santé sur de longues périodes de la vie depuis la naissance,
- la mesure la plus complète des expositions des populations permettant d'attribuer la responsabilité aux différentes sources,
- le couplage des mesures chimiques avec des résultats de bioessais,
- la définition de nouvelles cibles chimiques représentatives des risques sanitaires.

Le renforcement de ces connaissances contribue à la meilleure évaluation quantitative des risques pour la santé, permet d'expliquer avec clarté les niveaux jugés acceptables ou sans risques et aide à la définition de valeurs limites protectrices de la santé. Elles sont indispensables pour le développement des recherches sur l'exposome.

Il s'agit également d'accélérer le développement d'une chimie respectueuse de l'environnement permettant rapidement de remplacer et faire disparaître les produits les plus indésirables.

Des experts ont recommandé la création d'une instance d'expertise multinationale chargée de collecter les données, développer des synthèses et diffuser des rapports périodiques sur la pollution chimique à l'image du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)¹⁶. Un tel projet, pas encore développé, a été

entériné lors de la 5^e réunion de l'Assemblée des Nations unies pour l'environnement à Nairobi en 2022¹⁷.

2 / Développer la compréhension et la confiance collective

La formation et l'information sont des composantes majeures de progrès pour favoriser la compréhension, les échanges et la construction collective d'une prévention efficace des risques liés à la pollution chimique de l'environnement. Les notions notamment d'incertitude, de phases critiques de la vie, de valeurs limites sanitaires et de valeurs de gestion exigent d'être expliquées.

L'enseignement primaire et secondaire doit évoluer pour comporter un véritable enseignement sur la santé considéré comme un élément fondamental, au même niveau que les mathématiques ou la lecture, pour former un futur adulte et lui apprendre les grandes règles de la prévention de sa santé et de celle des autres. Il doit faire comprendre les notions de danger et de risques, les phases critiques de la vie au regard des expositions aux risques chimiques.

Dans l'enseignement supérieur, et conformément aux attentes du 4^e plan santé-environnement, les fondamentaux des relations entre l'environnement et la santé doivent être enseignés particulièrement pour les professions de santé, mais aussi dans de nombreux autres secteurs, notamment les études d'ingénieurs, de journalisme, de sciences politiques ou de droit¹⁸.

Réduire le délai de gestion implique de favoriser une médiation scientifique capable de transférer très rapidement les principales conclusions et alertes de la science vers les décideurs, et particulièrement les élus en responsabilités. Les élus confrontés à des problèmes locaux ou régionaux, ont besoin de supports technologiques et scientifiques pour mieux appréhender des situations de crise et répondre aux citoyens.

La confiance dans les actions de gestion et dans leurs acteurs (scientifiques, politiques, industriels, associatifs...), sur un sujet aussi complexe qu'est la pollution chimique de l'environnement, doit se renforcer. Ceci implique une description compréhensible des problèmes, des lacunes, de la hiérarchisation des solutions et une transparence. Pour cela, un effort de communication et de transparence est nécessaire de la part des institutions publiques de référence (Ministères,

¹⁶Brack, W., Barcelo Culleres, D., Boxall, A.B.A. et al. (2022) One planet: one health. A call to support the initiative on a global science-policy body on chemicals and waste. *Environ Sci Eur* 34, 21.

¹⁷Assemblée des Nations Unies pour l'environnement, 5e session (2 mars 2022) Groupe d'experts sur l'interface science-politiques au service de la gestion rationnelle des produits chimiques et des déchets et de la prévention de la pollution, UNEP/EA.5/Res.8

¹⁸Bonvallot et al. (2021) Pour une gestion alerte du risque chimique. https://www.alerte-sante-environnement-deontologie.fr/IMG/pdf/211020_cndaspe_gt_risque_chimique_rapport.pdf

agences, établissements de recherche...) mais également de la part des médias et des industriels. En complément, les citoyens doivent se fier aux données scientifiques, savoir s'orienter vers les sites d'information valides et accepter de mieux chercher les informations disponibles afin d'éviter les sources d'information non fiables.

3 / Développer, de manière significative, les actions de prévention

Les décisions de gestion des risques, qu'elles soient européennes ou nationales (interdictions de mise sur le marché, normes environnementales et sanitaires, procédures de contrôle et de suivi, obligations d'équipements de protection individuelle, obligations de traitement des émissions à la source...) sont adaptées aux degrés de la connaissance et revues régulièrement selon l'avance des connaissances. L'accélération de leurs progrès est indispensable au regard des nouvelles découvertes de polluants, de leurs effets et des données de l'épidémiologie sur les relations entre la santé et la pollution chimique.

La réglementation européenne sur les produits chimiques est une source de progrès indéniable mais ses insuffisances (accélération du dispositif, meilleure prise en compte des risques émergents...) doivent être levées¹⁹. La conception de chimie et de ses produits à faibles impacts environnementaux doit être soutenue dès les étapes de recherche et développement. La réduction à la source des émissions de contaminants est indispensable en faisant évoluer plus rapidement les normes, en favorisant la substitution par des produits non nocifs et en améliorant l'efficacité des dispositifs de surveillance notamment pour la pollution de l'air, la contamination des aliments et la diffusion par les objets du quotidien. Le cas de la pollution par les engrais et pesticides ou par les plastiques illustrent à quel point la société doit réaliser un effort pour progresser beaucoup plus rapidement dans les mesures préventives.

Le changement climatique accentue certains facteurs de risques comme la pollution de l'air et la concentration en polluants dans les eaux en périodes sèches. Les technologies de traitement des déchets et d'épuration des eaux, malgré leurs considérables progrès, ont un coût et des limites ce qui implique de mieux réduire les émissions de polluants dans l'environnement.

La protection contre les expositions dans les activités professionnelles doit être renforcée en particulier pour les personnes les plus vulnérables²⁰ et en particulier les femmes enceintes qui doivent pouvoir être protégées sans crainte pour leur emploi^{21, 22}.

L'action quotidienne des citoyens, sans culpabilisation excessive, est indispensable. Les efforts pour guider les comportements d'achats et de gestion responsable des déchets doivent être amplifiés avec des messages simples et non contradictoires. À titre d'exemple, la période critique des 1 000 premiers jours de la vie fait l'objet de recommandations de la part de l'agence Santé Publique France²³.

Il n'est plus possible d'ignorer l'importance sur la santé de la pollution chimique de l'environnement et de la vie quotidienne. Les progrès de la connaissance en ces domaines sont nécessairement générateurs d'inquiétudes et il faut promouvoir une accélération des actions de recherche scientifiques et technologiques, de la diffusion compréhensible du savoir au plus grand nombre et des mesures de gestion visant à mieux protéger l'exposition des populations et de la biodiversité à ces dangers.

¹⁹ Tissot-Colle C. (2020) Reach et la maîtrise du risque chimique : un bilan positif, un outil à améliorer. Avis de CESE. ISBN 978-2-11-152243-5. www.lecese.fr/default/files/pdf/Avis/2020/2020_02_Reach.pdf

²⁰ Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. <https://www.inrs.fr/risques/chimiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>

²¹ www.prc.cnrs.fr/outils/grossesse-et-exposition-aux-produits-chimiques/

²² INRS. Dépliant Produits chimiques. Protégez votre grossesse. www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206261

²³ Santé Publique France. www.1000-premiers-jours.fr



Il faut une science bien expliquée, une concertation large et une gestion qui soit gérée de la manière la plus équitable. La réhabilitation du rapport de confiance progresse lorsque les citoyens constatent que les mesures se développent petit à petit dans le sens de l'amélioration de leur situation.

Véronica Manfredi,

Directrice pour la Qualité de la Vie à la Direction Générale de l'Environnement de la Commission Européenne



Vérité, transparence et confiance sont fondamentales au regard des pollutions chimiques et le soutien de la recherche sur l'évaluation des risques est fondamental.

Christian Heison,
Maire de Rumilly, Président de la Communauté
de Communes Rumilly Terre de Savoie



Face à ces enjeux le courage politique est important. Il faut une meilleure prise en compte, dans la comptabilité des exploitations agricoles et des industries, des pratiques limitant l'usage des pesticides et favorisant la biodiversité. Le coût de la transition écologique doit être comparé au coût de l'inaction et des dégâts collatéraux des pesticides.

Sandrine Le Feur,
Députée du Finistère



Il faut créer des outils capables d'évaluer les impacts des politiques publiques sur la santé environnementale et aider les politiques à créer des milieux favorables à la santé dans toutes les politiques et structures locales (écoles, université, établissement accueillant les personnes âgées).

Pr Didier Lepelletier,
Président du Haut Conseil Santé Publique



Les urgences climatiques, énergétiques et écologiques imposent une accélération sans précédent des mesures collectives de leur pilotage pour réduire drastiquement les pollutions chimiques et leurs conséquences sur la santé humaine.

Anne-Cécile Violland,
Députée de Haute-Savoie, présidente du Groupe Santé Environnement



Nous avons les ressources pour transmettre les informations mais le public oublie vite les alertes. Il existe une grande difficulté à identifier les messages à transmettre et il faut plus de place pour que les scientifiques puissent s'exprimer.

Fabienne Chauvière,
Journaliste à France Inter



La confiance c'est accepter d'être vulnérable dans le cadre d'un système bienveillant, compétent et intègre. La confiance c'est la coopération. Sont jugés très inquiétants, les risques catastrophiques, injustes, incontrôlables, mal connus de la science ou avec des effets différés dans le temps. Les mélanges de produits chimiques dans l'environnement portent certains de ces critères. Les risques rares sont souvent surestimés et l'agenda médiatique bouleverse les perceptions. La littératie en santé est importante pour aider à la compréhension et l'exposome est une fenêtre d'opportunité pour communiquer sur le risque en santé environnement, à condition d'éviter trop d'alertes pouvant créer une plus forte inquiétude.

Pr Thierry Meyer,
Université Paris Nanterre





Fondation de l'Académie de Médecine
16 rue Bonaparte - 75006 Paris
contact@fam.fr / 01 42 02 70 19

fam.fr

