



PLASTIQUES, SANTÉ ET PLANÈTE UNIQUE

UN APPEL À DES RÈGLES MONDIALES FONDÉES
SUR DES DONNÉES PROBANTES

Le WWF est une organisation de conservation indépendante, avec plus de 38 millions de sympathisants et un réseau mondial actif grâce à des dirigeants locaux dans plus de 100 pays. Notre mission est de mettre fin à la dégradation de l'environnement naturel de la planète et de construire un avenir dans lequel les gens vivent en harmonie avec la nature, en conservant la biodiversité mondiale, en veillant à ce que l'utilisation des ressources naturelles renouvelables soit durable, et en promouvant la réduction de la pollution et du gaspillage.

EDITION

Édition	WWF Allemagne (Fondation de droit civil, représentée par la membre du conseil Meike Rothschädl), Reinhardtstraße 18, D-10117 Berlin
Date	Juillet 2025
Coordination	Franziska Bäckemo (WWF), Hanna Eberhard (WWF)
Contact	hanna.eberhard@wwf.de
Auteurs	Adam Green (Type Ventures), Olivia Hallett (Type Ventures), Prof. Dr. Stefan Krause (Faculté de géographie, Sciences de la Terre et de l'environnement, Université de Birmingham et Birmingham Plastics Network), Meredith Soward (WWF)
Éditoriale	Laura Collacott, Faiza Koumina (WWF)
Contributeur	John Duncan (WWF), Laura Griestop (WWF), Dr May Hoka (WWF), Huy Ho (WWF), Zaynab Sadan (WWF) et Rebecca Tauer (WWF)
Révision	Prof. Iseult Lynch (Faculté de géographie, Sciences de la Terre et de l'environnement, Université de Birmingham)
Design	Epoq Studio epoqstudio.com

Crédits photo

Photo de couverture : Getty Images/Robert Podlaski ; p. 2/3 : WWF-UK/Sam Hobsoon ; p. 4 : Getty Images/panaramka ; p. 6 : Getty Images/epicurean ; p. 7 : WWF/Greg Armfield ; p. 8 : Getty Images/Tinnakorn Jorruang ; p. 9 : Getty Images/Margot Cavin ; p. 11/15 : WWF/Vincent Kneefel ; p. 16 : Getty Images/Olha Romaniuk ; p. 18 : Marlon Trottmann/panaramka ; p. 22 : WWF/Vincent Kneefel ; p. 23 : WWF/Markus Winkler ; p. 25 : WWF-UK/Warren Smart ; p. 26 : WWF/Nick Garbutt ; p. 28 : WWF/Markus Winkler ; p. 29 : Unsplash/Joshua Lawrence ; p. 30 : WWF/Markus Winkler ; p. 31 : Unsplash/Jas Min ; p. 35 : Getty Images/vovashevchuk ; p. 37 : Unsplash/Zuzanna Szczepanska ; p. 39 : Unsplash/billow926 ; p. 42 : Unsplash/Zoshua Colah ; p. 44 : Getty Images/Zarina Lukash ; p. 53 : Unsplash/Naja Bertolt

En partenariat avec



UNIVERSITY OF
BIRMINGHAM



Birmingham Institute
for Sustainability
and Climate Action

© 2025 WWF Allemagne, Berlin.

Ne peut être reproduit en tout ou en partie qu'avec l'accord de l'éditeur.





TABLE DES MATIÈRES

1. RÉSUMÉ EXÉCUTIF	05
2. INTRODUCTION	09
3. COMPRENDRE LES RISQUES SANITAIRES LIÉS À LA POLLUTION PLASTIQUE	12
3.1 Comment les microplastiques pénètrent-ils dans l'environnement ?	12
3.2 Bilan écologique de la pollution plastique	13
3.3 Plastiques et santé humaine	15
4. DES PREUVES À L'ACTION : PRIORITÉS POLITIQUES POUR LE CHANGEMENT	24
5. ANNEXE TECHNIQUE	32
5.1 Phthalates	33
5.2 Bisphénols	36
5.3 Stabilisants UV et alkylphénols	38
5.4 Substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS)	40
5.5 Charges ignifugeantes	41
5.6 Métaux, métalloïdes et composés métalliques	43
BIBLIOGRAPHIE	45



Les micro- et nanoplastiques, ainsi que les substances chimiques qu'ils contiennent, sont présents dans l'air, l'eau et les aliments ; ils représentent de graves risques pour la santé humaine, animale et environnementale. Des règles mondiales strictes sont nécessaires de toute urgence pour répondre à cette crise croissante.

1. RÉSUMÉ EXÉCUTIF

La pollution plastique n'est pas seulement un problème environnemental, c'est aussi une crise sanitaire mondiale croissante. Les plastiques s'infiltrant dans les écosystèmes aquatiques et terrestres et les endommagent. En conséquence, les microplastiques et nanoplastiques (MnPs) pénètrent également dans notre corps, exposant les personnes et les animaux du monde entier à des risques sanitaires potentiellement graves. On les trouve dans l'air que nous respirons, dans l'eau que nous buvons et dans les aliments que nous mangeons. Les effets négatifs potentiels sur les principaux systèmes organiques du corps humain sont vastes et durables, et les preuves de leur gravité continuent d'émerger.

Cette pollution par des particules de plastique microscopiques n'est pas seulement une menace physique, mais aussi une menace chimique. Outre les particules de plastique elles-mêmes, les additifs toxiques et autres produits chimiques ajoutés aux plastiques sont de plus en plus souvent liés à un large éventail d'effets sur la santé, allant de la stérilité au cancer, en passant par les affections respiratoires, les maladies cardiovasculaires et les troubles du développement de l'enfant.

Pour comprendre les effets de la pollution plastique sur la santé, il faut adopter l'approche « One Health », qui reconnaît les liens étroits entre la santé humaine, la santé animale et la santé environnementale.

Ces effets néfastes ne se limitent pas aux humains, mais se retrouvent dans les écosystèmes, où les polluants plastiques et les substances chimiques qui leur sont associés nuisent à la faune et au bétail, déclenchant des perturbations biologiques par des mécanismes similaires à ceux observés chez l'homme. Pour comprendre les effets de la pollution plastique sur la santé, il faut adopter l'approche « *One Health* », qui reconnaît les interconnexions profondes entre la santé humaine, animale et environnementale. Les études menées sur l'homme et l'animal ont permis de révéler les dommages que peuvent causer les plastiques, soulignant que la pollution plastique est une menace systémique pour la santé de tous les êtres vivants et des écosystèmes que nous partageons.

Les réglementations mondiales et nationales ne se sont pas encore alignées sur les preuves scientifiques qui émergent rapidement. Bien que la recherche continue d'évoluer, de nombreuses études existantes montrent déjà des liens cohérents et préoccupants entre de nombreux additifs plastiques et des effets graves sur la santé. Parmi les plus préoccupants, figurent les perturbateurs endocriniens comme les phtalates et les bisphénols, qui interfèrent avec les hormones de reproduction et le développement du cerveau, et les PFAS (substances per- et polyfluoroalkylées), connus sous le nom de « *produits chimiques éternels* », qui sont liés au cancer, à l'immunosuppression et aux maladies métaboliques. Ces risques sont particulièrement préoccupants pendant la grossesse et l'enfance, où l'exposition précoce peut entraîner des effets durables, voire multigénérationnels, sur la santé.

Ces preuves, de plus en plus nombreuses, doivent servir de base à une législation solide, fondée sur des données scientifiques, visant à minimiser l'exposition aux MnP et aux produits chimiques toxiques contenus dans les plastiques. L'adoption du principe de précaution, c'est-à-dire la prise de mesures lorsque des risques crédibles sont identifiés, même en l'absence de certitude scientifique absolue, est essentielle pour éviter les dommages à long terme. Le Protocole de Montréal offre un précédent puissant : en éliminant progressivement les substances appauvrissant la couche d'ozone (chlorofluorocarbones ou CFC), sur la base de nouvelles preuves scientifiques, les gouvernements ont évité des millions de cas de cancer de la peau¹ et facilité la restauration de la couche d'ozone.

La pollution plastique dépasse les frontières. La production, l'utilisation et l'élimination des plastiques forment une chaîne de valeur mondiale, et la pollution qui en résulte, y compris les MnP et les produits chimiques préoccupants liés au plastique, s'étend sur tous les continents.

La lutte contre cette crise complexe et interconnectée nécessite une action mondiale coordonnée : aucun pays ne peut la résoudre seul. Compte tenu de l'omniprésence du plastique dans notre vie quotidienne et de la pollution plastique généralisée, il est urgent de prendre des mesures au niveau mondial, en s'appuyant sur les dernières recherches scientifiques et sur l'approche « *One Health* ». Une telle approche peut apporter une réponse harmonisée à l'échelle mondiale pour faire face à la crise du plastique, non seulement en protégeant nos écosystèmes et notre biodiversité, mais aussi en réduisant considérablement les risques pour la santé, aujourd'hui et à l'avenir.



Alors que l'élan se renforce en faveur d'un traité mondial juridiquement contraignant pour mettre fin à la pollution plastique, il est essentiel que les impacts sur la santé soient au cœur des négociations. La WWF exhorte les gouvernements et les négociateurs à saisir cette occasion et à mettre en place un traité mondial sur les plastiques efficace et ambitieux qui protège à la fois les personnes et la planète. Les gouvernements doivent s'accorder sur un traité qui apporte un réel changement. Cela signifie qu'il faut garantir l'interdiction mondiale et l'élimination progressive des produits en plastique les plus nocifs et les plus évitables, ainsi que des produits chimiques préoccupants qu'ils contiennent.

Plus le délai est long, plus les coûts seront élevés. Un traité qui s'attaque à la pollution plastique à sa source est non seulement essentiel pour l'environnement, mais aussi un impératif de santé publique. Le moment est venu de prendre des mesures audacieuses et coordonnées à l'échelle mondiale.



LE TRAITÉ DOIT INCLURE AU MINIMUM :



1. Des interdictions globales et des suppressions progressives des produits plastiques et substances chimiques les plus nocifs et évitables.



2. Des exigences harmonisées pour la fabrication des produits plastiques sûrs et circulaires et des systèmes favorables à une économie circulaire non toxique dans la pratique et à grande échelle.



3. Des mesures d'alignement des flux financiers et de mobilisation des ressources pour une transition équitable et juste.



4. Des mécanismes permettant de renforcer et d'adapter ces mesures au fil du temps.

À PROPOS DE CE DOCUMENT :

Ce document a été élaboré en partenariat avec l'Université de Birmingham, alliant expertise scientifique et politique. L'Université de Birmingham a dirigé la recherche et la revue des preuves, tandis que le WWF a apporté une direction stratégique et un cadre politique en lien avec les efforts mondiaux pour mettre fin à la pollution plastique.

Il repose sur une revue exhaustive des dernières preuves scientifiques concernant les plastiques et la santé. Il s'appuie sur une large gamme d'articles de recherche évalués par des pairs et de ressources scientifiques – allant des études humaines et animales aux revues systématiques, études d'observation et analyses d'experts, ainsi que sur les contributions d'organisations respectées telles que l'Organisation mondiale de la santé et la Société endocrinienne.

La base de données probantes sur les microplastiques et nanoplastiques (MnPs) et les produits chimiques liés aux plastiques évolue rapidement. Les recherches initiales sur les plastiques et la santé humaine se concentraient principalement sur les expositions professionnelles, en particulier les effets des additifs sur la santé et la sécurité des travailleurs. Depuis, l'attention scientifique s'est considérablement élargie. Au cours des dernières décennies, il y a eu une forte augmentation des études portant sur les impacts des microplastiques et des produits chimiques associés au plastique sur la santé de la population générale. Bon nombre de ces études, en particulier dans le domaine de l'écotoxicologie, ont utilisé des concentrations relativement élevées pour identifier les mécanismes potentiels de nocivité. Cependant, un nombre croissant de travaux commence à utiliser des concentrations écologiquement réalistes. À l'heure actuelle, il est difficile de déterminer ce qui constitue des expositions « réalistes ». Avec un suivi encore incohérent et incomplet, la véritable variabilité des concentrations environnementales de MnP et des pics d'exposition humaine qui en résultent demeure largement inconnue.^{2,3}



Établir un lien de causalité en science de la santé publique est rarement simple, et les plastiques ne font pas exception. Pratiquement toutes les personnes sont désormais exposées aux MnP et aux additifs plastiques, rendant difficile l'identification de groupes de contrôle non exposés ou de références claires pour évaluer les impacts sur la santé. Cette complexité signifie que les chercheurs s'appuient sur une combinaison de méthodes, y compris des modèles animaux, des corrélations statistiques et des études d'observation, pour dresser un tableau complet des risques.

Bien que ce document reflète l'état actuel des connaissances scientifiques, il ne s'agit pas d'une revue exhaustive. Malgré ces limites, les conclusions prédominantes des études à travers les disciplines et les géographies fournissent une base convaincante pour une action politique de précaution.

L'objectif de ce document est de distiller une science complexe et en évolution en idées claires pour les décideurs, en mettant l'accent sur les impacts sanitaires des MnPs et de six groupes clés de produits chimiques couramment utilisés dans les produits plastiques. Il décrit comment ces substances pénètrent dans le corps humain, les implications directes sur la santé et les mécanismes biologiques à travers lesquels elles causent des dommages, ainsi que les risques plus larges pour la santé animale et environnementale. La conclusion propose des recommandations politiques basées sur l'ensemble des connaissances scientifiques actuelles.

2. INTRODUCTION

En raison de l'utilisation généralisée des plastiques, les MnP sont aujourd'hui presque omniprésentes, présentes dans chaque partie de la planète, des océans et montagnes à l'air, ainsi qu'aux environnements intérieurs, à la nourriture et à l'eau potable.

Les plastiques sont profondément ancrés dans la vie moderne, mais leur présence croissante dans notre environnement et notre corps est une source de préoccupation croissante. La pollution plastique n'endommage pas seulement l'environnement, elle est de plus en plus reconnue comme une menace sérieuse pour la santé humaine et celle des écosystèmes. En raison de l'utilisation généralisée des plastiques, les MnP sont aujourd'hui presque omniprésents aux quatre coins du globe, des océans jusqu'aux montagnes⁴, dans l'air^{5, 6}, les environnements intérieurs,^{7, 8} la nourriture et l'eau potable.^{9, 10, 11, 12} Des microplastiques présents dans nos aliments et notre eau aux additifs toxiques qui s'échappent des produits en plastique, les conséquences pour la santé sont de plus en plus évidentes.

L'exposition à la pollution plastique est en grande partie involontaire et quasi universelle. Les microplastiques et nanoplastiques peuvent pénétrer dans le corps humain par des actions aussi indispensables que respirer de l'air ou boire de l'eau. Un vaste héritage de pollution plastique s'est déjà accumulé dans l'environnement au fil des décennies, aggravant constamment les niveaux d'exposition et les risques pour la santé humaine et écologique.

Ce document rassemble les données scientifiques les plus récentes afin d'examiner comment l'exposition aux MnP et aux produits chimiques associés affecte la santé humaine, animale et environnementale. Il retrace la manière dont ces particules et ces produits chimiques pénètrent dans l'organisme, leur origine et ce qui se passe une fois qu'elles sont à l'intérieur, en mettant en évidence les effets les plus préoccupants sur la santé et en formulant des recommandations politiques claires pour l'action. Une annexe technique détaillée présente un examen approfondi des données probantes sur la santé pour six grands groupes de substances chimiques préoccupantes liées aux plastiques. Bien que bon nombre de ces produits chimiques ne soient pas exclusifs aux plastiques, ces derniers constituent une source d'exposition majeure et croissante en raison de leur utilisation généralisée, de leur persistance dans l'environnement¹³ et de leur capacité à être transportés par l'air, les océans et d'autres voies transfrontalières.

La réduction de la pollution plastique est donc essentielle pour réduire la charge toxique globale qui pèse sur les personnes et la planète, et pour atténuer ses conséquences sanitaires et écologiques à grande échelle. Pour bien comprendre ces risques, ce document adopte une approche de recherche fondée sur le concept « *One Health* », examinant la santé humaine et animale dans un cadre intégratif qui reconnaît la multiplicité des façons dont ces facteurs sont interconnectés. En raison de ces interconnexions, les études sur les animaux ont aidé à clarifier la manière dont l'exposition au plastique peut avoir un impact sur la santé humaine, et les résultats des études sur les écosystèmes nous aident à comprendre comment et pourquoi cette exposition se produit.



QU'EST-CE QUE L'APPROCHE « ONE HEALTH » ET POURQUOI EST-CE IMPORTANT ?

« *One Health* »¹⁴ est un concept intégré et unificateur qui vise à équilibrer et à optimiser durablement la santé des personnes, des animaux et des écosystèmes. Son approche reconnaît que la santé des humains, des animaux domestiques et sauvages et de l'environnement est étroitement liée et interdépendante.

Les efforts de conservation ciblés sur cette intersection ont la capacité d'améliorer la santé humaine en renforçant la résilience de la faune et des écosystèmes. L'approche « *One Health* » permet de prévenir, de prédire, de détecter et de répondre aux menaces sanitaires mondiales et de développer de nouvelles idées qui s'attaquent aux causes profondes et créent des solutions durables à long terme. Elle est donc particulièrement bien adaptée pour relever les défis interconnectés de la pollution plastique et de ses effets sur la santé.

Cette approche gagne du terrain dans les cadres politiques mondiaux. Par exemple, la Convention sur la diversité biologique (CDB) intègre explicitement *One Health* dans le cadre mondial pour la biodiversité de Kunming-Montréal et dans son plan d'action mondial pour la biodiversité et la santé, adopté lors de la COP16, créant ainsi un précédent important pour son utilisation dans les futurs accords internationaux sur l'environnement.

Bien que ce document se concentre intentionnellement sur les risques posés par les MnP et les additifs plastiques, il est important de reconnaître que les plastiques présentent des dangers pour la santé tout au long de leur cycle de vie. De l'extraction des combustibles fossiles à la production chimique, en passant par la fabrication, l'utilisation et l'élimination, chaque étape présente des risques potentiels pour les personnes et l'environnement, en particulier pour les travailleurs et les communautés en première ligne exposées à des niveaux de pollution plus élevés.

Dans le même temps, il est important de reconnaître que certains produits en plastique offrent des avantages cruciaux dans un certain nombre de contextes, en particulier dans les domaines de la médecine et de la sécurité. Le présent document ne plaide pas en faveur d'interdictions générales, mais vise à mettre en lumière la complexité de la situation et à encourager une approche plus ciblée en vue d'éliminer les produits en plastiques et les substances chimiques présentant des risques élevés pour la santé humaine et l'environnement.



La pollution plastique est de plus en plus liée à de nombreux effets sur la santé ; allant des dommages cellulaires aux perturbations hormonales. L'approche « One Health » permet de mieux comprendre ces impacts interconnectés et souligne la nécessité de solutions systémiques pour protéger la santé humaine.

3.2 BILAN ÉCOLOGIQUE DE LA POLLUTION PLASTIQUE

Les micro-et nanoplastiques causent déjà des dommages considérables à la nature. Dans les environnements marins, la pollution par les MnP est une menace bien documentée, retrouvée dans les intestins des mammifères marins, des oiseaux de mer, des tortues,¹⁹ et des poissons.²⁰ Les animaux marins confondent souvent le plastique avec de la nourriture – une étude a montré que plus de 56 % des animaux marins et 40 % des oiseaux de mer ont ingéré du plastique, ce qui libère probablement des MnP dans leur corps, tandis que de plus petits organismes comme le plancton peuvent ingérer des MnP avec les minuscules particules qu'ils consomment pour se nourrir.^{21, 22} Une fois ingérés, les MnP peuvent voyager à travers d'autres parties du corps et se transférer à travers les chaînes alimentaires, entraînant de nombreuses conséquences sur la santé, notamment des changements dans l'absorption alimentaire, des impacts physiologiques, des modifications comportementales et la mortalité.²³

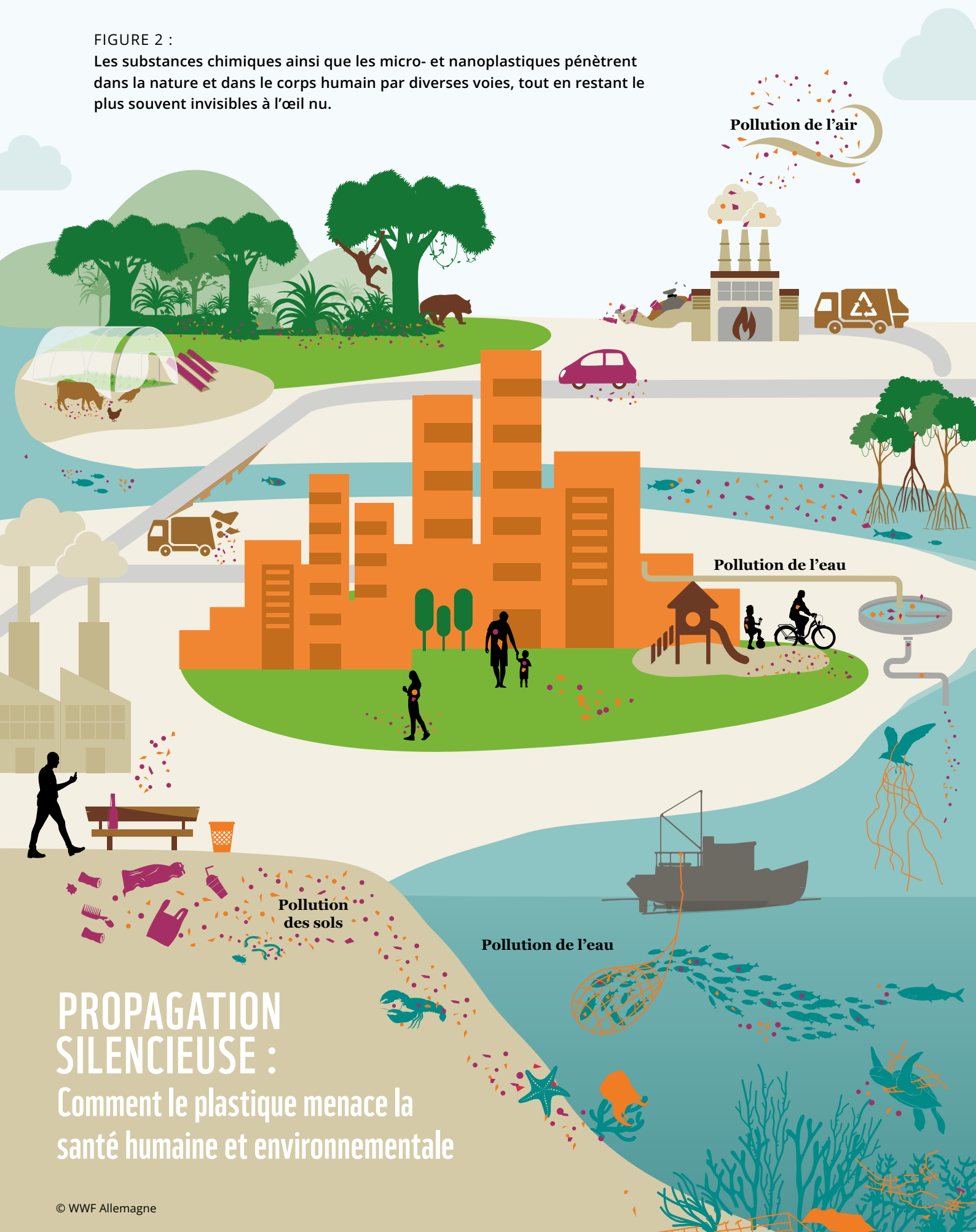
Les animaux marins confondent souvent le plastique avec de la nourriture – une étude a montré que plus de 56 % des animaux marins et 40 % des oiseaux de mer ont ingéré du plastique, ce qui libère probablement des MnP dans leur organisme.

Sur terre aussi, les risques deviennent de plus en plus évidents. Les MnP perturbent la santé et le comportement des organismes du sol qui sont essentiels au fonctionnement des écosystèmes et à la production alimentaire. Des études ont montré que les microplastiques en polyéthylène (PE) peuvent endommager le système immunitaire des vers de terre, que les microplastiques en polychlorure de vinyle (PVC) limitent les mouvements des collemboles (créatures ressemblant à des insectes qui jouent un rôle clé dans la décomposition de la matière organique dans le sol) et que les particules de polyéthylène téréphtalate (PET) provoquent des dommages oxydatifs chez les vers ronds.²⁴ Tous ces organismes jouent un rôle essentiel dans la santé des sols et représentent des éléments clés de la chaîne alimentaire,²⁵ ce qui signifie que les effets d'entraînement de la pollution plastique s'étendent profondément aux systèmes alimentaires et au fonctionnement des écosystèmes.

Les plastiques peuvent également libérer des produits chimiques nocifs dans l'environnement, ce qui a de graves conséquences pour la faune et le fonctionnement des écosystèmes. Les retardateurs de flamme, qui proviennent souvent des plastiques, ont été détectés chez les ours polaires, les chimpanzés et les pandas roux.²⁶ Les impacts documentés de ce groupe particulier de produits chimiques comprennent le dysfonctionnement de la thyroïde chez les ours polaires, l'altération de la taille du cœur et du cerveau chez les crécerelles d'Amérique, ainsi que des effets sur la reproduction et le système immunitaire des orques.²⁷ Même les micro-organismes sont touchés. *Le Prochlorococcus* – la bactérie photosynthétique la plus abondante de l'océan et un important producteur d'oxygène²⁸ – présente une croissance et des capacités photosynthétiques réduites²⁹ lorsqu'il est exposé à des produits chimiques dérivés du plastique. La perturbation de ces microbes risque donc de déstabiliser les cycles mondiaux du carbone et de l'oxygène, avec des effets en cascade sur la santé de la planète.

FIGURE 2 :

Les substances chimiques ainsi que les micro- et nanoplastiques pénètrent dans la nature et dans le corps humain par diverses voies, tout en restant le plus souvent invisibles à l'œil nu.





3.3 PLASTIQUES ET SANTÉ HUMAINE

Il apparaît de plus en plus clairement que les plastiques qui nuisent à la faune constituent également une menace pour la santé humaine. Les MnP, ainsi que les produits chimiques ajoutés aux plastiques lors de leur fabrication, sont retrouvés dans le corps humain, de nos poumons à notre circulation sanguine. Les conséquences peuvent être importantes.

Des études sur les impacts toxicologiques des substances liées au plastique, telles que les bisphénols, les phtalates et les retardateurs de flamme, ont établi un lien entre ces produits chimiques et toute une série de maladies, notamment :

- des cancers liés aux hormones (notamment du sein et des testicules)
- une réduction de la fertilité et des troubles de la reproduction
- des affections respiratoires chroniques telles que l'asthme
- les maladies cardiovasculaires telles que les maladies du cœur et les accidents vasculaires cérébraux
- les troubles métaboliques telles que le diabète et l'obésité
- les affections neurologiques, notamment le TDAH, l'autisme et la démence.

Ces effets de grande ampleur découlent de la manière dont les particules de plastique et leurs additifs chimiques interagissent avec l'organisme. Par exemple, les particules de plastique peuvent transporter des additifs chimiques, augmentant ainsi leur biodisponibilité et facilitant leur pénétration dans les cellules et les tissus.

Les sections suivantes explorent ces deux sources majeures de dommages : d'une part, les effets physiques des particules de plastique elles-mêmes et, d'autre part, les risques pour la santé liés aux produits chimiques utilisés dans les plastiques.

DES DOMMAGES INVISIBLES : COMMENT LES MICROPLASTIQUES AFFECTENT LE CORPS

Une fois libérés dans l'environnement, les MnPs peuvent être inhalés, ingérés ou pénétrer dans la peau.³⁰ À l'intérieur du corps, ils peuvent causer des dommages considérables.

Tout d'abord, en tant que matériaux biologiquement étrangers et non biodégradables, les MnP peuvent provoquer des réactions inflammatoires, déclencher des réponses immunitaires dérégulées, perturber les fonctions cellulaires et endommager les tissus³¹ par leur simple présence physique. Les nanoplastiques sont particulièrement préoccupants en raison de leur capacité à franchir les barrières biologiques, à pénétrer profondément dans les tissus et les organes et à s'accumuler dans l'organisme. Ces particules ont été détectées dans des organes vitaux tels que les poumons, le cerveau, l'intestin et le placenta, ainsi que dans le sang, le lait maternel et les selles.^{32, 33, 34}

L'inhalation de MnP peut irriter et enflammer les voies respiratoires et les poumons, entraînant ainsi des problèmes respiratoires et aggravant des affections préexistantes comme l'asthme ou la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO).³⁵ De nouvelles preuves suggèrent qu'elles peuvent également s'accumuler dans les artères, exacerbant l'inflammation^{36, 37} et augmentant potentiellement le risque de maladies cardiovasculaires graves telles que l'infarctus du myocarde, l'accident vasculaire cérébral³⁸ et l'athérosclérose, une maladie inflammatoire chronique causée par une accumulation de matières grasses dans les artères. Des études chez l'homme et la souris ont démontré que les nanoplastiques, tels que le polystyrène (PS), peuvent déclencher des inflammations³⁹ et même provoquer la mort de cellules.⁴⁰



FIGURE 3 :

Des plastiques minuscules, un impact majeur : comment les micro- et nanoplastiques sont suspectés d'affecter le corps humain.⁴¹

© WWF Allemagne, d'après Krause, S., Ouellet, V., Allen, D. et al. (2024)

© WWF Allemagne

SYSTÈME RESPIRATOIRE

- Inflammation
- Irritation
- Stress oxydatif
- Cytotoxicité
- Dyspnée
- Risque accru de cancer
- Pneumoconiose
- Altération de la fonction pulmonaire

- Ulcères de la cloison nasale
- Modifications fibreuses de la paroi alvéolaire
- Diminution de la capacité de diffusion
- Rétrécissement des segments bronchiques
- Incidence élevée de maladies pulmonaires interstitielles

SYSTÈME NEUROLOGIQUE

- Neurotoxicité
- Lésions de l'ADN
- Effets sur le développement
- Troubles neurodégénératifs

SYSTÈME CIRCULATOIRE

- Augmentation de la perméabilité membranaire
- Toxicité cardiaque
- Absorption/transport des lixiviats

FONCTIONS DE FILTRATION ET D'ÉLIMINATION

- Troubles métaboliques

SYSTÈME DIGESTIF

- Infections intestinales
- Inflammation
- Atteintes hépatiques et apoptose
- Réponses immunostimulatoires
- Nausées, vomissements, diarrhée
- Risque accru de cancers de l'estomac et de l'œsophage
- Embolisation des petits vaisseaux chez les animaux après administration orale prolongée
- Effets sur le fonctionnement du microbiome intestinal

REPRODUCTIVE FUNCTIONS

- Perturbation endocrinienne réduisant la fertilité

PEAU

- Corrosion et irritation
- Dommages et irritations cutanés
- Transfert des additifs à travers la barrière cutanée vers la circulation systémique

Dans le système digestif, des microplastiques ont été trouvés dans les matières fécales humaines et dans les tissus du cancer colorectal,^{42, 43} ce qui soulève des inquiétudes quant à leur rôle dans l'inflammation gastro-intestinale et le développement de tumeurs. La présence de particules de plastique dans le cerveau humain⁴⁴ indique qu'elles peuvent passer dans la circulation sanguine et atteindre le cerveau. En effet, des niveaux plus élevés de MnP ont été trouvés dans le cerveau de patients atteints de démence, ce qui suggère des liens potentiels avec les maladies neurodégénératives – une tendance également observée avec d'autres particules ultrafines, telles que celles provenant de la combustion des véhicules, qui sont connues pour traverser la barrière hémato-encéphalique et contribuer au déclin cognitif.

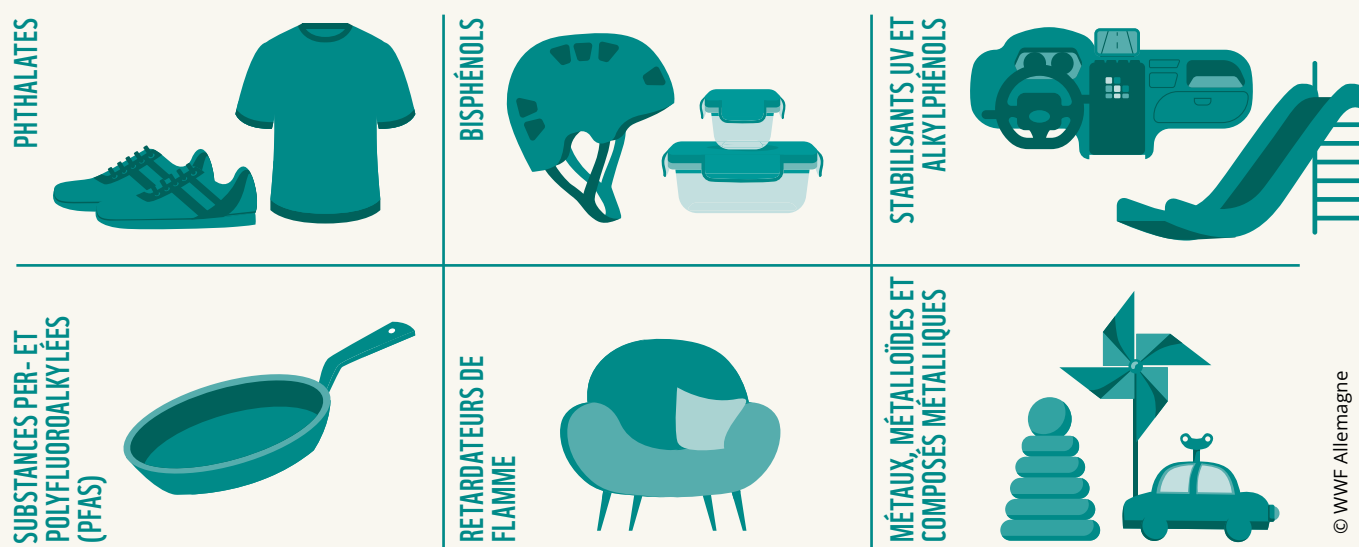
Deuxièmement, les particules de plastique peuvent transporter des microbes nocifs, servir de vecteurs pour les agents pathogènes et favoriser la résistance aux antimicrobiens. La surface de nombreuses particules de plastique offre des conditions idéales pour la colonisation microbienne, permettant aux champignons, aux algues et aux bactéries de s'accumuler. Ces particules de plastique fonctionnent alors comme des vecteurs d'infections potentielles, en particulier lorsqu'elles sont consommées par des humains ou des animaux.⁴⁵



Ce qui est encore plus préoccupant, c'est leur rôle dans l'accélération de la résistance aux antimicrobiens, l'une des menaces les plus urgentes pour la santé publique dans le monde. Une récente étude en laboratoire suggère que certains MnP peuvent faciliter le transfert de gènes résistants aux antibiotiques entre bactéries – un processus connu sous le nom de transfert horizontal de gènes – augmentant la propagation de la résistance aux antibiotiques jusqu'à 200 fois.⁴⁶ Ce phénomène risque de compromettre l'efficacité des antibiotiques, d'alimenter l'apparition de superbactéries résistantes et de réduire l'efficacité des médicaments qui sauvent des vies, bien que des preuves supplémentaires soient nécessaires pour confirmer ces effets.

Troisièmement, les MnP peuvent transporter et libérer un cocktail de produits chimiques toxiques et d'additifs qui interfèrent avec les processus biologiques. La section suivante explore ces processus chimiques plus en détail, en soulignant leur interaction avec le corps, ainsi que les risques qu'ils représentent pour la santé humaine.

FIGURE 4 : Les plastiques sont omniprésents et contiennent des substances chimiques toxiques qui nuisent aux humains et à la faune.



© WWF Allemagne

À L'INTÉRIEUR DU CORPS : COMMENT LES SUBSTANCES CHIMIQUES PRÉOCCUPANTES LIÉES AUX PLASTIQUES CAUSENT DES DOMMAGES

La plupart des plastiques contiennent un mélange complexe d'additifs, souvent introduits au cours de la production pour conférer aux plastiques des propriétés spécifiques, telles que la flexibilité, la durabilité ou la résistance au feu et à la lumière ultraviolette (UV). Nombre de ces additifs sont connus pour leur nocivité, notamment les substances chimiques des six groupes suivants, que l'on trouve couramment dans de nombreux produits en plastique. Tous les plastiques ne contiennent pas toutes les substances chimiques mentionnées dans cette liste, mais ces exemples illustrent l'utilisation variée de substances chimiques nocives dans l'ensemble de l'économie du plastique. Bien qu'il ne soit pas toujours possible de prouver que la présence de ces produits chimiques dans le corps humain provient exclusivement des plastiques, leur utilisation répandue dans les produits en plastique, combinée à leur détection dans les tissus humains, fait des plastiques une source d'exposition probable et évitable.

- **Les phtalates** – couramment utilisés pour assouplir le PVC dans des produits tels que les revêtements de sol en vinyle, les rideaux de douche et les tubes médicaux.
- **Les bisphénols** – que l'on retrouve dans des produits tels que les emballages d'aliments et de boissons, les reçus en papier thermique et les bouteilles d'eau réutilisables.
- **Les stabilisateurs UV et alkylphénols** – utilisés dans les meubles d'extérieur, les plastiques automobiles et les emballages pour prévenir la dégradation due à la lumière du soleil.
- **Les substances per- et polyfluoroalkyles (PFAS)** – que l'on trouve dans les emballages alimentaires résistants aux graisses, les ustensiles de cuisine antiadhésifs et les vêtements imperméables.

- **Les retardateurs de flamme** – largement utilisés dans les textiles, l'électronique et les matériaux d'isolation des bâtiments.
- **Métaux, métalloïdes et composés métalliques** – utilisés comme stabilisants, pigments ou catalyseurs dans la production de plastique et présents dans des produits tels que les tuyaux en PVC, les jouets et le gazon synthétique.

Certains de ces produits chimiques, comme le bisphénol A et les phtalates, peuvent s'infiltrer dans l'environnement,⁴⁷ ce qui accroît le risque d'exposition humaine. Ces produits chimiques peuvent ensuite être libérés au fil du temps et interférer avec la biologie humaine de multiples façons interconnectées,^{48, 49, 50, 51} des perturbations qui sont liées à un large éventail de maladies et de conditions de santé.⁵² En outre, les MnP peuvent servir de vecteurs à ces substances chimiques, en les transportant dans l'organisme. Dans certains cas, ils peuvent « faire passer » des substances nocives au-delà des défenses naturelles du corps et les transporter profondément dans les tissus, les cellules et les organes, un mécanisme connu sous le nom d'« effet cheval de Troie ».^{53, 54, 55}

Les MnP peuvent « faire passer » des substances nocives au-delà des défenses naturelles de l'organisme et les transporter profondément dans les tissus, les cellules et les organes.

L'un des effets sur la santé les mieux documentés, induits par les substances chimiques préoccupantes liées aux plastiques, est la perturbation endocrinienne. De nombreux additifs présents dans les plastiques - en particulier les phtalates et les bisphénols – sont des perturbateurs endocriniens (PE), qui interfèrent avec le système hormonal finement régulé de l'organisme, responsable de fonctions telles que la croissance, la reproduction, le métabolisme et le poids corporel.⁵⁶ Ces substances chimiques peuvent imiter les hormones naturelles telles que les œstrogènes et la testostérone, en se liant aux récepteurs et en perturbant la signalisation hormonale normale.⁵⁷ La perturbation endocrinienne peut contribuer à des problèmes à long terme, notamment des problèmes de fertilité, une puberté prématurée, des troubles de la thyroïde⁵⁸ et des cancers sensibles aux hormones, comme le cancer du sein.⁵⁹ Ces produits chimiques sont également liés à des conditions métaboliques telles que le diabète et l'obésité.^{60, 61}

Ces mêmes substances chimiques présentent également des risques pour le développement du cerveau. En perturbant les systèmes de neurotransmetteurs et les hormones clés du développement, elles peuvent nuire à la formation et au fonctionnement du cerveau. Il a été démontré que les phtalates, par exemple, interfèrent avec les systèmes de neurotransmetteurs pendant les phases critiques du développement du cerveau. Les conséquences peuvent être une réduction du volume de la matière grise, une altération des fonctions cognitives et motrices et une baisse du QI.^{62, 63} Ces effets sont particulièrement préoccupants pendant la période prénatale et la petite enfance, lorsque le cerveau se développe rapidement. L'exposition des enfants aux bisphénols à des périodes cruciales de leur développement a contribué à l'émergence de troubles neurologiques graves tels que le trouble déficitaire de l'attention/hyperactivité (TDAH), le trouble du spectre autistique (TSA), la dépression et l'anxiété.⁶⁴

Il est nécessaire d'élaborer des solutions communes qui protègent la santé publique, sauvegardent la biodiversité et soutiennent la résilience de la planète, en reconnaissant les liens étroits entre la santé humaine, la santé animale et la santé environnementale.

Les MnP peuvent également être nocifs en déclenchant un stress oxydatif. Certaines substances chimiques préoccupantes liées au plastique peuvent augmenter la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) ou de radicaux libres – des molécules instables qui peuvent facilement réagir avec d'autres molécules dans une cellule.⁶⁵ Si les ROS ont des fonctions biologiques normales et sont gérés par l'organisme à l'aide d'antioxydants, une production excessive nuit à leur équilibre, entraînant un stress oxydatif. Celui-ci peut endommager l'ADN et d'autres molécules de la cellule et favoriser le vieillissement et la maladie.^{66, 67} Les phtalates, par exemple, interfèrent avec l'activité des antioxydants, faisant pencher la balance en faveur du stress oxydatif.⁶⁸

En outre, plusieurs de ces substances chimiques interfèrent avec le fonctionnement des gènes, affectant leur activation ou leur désactivation, ce qui entraîne des effets à long terme sur la santé, susceptibles d'être transmis aux générations futures.⁶⁹ Ce type de modification épigénétique peut changer la façon dont le corps se développe ou fonctionne, en particulier au début de la vie. Par exemple, l'exposition prénatale au bisphénol A peut interférer avec un gène impliqué dans le fonctionnement du cerveau, ce qui augmente le risque de troubles du développement neurologique, en particulier chez les filles.⁷⁰

Ces substances chimiques préoccupantes liées au plastique peuvent également perturber le système immunitaire – la défense de l'organisme contre les maladies et les substances nocives – en interférant avec les cytokines, des substances de signalisation qui coordonnent la réponse immunitaire. Une signalisation inappropriée de la réponse immunitaire peut conduire à une inflammation chronique, un état persistant d'activation immunitaire qui a été associé à un large éventail d'affections, des maladies respiratoires jusqu'au cancer.⁷¹

Nombre de ces mécanismes pathologiques sont interconnectés. Les perturbateurs endocriniens peuvent modifier l'expression des gènes,⁷² et la modification de l'expression des gènes inflammatoires influence l'inflammation.⁷³ Le stress oxydatif entraîne des lésions de l'ADN, qui peuvent déclencher une inflammation et des maladies ultérieures.⁷⁴ Cet effet cumulatif peut augmenter le risque global d'un large éventail de maladies chroniques, ce qui souligne l'urgence d'une action de précaution pour réduire l'exposition aux substances chimiques liées au plastique.

Des preuves plus détaillées sont présentées dans l'annexe technique, où les risques posés par six groupes chimiques clés pour l'homme et la faune sont examinés en profondeur, mais la science est de plus en plus claire : les MnPs et les produits chimiques liés aux plastiques peuvent avoir un impact sur la santé humaine – et environnementale – par le biais de multiples voies biologiques. Ces résultats soulignent la nécessité d'envisager la pollution plastique à travers l'approche « *One Health* », non seulement pour comprendre toute l'étendue des dommages, mais aussi pour élaborer des solutions communes qui protègent la santé publique, sauvegardent la biodiversité et soutiennent la résilience planétaire, en reconnaissant les liens profonds entre la santé humaine, animale et environnementale.

Bien que la recherche continue d'évoluer, il existe déjà un ensemble substantiel de preuves qui indiquent des dommages crédibles et cohérents. Il est temps d'agir. La section suivante décrit comment ces preuves peuvent et doivent informer des mesures politiques ambitieuses et préventives pour s'attaquer à la crise du plastique à la racine.

Danger ou risque : quelle est la différence ?

Un **danger** est quelque chose qui a le potentiel de causer des dommages, comme un produit chimique ou un microplastique qui, dans certaines conditions, peut affecter la santé humaine ou environnementale.

Un **risque** est la probabilité qu'un dommage se produise effectivement et sa gravité, en fonction de la quantité, de la fréquence et de la manière dont les personnes (ou d'autres organismes) sont exposées à ce danger.

Par exemple, un produit chimique peut être dangereux à des concentrations élevées, mais le risque pour les personnes ou l'environnement dépend de la quantité à laquelle elles sont exposées et de la manière dont elles le sont.

Les études scientifiques utilisent souvent des concentrations plus élevées pour comprendre le potentiel de nuisance et la manière dont il se produit. Ces études permettent d'identifier et de caractériser les dangers, mais elles ne reflètent pas toujours les conditions réelles, où les expositions sont plus faibles mais peuvent néanmoins être chroniques et généralisées. Bien qu'il soit encore difficile de mesurer les niveaux d'exposition exacts, on craint de plus en plus qu'une exposition à long terme et à faible niveau aux MnPs et aux substances chimiques associées préoccupantes ne contribue à de graves effets sur la santé.





Les alertes scientifiques se multiplient et, avec elles, l'urgence d'agir. Un traité mondial ambitieux sur les plastiques, sous l'égide de l'ONU, est indispensable pour réduire l'exposition et prévenir les effets durables sur la santé.

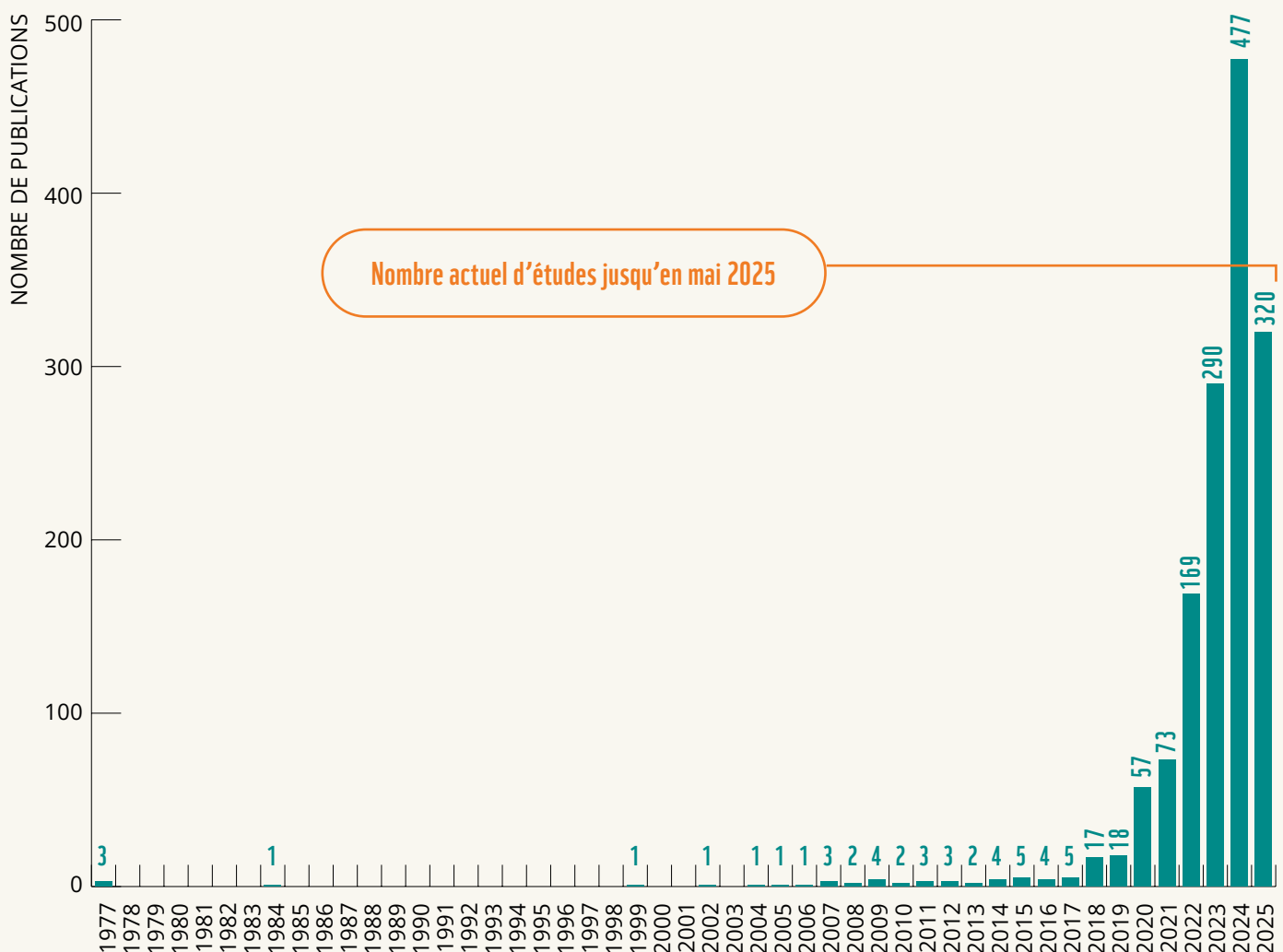
4. DES PREUVES À L'ACTION : PRIORITÉS POLITIQUES POUR LE CHANGEMENT

Les preuves scientifiques sont désormais substantielles. Des milliers d'études évaluées par des pairs mettent en évidence des associations de plus en plus cohérentes et troublantes. Le volume de recherche dans ce domaine a considérablement augmenté ces dernières années, avec près de 1 500 publications depuis 2018 seulement, ce qui reflète non seulement une préoccupation croissante, mais aussi la disponibilité accrue des données et la capacité technologique à retracer ces préjudices. Cet ensemble croissant de preuves exige une réponse politique et réglementaire tout aussi ambitieuse.

FIGURE 5 :

Nombre d'études identifiant l'impact des micro- et nanoplastiques sur la santé humaine entre 1977 et mai 2025

Les études démontrant l'impact des micro- et nanoplastiques sur la santé humaine ont augmenté au cours des dernières décennies (et depuis le premier rapport de l'OMS sur les risques pour la santé humaine à partir de 2019). Au total, 1 467 études ont été identifiées (05/2025) lors d'une recherche effectuée à l'aide de Scopus et en combinant individuellement les mots-clés « microplastics » ou « nanoplastics » avec « santé humaine », santé publique, poumon, coeur, intestin, cerveau et cancer.



LA NÉCESSITÉ D'UNE POLITIQUE MONDIALE DÉCISIVE, EFFICACE ET PRÉVENTIVE

Bien que les preuves scientifiques continuent d'évoluer, les risques sont crédibles et les enjeux sont élevés. L'exposition aux polluants plastiques est quasi universelle et largement involontaire. Les effets sur la santé ne se limitent pas à l'homme. Les MnP et les substances chimiques toxiques contenues dans les plastiques peuvent également endommager la faune et les écosystèmes. Et comme de nombreux effets (tels que les cancers et les troubles de la fertilité) peuvent mettre des années à se manifester, il existe un risque élevé de conséquences à long terme et potentiellement irréversibles si l'on tarde à agir.

Dans de tels contextes, le principe de précaution⁷⁵ devient essentiel. Ce principe bien établi est un principe fondamental du droit de l'environnement et de la santé publique, et affirme qu'en cas de risques crédibles, l'absence de certitude scientifique ne devrait pas être une raison pour reporter l'action. Ce principe a guidé de nombreux accords internationaux fructueux, tels que le protocole de Montréal de 1987, qui a pris des mesures décisives à l'égard des substances appauvrissant la couche d'ozone avant que les connaissances scientifiques ne soient totalement établies. Depuis, ce traité a permis d'éviter des millions de cas de cancer de la peau et de cataractes oculaires et, au lieu de décupler l'appauvrissement de la couche d'ozone d'ici à 2050, celle-ci devrait se reconstituer d'ici au milieu du siècle,⁷⁶ bien que les chlorofluorocarbones (CFC, les produits chimiques responsables) persistent dans l'atmosphère pendant des décennies, voire des siècles, avec des demi-vies allant de 50 à 500 ans.



QU'EST-CE QUE LE PRINCIPE DE PRÉCAUTION ?

Le principe de précaution signifie prendre des mesures préventives face à l'incertitude. Si une action ou une politique comporte un risque suspect de nuire à la santé publique ou à l'environnement, la charge de la preuve incombe à ceux qui plaident en faveur de cette activité, et non au public de démontrer le dommage. C'est un principe qui nous permet de protéger les personnes et la nature avant que des dommages ne soient causés. Plusieurs traités internationaux ont appliqué avec succès le principe de précaution, par exemple, le Protocole de Montréal, la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, la Convention de Bâle et la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

Une approche similaire est désormais nécessaire pour la pollution plastique, qui constitue une menace directe pour l'homme, la nature et les générations futures. À l'instar des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, de nombreux plastiques et les produits chimiques qui leur sont associés sont très persistants et restent dans l'environnement pendant des décennies, voire des siècles.⁷⁷ Cette persistance rend toute action tardive particulièrement coûteuse. Il est essentiel de prendre des mesures énergiques et proactives pour lutter contre les effets négatifs des plastiques. Une réponse véritablement efficace à la crise de la pollution plastique doit adopter une approche intégrée de la « *One Health* », reconnaissant que l'impact sur un domaine est profondément lié aux dommages dans d'autres ; réduire l'exposition chez les humains, les animaux ou l'environnement peut réduire le risque dans tous les domaines.



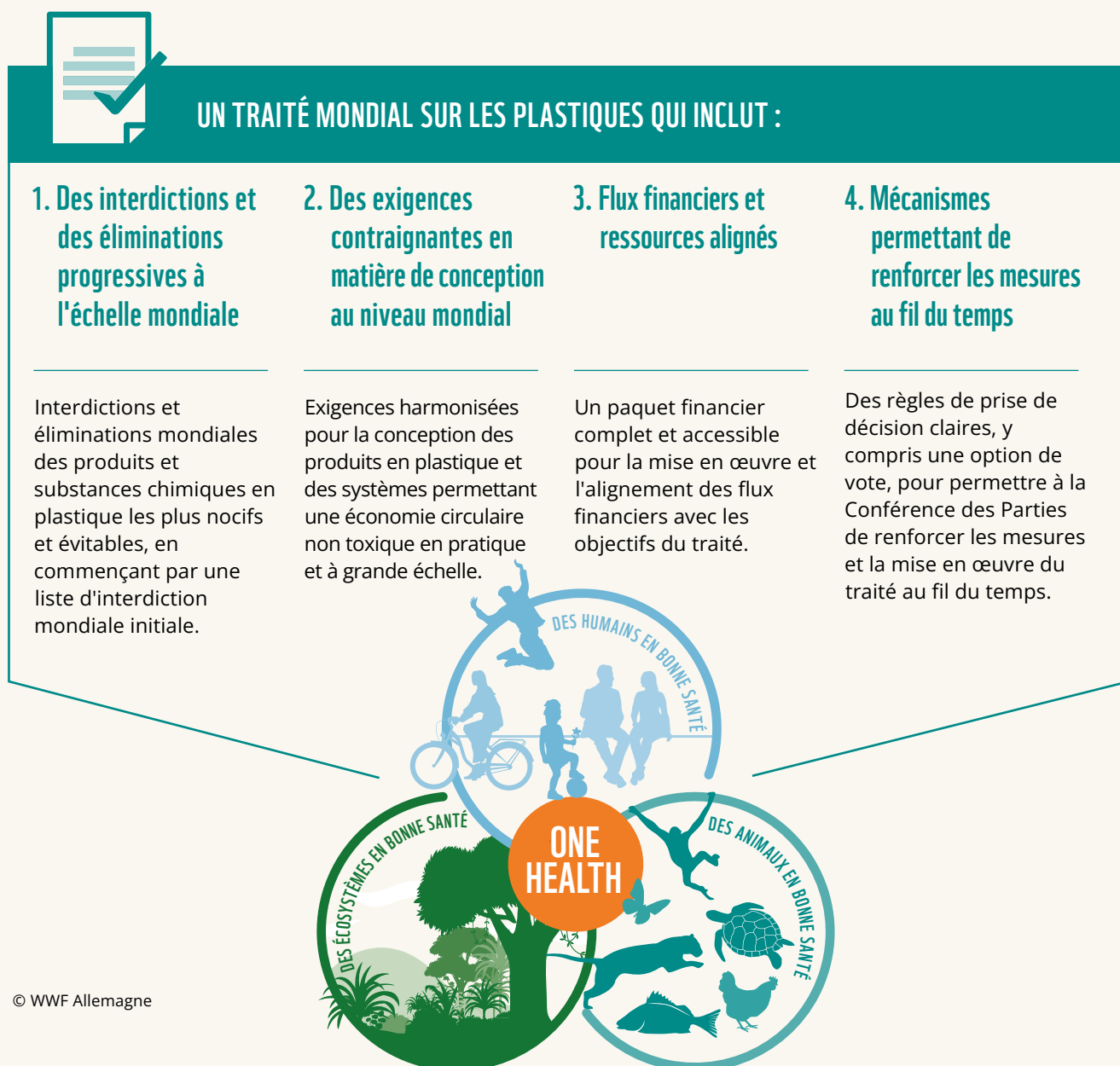
LE TRAITÉ MONDIAL SUR LE PLASTIQUE : UNE OPPORTUNITÉ UNIQUE

Un traité mondial solide sur le plastique offre une occasion vitale de transformer les preuves scientifiques en actions politiques et de réduire les risques pour la santé liés aux MnPs et aux substances chimiques préoccupantes liées au plastique. Après cinq cycles de négociations, une large majorité de pays a soutenu des mesures ambitieuses,⁷⁸ avec près de 100 pays soutenant l'« Appel de Nice pour un traité plastique ambitieux » (ou « Nice wake up call for an ambitious plastics treaty »).⁷⁹

Pour protéger efficacement la santé humaine et environnementale, le traité doit inclure, au minimum, les quatre éléments suivants :⁸⁰

FIGURE 6 :

Indispensables pour un traité mondial ambitieux sur les plastiques et une approche sanitaire



Les données scientifiques montrent que sur les 16 000 substances chimiques utilisées ou présentes dans les matériaux et produits en plastique, moins de 1 000 (6 %) font actuellement l'objet de réglementations internationales, alors que plus de 4 200 d'entre elles sont connues pour être dangereuses.⁸¹

Pour minimiser les risques pour la santé, il est essentiel d'interdire et d'éliminer les produits en plastique à haut risque, c'est-à-dire ceux présentant des caractéristiques qui augmentent leur probabilité de se retrouver dans nos environnements et de causer des dommages en tant que polluants. Cela inclut les articles à usage unique susceptibles d'être jetés et d'échapper aux systèmes de gestion des déchets, ainsi que les produits en plastique contenant des substances toxiques et des microplastiques ajoutés intentionnellement. Ces produits représentent les risques les plus significatifs dans la crise de la pollution plastique et doivent être les premiers à disparaître.

En même temps, il est essentiel de traiter les risques chimiques intégrés dans les plastiques. Les preuves scientifiques montrent que parmi les 16 000 produits chimiques utilisés ou présents dans les matériaux et produits plastiques, moins de 1 000 (6 %) sont actuellement soumis à des réglementations internationales, bien que plus de 4 200 (plus de 26 %) – y compris ceux discutés dans ce document – soient connus pour être dangereux.⁸¹ Comblers cette lacune réglementaire est crucial pour réduire les dommages potentiels des plastiques sur la santé humaine et environnementale.



Les mesures visant à repenser les produits plastiques et les systèmes pertinents constituent un autre outil critique pour atténuer les impacts sur la santé. Des critères globaux harmonisés sur la conception et la performance des produits exigeraient des producteurs à travers les juridictions d'augmenter la sécurité et de minimiser les risques des produits plastiques, ainsi que de les maintenir en circulation grâce à la réutilisation et au recyclage. Par exemple, des normes de produits pourraient minimiser les libérations de MnP ou exiger l'exclusion d'additifs nocifs. De telles mesures garantiraient que les plastiques en circulation sont conçus pour être plus sûrs et moins susceptibles de polluer les environnements et d'affecter les écosystèmes et la santé humaine.

Enfin, une assistance financière et de mise en œuvre complète, ainsi que des mécanismes permettant de renforcer le traité au fil du temps, sont fondamentaux pour garantir l'efficacité à long terme de ces mesures et la mission globale du traité de protéger la santé humaine et l'environnement contre la pollution plastique. Au-delà de ces éléments indispensables, le traité doit inclure des dispositions solides en matière de déclaration, de transparence et de commerce, qui sont toutes essentielles pour permettre une mise en œuvre efficace.



LE LEADERSHIP NATIONAL PEUT OUVRIR LA VOIE

Bien que des règles mondiales soient essentielles, les gouvernements nationaux et régionaux n'ont pas besoin d'attendre. Bon nombre des mesures actuellement sur la table des négociations mondiales ont déjà été testées au niveau national, telles que les interdictions nationales de certains produits en plastique et substances chimiques, les réformes nationales des réglementations sur l'emballage et l'éco-modulation dans le cadre de dispositifs obligatoires de Responsabilité Élargie du Producteur (REP). Par exemple, le règlement de l'UE sur les emballages et les déchets d'emballages (PPWR), la politique de REP du Kenya et ses interdictions des plastiques à usage unique, ainsi que les restrictions de la Chine sur certains additifs plastiques montrent qu'il est tout à fait possible pour les pays d'éliminer progressivement les produits et substances nocifs.

Des politiques nationales ambitieuses peuvent réduire les risques immédiats au niveau local, tout en inspirant des engagements plus forts et des actions à l'échelle mondiale. En agissant dès maintenant, les pays peuvent protéger leur population, stimuler l'innovation et faire monter le niveau des négociations internationales et de l'élaboration de règles mondiales. Mais pour réellement résoudre le problème de la pollution plastique, l'action nationale doit s'accompagner de règles mondiales ambitieuses et contraignantes, qui garantissent des conditions équitables et s'attaquent aux causes globales des dommages.

DE LA PREUVE À L'ACTION

La gravité de la crise appelle à une action urgente et coordonnée. Alors que les dynamiques de pouvoir mondiales évoluent et que de nouveaux acteurs économiques émergent, il y a une opportunité unique de reconfigurer le développement durable à travers une perspective « *One Health* ». Les États doivent reconnaître que la santé des personnes, des animaux et de l'environnement sont inextricablement liées, et que davantage de coopération internationale et d'harmonisation réglementaire sont essentielles pour réaliser les avantages socio-économiques à long terme de cette approche intégrée.

Face aux menaces alarmantes que la pollution plastique fait peser sur la santé humaine et l'environnement, le WWF et ses partenaires demandent aux gouvernements et aux négociateurs de livrer un traité mondial solide et juridiquement contraignant, avec des règles spécifiques et applicables capables de rendre l'industrie responsable. La majorité des États ambitieux doit prendre les devants pour façonner un traité qui soit juste, efficace et sans compromis dans sa protection de l'environnement et de la santé publique. Les gouvernements doivent choisir le courage plutôt que le compromis.

Le WWF appelle les gouvernements à faire preuve de courage pour diriger, de vision pour bâtir un changement systémique durable, et de responsabilité pour protéger les personnes et la nature. Le traité mondial pour mettre fin à la pollution plastique est à portée de main.

Le monde regarde – il est temps d'agir.





Les résultats scientifiques sur six groupes de produits chimiques couramment présents dans les plastiques montrent comment ils pénètrent dans nos corps et causent des dommages, soulignant la nécessité d'actions préventives et de réglementations plus strictes.

5. ANNEXE TECHNIQUE

Cette annexe technique fournit des détails supplémentaires sur une sélection de produits chimiques couramment trouvés dans les plastiques et la pollution associée au plastique. Alors que le corps principal de ce document résume les risques globaux pour la santé associés à l'exposition au plastique, cette annexe propose un examen plus approfondi de six groupes chimiques spécifiques, une brève explication de l'utilisation de ces produits chimiques dans les plastiques, les mécanismes par lesquels ils entraînent des dommages, et les preuves scientifiques les liant à des effets néfastes sur les humains et les animaux. Les résumés suivants reflètent les résultats de recherches évaluées par des pairs, d'agences de santé internationales et de revues récentes. Lorsque c'est possible, des preuves provenant d'études humaines et animales sont incluses pour illustrer le poids de l'inquiétude scientifique.

Bien que beaucoup de ces produits chimiques aient des effets similaires, cette annexe organise les preuves scientifiques dans les principales catégories d'impact sur la santé. Certains produits chimiques préoccupants liés aux plastiques, comme les phtalates et les bisphénols, ont été l'objet d'une vague significative d'études récentes ; d'autres, comme le plomb, font l'objet d'un examen minutieux depuis des décennies.

Bien que le volume et la récence de la recherche varient d'une substance à une autre, le tableau scientifique collectif est solide et profondément préoccupant.

De nombreuses études toxicologiques utilisent des concentrations de produits chimiques supérieures à celles que les gens peuvent typiquement rencontrer dans des environnements quotidiens. Cette approche aide les chercheurs à identifier les mécanismes potentiels de dommage, mais peut limiter les comparaisons directes avec l'exposition réelle. Néanmoins, les tendances émergentes dans la littérature scientifique soulignent de manière explicite que des mesures de précaution sont justifiées. Parallèlement, les chercheurs intensifient leurs efforts pour évaluer les risques sanitaires en recourant à des concentrations de substances qui reflète davantage dans les réalités environnementales.

PHTHALATES



Présentation

Les phtalates sont utilisés comme plastifiants – des substances qui rendent un matériau plus souple et plus flexible – dans le processus de fabrication d'applications allant des jouets aux dispositifs médicaux en passant par les revêtements de sol en vinyle, et se trouvent couramment dans les déchets plastiques ménagers.⁸²

Exemples chimiques

- DEHP (phtalate de di(2-éthylhexyle)) (*numéro CAS 117-81-7*)
- DBP (phtalate de dibutyle) (*numéro CAS 84-74-2*)
- BBP (phtalate de benzyle et de butyle) (*numéro CAS 85-68-7*)
- DIBP (phtalate de diisobutyle) (*numéro CAS 84-69-5*)
- DEP (phtalate de diéthyle) (*numéro CAS 84-66-2*)
- MEP (phtalate de monoéthyle) (*numéro CAS 2306-33-4*)
- MBP (phtalate de monobutyle) (*numéro CAS 131-70-4*)
- MIBP (phtalate de mono-isobutyle) (*numéro CAS 30833-53-5*)
- DINP (phtalate de diisononyle) (*numéros CAS 28553-12-0 et 68515-48-0*)
- DIDP (phtalate de diisodécyle) (*numéros CAS 26761-40-0 et 68515-49-1*)

Effets sur la santé humaine

Les phtalates sont largement utilisés, facilement absorbés et constituent l'une des menaces les mieux documentées associées aux plastiques pour la santé humaine. Leurs effets s'étendent à plusieurs systèmes humains, ce qui en fait une préoccupation majeure concernant les impacts sanitaires des produits chimiques liés aux plastiques.

Perturbation hormonale et reproductive

En tant que l'un des produits chimiques perturbateurs endocriniens (PE) les plus couramment rencontrés, les phtalates interfèrent avec le système de production d'hormones du corps, souvent en imitant les hormones naturelles, en se liant à leurs récepteurs et en bloquant la réponse hormonale normale.⁸³ Leur impact est particulièrement notable pendant la grossesse et la petite enfance, lorsque l'équilibre hormonal est essentiel pour le développement du cerveau et du corps.

Réduction de la fertilité masculine

À l'échelle mondiale, la fertilité masculine est en baisse. Les phtalates interfèrent avec la testostérone, une hormone essentielle au développement reproducteur masculin. Il existe des preuves solides liant ces produits chimiques à une fertilité en déclin,^{84,85} principalement en raison de :

- *La diminution de la qualité du sperme* : l'exposition à des concentrations plus élevées de phtalates est liée à une diminution de la motilité des spermatozoïdes (capacité des spermatozoïdes à nager vers un ovule et à le féconder, la diminution de la motilité augmentant le risque d'infertilité).⁸⁶ Une étude chinoise a révélé chez les hommes exposés aux phtalates une réduction de 6 % du nombre total de spermatozoïdes, une réduction de 5 % de la concentration de spermatozoïdes et une diminution de 3 % de la motilité, effets qui se sont partiellement inversés lorsque les hommes se sont déplacés vers des zones moins exposées aux phtalates.⁸⁷ Des résultats similaires ont été observés en Suède⁸⁸ et en Russie, où les hommes ayant une exposition plus élevée au DINP à la fin de la puberté présentaient un nombre total de spermatozoïdes inférieur de 32 %, une concentration de spermatozoïdes inférieure de 30 % et une motilité réduite de 30 %.⁸⁹
- *Les anomalies génitales* : l'exposition aux phtalates est associée à un développement reproducteur masculin anormal, à des risques accrus de cryptorchidie (testicules non descendus) et d'hypospadias (mauvais positionnement de l'ouverture urétrale), et à une distance anogénitale plus courte (un marqueur de fertilité réduite).⁹⁰ Ces anomalies contribuent à l'infertilité masculine. Des associations significatives ont été observées entre l'exposition prénatale et ces anomalies génitales.⁹¹

Perturbation reproductrice féminine

Bien que les preuves soient moins solides que chez les hommes, les phtalates ont également été associés à un éventail d'effets néfastes sur la santé reproductive des femmes. Un certain nombre d'études ont montré que l'exposition aux phtalates est liée à l'endométriose,⁹² aux fibromes utérins,⁹³ à la diminution de la réserve ovarienne,⁹⁴ à la réduction des taux de grossesse,⁹⁵ à l'augmentation des taux de fausses couches,⁹⁶ et à d'autres mauvais résultats de grossesse.⁹⁷

PHTHALATES

Développement neurologique Les phtalates sont liés à des perturbations hormonales essentielles au développement du cerveau. Il a été démontré que les phtalates ont un impact négatif sur la fonction de la tyrosine, un élément constitutif des hormones liées à la régulation de l'humeur, à l'attention et au contrôle des impulsions, et de la thyroxine, une hormone essentielle au développement neurologique. ^{98, 99}	Altération du développement cognitif précoce	Une étude a révélé que des phtalates spécifiques étaient associés à des réductions significatives du développement entre 4,5 et 7,5 mois y compris une diminution de 85 % de la capacité de résolution de problèmes chez les bébés de sexe féminin, une diminution de 52 % des compétences personnelles et sociales et une diminution de 39 % de la motricité fine chez les bébés de sexe masculin. ¹⁰⁰ Il a été démontré que l'exposition au cours des premières années de vie, que ce soit dans l'utérus ou pendant l'enfance, a un impact négatif sur le développement cognitif. ¹⁰¹ Cela correspond aux résultats d'au moins 25 études établissant un lien entre l'exposition maternelle et prénatale aux phtalates et la réduction du développement neurologique et de la fonction cognitive chez les enfants. ¹⁰²
	Réduction du volume de matière grise	Des niveaux plus élevés de phtalates chez les mères pendant la grossesse ont été associés à un volume total de matière grise inférieur chez les enfants à l'âge de 10 ans, lié à une altération des fonctions cognitives et motrices. ¹⁰³
	Traitement plus lent de l'information	L'exposition prénatale aux phtalates a conduit à un traitement de l'information plus lent durant la petite enfance. ¹⁰⁴
Effets sur les voies respiratoires L'exposition aux phtalates pendant la grossesse peut augmenter le risque de problèmes respiratoires chez les enfants. ¹⁰⁵	Asthme	Une étude a révélé que les enfants de mères ayant des niveaux plus élevés de métabolites urinaires de BBP et de DBP pendant la grossesse étaient jusqu'à 78 % plus susceptibles de développer de l'asthme entre 5 et 11 ans, par rapport aux enfants de mères ayant des niveaux plus faibles. ¹⁰⁶
	Rhinite allergique	Les phtalates peuvent déclencher la toux et l'inflammation des voies respiratoires en perturbant la fonction immunitaire, contribuant à une irritation respiratoire chronique et compromettant la fonction pulmonaire. Cela peut se produire parce qu'ils stimulent les nerfs ou modifient l'activité des gènes dans les cellules immunitaires clés, ce qui pourrait augmenter l'inflammation pulmonaire allergique. ^{107,108} Cela peut se produire parce qu'ils stimulent les nerfs ¹⁰⁹ ou modifient l'activité des gènes dans les cellules immunitaires clés, ce qui pourrait augmenter l'inflammation pulmonaire allergique. ¹¹⁰
Impacts sur le système cardiovasculaire Les phtalates peuvent poser des risques pour la santé cardiovasculaire, ¹¹¹ peut-être en endommageant l'expression génique des mitochondries. ¹¹²	Maladies cardiaques	Une étude portant sur plus de 10 000 adultes a suggéré que les niveaux de phtalates sont associés à une augmentation des maladies cardiovasculaires. ¹¹³
	Hypertension	Plusieurs études ont montré que l'exposition aux phtalates (en particulier MEP, MBP et MIBP) est associée à l'hypertension artérielle, en particulier chez les femmes enceintes. ¹¹⁴
	Athérosclérose	On pense que les phtalates endommagent les mitochondries, ¹¹⁵ les moteurs de nos cellules qui gèrent l'énergie ; des mitochondries défectueuses peuvent provoquer une inflammation et entraîner une athérosclérose ¹¹⁶ , où les artères se rétrécissent et se durcissent en raison d'une accumulation de dépôts graisseux (plaque) sur leurs parois internes. L'athérosclérose est l'une des principales causes de crise cardiaque (infarctus du myocarde), d'insuffisance cardiaque et d'accident vasculaire cérébral.

PHTHALATES

Effets sur la
santé animale

Les chiens mâles exposés au DEHP ont montré des baisses de qualité du sperme similaires à celles des humains.¹¹⁷ Chez la souris, il a été constaté qu'un mélange de phtalates réduisait considérablement la motilité des spermatozoïdes, ce qui entraînait une réduction des taux de fécondation.¹¹⁸ Une étude récente sur des chèvres nourries avec des phtalates tout au long de la gestation a révélé une diminution significative des niveaux d'hormones critiques que sont l'œstrogène, la progestérone, l'hormone lutéinisante et la thyroxine, par rapport aux témoins.¹¹⁹

Les rongeurs et les poissons-zèbres exposés aux phtalates présentent une altération du développement cérébral, des troubles cognitifs, un stress oxydatif et des changements de comportement. La progéniture de rats exposés aux phtalates in utero a obtenu des résultats nettement moins bons dans les tests cognitifs.¹²⁰ Il a également été démontré que certains phtalates, notamment le BBP, le DEHP et le DBP, modifient le développement du cerveau et perturbent la fonction cognitivo-comportementale chez les poissons-zèbres et les rongeurs adultes.¹²¹ Par exemple, une étude spécifique a révélé que le DEHP était toxique pour le développement du poisson zèbre, la neurotoxicité étant démontrée par l'inhibition de l'enroulement de la queue et une activité réduite. Le DEHP a également induit un stress oxydatif et une apoptose chez les larves de poisson-zèbre.¹²² Dans une étude réalisée sur un modèle murin, la progéniture de souris gravides exposées au DEHP présentait une incidence de cardiopathie congénitale pouvant atteindre 14 %. Cette étude a établi un lien entre cette cardiopathie et la suppression, par le DEHP, de gènes clés impliqués dans la cardiogenèse (le développement et la formation du cœur).¹²³



BISPHÉNOLS



Présentation

Les bisphénols sont des composés chimiques utilisés pour durcir les plastiques et les rendre incassables. Le plus courant est le bisphénol A (BPA), qui est utilisé dans la production de plastiques polycarbonates, des plastiques transparents souvent utilisés comme additif dans les plastiques pour les toitures et les vitrages, mais aussi dans les CD, les casques de sécurité et les biberons. Le BPA a été progressivement éliminé dans certaines régions et est aujourd'hui souvent remplacé par d'autres bisphénols tels que le BPB et le BPS, qui peuvent présenter les mêmes risques (éco)toxicologiques. Il existe au moins 34 autres bisphénols utilisés qui peuvent exercer des effets nocifs similaires.¹²⁴

Exemples chimiques

- BPA (bisphénol A) (numéro CAS 80-05-7)
- BPB (bisphénol B) (numéro CAS 77-40-7)
- BPS (Bisphénol S) (numéro CAS 80-09-1)

Effets sur la santé humaine

Le BPA a soulevé des préoccupations en matière de santé publique et a été classé à la fois comme perturbateur endocrinien et comme toxine reproductive.¹²⁵ Le BPA a soulevé des préoccupations en matière de santé publique et a été classé à la fois comme perturbateur endocrinien et comme toxine reproductive. La perturbation des voies hormonales a un impact sur de nombreux éléments de la santé humaine, soulignant l'impact systémique des bisphénols. Au fur et à mesure que la prise de conscience de la toxicité du BPA s'est accrue, il a souvent été remplacé par des alternatives, telles que le bisphénol S. Cependant, une méta-analyse récente a démontré que tous les bisphénols ont un fort impact sur plusieurs hormones chez les animaux, y compris celles de la thyroïde et des systèmes reproducteurs. Bien que la base de données probantes soit encore en évolution, il est suggéré que les alternatives au BPA ont des effets aussi importants ou plus importants sur les hormones que le BPA.¹²⁶

Perturbation hormonale et reproductive

En imitant l'œstrogène, le BPA modifie les voies génétiques et hormonales, ce qui le lie à un risque accru de maladies œstro-dépendantes chez les femmes.¹²⁷

Cancer du sein

On soupçonne que le BPA augmente le risque de cancer du sein en interférant avec les voies des œstrogènes et en induisant des mutations génétiques pouvant conduire à la formation de tumeurs.¹²⁸ Dans une étude, les personnes atteintes d'un cancer du sein avaient des niveaux significativement plus élevés de BPA urinaire par rapport à celles qui n'étaient pas atteintes de la maladie.¹²⁹

Problèmes de reproduction féminine

L'exposition au BPA est associée à une série de problèmes de reproduction, notamment le syndrome des ovaires polykystiques (SOPK, une condition qui peut conduire à l'infertilité)¹³⁰, l'apparition prématurée de la puberté, l'insuffisance pondérale à la naissance et la prééclampsie (une complication grave de la grossesse caractérisée par une hypertension artérielle).¹³¹

Perturbation de la thyroïde

La glande thyroïde est essentielle à la régulation de l'équilibre hormonal et à l'orchestration de la croissance et du développement des systèmes nerveux et squelettique. Le BPA peut imiter les voies des hormones thyroïdiennes et perturber leur fonctionnement normal. Ces effets sont particulièrement prononcés chez les filles en raison de l'interaction avec les processus de développement féminin.^{132,133}

BISPHÉNOLS

Développement neurologique

Le BPA peut interférer avec les récepteurs d'œstrogènes dans tout le corps, y compris le cerveau, entraînant des conséquences à long terme. La perturbation de la signalisation des œstrogènes au cours des étapes clés du développement, telles que l'in utero et la puberté, peut modifier la structure et le fonctionnement du cerveau.

Altération du développement neurologique

En modifiant l'expression des gènes et la fonction cérébrale, le BPA peut avoir des conséquences à long terme sur le développement neurologique, notamment le TDA/H, les TSA, la dépression, l'anxiété, l'instabilité émotionnelle et les déficits cognitifs.¹³⁴

Maladie neurologique de l'adulte

La neurotoxicité liée au BPA a également été associée à un risque accru de maladies neurologiques, notamment les accidents vasculaires cérébraux, la maladie d'Alzheimer et la maladie de Parkinson.¹³⁵

Effets sur le système cardiovasculaire

L'exposition au BPA a été associée aux maladies cardiovasculaires et à l'hypertension. Bien que tous les mécanismes ne soient pas encore entièrement compris, il a été démontré que le BPA perturbe la signalisation au sein du système cardiovasculaire.¹³⁶

Effets sur la santé animale

Le BPA a des effets perturbateurs endocriniens similaires sur les animaux. Dans des études sur des rongeurs, l'interférence œstrogénique a entraîné une altération du comportement sexuel et une anxiété accrue.¹³⁷ Le BPA a été identifié comme un cancérogène direct dans le tissu mammaire chez les souris et les rats, et induit le SOPK chez les rats.¹³⁸ Des études animales ont également révélé que l'exposition au bisphénol entrave l'activité thyroïdienne chez les hamsters et perturbe la métamorphose des têtards.¹³⁹ L'exposition de brebis gravides au BPA a été associée à une hypothyroïdie chez les agneaux nouveau-nés.¹⁴⁰ Des effets neurologiques ont également été observés. Les souris exposées au BPA in utero ont montré une diminution de la capacité d'apprentissage, une réduction de la mémoire à long terme et une augmentation de l'anxiété ;¹⁴¹ Des effets néfastes sur le cerveau ont également été observés chez les rats mâles exposés in utero.¹⁴²



STABILISANTS UV ET ALKYLPHÉNOLS



Présentation

Les stabilisants UV sont utilisés pour empêcher la dégradation des plastiques par la chaleur et la lumière, en particulier pendant le traitement. Les alkylphénols sont une catégorie de stabilisants qui rendent les plastiques plus souples et durables. On les trouve dans des produits tels que les plastiques médicaux, les composants automobiles et le mobilier d'extérieur, ainsi que dans les produits cosmétiques.

Exemples chimiques

- Benzophenone-3 (BP-3)
- Nonylphénols
- Octylphénols

Effets sur la santé humaine

Les stabilisants UV sont des perturbateurs endocriniens qui interfèrent avec les systèmes hormonaux du corps, entraînant un large éventail de problèmes de santé. Le BP-3 est l'un des stabilisants UV nocifs les mieux documentés. Les alkylphénols sont également des perturbateurs endocriniens ; il s'agit d'une vaste catégorie de produits chimiques complexes, mais ils partagent tous une structure moléculaire similaire à celle des œstrogènes.

Perturbation hormonale et reproductive

Les effets hormonaux des stabilisants UV et des alkylphénols signifient qu'ils sont liés à un certain nombre de maladies hormonales graves, dont plusieurs liées au système reproducteur.

Cancers hormonaux

En raison de leur impact sur les hormones sexuelles féminines, les stabilisateurs UV ont été associés à des cancers hormonosensibles, notamment le cancer du sein et de l'endomètre. Une étude portant sur plus de 1 500 cas de cancer du sein a révélé une augmentation des cas chez les personnes occupant des emplois régulièrement exposés aux alkylphénols, y compris la fabrication de plastiques,¹⁴³ tandis qu'il a été démontré que certains stabilisants UV favorisent la croissance des cellules cancéreuses du sein.¹⁴⁴ Dans une autre étude, les femmes atteintes d'un cancer de l'endomètre avaient des concentrations urinaires significativement plus élevées de deux types d'alkylphénol par rapport à celles qui n'étaient pas atteintes de la maladie.¹⁴⁵

Endométriose et autres troubles utérins

Huit études régionales ont établi un lien entre les stabilisants UV et un risque accru de troubles de la reproduction liés aux hormones, tels que les fibromes utérins et l'endométriose. Dans une étude, les femmes ayant la plus forte concentration de BP-3 urinaire présentaient un risque d'endométriose 65 % plus élevé que les autres groupes.¹⁴⁶

Diabète induit par grossesse

L'exposition aux alkylphénols entraîne une augmentation significative du risque de diabète gestationnel chez les femmes enceintes, en particulier celles qui portent des fœtus féminins.¹⁴⁷ Bien que les preuves soient encore émergentes, une étude menée auprès de femmes enceintes en Chine a révélé que cela pourrait être dû à l'exposition aux alkylphénols pendant la grossesse interférant avec la fonction hépatique de la mère.¹⁴⁸

Perturbation de la testostérone chez les hommes

L'exposition au BP-3 est associée à des niveaux plus faibles de testostérone chez les adolescents masculins, ce qui peut entraver la puberté, diminuer la densité osseuse et musculaire et provoquer l'infertilité.¹⁴⁹

Maladie congénitale

L'exposition prénatale au BP-3 est associée à la maladie de Hirschsprung, une maladie intestinale congénitale causée par des mutations génétiques qui provoque une occlusion intestinale et une constipation chronique.¹⁵⁰

STABILISANTS UV ET ALKYLPHÉNOLS		
Autres impacts	Santé des os	BP-3 interfère avec la SPARC, une protéine qui influence la formation, l'entretien et la réparation des os. Des niveaux élevés de BP-3 urinaire sont corrélés à l'arthrose. ¹⁵¹
Effets sur la santé animale	Les impacts des stabilisateurs UV ne sont pas seulement observés chez les humains, mais ont également des effets négatifs sur la santé des poissons et des rongeurs. ¹⁵² Des études animales ont montré que les alkylphénols peuvent endommager les tissus hépatiques et rénaux, en particulier chez les rats. ¹⁵³ L'exposition chez les rates gravides a été liée à des lésions hépatiques chez la mère et la progéniture, ce qui a fourni une base pour étudier des impacts similaires chez l'homme. ^{154, 155}	



SUBSTANCES PER- ET POLYFLUOROALKYLÉES (PFAS)



Présentation

Les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS) sont largement utilisées pour les produits de consommation. Ils sont également ajoutés aux produits en plastique pour les rendre résistants à la chaleur, à l'huile, aux taches, à la graisse et à l'eau. On les trouve dans les emballages alimentaires, les ustensiles de cuisine, les matériaux de construction et l'électronique.

Exemples chimiques

Il existe potentiellement des milliers de produits chimiques classés comme PFAS. Les études ont tendance à les aborder comme une catégorie plutôt que comme des composés individuels.

Effets sur la santé humaine

Les PFAS, souvent appelés « produits chimiques éternels », sont des composés synthétiques qui persistent dans l'environnement, la faune et le corps humain pendant des années. Ces produits chimiques sont des perturbateurs endocriniens connus, interférant avec les voies hormonales et affectant particulièrement la fonction thyroïdienne. Les PFAS ne ciblent pas un seul organe ou système, ils peuvent perturber le corps à plusieurs niveaux, sur de longues périodes.

Perturbation hormonale et reproductive

Les PFAS peuvent imiter les œstrogènes et la testostérone, altérant la production, le transport et la dégradation de ces hormones clés, ce qui a des implications importantes pour la santé reproductive et globale.¹⁵⁶

Effets indésirables sur la grossesse et l'accouchement

L'exposition prénatale aux PFAS est liée à des effets néfastes, notamment des risques accrus de prééclampsie, un faible poids à la naissance et des dommages au placenta, un organe essentiel au développement du fœtus et au transfert de nutriments.¹⁵⁷

Troubles de la lactation et de l'allaitement

Deux études ont établi un lien entre l'exposition aux PFAS et la réduction de la durée de l'allaitement, ce qui a des implications pour la nutrition en début de vie.¹⁵⁸

Cancer

Les PFAS ont été associés à plusieurs types de cancer, en particulier la thyroïde, en raison de son interférence avec les hormones thyroïdiennes. Une étude a révélé une augmentation de 56 % du taux de diagnostic de cancer de la thyroïde chez les patients ayant deux fois plus de PFOS (un type de PFAS) dans le sang.¹⁵⁹ Il existe également des preuves liant les PFAS aux cancers du rein et des testicules : 11 études ont révélé une association entre l'exposition globale aux PFAS et un risque plus élevé de cancers du rein, tandis qu'une exposition à forte dose est associée à un risque plus élevé de cancer des testicules.¹⁶⁰

Effets sur les voies respiratoires

L'exposition aux PFAS peut endommager les tissus pulmonaires et déclencher une inflammation.

Bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO)

L'exposition aux PFAS est en train de devenir un facteur de risque de BPCO, un problème de santé mondial majeur identifié comme la troisième cause de décès par l'OMS en 2019.¹⁶¹

Réduction de la fonction pulmonaire

L'exposition peut endommager les tissus pulmonaires, déclencher une inflammation, et a été associée à une réduction de la fonction pulmonaire chez les enfants et les adolescents, ainsi qu'à une augmentation des taux d'asthme et d'allergies.^{162, 163}

Autres impacts

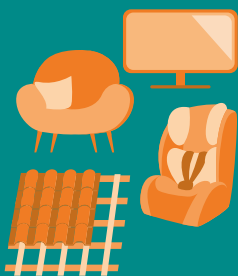
Immuno-suppression

Les PFA peuvent supprimer la fonction immunitaire de manière plus générale, ce qui réduit l'efficacité du vaccin et augmente le risque de maladie infectieuse infantile.¹⁶⁴ Ces perturbations du système immunitaire soulignent la nature systémique de la toxicité des PFAS dans le corps.

Effets sur la santé animale

Chez les lapins, qui ont des structures placentaires similaires à celles des humains, l'exposition aux PFAS a entraîné une prise de poids de la mère, une hypertension artérielle, des lésions rénales et une altération des réponses placentaires.¹⁶⁵ Chez les rongeurs, il a été démontré que les PFAS réduisent la production et le transport des hormones liées à la lactation et retardent le développement de la glande mammaire, reflétant les résultats d'études humaines liant l'exposition aux PFAS à une durée d'allaitement plus courte.¹⁶⁶

RETARDATEURS DE FLAMME



Présentation

Les retardateurs de flamme sont utilisés pour rendre les plastiques résistants au feu, les empêchant de brûler et de se dégrader ; ils sont utilisés dans des applications telles que les vêtements, la construction, les appareils électriques, les fils et les câbles. Les organophosphorés, autrefois considérés comme des alternatives plus sûres aux retardateurs de flamme bromés courantes comme l'HBCD et les PBDE, ont récemment fait l'objet d'un examen approfondi.

Exemples chimiques

- TBBPA (tétrabromobisphénol A) (*numéro CAS 79-94-7*)
- HBCD (Hexabromocyclododécane) (*numéro CAS 3194-55-6*)
- TDCPP (Tris(1,3-dichloro-2-propyl) phosphate) (*numéro CAS 13674-87-8*)
- PBDE (polybromodiphényléthers)

Effets sur la santé humaine

De nombreux retardateurs de flamme sont des perturbateurs endocriniens connus, qui altèrent le comportement des hormones dans le corps et nuisent aux processus physiologiques normaux.¹⁶⁷

Perturbation hormonale et reproductive

Les effets hormonaux induits par l'exposition aux retardateurs de flamme soulèvent de sérieuses préoccupations concernant les cancers liés aux hormones.

Risque accru de cancer

Les HBCD peuvent interférer avec l'activité des œstrogènes, augmentant ainsi la prolifération des cellules cancéreuses du sein¹⁶⁸ et a également été constaté qu'ils accélèrent la progression du cancer de la prostate.¹⁶⁹ Les PBDE (polybromodiphényléthers) perturbent les hormones thyroïdiennes et sont liés au cancer de la thyroïde.¹⁷⁰

Le TDCPP, un retardateur de flamme organophosphoré (OPFR), s'est révélé cancérigène pour les cellules hépatiques humaines.¹⁷¹

Développement neurologique

Il a été démontré que les retardateurs de flamme affectent négativement le développement neurologique en perturbant la régulation hormonale, en modifiant les niveaux de neurotransmetteurs et en altérant la fonction cognitive pendant des périodes critiques de croissance cérébrale.

Troubles du développement

L'exposition prénatale et de la petite enfance aux PBDE a été associée à des troubles cognitifs et à une réduction des niveaux de QI chez les enfants, ainsi qu'à des liens possibles avec l'autisme.^{172, 173}

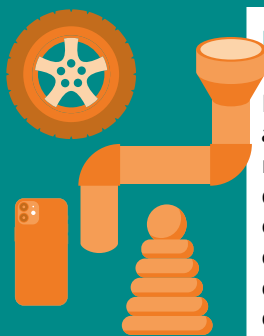
Maladie de Parkinson

L'exposition aux BFR a également été associée à un risque accru de maladie de Parkinson.¹⁷⁴

RETARDATEURS DE FLAMME		
Effets sur les voies respiratoires Les retardateurs de flamme peuvent avoir un impact négatif sur la santé respiratoire en réduisant la fonction pulmonaire et en augmentant la susceptibilité aux affections respiratoires, notamment en raison de l'inhalation de particules.	Problèmes respiratoires chez l'enfant	L'exposition aux OPFR dans la poussière inhalée s'est avérée associée à un risque plus élevé de respiration sifflante, d'infection respiratoire et de rhume des foins ou d'allergies chez les enfants âgés d'un an.¹⁷⁵
Autres impacts	Syndrome métabolique	Chez les hommes, les OPFR sont associés au syndrome métabolique, un groupe de conditions liées aux maladies cardiaques, aux accidents vasculaires cérébraux et au diabète, notamment l'hypertension artérielle, l'hyperglycémie et l'hypercholestérolémie.¹⁷⁶
Effets sur la santé animale	Il a été constaté que les TBBPA (tétrabromobisphénol A) provoquent le cancer de l'utérus chez les rats.¹⁷⁷ Chez le poisson-zèbre, on a constaté que les HBCD interfèrent avec les hormones thyroïdiennes, entraînant des lésions hépatiques et provoquant des malformations corporelles.^{178, 179} Au moins trois études sur des rongeurs montrent que les HBCD entravent le développement neurologique, ce qui entraîne un comportement perturbé chez les animaux adultes.¹⁸⁰	



MÉTAUX, MÉTALLOÏDES ET COMPOSÉS MÉTALLIQUES



Présentation

Les métaux lourds et les métalloïdes sont utilisés comme pigments de couleur ou pour augmenter la densité du plastique.¹⁸¹ Le cadmium et le plomb sont les deux additifs métalliques les plus risqués. L'utilisation du cadmium est interdite dans l'UE en tant qu'additif dans 16 types de plastique, dont le PVC et le polypropylène, en raison de ses effets sur la santé, mais il est autorisé dans d'autres polymères.¹⁸² Il existe de fortes concentrations de plomb dans les objets historiques qui sont encore utilisés ou en circulation (jouets, plastiques de construction, isolants de câblage), et il a contaminé certains plastiques modernes par le recyclage mécanique.¹⁸³

Exemples chimiques

- Cadmium (numéro CAS 7440-43-9)
- Plomb (numéro CAS 7439-92-1)

Effets sur la santé humaine

Le cadmium et le plomb sont liés à des risques importants pour la santé ayant un impact sur les systèmes hormonal, neurologique et cardiovasculaire.

Perturbation hormonale et reproductive

Le plomb et le cadmium peuvent provoquer des perturbations hormonales et reproductives en interférant avec le fonctionnement du système endocrinien et en altérant les mécanismes de fertilité.

Réduction de la fertilité masculine

L'exposition au plomb réduit la concentration, le volume et la motilité des spermatozoïdes, contribuant ainsi à une baisse de la fertilité masculine.¹⁸⁴

Cancer

Le cadmium est un cancérigène connu, la principale voie étant l'œstrogène et la perturbation des récepteurs des œstrogènes, ce qui augmente le risque de cancer de l'endomètre.¹⁸⁵ Il est également associé à un risque élevé de thyroïde,¹⁸⁶ de cancer du poumon, du rein, de la prostate et du pancréas.¹⁸⁷

Impacts neurologiques

Le plomb est une neurotoxine bien documentée, causant des dommages au fonctionnement et au développement du cerveau par plusieurs mécanismes.

Développement du système nerveux

Le plomb peut altérer le développement du système nerveux, avoir un impact sur la formation de cellules neuronales importantes et affecter le fonctionnement des neurotransmetteurs. Il a également un impact sur l'activité de l'oxyde nitrique, qui affecte les vaisseaux sanguins du cerveau et modifie la transmission de la sérotonine.¹⁸⁸

Effets sur les fonctions cognitives

L'exposition au plomb a de graves conséquences sur le développement neurologique du fœtus, l'exposition prénatale et précoce au plomb étant liée à divers troubles neurologiques et à des effets sur les résultats comportementaux et cognitifs tels qu'un QI plus faible, la dyslexie, le TDA/H et les comportements antisociaux.¹⁸⁹

MÉTAUX, MÉTALLOÏDES ET COMPOSÉS MÉTALLIQUES		
Effets sur le système cardiovasculaire Le plomb et le cadmium sont associés à des effets nocifs sur le système cardiovasculaire.	Maladies cardio-vasculaires	L'exposition au plomb a été associée à l'hypertension, aux maladies coronariennes et à la mortalité par accident vasculaire cérébral, ainsi qu'aux maladies artérielles périphériques.¹⁹⁰ Le cadmium peut également augmenter le risque de maladie cardiovasculaire, et le taux urinaire de cadmium est un prédicteur de mortalité chez les patients atteints de maladies cardiovasculaires.¹⁹¹
Autres impacts	Diabète	Le cadmium peut augmenter le risque de diabète en raison de ses interactions avec le système métabolique.¹⁹²
	Détérioration de l'ADN	Le stress et les dommages à l'ADN infligés au corps par l'exposition au cadmium peuvent également induire des lésions rénales, des lésions hépatiques, des maladies neurodégénératives et l'ostéoporose.^{193,194}
Effets sur la santé animale	Le plomb a bon nombre des mêmes effets nocifs sur les animaux. Il a été associé à des lésions cérébrales, à l'hypertension, à une fertilité plus faible et à des lésions hépatiques chez les rats.¹⁹⁵ Le cadmium s'est avéré cancérogène chez le rat, des études en laboratoire ayant observé des liens avec la leucémie, les cancers des reins, de la prostate et des testicules.¹⁹⁶ Il est également associé à l'ostéoporose et à la densité osseuse chez le rat.¹⁹⁷	



BIBLIOGRAPHIE

- 1 United Nations Environment Programme Ozone Secretariat (2020). Montreal Protocol likely to avert 443 million skin cancer cases in the United States. En ligne : <https://ozone.unep.org/montreal-protocol-likely-avert-443-million-skin-cancer-cases-united-states>
- 2 Kukkola, A., Schneidewind, U., Haverson, L., Kelleher, L., Drummond, J. D., Smith, G. S., Lynch, I., Krause, S. (2024). Snapshot sampling may not be enough to obtain robust estimates for riverine microplastic loads, *ACS ES&T Water*, 4/5 : 2309–2319. DOI : 10.1021/acsestwater.4c00176
- 3 Wazne, M., Schneidewind, U., Haverson, L., Mermillod-Blondin, F., Simon, L., Nel, H. A., Krause, S. (2024). Does what we find depend on how we sample? Measured streambed microplastic concentrations can be affected by the choice of sampling method, *The Science of the Total Environment*, 958 : 178096. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2024.178096
- 4 Jamieson, A. (2020). The new face of the plastics crisis, *Newcastle University, Eurythenes plasticus*. En ligne : <https://www.ncl.ac.uk/press/articles/archive/2020/03/eurythenesplasticus>
- 5 Materić, D., Ludewig, E., Brunner, D., Röckmann, T., Holzinger, R. (2021a). Nanoplastics transport to the remote, high-altitude alps, *Environmental Pollution*, 288 : 117697. DOI : 10.1016/j.envpol.2021.117697
- 6 Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., Sillanpää, M. (2020a). Atmospheric microplastics : A review on current status and perspectives, *Earth-Science Reviews*, 203 : 103118. DOI : 10.1016/j.earscirev.2020.103118
- 7 Vethaak, A. D., Legler, J. (2021a). Microplastics and human health, *Science*, 371/6530 : 672–4. DOI : 10.1126/science.abe5041
- 8 Zhang, J., Wang, L., Kannan, K. (2019). Microplastics in house dust from 12 countries and associated human exposure, *Environment International*, 134 : 105314. DOI : 10.1016/j.envint.2019.105314
- 9 Peixoto, D., Pinheiro, C., Amorim, J., Oliva-Teles, L., Guilhermino, L., Vieira, M. N. (2019). Microplastic pollution in commercial salt for human consumption : A review, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 219 : 161–168. DOI : 10.1016/j.ecss.2019.02.018
- 10 World Health Organization. (2022). Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health. En ligne : <https://iris.who.int/handle/10665/362049>
- 11 Diaz-Basantes, M. F., Conesa, J. A., Fullana, A. (2020). Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants, *Sustainability*, 12/14 : 5514. DOI : 10.3390/su12145514
- 12 Rubio-Armendáriz, C., Alejandro-Vega, S., Paz-Montelongo, S., Gutiérrez-Fernández, Á. J., Carrascosa-Iruzebieta, C. J., La Torre, A. H.-D. (2022). Microplastics as emerging food contaminants : A challenge for food safety, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19/3 : 1174. DOI : 10.3390/ijerph19031174
- 13 Thompson, R. C., Courteney-Jones, W., Boucher, J., Pahl, S., Raubenheimer, K., Koelmans, A. A. (2024). Twenty years of microplastics pollution research – what have we learned?, *Science*, 386/6720. DOI : 10.1126/science.adl2746
- 14 WWF (o. J.). Implementing a One Health approach to conservation. En ligne : https://www.panda.org/discover/our_focus/wildlife_practice/one_health
- 15 Rodrigues, A. C. B., De Jesus, G. P., Waked, D., Gomes, G. L., Silva, T. M., Yariwake, V. Y., Da Silva, M. P. et al. (2022). Scientific Evidence about the Risks of Micro and Nanoplastics (MNPLs) to Human Health and Their Exposure Routes through the Environment, *Toxics*, 10/6 : 308. DOI : 10.3390/toxics10060308
- 16 Ageel, H. K., Harrad, S., Abdallah, M. A.-E. (2021). Occurrence, human exposure, and risk of microplastics in the indoor environment, *Environmental Science Processes & Impacts*, 24/1 : 17–31. DOI : 10.1039/d1em00301a
- 17 Soltani, N. S., Taylor, M. P., Wilson, S. P. (2021a). Quantification and exposure assessment of microplastics in Australian indoor house dust, *Environmental Pollution*, 283 : 117064. DOI : 10.1016/j.envpol.2021.117064
- 18 Zhang, Q., Zhao, Y., Du, F., Cai, H., Wang, G., Shi, H. (2020). Microplastic fallout in different indoor environments, *Environmental Science & Technology*, 54/11 : 6530–6539. DOI : 10.1021/acs.est.0c00087
- 19 Pfaller, J. B., Goforth, K. M., Gil, M. A., Savoca, M. S., Lohmann, K. J. (2020). Odors from marine plastic debris elicit foraging behavior in sea turtles, *Current Biology*, 30/5 : R213–4. DOI : 10.1016/j.cub.2020.01.071
- 20 NOAA Marine Debris Program, Ingestion | Why Marine Debris Is a Problem. En ligne : <https://marinedebris.noaa.gov/why-marine-debris-problem/ingestion>
- 21 Kühn, S., Van Franeker, J. A. (2020a). Quantitative overview of marine debris ingested by marine megafauna, *Marine Pollution Bulletin*, 151 : 110858. DOI : 10.1016/j.marpolbul.2019.110858
- 22 Jeong, E., Lee, J.-Y., Redwan, M. (2024). Animal exposure to microplastics and health effects : A review, *Emerging Contaminants*, 10/4 : 100369. DOI : 10.1016/j.emcon.2024.100369
- 23 Tekman, M. B., Walther, B. A., Peter, C., Gutow, L., Bergmann, M. (2022). Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems. *Zenodo* (CERN European Organization for Nuclear Research). DOI : 10.5281/zenodo.5898684
- 24 Musa, I. O., Auta, H. S., Ilyasu, U. S., Aransiola, S. A., Makun, H. A., Adabara, N. U., Abioye, O. P. et al. (2023). Micro- and nanoplastics in environment : degradation, detection, and ecological impact, *International Journal of Environmental Research*, 18/1. DOI : 10.1007/s41742-023-00551-9
- 25 Kavle, R. R., Nolan, P. J., Carne, A., Agyei, D., Morton, J. D., Bekhit, A. E.-D. A. (2023). Earth Worming – An Evaluation of Earthworm (*Eisenia andrei*) as an Alternative Food Source, *Foods*, 12/10 : 1948. DOI : 10.3390/foods12101948
- 26 ChemTrust (2023). Flame retardant chemicals contaminate over 150 species of wildlife. En ligne : chemtrust.org/news/flame-retardant-map
- 27 ChemTrust (2023). Flame retardant chemicals contaminate over 150 species of wildlife. En ligne : chemtrust.org/news/flame-retardant-map

- 28 West, J. B. (2022). The strange history of atmospheric oxygen, *Physiological Reports*, 10/6.
DOI : 10.14814/phys2.15214
- 29 Tetu, S. G., Sarker, I., Schrameyer, V., Pickford, R., Elbourne, L. D. H., Moore, L. R., Paulsen, I. T. (2019). Plastic leachates impair growth and oxygen production in *Prochlorococcus*, the ocean's most abundant photosynthetic bacteria, *Communications Biology*, 2/1.
DOI : 10.1038/s42003-019-0410-x
- 30 Luo, Q., Tan, H., Ye, M., Jho, E. H., Wang, P., Iqbal, B., Zhao, X. et al. (2025). Microplastics as an emerging threat to human health : An overview of potential health impacts, *Journal of Environmental Management*, 387 : 125915. DOI : 10.1016/j.jenvman.2025.125915
- 31 Mahmud, F., Sarker, D. B., Jocelyn, J. A., Sang, Q.-X. A. (2024). Molecular and Cellular Effects of Microplastics and Nanoplastics : Focus on Inflammation and Senescence, *Cells*, 13/21 : 1788.
DOI : 10.3390/cells13211788
- 32 Krause, S., Ouellet, V., Allen, D., Allen, S., Moss, K., Nel, H. A., Manaseki-Holland, S. et al. (2024). The potential of micro- and nanoplastics to exacerbate the health impacts and global burden of non-communicable diseases, *Cell Reports Medicine*, 5/6 : 101581. DOI : 10.1016/j.xcrm.2024.101581
- 33 Koelmans, A. A., Redondo-Hasselerharm, P. E., Nor, N. H. M., De Ruijter, V. N., Mintenig, S. M., Kooi, M. (2022). Risk assessment of microplastic particles, *Nature Reviews Materials*, 7/2 : 138–152. DOI : 10.1038/s41578-021-00411-y
- 34 Landrigan, P. J., Raps, H., Cropper, M., Bald, C., Brunner, M., Canonizado, E. M., Charles, D. et al. (2023). The Minderoo-Monaco Commission on Plastics and Human Health, *Annals of Global Health*, 89/1.
DOI : 10.5334/aogh.4056
- 35 Vasse, G. F., Melgert, B. N. (2024). Microplastic and plastic pollution : impact on respiratory disease and health, *European Respiratory Review*, 33/172 : 230226.
DOI : 10.1183/16000617.0226-2023
- 36 Xuan, L., Wang, Y., Qu, C., Yi, W., Yang, J., Pan, H., Zhang, J. et al. (2024). Exposure to polystyrene nanoplastics induces abnormal activation of innate immunity via the cGAS-STING pathway, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 275 : 116255. DOI : 10.1016/j.ecoenv.2024.116255
- 37 Liu, S., Wang, C., Yang, Y., Du, Z., Li, L., Zhang, M., Ni, S. et al. (2024). Microplastics in three types of human arteries detected by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (Py-GC/MS), *Journal of Hazardous Materials*, 469 : 133855. DOI : 10.1016/j.jhazmat.2024.133855
- 38 Marfella, R., Prattichizzo, F., Sardù, C., Fulgenzi, G., Graciotti, L., Spadoni, T., D'Onofrio, N. et al. (2024). Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events, *New England Journal of Medicine*, 390/10 : 900–910. DOI : 10.1056/nejmoa2309822
- 39 Xuan, L., Wang, Y., Qu, C., Yi, W., Yang, J., Pan, H., Zhang, J. et al. (2024). Exposure to polystyrene nanoplastics induces abnormal activation of innate immunity via the cGAS-STING pathway, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 275 : 116255. DOI : 10.1016/j.ecoenv.2024.116255
- 40 Guanglin, L., Shuqin, W. (2023). Polystyrene nanoplastics exposure causes inflammation and death of esophageal cell, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 269 : 115819. DOI : 10.1016/j.ecoenv.2023.115819
- 41 D'après : Krause, S., Ouellet, V., Allen, D., Allen, S., Moss, K., Nel, H. A., Manaseki-Holland, S. et al. (2024). The potential of micro- and nanoplastics to exacerbate the health impacts and global burden of non-communicable diseases, *Cell Reports Medicine*, 5/6 : 101581.
DOI : 10.1016/j.xcrm.2024.101581
- 42 Yan, Z., Liu, Y., Zhang, T., Zhang, F., Ren, H., Zhang, Y. (2021). Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status, *Environmental Science & Technology*, 56/1 : 414–421.
DOI : 10.1021/acs.est.1c03924
- 43 Roslan, N. S., Lee, Y. Y., Ibrahim, Y. S., Anuar, S. T., Yusof, K. M. K. K., Lai, L. A., Brentnall, T. (2024). Detection of microplastics in human tissues and organs : A scoping review, *Journal of Global Health*, 14.
DOI : 10.7189/jogh.14.04179
- 44 Nihart, A. J., Garcia, M. A., El Hayek, E., Liu, R., Olewine, M., Kingston, J. D., Castillo, E. F. et al. (2025). Author Correction : Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains, *Nature Medicine*. 31, 1367.
DOI : 10.1038/s41591-025-03675-x
- 45 Cverenkárová, K., Valachovičová, M., Mackulak, T., Žemlička, L., Bírošová, L. (2021). Microplastics in the Food Chain, *Life*, 11/12 : 1349. DOI : 10.3390/life11121349
- 46 Yang, Q. E., Lin, Z., Gan, D., Li, M., Liu, X., Zhou, S., Walsh, T. R. (2025). Microplastics mediates the spread of antimicrobial resistance plasmids via modulating conjugal gene expression, *Environment International*, 195 : 109261. DOI : 10.1016/j.envint.2025.109261
- 47 Segovia-Mendoza, M., Nava-Castro, K. E., Palacios-Arreola, M. I., Garay-Canales, C., Morales-Montor, J. (2020). How microplastic components influence the immune system and impact on children health : Focus on cancer, *Birth Defects Research*, 112/17 : 1341–1361.
DOI : 10.1002/bdr2.1779
- 48 National Institute of Environmental Health Sciences, Endocrine disruptors. En ligne : <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/endocrine>
- 49 Pérez-Albaladejo, E., Solé, M., Porte, C. (2020). Plastics and plastic additives as inducers of oxidative stress, *Current Opinion in Toxicology*, 20–21 : 69–76.
DOI : 10.1016/j.cotox.2020.07.002
- 50 Nadeem, A., Al-Harbi, N. O., Ahmad, S. F., Alhazzani, K., Attia, S. M., Alsanea, S., Alhoshani, A. et al. (2021). Exposure to the plasticizer, Di-(2-ethylhexyl) phthalates during juvenile period exacerbates autism-like behavior in adult BTBR T + tf/J mice due to DNA hypomethylation and enhanced inflammation in brain and systemic immune cells, *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 109 : 110249.
DOI : 10.1016/j.pnpbp.2021.110249
- 51 Prado, Y., Aravena, C., Aravena, D., Eltit, F., Gatica, S., Riedel, C. A., Simon, F. (2023). Small plastics, big inflammatory problems, *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 101–127.
DOI : 10.1007/978-3-031-26163-3_6
- 52 Seewoo, B. J., Goodes, L. M., Mofflin, L., Mulders, Y. R., Wong, E. V., Toshniwal, P., Brunner, M. et al. (2023). The plastic health map : A systematic evidence map of human health studies on plastic-associated chemicals, *Environment International*, 181 : 108225.
DOI : 10.1016/j.envint.2023.108225

- 53 Katsumiti, A., Losada-Carrillo, M. P., Barros, M., Cajaraville, M. P. (2021). Polystyrene nanoplastics and microplastics can act as Trojan horse carriers of benzo(a)pyrene to mussel hemocytes in vitro, *Scientific Reports*, 11/1. DOI : 10.1038/s41598-021-01938-4
- 54 Zhang, M., Xu, L. (2020). Transport of micro- and nanoplastics in the environment : "Trojan-Horse" effect for organic contaminants, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52/5 : 810-846. DOI : 10.1080/10643389.2020.1845531
- 55 Zhang, Y., Goss, G. G. (2021). The Trojan Horse effect of nanoplastics : potentiation of polycyclic aromatic hydrocarbon uptake in rainbow trout and the mitigating effects of natural organic matter, *Environmental Science Nano*, 8/12 : 3685-3698. DOI : 10.1039/d1en00738f
- 56 La Merrill, M. A., Vandenberg, L. N., Smith, M. T., Goodson, W., Browne, P., Patisaul, H. B., Guyton, K. Z. et al. (2019). Consensus on the key characteristics of endocrine-disrupting chemicals as a basis for hazard identification, *Nature Reviews Endocrinology*, 16/1 : 45-57. DOI : 10.1038/s41574-019-0273-8
- 57 Plusieurs mécanismes ont été proposés pour expliquer le mode d'action des perturbateurs endocriniens. L'un de ces mécanismes consiste à activer les récepteurs hormonaux et à perturber des processus en aval essentiels. D'autres agissent en altérant la production, la distribution, le métabolisme ou l'élimination des hormones. Certains mécanismes peuvent également modifier de manière épigénétique (c'est-à-dire en activant ou en désactivant certains gènes sans modifier la séquence de l'ADN) les cellules productrices d'hormones ou réactives aux hormones. (La Merrill, M. A., Vandenberg, L. N., Smith, M. T., Goodson, W., Browne, P., Patisaul, H. B., Guyton, K. Z. et al. (2019). Consensus on the key characteristics of endocrine-disrupting chemicals as a basis for hazard identification, *Nature Reviews Endocrinology*, 16/1 : 45-57. DOI : 10.1038/s41574-019-0273-8).
- 58 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals : Threats to Human Health, *The Endocrine Society and IPEN*.
- 59 Casiano, A. S., Lee, A., Tete, D., Erdogan, Z. M., Treviño, L. (2022). Endocrine-Disrupting Chemicals and Breast Cancer : Disparities in Exposure and Importance of Research Inclusivity, *Endocrinology*, 163/5. DOI : 10.1210/endocr/bqac034
- 60 Pang, L., Wei, H., Wu, Y., Yang, K., Wang, X., Long, J., Chen, M. et al. (2024). Exposure to alkylphenols during early pregnancy and the risk of gestational diabetes mellitus : Fetal sex-specific effects, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 287 : 117270. DOI : 10.1016/j.ecoenv.2024.117270
- 61 Völker, J., Ashcroft, F., Vedø, Å., Zimmermann, L., Wagner, M. (2022). Adipogenic Activity of Chemicals Used in Plastic Consumer Products, *Environmental Science & Technology*, 56/4 : 2487-2496. DOI : 10.1021/acs.est.1c06316
- 62 Ghassabian, A., Van den Dries, M., Trasande, L., Lamballais, S., Spaan, S., Martinez-Moral, M.-P., Kannan, K. et al. (2023). Prenatal exposure to common plasticizers : a longitudinal study on phthalates, brain volumetric measures, and IQ in youth, *Molecular Psychiatry*, 28/11 : 4814-4822. DOI : 10.1038/s41380-023-02225-6
- 63 Martínez-Martínez, M. I., Alegre-Martínez, A., Cauli, O. (2021). Prenatal exposure to phthalates and its effects upon cognitive and motor functions : A systematic review, *Toxicology*, 463 : 152980. DOI : 10.1016/j.tox.2021.152980
- 64 Costa, H. E., Cairrao, E. (2023). Effect of bisphenol A on the neurological system : a review update, *Archives of Toxicology*, 98/1 : 1-73. DOI : 10.1007/s00204-023-03614-0
- 65 National Cancer Institute. reactive oxygen species. En ligne : <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/reactive-oxygen-species>
- 66 Yang, J., Luo, J., Tian, X., Zhao, Y., Li, Y., Wu, X. (2024). Progress in Understanding Oxidative Stress, Aging, and Aging-Related Diseases, *Antioxidants*, 13/4 : 394. DOI : 10.3390/antiox13040394
- 67 Sicińska, P., Kik, K., Bukowska, B. (2020). Human Erythrocytes Exposed to Phthalates and Their Metabolites Alter Antioxidant Enzyme Activity and Hemoglobin Oxidation, *International Journal of Molecular Sciences*, 21/12 : 4480. DOI : 10.3390/ijms21124480
- 68 Brassea-Pérez, E., Hernández-Camacho, C. J., Labrada-Martagón, V., Vázquez-Medina, J. P., Gaxiola-Robles, R., Zenteno-Savín, T. (2021). Oxidative stress induced by phthalates in mammals : State of the art and potential biomarkers, *Environmental Research*, 206 : 112636. DOI : 10.1016/j.envres.2021.112636
- 69 Nilsson, E. E., Maamar, M. B., Skinner, M. K. (2022). Role of epigenetic transgenerational inheritance in generational toxicology, *Current Zoology*, 8/1. DOI : 10.1093/eep/dvac001
- 70 Alavian-Ghavanini, A., Lin, P.-I., Lind, P. M., Rimfors, S. R., Lejonklou, M. H., Dunder, L., Tang, M. et al. (2018). Prenatal Bisphenol A Exposure is Linked to Epigenetic Changes in Glutamate Receptor Subunit Gene *Grin2b* in Female Rats and Humans, *Scientific Reports*, 8/1. DOI : 10.1038/s41598-018-29732-9
- 71 Cleveland Clinic, Inflammation. En ligne : <https://my.clevelandclinic.org/health/symptoms/21660-inflammation>
- 72 Singh, D. D. (2024). Epigenetic Mechanisms of Endocrine-Disrupting Chemicals in Breast Cancer and Their Impact on Dietary Intake, *Journal of Xenobiotics*, 15/1 : 1. DOI : 10.3390/jox15010001
- 73 Nadeem et al. (2021). Exposure to the plasticizer, Di-(2-ethylhexyl) phthalates during juvenile period exacerbates autism-like behavior in adult BTBR T + tf/J mice due to DNA hypomethylation and enhanced inflammation in brain and systemic immune cells, *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 109 : 110249. DOI : 10.1016/j.pnpbp.2021.110249
- 74 Kay, J., Thadhani, E., Samson, L., Engelward, B. (2019). Inflammation-induced DNA damage, mutations and cancer, *DNA Repair*, 83 : 102673. DOI : 10.1016/j.dnarep.2019.102673
- 75 Pinto-Bazurco, J. F. (2020). The Precautionary Principle, *International Institute for Sustainable Development*. En ligne : www.iisd.org/articles/deep-dive/precautionary-principle
- 76 United Nations Environment Programme, About Montreal Protocol. En ligne : www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol
- 77 Thompson, R. C., Courtene-Jones, W., Boucher, J., Pahl, S., Raubenheimer, K., Koelmans, A. A. (2024a). Twenty years of microplastics pollution research - what have we learned?, *Science*, 386/6720. DOI : 10.1126/science.adl2746

- 78 WWF (n. d.). WWF Global Plastic Navigator, Must-haves in the treaty. En ligne : plasticnavigator.wwf.de/#/en/policy/?st=0&ch=0&ui-info=0&ui-mpol=show%3Atrue&layers=surface-concentration%7Cpolicy-commitments_10&info=policy-commitments_10
- 79 Ministère de l'Aménagement du territoire et de la Décentralisation (n. d.). The Nice wake up call for an ambitious plastics treaty. En ligne : www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/The%20Nice%20wake%20up%20call%20for%20an%20ambitious%20plastics%20treaty.pdf
- 80 WWF (2024). A Global Treaty To End Plastic Pollution – That People and Nature Need. En ligne : [wwfint.awsassets.panda.org/downloads/a-global-treaty-to-end-plastic-pollution-must-haves.pdf](https://www.wwf.org.uk/pdfs/wwf-aws-assets.panda.org/downloads/a-global-treaty-to-end-plastic-pollution-must-haves.pdf)
- 81 Wagner, M., Monclús, L., Arp, H. P. H., Groh, K. J., Løseth, M. E., Muncke, J., Wang, Z., Wolf, R., Zimmermann, L. (2024). State of the science on plastic chemicals – Identifying and addressing chemicals and polymers of concern, *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10701705>
- 82 Pivnenko, K., Eriksen, M. K., Martín-Fernández, J. A., Eriksson, E., Astrup, T. F. (2016). Recycling of plastic waste : Presence of phthalates in plastics from households and industry, *Waste Management*, 54 : 44–52. DOI : 10.1016/j.wasman.2016.05.014
- 83 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals : Threats to Human Health. *The Endocrine Society and IPEN*.
- 84 Radke, E. G., Braun, J. M., Meeker, J. D., Cooper, G. S. (2018). Phthalates exposure and male reproductive outcomes : A systematic review of the human epidemiological evidence, *Environment International*, 121 : 764–793. DOI : 10.1016/j.envint.2018.07.029
- 85 Eales, J., Bethel, A., Galloway, T., Hopkinson, P., Morrissey, K., Short, R. E., Garside, R. (2021). Human health impacts of exposure to phthalates plasticizers : An overview of reviews, *Environment International*, 158 : 106903. DOI : 10.1016/j.envint.2021.106903
- 86 Thurston, S. W., Mendiola, J., Bellamy, A. R., Levine, H., Wang, C., Sparks, A., Redmon, J. B. et al. (2015). Phthalates exposure and semen quality in fertile US men, *Andrology*, 4/4 : 632–628. DOI : 10.1111/andr.12124
- 87 Chen, Q., Yang, H., Zhou, N., Sun, L., Bao, H., Tan, L., Chen, H. et al. (2017). Phthalates exposure, even below US EPA reference doses, was associated with semen quality and reproductive hormones : Prospective MARHCS study in general population, *Environment International*, 104 : 58–68. DOI : 10.1016/j.envint.2017.04.005
- 88 Axelsson, J., Rylander, L., Rignell-Hydbom, A., Jönsson, B. A. G., Lindh, C. H., Giwercman, A. (2015). Phthalates exposure and reproductive parameters in young men from the general Swedish population, *Environment International*, 85 : 54–60. DOI : 10.1016/j.envint.2015.07.005
- 89 Mínguez-Alarcón, L., Burns, J., Williams, P. L., Korricks, S. A., Lee, M. M., Bather, J. R., Kovalev, S. V. et al. (2022). Urinary phthalates metabolite concentrations during four windows spanning puberty (prepuberty through sexual maturity) and association with semen quality among young Russian men, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 243 : 113977. DOI : 10.1016/j.ijheh.2022.113977
- 90 Yu, C., Lu, J., Zhao, J., Zhao, T., Long, C., Lin, T., Wu, S. et al. (2022). Maternal phthalates exposure during pregnancy and male reproductive disorders : a systematic review and metaanalysis, *The Turkish Journal of Pediatrics*, 64/2 : 187–209. DOI : 10.24953/turkjped.2020.2060
- 91 Bustamante-Montes, L. P., Hernández-Valero, M. A., Flores-Pimentel, D., García-Fábila, M., Amaya-Chávez, A., Barr, D. B., Borja-Aburto, V. H. (2013). Prenatal exposure to phthalates is associated with decreased anogenital distance and penile size in male newborns, *Journal of Developmental Origins of Health and Disease*, 4/4 : 300–306. DOI : 10.1017/s2040174413000172
- 92 Cai, W., Yang, J., Liu, Y., Bi, Y., Wang, H. (2019). Association between Phthalates Metabolites and Risk of Endometriosis : A Meta-Analysis, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16/19 : 3678. DOI : 10.3390/ijerph16193678
- 93 Iizuka, T., Yin, P., Zuberi, A., Kujawa, S., Coon, J. S., Björvang, R. D., Damdimopoulou, P. et al. (2022). Mono-(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalates promotes uterine leiomyoma cell survival through tryptophan-kynurenine-AHR pathway activation, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119/47. DOI : 10.1073/pnas.2208886119
- 94 Hu, W., Jin, Z., Wang, H., Wang, F., Qu, F. (2024). Relationship between phthalates exposure, risk of decreased ovarian reserve, and oxidative stress levels, *Toxicology and Industrial Health*, 40/4 : 156–166. DOI : 10.1177/07482337241229761
- 95 Nobles, C. J., Mendola, P., Kim, K., Pollack, A. Z., Mumford, S. L., Perkins, N. J., Silver, R. M. et al. (2023). Preconception Phthalates Exposure and Women's Reproductive Health : Pregnancy, Pregnancy Loss, and Underlying Mechanisms, *Environmental Health Perspectives*, 131/12. DOI : 10.1289/ehp12287
- 96 Ji, H., Wu, Z., Chen, D., Miao, M., Chen, H., Shuai, W., Liang, H. et al. (2023). Individual and joint effects of phthalates exposure on the risk of early miscarriage, *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 34/4 : 620–628. DOI : 10.1038/s41370-023-00533-1
- 97 Hoffman, S. S., Tang, Z., Dunlop, A., Brennan, P. A., Huynh, T., Eick, S. M., Barr, D. B. et al. (2025). Impact of prenatal phthalates exposure on newborn metabolome and infant neurodevelopment, *Nature Communications*, 16/1. DOI : 10.1038/s41467-025-57273-z
- 98 Land, K. L., Ghuneim, S. M., Williams, B. A., Hannon, P. R. (2024). Phthalates Disrupt Female Reproductive Health : A Call for Enhanced Investigation into Mixtures., *Reproduction*. DOI : 10.1530/rep-24-0117
- 99 Van Wassenaer-Leemhuis, A., Ares, S., Golombok, S., Kok, J., Paneth, N., Kase, J., LaGamma, E. F. (2014). Thyroid Hormone Supplementation in Preterm Infants Born Before 28 Weeks Gestational Age and Neurodevelopmental Outcome at Age 36 Months, *Thyroid*, 24/7 : 1162–1169. DOI : 10.1089/thy.2013.0618
- 100 Sprowles, J. L. N., Dzwilewski, K. L. C., Merced-Nieves, F. M., Musaad, S. M. A., Schantz, S. L., Geiger, S. D. (2022). Associations of prenatal phthalates exposure with neurobehavioral outcomes in 4.5- and 7.5-month-old infants, *Neurotoxicology and Teratology*, 92 : 107102. DOI : 10.1016/j.ntt.2022.107102

- 101 Martínez-Martínez, M. I., Alegre-Martínez, A., Cauli, O. (2021a). Prenatal exposure to phthalates and its effects upon cognitive and motor functions : A systematic review, *Toxicology*, 463 : 152980. DOI : 10.1016/j.tox.2021.152980
- 102 Zhang, Q., Chen, X.-Z., Huang, X., Wang, M., Wu, J. (2019). The association between prenatal exposure to phthalates and cognition and neurobehavior of children-evidence from birth cohorts, *NeuroToxicology*, 73 : 199–212. DOI : 10.1016/j.neuro.2019.04.007
- 103 Ghassabian, A., Van den Dries, M., Trasande, L., Lamballais, S., Spaan, S., Martinez-Moral, M.-P., Kannan, K. et al. (2023a). Prenatal exposure to common plasticizers : a longitudinal study on phthalates, brain volumetric measures, and IQ in youth, *Molecular Psychiatry*, 28/11 : 4814–4822. DOI : 10.1038/s41380-023-02225-6
- 104 Dzwilewski, K. L. C., Woodbury, M. L., Aguiar, A., Shoaff, J., Merced-Nieves, F., Korrick, S. A., Schantz, S. L. (2021). Associations of prenatal exposure to phthalates with measures of cognition in 7.5-month-old infants, *NeuroToxicology*, 84 : 84–95. DOI : 10.1016/j.neuro.2021.03.001
- 105 Navaranjan, G., Diamond, M. L., Harris, S. A., Jantunen, L. M., Bernstein, S., Scott, J. A., Takaro, T. K. et al. (2021). Early life exposure to phthalates and the development of childhood asthma among Canadian children, *Environmental Research*, 197 : 110981. DOI : 10.1016/j.envres.2021.110981
- 106 Whyatt, R. M., Perzanowski, M. S., Just, A. C., Rundle, A. G., Donohue, K. M., Calafat, A. M., Hoepner, L. A. et al. (2014). Asthma in Inner-City Children at 5–11 Years of Age and Prenatal Exposure to Phthalates : The Columbia Center for Children's Environmental Health Cohort, *Environmental Health Perspectives*, 122/10 : 1141–1146. DOI : 10.1289/ehp.1307670
- 107 Kim, Y.-M., Kim, J., Cheong, H.-K., Jeon, B.-H., Ahn, K. (2018). Exposure to phthalates aggravates pulmonary function and airway inflammation in asthmatic children, *PLoS ONE*, 13/12 : e0208553. DOI : 10.1371/journal.pone.0208553
- 108 Oh, Y., Hong, S., Park, Y. J., Baek, I. (2024). Association between phthalates exposure and risk of allergic rhinitis in children : A systematic review and meta-analysis, *Pediatric Allergy and Immunology*, 35/9. DOI : 10.1111/pai.14230
- 109 Bolaji, J. A., Bonvini, S. J., Wortley, M. A., Adcock, J. J., Dubuis, E., Carlsten, C., Tetley, T. D. et al. (2017). Phthalates trigger respiratory reflexes, *European Respiratory Journal*, PA4785. DOI : 10.1183/1393003.congress-2017.pa4785
- 110 Yu, Y., Wang, J. Q. (2022). Phthalates exposure and lung disease : the epidemiological evidences, plausible mechanism and advocacy of interventions, *Reviews on Environmental Health*, 39/1 : 37–45. DOI : 10.1515/reveh-2022-0077
- 111 Mariana, M., Castelo-Branco, M., Soares, A. M., Cairrao, E. (2023). Phthalates' exposure leads to an increasing concern on cardiovascular health, *Journal of Hazardous Materials*, 457 : 131680. DOI : 10.1016/j.jhazmat.2023.131680
- 112 Kabekkodu, S. P., Gladwell, L. R., Choudhury, M. (2024). The mitochondrial link : Phthalates exposure and cardiovascular disease, *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA) – Molecular Cell Research*, 1871/4 : 119708. DOI : 10.1016/j.bbamcr.2024.119708
- 113 Zhu, X., Yin, T., Yue, X., Liao, S., Cheang, I., Zhu, Q., Yao, W. et al. (2021). Association of urinary phthalates metabolites with cardiovascular disease among the general adult population, *Environmental Research*, 202 : 111764. DOI : 10.1016/j.envres.2021.111764
- 114 Mariana, M., Castelo-Branco, M., Soares, A. M., Cairrao, E. (2023a). Phthalates' exposure leads to an increasing concern on cardiovascular health, *Journal of Hazardous Materials*, 457 : 131680. DOI : 10.1016/j.jhazmat.2023.131680
- 115 Kabekkodu, S. P., Gladwell, L. R., Choudhury, M. (2024a). The mitochondrial link : Phthalates exposure and cardiovascular disease, *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA) – Molecular Cell Research*, 1871/4 : 119708. DOI : 10.1016/j.bbamcr.2024.119708
- 116 Nevoit, G., Jarusevicius, G., Potyazhenko, M., Mintser, O., Bumblyte, I. A., Vainoras, A. (2025). Mitochondrial Dysfunction and Atherosclerosis : The Problem and the Search for Its Solution, *Biomedicines*, 13/4 : 963. DOI : 10.3390/biomedicines13040963
- 117 Sumner, R. N., Tomlinson, M., Craigon, J., England, G. C. W., Lea, R. G. (2019). Independent and combined effects of diethylhexyl phthalates and polychlorinated biphenyl 153 on sperm quality in the human and dog, *Scientific Reports*, 9/1. DOI : 10.1038/s41598-019-39913-9
- 118 Amjad, S., Rahman, M. S., Pang, W.-K., Ryu, D.-Y., Adegoke, E. O., Park, Y.-J., Pang, M.-G. (2021). Effects of phthalates on the functions and fertility of mouse spermatozoa, *Toxicology*, 454 : 152746. DOI : 10.1016/j.tox.2021.152746
- 119 Hasan, S., Mustari, A., Rafiq, K., Miah, M. A. (2025). Phthalates plasticizer affects blood electrolytes, hormones, and reproductive parameters of black Bengal goats, *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 0 : 1. DOI : 10.5455/javar.2024.k856
- 120 Kougiyas, D. G., Sellinger, E. P., Willing, J., Juraska, J. M. (2018). Perinatal Exposure to an Environmentally Relevant Mixture of Phthalates Results in a Lower Number of Neurons and Synapses in the Medial Prefrontal Cortex and Decreased Cognitive Flexibility in Adult Male and Female Rats, *Journal of Neuroscience*, 38/31 : 6864–6872. DOI : 10.1523/jneurosci.0607-18.2018
- 121 Morales-Grahl, E., Hilz, E. N., Gore, A. C. (2024). Regrettable Substitutes and the Brain : What Animal Models and Human Studies Tell Us about the Neurodevelopmental Effects of Bisphenol, Per- and Polyfluoroalkyl Substances, and Phthalates Replacements, *International Journal of Molecular Sciences*, 25/13 : 6887. DOI : 10.3390/ijms25136887
- 122 Huang, W., Xiao, J., Shi, X., Zheng, S., Li, H., Liu, C., Wu, K. (2022). Effects of di-(2-ethylhexyl) phthalates (DEHP) on behavior and dopamine signaling in zebrafish (*Danio rerio*), *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 93 : 103885. DOI : 10.1016/j.etap.2022.103885
- 123 Shi, H., Zhang, Z., Shen, A., Ding, T., Zhao, R., Shi, Y., Zhao, J. et al. (2025). Maternal di(2-ethylhexyl) phthalates exposure increases the risk of congenital heart disease in mice offspring, *Pediatric Research*. DOI : 10.1038/s41390-025-03997-z
- 124 European Chemicals Agency (o. J.). Bisphenols. En ligne : <https://www.echa.europa.eu/hot-topics/Bisphenols>

- 125 Gonkowski, S., Makowska, K. (2022). Environmental Pollution with Bisphenol A and Phthalates – A Serious Risk to Human and Animal Health, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19/21 : 13983. DOI : 10.3390/ijerph192113983
- 126 Rubin, A. M., Seebacher, F. (2022). Bisphenols impact hormone levels in animals : A meta-analysis, *The Science of The Total Environment*, 828 : 154533. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2022.154533
- 127 Chitakwa, N., Alqudaimi, M., Sultan, M., Wu, D. (2024). Plastic-related endocrine disrupting chemicals significantly related to the increased risk of estrogen-dependent diseases in women, *Environmental Research*, 252 : 118966. DOI : 10.1016/j.envres.2024.118966
- 128 Wang, Z., Liu, H., Liu, S. (2016). Low-Dose Bisphenol A Exposure : A Seemingly Instigating Carcinogenic Effect on Breast Cancer, *Advanced Science*, 4/2. DOI : 10.1002/advs.201600248
- 129 Keshavarz-Maleki, R., Kaviani, A., Omranipour, R., Gholami, M., Khoshayand, M. R., Ostad, S. N., Sabzevari, O. (2021). Bisphenol-A in biological samples of breast cancer mastectomy and mastoplasty patients and correlation with levels measured in urine and tissue, *Scientific Reports*, 11/1. DOI : 10.1038/s41598-021-97864-6
- 130 Chowdhury, E.-U.-R., Banu, H., Morshed, M. S., Jahan, I. A., Kharel, S., Hasanat, M. A. (2025). Raised Bisphenol A has a Significant Association with Adverse Reproductive Manifestations rather than Biochemical or Hormonal Aberrations in Women with Polycystic Ovary Syndrome, *Journal of The ASEAN Federation of Endocrine Societies*. DOI : 10.15605/jafes.040.01.14
- 131 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals : Threats to Human Health, *The Endocrine Society and IPEN*.
- 132 Liu, J., Tian, M., Qin, H., Chen, D., Mzava, S. M., Wang, X., & Bigambo, F. M. (2024). Maternal Bisphenols exposure and thyroid function in children : a systematic review and meta-analysis, *Frontiers in Endocrinology*, 15. DOI : 10.3389/fendo.2024.1420540
- 133 Viguié, C., Collet, S. H., Gayrard, V., Picard-Hagen, N., Puel, S., Roques, B. B., Toutain, P.-L. et al. (2012). Maternal and Fetal Exposure to Bisphenol A Is Associated with Alterations of Thyroid Function in Pregnant Ewes and Their Newborn Lambs, *Endocrinology*, 154/1 : 521–528. DOI : 10.1210/en.2012-1401
- 134 Costa, H. E., Cairrao, E. (2023a). Effect of bisphenol A on the neurological system : a review update, *Archives of Toxicology*, 98/1 : 1–73. DOI : 10.1007/s00204-023-03614-0
- 135 Ebd.
- 136 Moon, S., Yu, S. H., Lee, C. B., Park, Y. J., Yoo, H. J., Kim, D. S. (2020). Effects of bisphenol A on cardiovascular disease : An epidemiological study using National Health and Nutrition Examination Survey 2003–2016 and meta-analysis, *The Science of the Total Environment*, 763 : 142941. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2020.142941
- 137 Prins, G. S., Patisaul, H. B., Belcher, S. M., Vandenberg, L. N. (2018). CLARITY-BPA academic laboratory studies identify consistent low-dose Bisphenol A effects on multiple organ systems, *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 125/S3 : 14–31. DOI : 10.1111/bcpt.13125
- 138 Wang, Z., Liu, H., Liu, S. (2016a). Low-Dose Bisphenol A Exposure : A Seemingly Instigating Carcinogenic Effect on Breast Cancer, *Advanced Science*, 4/2. DOI : 10.1002/advs.201600248
- 139 Kitamura, S., Kato, T., Iida, M., Jinno, N., Suzuki, T., Ohta, S., Fujimoto, N. et al. (2004). Anti-thyroid hormonal activity of tetrabromobisphenol A, a flame retardant, and related compounds : Affinity to the mammalian thyroid hormone receptor, and effect on tadpole metamorphosis, *Life Sciences*, 76/14 : 1589–601. DOI : 10.1016/j.lfs.2004.08.030
- 140 Viguié, C., Collet, S. H., Gayrard, V., Picard-Hagen, N., Puel, S., Roques, B. B., Toutain, P.-L. et al. (2012a). Maternal and Fetal Exposure to Bisphenol A Is Associated with Alterations of Thyroid Function in Pregnant Ewes and Their Newborn Lambs, *Endocrinology*, 154/1 : 521–528. DOI : 10.1210/en.2012-1401
- 141 Wang, Zhihao, Alderman, M. H., Asgari, C., Taylor, H. S. (2020). Fetal Bisphenol-A Induced Changes in Murine Behavior and Brain Gene Expression Persisted in Adult-aged Offspring, *Endocrinology*, 161/12. DOI : 10.1210/endocr/bqaa164
- 142 Morsy, M. M., Ahmad, M. M., Hassan, N. H. (2024). Maternal exposure to low-dose bisphenol A and its potential neurotoxic impact on male pups : A histological, immunohistochemical, and ultrastructural study, *Tissue and Cell*, 90 : 102503. DOI : 10.1016/j.tice.2024.102503
- 143 Peremiquel-Trillas, P., Benavente, Y., Martín-Bustamante, M., Casabonne, D., Pérez-Gómez, B., Gómez-Acebo, I., Oliete-Canela, A. et al. (2018). Alkylphenolic compounds and risk of breast and prostate cancer in the MCC-Spain study, *Environment International*, 122 : 389–399. DOI : 10.1016/j.envint.2018.12.007
- 144 He, S., Xiao, H., Luo, S., Li, X., Zhang, J.-D., Ren, X.-M., Yang, Y. et al. (2022). Benzotriazole Ultraviolet Stabilisers Promote Breast Cancer Cell Proliferation via Activating Estrogen-Related Receptors α and γ at Human-Relevant Levels, *Environmental Science & Technology*, 56/4 : 2466–2475. DOI : 10.1021/acs.est.1c03446
- 145 Wen, H.-J., Chang, T.-C., Ding, W.-H., Tsai, S.-F., Hsiung, C. A., Wang, S.-L. (2020). Exposure to endocrine disruptor alkylphenols and the occurrence of endometrial cancer, *Environmental Pollution*, 267 : 115475. DOI : 10.1016/j.envpol.2020.115475
- 146 Mustieles, V., Balogh, R. K., Axelstad, M., Montazeri, P., Márquez, S., Vrijheid, M., Draskau, M. K. et al. (2023). Benzophenone-3 : Comprehensive review of the toxicological and human evidence with meta-analysis of human biomonitoring studies, *Environment International*, 173 : 107739. DOI : 10.1016/j.envint.2023.107739
- 147 Pang, L., Wei, H., Wu, Y., Yang, K., Wang, X., Long, J., Chen, M. et al. (2024a). Exposure to alkylphenols during early pregnancy and the risk of gestational diabetes mellitus : Fetal sex-specific effects, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 287 : 117270. DOI : 10.1016/j.ecoenv.2024.117270
- 148 Chen, M., Liang, J., Wei, H., Mu, C., Tang, Y., Wu, X., Jiang, Q. et al. (2024). Association of alkylphenols exposure with serum liver function markers in pregnant women in Guangxi, China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 282 : 116676. DOI : 10.1016/j.ecoenv.2024.116676

- 149 Scinicariello, F., Buser, M. C. (2016). Serum Testosterone Concentrations and Urinary Bisphenol A, Benzophenone-3, Triclosan, and Paraben Levels in Male and Female Children and Adolescents : NHANES 2011–2012, *Environmental Health Perspectives*, 124/12 : 1898–904. DOI : 10.1289/ehp150
- 150 Huo, W., Cai, P., Chen, M., Li, H., Tang, J., Xu, C., Zhu, D. et al. (2015). The relationship between prenatal exposure to BP-3 and Hirschsprung's disease, *Chemosphere*, 144 : 1091–1097. DOI : 10.1016/j.chemosphere.2015.09.019
- 151 Nie, Y., Liu, H., Wu, R., Fan, J., Yang, Y., Zhao, W., Bao, J. et al. (2024). Interference with SPARC inhibits Benzophenone-3 induced ferroptosis in osteoarthritis : Evidence from bioinformatics analyses and biological experimentation, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 274 : 116217. DOI : 10.1016/j.ecoenv.2024.116217
- 152 Sakuragi, Y., Takada, H., Sato, H., Kubota, A., Terasaki, M., Takeuchi, S., Ikeda-Araki, A. et al. (2021). An analytical survey of benzotriazole UV stabilisers in plastic products and their endocrine-disrupting potential via human estrogen and androgen receptors, *The Science of The Total Environment*, 800 : 149374. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2021.149374
- 153 Shi, R., Liu, Z., Liu, T. (2021). The antagonistic effect of bisphenol A and nonylphenol on liver and kidney injury in rats, *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 43/5 : 527–535. DOI : 10.1080/08923973.2021.1950179
- 154 Kim, J., Kang, E.-J., Park, M.-N., Kim, J.-E., Kim, S.-C., Jeung, E.-B., Lee, G.-S. et al. (2015). The adverse effect of 4-tert-octylphenol on fat metabolism in pregnant rats via regulation of lipogenic proteins, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40/1 : 284–291. DOI : 10.1016/j.etap.2015.06.020
- 155 Yu, J., Luo, Y., Yang, X. F., Yang, M. X., Yang, J., Yang, X. S., Zhou, J. et al. (2016). Effects of perinatal exposure to nonylphenol on delivery outcomes of pregnant rats and inflammatory hepatic injury in newborn rats, *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 49/12. DOI : 10.1590/1414-431x20165647
- 156 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals : Threats to Human Health, *The Endocrine Society and IPEN*.
- 157 Blake, B. E., Fenton, S. E. (2020). Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and latent health outcomes : A review including the placenta as a target tissue and possible driver of peri- and postnatal effects, *Toxicology*, 443 : 152565. DOI : 10.1016/j.tox.2020.152565
- 158 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals : Threats to Human Health, *The Endocrine Society and IPEN*.
- 159 Van Gerwen, M., Colicino, E., Guan, H., Dolios, G., Nadkarni, G. N., Vermeulen, R. C. H., Wolff, M. S. et al. (2023). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) exposure and thyroid cancer risk, *EBioMedicine*, 97 : 104831. DOI : 10.1016/j.ebiom.2023.104831
- 160 Seyyedsalehi, M. S., Boffetta, P. (2023). Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Exposure and Risk of Kidney, Liver, and Testicular Cancers : A Systematic Review and Meta-Analysis, *La Medicina Del Lavoro*, 114/5 : e2023040. DOI : 10.23749/mdl.v114i5.15065
- 161 Wang, Y., Zhang, J., Zhang, J., Hou, M., Kong, L., Lin, X., Xu, J. et al. (2024). Association between per- and polyfluoroalkyl substances exposure and prevalence of chronic obstructive pulmonary disease : The mediating role of serum albumin, *The Science of The Total Environment*, 925 : 171742. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2024.171742
- 162 Dragon, J., Hoaglund, M., Badireddy, A. R., Nielsen, G., Schlezinger, J., Shukla, A. (2023). Perfluoroalkyl Substances (PFAS) Affect Inflammation in Lung Cells and Tissues, *International Journal of Molecular Sciences*, 24/10 : 8539. DOI : 10.3390/ijms24108539
- 163 Wang, Y., Zhang, J., Zhang, J., Hou, M., Kong, L., Lin, X., Xu, J. et al. (2024a). Association between per- and polyfluoroalkyl substances exposure and prevalence of chronic obstructive pulmonary disease : The mediating role of serum albumin, *The Science of The Total Environment*, 925 : 171742. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2024.171742
- 164 Von Holst, H., Nayak, P., Dembek, Z., Buehler, S., Echeverria, D., Fallacara, D., John, L. (2021). Perfluoroalkyl substances exposure and immunity, allergic response, infection, and asthma in children : review of epidemiologic studies, *Heliyon*, 7/10 : e08160. DOI : 10.1016/j.heliyon.2021.e08160
- 165 Crute, C. E., Hall, S. M., Landon, C. D., Garner, A., Everitt, J. I., Zhang, S., Blake, B. et al. (2022). Evaluating maternal exposure to an environmental per and polyfluoroalkyl substances (PFAS) mixture during pregnancy : Adverse maternal and fetoplacental effects in a New Zealand White (NZW) rabbit model, *The Science of The Total Environment*, 838 : 156499. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2022.156499
- 166 Rickard, B. P., Rizvi, I., Fenton, S. E. (2021). Per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) and female reproductive outcomes : PFAS elimination, endocrine-mediated effects, and disease, *Toxicology*, 465 : 153031. DOI : 10.1016/j.tox.2021.153031
- 167 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals : Threats to Human Health, *The Endocrine Society and IPEN*.
- 168 Zainab, B., Ayaz, Z., Rashid, U., Farraj, D. A. A., Alkufeidy, R. M., AlQahtany, F. S., Aljowaie, R. M. et al. (2021). Role of Persistent Organic Pollutants in Breast Cancer Progression and Identification of Estrogen Receptor Alpha Inhibitors Using In-Silico Mining and Drug-Drug Interaction Network Approaches, *Biology*, 10/7 : 681. DOI : 10.3390/biology10070681
- 169 Kim, S.-H., Nam, K.-H., Hwang, K.-A., Choi, K.-C. (2016). Influence of hexabromocyclododecane and 4-nonylphenol on the regulation of cell growth, apoptosis and migration in prostatic cancer cells, *Toxicology in Vitro*, 32 : 240–247. DOI : 10.1016/j.tiv.2016.01.008
- 170 Gorini, F., Iervasi, G., Coi, A., Pitto, L., Bianchi, F. (2018). The Role of Polybrominated Diphenyl Ethers in Thyroid Carcinogenesis : Is It a Weak Hypothesis or a Hidden Reality? From Facts to New Perspectives, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15/9 : 1834. DOI : 10.3390/ijerph15091834
- 171 Saquib, Q., Al-Salem, A. M., Siddiqui, M. A., Ansari, S. M., Zhang, X., Al-Khedhairi, A. A. (2022). Organophosphorus Flame Retardant TDCPP Displays Genotoxic and Carcinogenic Risks in Human Liver Cells, *Cells*, 11/2 : 195. DOI : 10.3390/cells11020195

- 172 Costa, L. G., De Laat, R., Tagliaferri, S., Pellacani, C. (2013). A mechanistic view of polybrominated diphenyl ether (PBDE) developmental neurotoxicity, *Toxicology Letters*, 230/2 : 282–294. DOI : 10.1016/j.toxlet.2013.11.011
- 173 Poston, R. G., Saha, R. N. (2019). Epigenetic Effects of Polybrominated Diphenyl Ethers on Human Health, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16/15 : 2703. DOI : 10.3390/ijerph16152703
- 174 Lv, J.-J., Zhang, Y.-C., Li, X.-Y., Zhang, L.-J., Yixi, Z.-M., Yang, C.-H., Wang, X.-H. (2024). The association between brominated flame retardants exposure with Parkinson's disease in US adults : a cross-sectional study of the National Health and Nutrition Examination Survey 2009–2016, *Frontiers in Public Health*, 12. DOI : 10.3389/fpubh.2024.1451686
- 175 Mendy, A., Percy, Z., Braun, J. M., Lanphear, B., La Guardia, M. J., Hale, R., Yolton, K. et al. (2023a). Exposure to dust organophosphate and replacement brominated flame retardants during infancy and risk of subsequent adverse respiratory outcomes, *Environmental Research*, 235 : 116560. DOI : 10.1016/j.envres.2023.116560
- 176 Luo, K., Zhang, R., Aimuzi, R., Wang, Y., Nian, M., Zhang, J. (2020). Exposure to Organophosphate esters and metabolic syndrome in adults, *Environment International*, 143 : 105941. DOI : 10.1016/j.envint.2020.105941
- 177 Dunnick, J. K., Sanders, J. M., Kissling, G. E., Johnson, C. L., Boyle, M. H., Elmore, S. A. (2014). Environmental Chemical Exposure May Contribute to Uterine Cancer Development, *Toxicologic Pathology: studies with tetrabromobisphenol A*, 43/4 : 464–473. DOI : 10.1177/0192623314557335
- 178 Guo, Z., Zhang, L., Liu, X., Yu, Y., Liu, S., Chen, M., Huang, C. et al. (2019). The enrichment and purification of hexabromocyclododecanes and its effects on thyroid in zebrafish, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 185 : 109690. DOI : 10.1016/j.ecoenv.2019.109690
- 179 Usenko, C., Abel, E., Hopkins, A., Martinez, G., Tijerina, J., Kudela, M., Norris, N. et al. (2016). Evaluation of Common Use Brominated Flame Retardant (BFR) Toxicity Using a Zebrafish Embryo Model, *Toxics*, 4/3 : 21. DOI : 10.3390/toxics4030021
- 180 Reffatto, V., Rasinger, J. D., Carroll, T. S., Ganay, T., Lundebye, A. -k., Sekler, I., Hershinkel, M. et al. (2017). Parallel in vivo and in vitro transcriptomics analysis reveals calcium and zinc signalling in the brain as sensitive targets of HBCD neurotoxicity, *Archives of Toxicology*, 92/3 : 1189–1203. DOI : 10.1007/s00204-017-2119-2
- 181 Turner, A., Filella, M. (2021). Hazardous metal additives in plastics and their environmental impacts, *Environment International*, 156 : 106622. DOI : 10.1016/j.envint.2021.106622
- 182 James M. Brow Ltd., EU Restrictions on the use of Cadmium Pigments (n. d.). En ligne : <https://www.jamesmbrown.co.uk/regulatory-affairs/eu-restrictions>
- 183 Turner, A., Filella, M. (2020). Lead in plastics – Recycling of legacy material and appropriateness of current regulations, *Journal of Hazardous Materials*, 404 : 124131. DOI : 10.1016/j.jhazmat.2020.124131
- 184 Giullioni, C., Maurizi, V., De Stefano, V., Polisini, G., Teoh, J. Y.-C., Milanese, G., Galosi, A. B. et al. (2023). The influence of lead exposure on male semen parameters : A systematic review and meta-analysis, *Reproductive Toxicology*, 118 : 108387. DOI : 10.1016/j.reprotox.2023.108387
- 185 Chitakwa, N., Alqudaimi, M., Sultan, M., Wu, D. (2024a). Plastic-related endocrine disrupting chemicals significantly related to the increased risk of estrogen-dependent diseases in women, *Environmental Research*, 252 : 118966. DOI : 10.1016/j.envres.2024.118966
- 186 Chung, H.-K., Nam, J. S., Ahn, C. W., Lee, Y. S., Kim, K. R. (2015). Some Elements in Thyroid Tissue are Associated with More Advanced Stage of Thyroid Cancer in Korean Women, *Biological Trace Element Research*, 171/1 : 54–62. DOI : 10.1007/s12011-015-0502-5
- 187 Peana, M., Pelucelli, A., Chasapis, C. T., Perlepes, S. P., Bekiari, V., Medici, S., Zoroddu, M. A. (2022). Biological effects of human exposure to environmental cadmium, *Biomolecules*, 13/1 : 36. DOI : 10.3390/biom13010036
- 188 Mason, L. H., Harp, J. P., Han, D. Y. (2014). Pb Neurotoxicity : Neuropsychological Effects of Lead Toxicity, *BioMed Research International*, 2014 : 1–8. DOI : 10.1155/2014/840547
- 189 Parithathvi, A., Choudhari, N., Dsouza, H. S. (2024). Prenatal and early life lead exposure induced neurotoxicity, *Human & Experimental Toxicology*, 43. DOI : 10.1177/09603271241285523
- 190 Navas-Acien, A., Guallar, E., Silbergeld, E. K., Rothenberg, S. J. (2006). Lead Exposure and Cardiovascular Disease – A Systematic Review, *Environmental Health Perspectives*, 115/3 : 472–482. DOI : 10.1289/ehp.9785
- 191 Lin, H.-C., Hao, W.-M., Chu, P.-H. (2021). Cadmium and cardiovascular disease : An overview of pathophysiology, epidemiology, therapy, and predictive value, *Revista Portuguesa De Cardiologia (English Edition)*, 40/8 : 611–617. DOI : 10.1016/j.repce.2021.07.031
- 192 Hong, H., Xu, Y., Xu, J., Zhang, J., Xi, Y., Pi, H., Yang, L. et al. (2021). Cadmium exposure impairs pancreatic β -cell function and exaggerates diabetes by disrupting lipid metabolism, *Environment International*, 149 : 106406. DOI : 10.1016/j.envint.2021.106406
- 193 Ma, Y., Su, Q., Yue, C., Zou, H., Zhu, J., Zhao, H., Song, R. et al. (2022). The Effect of Oxidative Stress-Induced Autophagy by Cadmium Exposure in Kidney, Liver, and Bone Damage, and Neurotoxicity, *International Journal of Molecular Sciences*, 23/21 : 13491. DOI : 10.3390/ijms232113491
- 194 Verzelloni, P., Urbano, T., Wise, L. A., Vinceti, M., Filippini, T. (2024). Cadmium exposure and cardiovascular disease risk : A systematic review and dose-response meta-analysis, *Environmental Pollution*, 345 : 123462. DOI : 10.1016/j.envpol.2024.123462
- 195 Assi, M. A., Hezmee, M. N. M., Haron, A. W., Sabri, M. Y., Rajion, M. A. (2016). The detrimental effects of lead on human and animal health, *Veterinary World*, 9/6 : 660–671. DOI : 10.14202/vetworld.2016.660-671
- 196 Huff, J., Lunn, R. M., Waalkes, M. P., Tomatis, L., Infante, P. F. (2007). Cadmium-induced Cancers in Animals and in Humans, *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 13/2 : 202–212. DOI : 10.1179/oeh.2007.13.2.202
- 197 Bhattacharyya, M. H. (2009). Cadmium osteotoxicity in experimental animals : mechanisms and relationship to human exposures, *Toxicology and applied Pharmacology*, 238/3 : 258–265. DOI : 10.1016/j.taap.2009.05.015





More publications
in our “WWF Wissen” app.
Download now!



iOS



Android



Also accessible
via a browser

Support WWF

IBAN: DE06 5502 0500 0222 2222 22



Why we are here

To stop the degradation of the planet's natural environment and
to build a future in which humans live in harmony with nature.

WWF Allemagne

Reinhardtstr. 18 | 10117 Berlin | Germany

Tel.: +49 30 311 777-700

info@wwf.de | wwf.de