



GUIDE SUR LES POLLUANTS OCÉANIQUES MENACES TOXIQUES POUR LA SANTÉ HUMAINE ET LA VIE MARINE

PRÉPARÉ PAR

Mariann Lloyd-Smith, PhD

Joanna Immig B.App.Sc

Octobre 2018



GUIDE SUR LES POLLUANTS OCÉANIQUES

MENACES TOXIQUES POUR LA SANTÉ HUMAINE ET LA VIE MARINE

Octobre 2018

REMERCIEMENTS

Nous remercions tous ceux qui ont commenté et édité ce document. Merci à John Wickens d'avoir fourni un bon nombre de photos utilisées dans ce guide.



pour un avenir sans toxiques

IPEN est un réseau d'organisations non gouvernementales œuvrant dans plus de 100 pays pour réduire et éliminer les dommages causés à la santé humaine et à l'environnement par les produits chimiques toxiques.

ipen.org



The National Toxics Network (NTN) est un réseau communautaire qui œuvre à assurer un avenir sans toxiques pour tous. NTN a été créé en 1993 et s'est développé comme un réseau régional permettant de faire entendre la voix des organisations communautaires et environnementales à travers l'Australie, la Nouvelle-Zélande et la région Asie-Pacifique.

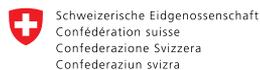
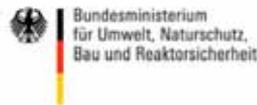
ntn.org.au

IPEN remercie le:

- Gouvernement allemand;
- Gouvernement Suédois;
- Gouvernement suisse; et
- D'autres donateurs pour leur appui financier qui a rendu possible la production de ce document.

Les points de vue et les interprétations exprimés dans ce document ne reflètent pas nécessairement l'opinion officielle de l'une ou l'autre des institutions qui ont fourni un soutien financier. L'IPEN est entièrement responsable du contenu de ce document.

Ce guide est un outil éducatif de la campagne Objectifs de Développement Durable Sans Toxiques lancée par l'IPEN.



Swiss Confederation

Federal Office for the Environment FOEN

CONTENTS

Résumé exécutif.....	4	Les Bivalves et les Crustacés.....	71
Chapitre 1 : Introduction sur les Polluants		Les Poissons	72
Océaniques.....	10	Les Oiseaux de Mer et les Mammifères Marins	72
L'Ensemble des Océans.....	11	Le Transfert des Polluants par l'Intermédiaire des Microplastiques	73
La Pollution Océanique.....	11	La Contamination par les Produits Chimiques des Aliments Marins que les Humains.....	76
Les Perspectives sur la Pollution des Océans	13	Le Mercure dans les Poissons.....	76
Les Sources de la Pollution des Océans	14	Les POPs contenus dans les Régimes Alimen- taires des Peuples Autochtones	77
Les Gyres océaniques et les «Garbage Patches».....	17	La Pollution de la Chaîne Alimentaire Humaine par les Microplastiques	79
La Pollution par les Microplastiques.....	17	La Contamination par les Microplastiques de l'Eau Potable.....	81
La Fracturation et les Plastiques	19		
Le Changement Climatique et les Polluants Océaniques	19		
Chapitre 2 : Identification des Polluants Océaniques	22	Chapitre 4 : Les opportunités et les défis liés à la lutte contre les polluants organiques....	82
Les Produits Chimiques Perturbateurs		La Volonté Politique de s'Attaquer aux Polluants Océaniques	83
Endocriniens.....	23	Le Programme d'Action Mondial pour la Protection du Milieu Marin contre la Pollution due aux Activités Terrestres.....	84
Le Tributylétain et l'Imposex	25	Les Objectifs de Développement Durable des Nations Unies.....	85
Le Mercure–Un Polluant Marin Omniprésent	25	L'Objectif de Développement Durable 14, La Vie Aquatique	85
Les Taux Élevés de Mercure dans les Communautés d'Asie-Pacifique	27	La Communauté d'Action sur l'Océan.....	86
Les Polluants Toxiques Mondiaux : les Polluants Organiques Persistants	27	Une Volonté Politique de Haut Niveau - le G7 et le G20	88
Contamination de la Chaîne Alimentaire de l'Arctique.....	29	L'Économie Circulaire	88
Les POPs Présents dans le Milieu Marin.....	30	Les Instruments Internationaux de Lutte contre la Pollution Marine	89
Les pesticides en usage considérés comme des polluants marins	42	La Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique.....	90
Les Pesticides et la Grande Barrière de Corail	46	L'Approche Stratégique de la Gestion Inter- nationale des Produits Chimiques (SAICM)..	90
Les Eaux Usées et les Produits		Les Produits Chimiques contenant les POPs.....	91
Pharmaceutiques.....	47	Les Conventions sur les Produits Chimiques et les Déchets.....	93
Les Produits Chimiques contenus dans les Crèmes Solaires et les Barrières de Corail	47	La Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants 2001.....	93
La Pollution par les Hydrocarbures.....	48	La Convention de Bâle sur le Contrôle des Mouvements Transfrontaliers de Déchets Dangereux et Leur Élimination - 1989 ..	95
Les Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques (HPAs).....	50	La Convention de Minamata sur le Mercure - 2013.....	97
Le Dragage et les Polluants Océaniques.....	51	Les Accords Volontaires	98
Les Déchets Miniers et l'Exploitation Minière Océanique.....	53	l'Assemblée des Nations Unies pour l'Environnement	99
Les Contaminants Contenus dans les Plastiques Marins	55	Les Organisations Non Gouvernementales.....	100
Les Types de Plastiques et les Additifs	55	La Plate-forme sur les polluants océaniques de l'IPEN	102
Les Produits Chimiques Perturbateurs			
Endocriniens dans le Plastique Marin	58		
International Pellet Watch.....	58		
Les Produits de Dégénération Plastique	59		
La Sorption des Contaminants Toxiques	60		
Les Nodules en Plastique.....	61		
Le Recyclage Toxique : Une Source de Contaminants dans les Plastiques Marins.....	62		
Chapitre 3 : Les Impacts des Polluants Océaniques.....	63	Conclusion.....	103
Les Impacts Écologiques.....	64	Notes de Fin	105
Les Espèces Marines Sentinelles	69		
Les Impacts de la Pollution par les Microplastiques.....	70		



RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Les polluants marins ont un impact sur la santé de nos océans, de leurs habitants et de ceux qui dépendent des ressources qu'ils fournissent pour leur alimentation, leur culture et leur survie même. Chaque jour, un cocktail sans cesse croissant de rejets de produits chimiques intentionnels et non intentionnels, ainsi qu'un raz-de-marée incessant de déchets, en particulier les déchets plastiques, pénètrent dans nos cours d'eau et l'environnement marin.

Les polluants océaniques comprennent les polluants organiques persistants (POP), les produits chimiques perturbateurs endocriniens (EDC), le mercure et les composés de métaux lourds, les pesticides, les produits pharmaceutiques, le pétrole, les déchets plastiques et leurs produits chimiques connexes (p. ex. le BPA, les phtalates), les produits de soins personnels et autres émissions industrielles et agricoles. Nous venons à peine de prendre conscience de l'identité, du volume et de la portée de nombreux polluants océaniques. Les dangers et les interactions écologiques complexes liés aux polluants océaniques sont encore inconnus.

Des données sur la santé humaine et des informations relatives au devenir environnemental n'existent pas pour de nombreux polluants océaniques, et notre compréhension des impacts à long terme des produits chimiques perturbateurs endocriniens sur la reproduction et le comportement des poissons et d'autres organismes marins n'en est qu'à ses débuts.

Les produits chimiques pénètrent dans l'environnement marin à travers le transport atmosphérique, le ruissellement dans les cours d'eau ou par déversement direct dans l'océan. On estime que 80 % de la pollution chimique marine provient des terres. La grande majorité de la surface terrestre mondiale est reliée à l'environnement marin par des réseaux fluviaux, de sorte que la pollution chimique et plastique des rivières est inextricablement liée à la pollution des océans.

Depuis les années 1950, les zones désoxygénées ou « mortes » dans l'océan ont quadruplé comme conséquence directe du changement climatique, de la pollution et du réchauffement des eaux. Les zones mortes occupent désormais une superficie de la taille de l'Union Européenne. Les sites côtiers à faible teneur en oxygène, en raison directe des nutriments (azote et phosphore), de la matière organique et du ruissellement des eaux usées, ont décuplé. Les écosystèmes côtiers ont radicalement changé par rapport aux activités humaines en peu de temps et les impacts écologiques sont immenses.

La notion d'un vaste océan avec des approvisionnements alimentaires interminables et une capacité illimitée d'absorber et de « diluer » la pollution est un mythe culturel profondément ancré dans les cultures industrialisées. C'est aussi le fondement des systèmes de réglementation qui permettent de déverser des niveaux « sans danger » de polluants individuels dans l'environnement. En réalité, cependant, l'environnement marin est exposé à un cocktail de produits chimiques toxiques qui interagissent les uns avec les autres de manière inconnue.

L'approche basée sur le niveau « sans danger » de la gestion de la pollution ne protège pas non plus les océans parce qu'il y a une quantité limitée d'eau sur la planète et il y a une limite de pollution qu'elle peut diluer, en particulier si ces polluants sont des substances persistantes, bio accumulatives et toxiques.

Une grande partie des déchets du monde, soit environ 20 milliards de tonnes par an, se retrouve dans la mer, souvent sans traitement préliminaire. Alors que la population mondiale devrait atteindre 9,7 milliards d'ici 2050, il est clair que les niveaux actuels de consommation des ressources et de production de déchets et de pollution ne peuvent être maintenus. Même un certain recyclage est en train de recycler involontairement les polluants.

La production chimique ne cesse de croître, à environ 4 % par an. Quelque 5 000 de ces substances sont produites en volumes dépassant plus d'un million de tonnes par an. L'industrie des combustibles fossiles vise également une augmentation massive de la production de produits



chimiques et de plastiques dans l'avenir.

Bien qu'il y ait eu des connaissances depuis des décennies sur certains polluants océaniques persistants tels que les PCB, le DDT et l'étain tributyl, plus récemment, il y a eu une prise de conscience croissante sur tant d'autres polluants, y compris les « produits

chimiques permanents » perfluorés et d'autres, qui contestent l'idée reçue de ce que sont les produits chimiques toxiques persistants et comment nous devrions les aborder.

Alors que l'ampleur et les impacts de la crise de la pollution plastique marine continuent de se développer, le rôle que la pollution microplastique (morceaux de plastique de moins de 5 millimètres de diamètre) joue comme source de pollution elle-même, ainsi qu'un vecteur de concentration d'autres polluants océaniques chimiques, devient de plus en plus clair.

La pollution plastique est maintenant documentée dans tous les milieux marins, des côtes à l'océan ouvert, de la surface de la mer au fond marin, des sédiments de haute mer et même de la glace de la mer arctique. Les microplastiques se trouvent également dans la vie marine comme le krill, les poissons, les mollusques, les oiseaux de mer, les tortues de mer et les mammifères marins.

Une enquête récente sur le Great Pacific Garbage Patch (GPGP) a révélé que la pollution plastique augmente de façon exponentielle par rapport aux eaux environnantes et il est maintenant estimé que le GPGP couvre une superficie de 1,6 million de kilomètres carrés.

L'aggravation des effets du changement climatique ajoute une autre couche complexe du caractère urgent pour s'attaquer au problème croissant des polluants océaniques. Le changement climatique a déjà modifié les niveaux de salinité, a fait augmenter l'acidification et l'eutrophisation des océans, modifié la teneur en oxygène de l'eau et affecté l'adaptabilité des espèces.

Les régions polaires, autrefois considérées comme des puits environnementaux pour bon nombre de substances les plus persistantes, bio accumulatives et toxiques (PBT), deviennent rapidement de nouvelles sources de contamination des océans du monde à mesure que la glace fond.

Le changement climatique influence la vitesse à laquelle les produits chimiques toxiques sont libérés des matériaux et des stocks, ainsi que la modification de la distribution des contaminants chimiques dans l'air et l'eau par des phénomènes météorologiques extrêmes accrus et d'autres facteurs, tels que le cloisonnement. Les impacts du changement climatique affectent également la dégradation chimique, la biodisponibilité et la toxicité, tandis que les changements dans l'acidité de l'eau ravagent certains organismes marins, en rongant leurs squelettes et leurs coquilles.

Pour les océans sains, il doit y avoir un réseau alimentaire sain, y compris les bactéries, le protozoaire, le phytoplancton, les micro-algues, les algues de mer, les coraux, le zooplancton, les mollusques, les crevettes, les calmars et les poissons. Aujourd'hui, les organismes marins des plus grands aux plus petits montrent des signes de stress, de perturbation et de dommages causés par les polluants océaniques.

Les espèces sentinelles marines telles que l'otarie californienne, le dauphin à nez de bouteille de l'Atlantique, l'ours polaire et le lamantin antillais en voie de disparition fournissent déjà des avertissements précoces sur les impacts négatifs des polluants océaniques.



Les organismes marins exposés aux polluants chimiques sont affectés de multiples façons, y compris au niveau cellulaire, organisme, population et communauté. Les humains sont également affectés par l'exposition aux fruits de mer contaminés par des produits chimiques tels que les POP et les PBT ainsi que par le mercure et les microplastiques.

La lutte contre la pollution des océans exige des changements profonds dans notre façon de vivre et de consommer. Il s'agit d'un problème vaste et complexe qui ne sera pas résolu avec le statu quo et la dépendance à l'égard des pratiques et des politiques de gestion existantes. Les systèmes de réglementation actuels sont fragmentés et ne traitent pas de l'extraction des ressources, de la conception, de la fabrication, de l'utilisation, de la réutilisation et du recyclage des produits dans le cadre d'une véritable économie circulaire. Les changements indispensables exigent une volonté et un leadership politiques.

L'Objectif 14 des Nations Unies pour le développement durable, La Vie en dessous de l'Eau (Life Below Water), fixe un objectif visant à prévenir et à réduire considérablement la pollution marine de toutes sortes, en particulier celle provenant des activités terrestres, y compris les débris marins et la pollution des nutriments, d'ici 2025.

Pour ce faire, des approches multisectorielles et multipartites fondées sur des principes de bonne gestion des produits chimiques, c'est-à-dire le droit de savoir, le pollueur-payeur, la précaution et la substitution, sont nécessaires. Les réponses politiques doivent également adhérer aux principes de l'équité sociale, environnementale et intergénérationnelle.



Les mesures qui doivent se produire au minimum comprennent l'adoption et la mise en œuvre intégrale des conventions et programmes internationaux actuels sur les océans, le climat et les produits chimiques; l'harmonisation des normes mondiales pour la qualité de l'eau; la bio surveillance des programmes destinés à informer la gouvernance; l'expansion et la mise en œuvre des programmes de responsabilité élargie des producteurs; la création et la mise en œuvre de la politique zéro déchet; la prévention de la pollution tout en évitant de créer de nouveaux problèmes; l'assainissement et le nettoyage; et la sensibilisation communautaire, le renforcement des capacités et l'autonomisation.

La production de plastiques et de produits chimiques provenant des combustibles fossiles posent des défis complexes et difficiles pour tous les pays. L'ensemble du cycle de vie de la production actuelle axée sur la pétrochimie en commençant par l'extraction des matières premières jusqu'à la consommation et l'élimination finale représente des menaces pour le milieu marin. Toute solution visant à lutter contre la pollution des océans doit s'attaquer à cette situation.

Nous sommes tous citoyens de la mer et nous sommes affectés négativement par la pollution des océans. Toute la vie de la surface dépend de la santé de l'océan. Il produit une grande partie de l'oxygène que nous respirons, stocke le dioxyde de carbone que nous produisons et régule les conditions atmosphériques que nous connaissons. Bien que les communautés éloignées et celles pratiquant l'économie de subsistance, comme les peuples de l'Arctique et des îles du Pacifique, ressentent déjà des effets disproportionnés, à cause de leur forte dépendance à l'égard de l'océan pour leur subsistance, leur santé, leur culture et leurs droits humains, finalement la santé de l'océan et les polluants qui le dégradent nous affectent tous.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION SUR LES POLLUANTS OCÉANIQUES

Les polluants marins menacent la santé de nos océans. Chaque jour, un cocktail croissant de rejets chimiques intentionnels et non intentionnels, ainsi que le raz-de-marée incessant de déchets, en particulier les déchets plastiques, pénètrent dans nos cours d'eau et notre environnement marin.

Les polluants océaniques comprennent les polluants organiques persistants (POP), les produits chimiques perturbateurs endocriniens (EDC), les composés de mercure, les pesticides, les produits pharmaceutiques, le pétrole et les déchets plastiques et leurs composés chimiques connexes (par. ex., le BPA, les phtalates), ainsi que d'autres émissions industrielles et agricoles. Nous venons à peine de prendre conscience de l'identité et du volume de certains polluants océaniques.

La pollution des océans a un impact disproportionné sur les collectivités éloignées de l'Arctique et des îles du Pacifique qui dépendent surtout des aliments provenant de l'océan pour leur subsistance. Elle constitue également une grave menace pour leur environnement, leur sécurité



alimentaire, leur santé, leur culture et leurs droits humains. Finalement, cependant, les polluants océaniques nous affectent tous.

L'ENSEMBLE DES OCÉANS

Le mot « océan » vient de l'île grecque d'Ikeanos, ce qui signifie « le grand ruisseau encerclant le disque de la terre ».

L'ensemble des océans couvrent 71 % de la surface de la terre et

contiennent 97 % des eaux terrestres. Les 3 % restants sont constituées de la vapeur d'eau dans l'atmosphère et de l'eau dans les rivières, les lacs, les glaciers et les calottes glaciaires. Puisque la source de la majorité de la pollution des océans est terrestre, il est essentiel de tenir compte de cette partie du cycle hydrogéologique et du rôle qu'elle joue dans l'acheminement des polluants dans l'océan.

Selon le premier recensement sur la vie marine¹, l'aboutissement de dix années de recherche publiée en 2010, les océans mondiaux abritent environ un million d'espèces, dont la majorité n'a pas encore été nommée et décrite. Cette étude de référence a révélé un océan mondial riche et connecté, mais a également montré un océan plus modifié par les impacts humains, tels que le changement climatique et les déversements de pétrole, qu'on ne le pensait auparavant.

Nous sommes tous citoyens de l'océan et ne sommes pas isolés de ces impacts. Toute la vie de la surface dépend de la santé de l'océan, puisque la moitié de l'oxygène du monde est produite par la vie marine. L'océan mondial stocke cinquante fois plus de dioxyde de carbone que notre atmosphère, et transporte la chaleur de l'équateur vers les pôles, régule notre climat et nos conditions météorologiques.

LA POLLUTION OCÉANIQUE

Le Groupe conjoint d'experts des Nations Unies sur les aspects scientifiques de la pollution marine définit la pollution marine comme: l'« In-



roduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou de l'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) pouvant avoir des effets négatifs tels que nuire aux ressources biologiques, présenter des dangers pour la santé humaine, constituer une entrave aux activités marines, y compris la pêche, engendrer l'altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de leur utilisation et la réduction de la valeur des services du milieu marin. »

La notion d'un vaste océan ayant une capacité continue d'absorber et de « diluer » la pollution est directement remise en question par l'omniprésence et les impacts de la crise de la pollution océanique à laquelle nous sommes confrontés aujourd'hui. On assiste à une prise de conscience de plus en plus marquée qu'en un clin d'œil, depuis la révolution industrielle, l'océan considéré comme le lieu « éloigné » où nos déchets industriels et domestiques peuvent être éliminés et absorbés, a atteint ses limites.

L'océan renvoie maintenant la pollution à notre porte sous forme de poissons et de fruits de mer contaminés, de vie marine enchevêtrée, de pollution plastique de grande ampleur et d'expansion des « zones mortes » océaniques.

Les zones désoxygénées ou mortes dans l'océan ont quadruplé depuis 1950 comme conséquence directe du changement climatique, de la pollution et du réchauffement des eaux. Les zones mortes occupent désormais une superficie équivalente à la taille de l'Union Européenne. Les sites côtiers à faible teneur en oxygène, ont décuplé en conséquence directe des éléments nutritifs (azote et phosphore), de la matière organique et du ruissellement des eaux usées. Les écosystèmes côtiers ont radicalement changé en peu de temps à cause des activités humaines et les impacts écologiques sont immenses.²

Le transport atmosphérique terrestre des produits chimiques toxiques tels que les polluants organiques persistants (POP) et les métaux lourds a contaminé le globe, y compris les océans du monde. Le ruissellement des pesticides et des engrais provenant des terres agricoles, des rejets industriels, des produits pharmaceutiques dans les eaux usées, du lessivage des sites d'enfouissement, des activités minières, de la combustion des combustibles fossiles et des déchets, des déversements de pétrole et du ruissellement des routes ont contaminé les cours d'eau et les rivières, qui ont finalement déversé leur charge toxique dans les océans du monde.

À cela s'ajoute le tsunami croissant de déchets plastiques qui entrent dans nos océans tous les jours. Alors que les plastiques peuvent prendre des centaines d'années pour se décomposer, une fois dans le milieu marin, ils subissent une altération chimique et une fragmentation en morceaux de

plastique de plus en plus petits, ce qui aide à la sorption d'autres contaminants provenant de l'eau de mer. Ces contaminants chimiques peuvent se concentrer sur la surface des fragments de microplastiques à plusieurs ordres de grandeur supérieurs aux niveaux de fond chimique dans l'eau de mer.

LES PERSPECTIVES SUR LA POLLUTION DES OCÉANS

Aucune réflexion portant sur les polluants océaniques ne serait complète sans que l'on ne fasse une projection et une anticipation pour comprendre à quoi pourrait ressembler le problème à l'avenir si l'on continue avec le statu quo.

La population mondiale devrait atteindre 9,7 milliards d'ici 2050.³ Cette croissance démographique entraîne une augmentation de la consommation des ressources, de la production de déchets et davantage de dégradation environnementale. Les indicateurs de pression environnementale sévère sont déjà évidents et le risque de changements irréversibles avec des conséquences de grande envergure, telles que la perte de la biodiversité et l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre augmentent.

La plupart des mégapoles du monde avec plus de 2,5 millions d'habitants se trouvent dans les zones côtières. Une grande partie des déchets dans le monde - environ 20 milliards de tonnes par an - se retrouve dans la mer, souvent sans avoir subi un traitement préliminaire.⁴ Alors que l'industrialisation et l'urbanisation s'intensifient, et que la production et l'utilisation des plastiques augmentent, si rien n'est fait, nous devrions nous attendre à voir la pollution s'aggraver et la détérioration des écosystèmes marins.⁵

Les économies développées et en développement sont confrontées à un grand dilemme dans la réorientation de la croissance et du développement dans le sens d'une interaction plus harmonieuse avec la nature. Le défi est intensifié par les étapes inégales du développement dans le monde entier. Le taux d'utilisation des ressources naturelles et de consommation de combustibles fossiles caractéristique des économies développées, et celui attendu des économies en développement, ne peut être maintenu.

Alors que les projecteurs ont été braqués sur la réduction des combustibles fossiles dans l'espace de production d'énergie, l'industrie des combustibles fossiles a également pour objectif d'augmenter massivement la production des produits chimiques et des plastiques dans l'avenir.

On estime que 100 000 de substances chimiques sont disponibles dans le commerce et ce nombre est en pleine expansion. Près de 5 000 de ces substances sont produites en volumes supérieurs à un million de tonnes

par an. Alors que les pays de l'OCDE demeurent les plus grands producteurs de produits chimiques, la production augmente plus de deux fois plus vite en Inde, en Chine, au Brésil, en Afrique du Sud et en Indonésie.⁶ La production de produits chimiques ne cesse de croître, environ 4 % par an.⁷

L'essor du gaz de schiste aux États-Unis a rendu les matières premières pour la fabrication des plastiques très bon marché, ce qui a entraîné l'investissement et l'augmentation de la production. À elle seule, l'industrie américaine prévoit d'investir plus de 164 milliards de dollars d'ici 2023, et de nombreux nouveaux « craqueurs » d'éthane conçus spécifiquement pour produire de l'éthylène à partir de l'éthane fracturé.⁸ L'éthylène est la matière première essentielle du polyéthylène, du chlorure de polyvinyle (CPV), du polyéthylène téréphtalate (PET) et du polystyrène. En plus, le propane du gaz naturel est utilisé pour faire du propylène et, finalement, du polypropylène. La production de plastique devrait doubler au cours des 20 prochaines années pour atteindre 600 millions de tonnes par an.

Dans ce contexte, la sensibilisation de la communauté à la pollution plastique marine s'est accrue, grâce aux images de plages autrefois préservées et isolées aujourd'hui vues jonchées de pollution plastique. Des images des animaux sauvages morts avec leurs estomacs pleins de débris de plastique et des créatures marines contaminées se sont multipliées dans les médias et nous ont mis en prise directe sur les dommages causés par la pollution plastique.

Cependant, on est beaucoup moins sensibilisé aux impacts des polluants chimiques marins et à leur lien avec la pollution plastique. C'est en partie parce que les polluants chimiques sont en grande partie « invisibles » à l'œil nu et leurs conséquences sanitaires et écologiques sont complexes et surviennent à long terme.

LES SOURCES DE LA POLLUTION DES OCÉANS

On estime que les terres sont à l'origine de 80 % de la pollution chimique marine.⁹ La grande majorité des terres émergées de la planète est reliée au milieu marin par des réseaux fluviaux, par conséquent la pollution chimique des rivières est inextricablement liée à la pollution des océans.

Plus de 100 000 produits chimiques sont utilisés à des fins commerciales. Plusieurs produits chimiques entrent dans l'environnement marin par le transport atmosphérique, le ruissellement dans les voies navigables, ou par déversement direct dans l'océan.¹⁰

Des industries telles que la fabrication, l'incinération des déchets, les centrales électriques alimentées au charbon et la production de combustibles fossiles rejettent chaque année des tonnes d'émissions nocives dans l'atmosphère.¹¹ La combustion de combustibles dans les automobiles, les usines et les fonderies introduit des hydrocarbures et des métaux dans l'environnement.

Bon nombre de ces polluants finissent par se retrouver dans nos océans par dépôt atmosphérique. Le dépôt atmosphérique se produit lorsque les contaminants, une fois en suspension dans l'air (sous forme de vapeur ou attachés aux particules de poussière), sont lavés par la pluie ou la neige, ou retombent sur terre dans les climats plus froids.

Les installations industrielles, les usines de pâtes et papiers, les sorties d'égout et les activités minières contribuent au ruissellement des produits chimiques toxiques directement dans le milieu aquatique, tandis que les produits chimiques toxiques, comme les pétroles déversés et les combustibles, sont déversés dans les rues, les collecteurs d'eaux pluviales et aboutissent dans les plans d'eau. Une gestion inadéquate des déchets entraîne également des rejets importants de produits chimiques dangereux dans l'air, au sol et dans l'eau.

La pollution par les hydrocarbures, qui peut dégrader ou détruire les écosystèmes marins, résulte de catastrophes de pétroliers, d'eaux de ruissellement urbain, de déversements et de rejets volontaires de carburant provenant du trafic maritime et des opérations portuaires. Les rejets associés aux bateaux représentent 24 % de la quantité totale de pétrole dans l'océan, 8 % de l'ensemble de la pollution des océans par les hydrocarbures résultant de déversements pendant le transport ou la production.¹²

Les réseaux fluviaux facilitent le transport des sédiments terrestres, du carbone organique, de l'azote, des métaux lourds, du pétrole, des pesticides, des eaux usées, des déchets plastiques et de divers autres déchets industriels et contaminants dans les océans.

De même, l'environnement terrestre contribue entre 64 % et 90 % des rejets des débris microplastiques dans les océans.¹³ Une évaluation des bassins versants des rivières dans le nord-ouest de l'Angleterre a révélé des modèles de microplastiques à l'échelle du bassin versant dans les sédiments de lit des chenaux dans 40 sites à travers les bassins versants urbains, suburbains et ruraux. Après de graves inondations, le ré-échantillonnage a révélé que jusqu'à 70 % des microplastiques provenaient de la rivière.¹⁴

Les grandes rivières exportent de façon incompréhensible plus de plastiques de leurs bassins versants que les petites rivières, et les concentrations de plastique dans les rivières varient de plus de sept ordres de grandeur. Les charges et les concentrations en plastique dans les rivières varient selon les caractéristiques du bassin versant, telles que l'utilisation des terres urbaines et la densité de la population, qui sont toutes deux des indicateurs des concentrations de plastique.¹⁵

Les dix principales rivières ayant les charges les plus élevées contribuent à environ 90 % du total des apports en plastique entraînés par la rivière dans l'océan. Dans l'ordre de leurs charges de concentration en plastique, les rivières sont: Yangtze; Indus; Fleuve Jaune; rivière Hai; Nil; Meghna; Rivière-des-Perles; Amour; Niger; Mékong.

La pollution plastique se trouve maintenant dans tous les habitats marins, y compris les estuaires, les zones de reproduction de nombreuses espèces de poissons et d'organismes marins. C'est l'une des menaces les plus graves pour les écosystèmes océaniques.¹⁶ La recherche confirme que la faune marine, allant du zooplancton aux cétacés, aux oiseaux de mer et aux reptiles marins, sont toutes affectées par la pollution plastique à travers l'ingestion et l'enchevêtrement.¹⁷ Les produits chimiques présents dans et sur le plastique représentent d'autres risques pour la vie marine, tout comme les communautés de biofilms qui poussent sur le plastique, ce qui peut inclure des espèces pathogènes, toxiques et/ou envahissantes.¹⁸

L'une des prédictions les plus choquantes est que la quantité « de déchets plastiques dépasserait largement la quantité de poissons qui se trouvent dans l'océan d'ici 2050 à moins que le monde ne prenne des mesures drastiques ».¹⁹ Nous ne connaissons pas encore la quantité de plastique qui pénètre dans l'océan; cependant, des estimations exactes récentes indiquent entre 4 et 12 millions de tonnes métriques de plastique d'entraînement côtier en 2010 uniquement. Si rien ne change, cette quantité devrait augmenter d'un ordre de grandeur d'ici 2025.²⁰

Les déchets plastiques sont maintenant documentés dans tous les milieux marins, des côtes jusqu'en pleine mer, de la surface de la mer jusqu'au fond marin, aux sédiments en haute mer et même des glaces de mer de l'arctique.²¹ Le plastique le plus profond a été trouvé à 10 898 mètres dans la fosse des Mariannes.²²

LES GYRES OCÉANIQUES ET LES « GARBAGE PATCHES »

Les gyres océaniques sont des endroits où de grands systèmes de courants océaniques circulants se produisent et les déchets recueillis dans leurs courants sont appelés « garbage patches ». Il existe de nombreuses garbage patches dans l'océan, petits et grands, et de composition variable.

Le plus connu est le « Pacifique Garbage Patch » (PGP) dans le gyre du Pacifique Nord, dans une région entre Hawaï et la Californie. Une enquête récente²³ menée dans le PGP a révélé que la pollution plastique augmente de façon exponentielle par rapport aux eaux environnantes.

La superficie du PGP est maintenant estimée à 1,6 million de kilomètres carrés. Bien que les garbage patches contiennent des déchets visibles, une grande partie du plastique est en fait de plus petits morceaux de microplastiques et de nanoplastiques dans les couches supérieures de la colonne d'eau ne sont pas immédiatement visibles à l'œil nu ou par satellites.

LA POLLUTION PAR LES MICROPLASTIQUES

Tous les océans du monde sont contaminés par des microplastiques.²⁴ Une estimation actuelle du nombre de plastiques qui se trouve dans l'océan, dont la majorité sont des microplastiques, est de cinq trillions, pesant plus de 250 000 tonnes.²⁵

Alors que la crise de la pollution plastique marine continue de se dérouler, le rôle que la pollution par les microplastiques (morceaux de plastique de moins de 5 millimètres de diamètre²⁶) joue comme source de pollution elle-même, ainsi qu'un vecteur pour d'autres polluants chimiques océaniques, devient de plus en plus apparente.

Les microplastiques peuvent inclure des granulés de résine, des microbilles, du polystyrène, des déchets plastiques et des mégots de cigarettes, de minuscules fils et fibres provenant des cordes, des filets et des vêtements synthétiques. Les nanoparticules plastiques conçues provenant des déchets post-consommation, ainsi que des nanoplastiques provenant de la dégradation, posent un défi spécifique à l'écosystème marin.

Les plastiques deviennent des microplastiques puis des nanoplastiques, mais ce sont tous des plastiques. Ils sont de plus en plus petits, ce qui leur permet d'être plus facilement ingérés et, dans certains cas, de traverser le tractus gastro-intestinal pour être transportés dans un organisme vivant.²⁷

Les nanoplastiques et les microplastiques sont également générés au travers des processus industriels par abrasion (p. ex. sablant à l'air), les peintures synthétiques et les pneus de voiture.²⁸ Le vent et le ruissellement des eaux de surface transportent ces particules vers les écosystèmes aquatiques. Une autre source est les textiles synthétiques, qui rejettent de grandes quantités de fibres microplastiques dans les eaux usées pendant la lessive.²⁹

Une fois dans le milieu marin, les polymères en plastique subissent des intempéries et de la dégradation par le biais du rayonnement solaire UV, de la dégradation chimique et de la biodégradation. Cela affaiblit le plastique, ce qui le rend cassant et il se brise lorsqu'il est soumis au mouvement de la mer.

De même, lorsqu'ils sont ingérés, de plus gros morceaux de plastique peuvent être décomposés en petits morceaux dans l'intestin des oiseaux de mer et d'autres espèces sauvages. Par exemple, on estime que les fulmars (*Fulmarus glacialis*), un type d'oiseau de mer, modifient et redistribuent environ 6 tonnes de microplastiques par année.³⁰

Le processus de dégradation aide à la sorption de contaminants toxiques provenant de l'eau de mer, car les fragments de nano et de microplastiques ont un plus grand ratio surface/volume, et ils peuvent concentrer les POP et les toxines bioaccumulatives persistantes (TBP) à plusieurs ordres de magnitude plus élevée que dans l'eau de mer.

Les différents plastiques colorés et les différents types de polymères adsorberont les POP de l'environnement différemment. Lorsqu'ils sont ingérés, les plastiques contaminés peuvent fournir une autre voie par laquelle des produits chimiques persistants peuvent pénétrer dans la chaîne alimentaire marine.³¹

Pour comprendre et gérer les polluants océaniques, il faut tenir compte du rôle que jouent les bassins versants des rivières, non seulement en ce qui concerne l'acheminement de microplastiques dans le milieu marin, mais aussi dans l'acheminement d'une quantité importante de produits chimiques toxiques.

LA FRACTURATION ET LES PLASTIQUES

La fracturation hydraulique (fracturation) et le boom du gaz de schiste aux États-Unis ont rendu les matières premières en plastique très bon marché, ce qui a alimenté l'investissement et l'augmentation de la production. D'ici 2023, l'industrie américaine prévoit investir plus de 164 milliards de dollars pour produire de l'éthylène à partir de l'éthane³², un sous-produit de fracturation utilisé pour fabriquer des plastiques comme le polyéthylène, le chlorure de polyvinyle (CPV), le polyéthylène téréphényle (PET) et le polystyrène. Le propane à partir du gaz naturel est utilisé pour fabriquer du propylène et, finalement, du polypropylène. La production de plastique devrait doubler au cours des 20 prochaines années pour atteindre 600 millions de tonnes par an. La conversion du gaz naturel en produits pétrochimiques qui forment la base du plastique émet de grandes quantités de dioxyde de carbone (CO₂) et d'oxyde d'azote, aggravant l'acidification des océans³³, alors que les émissions provenant de la fracturation et de la production de plastique sont toxiques pour la santé humaine et l'environnement.



LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LES POLLUANTS OCÉANIQUES

L'impact du changement climatique sans cesse croissant fait accroître l'urgence au problème croissant des polluants océaniques. Les zones autrefois considérées comme des puits environnementaux pour bon nombre de nos substances bioaccumulatives et toxiques les plus persistantes (BTP) deviennent rapidement de nouvelles sources de contaminants pour les océans du monde.³⁴

La nature semi-volatile de nombreux POP signifie qu'une partie de la charge mondiale des POP générée à des latitudes plus tempérées est



transportée vers les régions polaires par des processus atmosphériques et océaniques. Le réchauffement climatique modifie le climat polaire et l'augmentation des températures remobilise les contaminants historiques des « puits polaires » tels que la glace, la neige, l'eau, les sols et les sédiments. Ceux-ci deviennent rapidement des sources secondaires de POP dans l'atmosphère; un processus déjà observé dans les réémissions des hexachlorocyclohexanes (HCH) du sol arctique et de l'océan.³⁵

Le changement climatique influence la vitesse à laquelle les produits chimiques toxiques sont rejetés des matériaux, des stocks et des sites contaminés. Des températures plus élevées augmentent les rejets de substances toxiques persistantes dans l'air en modifiant leur taux de cloisonnement entre l'air et le sol, et entre l'air, l'eau et les sédiments. Il modifie également la distribution des contaminants chimiques dans l'air et l'eau en raison de l'augmentation du vent, des tempêtes, des inondations et des phénomènes météorologiques extrêmes.

Dans les océans, le changement climatique a modifié les niveaux de salinité, augmenté l'acidification des océans et l'eutrophisation, modifié les niveaux d'oxygène de l'eau et affecté l'état nutritionnel³⁶ des espèces et leur adaptabilité. Ces changements, individuels ou combinés, peuvent améliorer les effets toxiques des produits chimiques sur les espèces sauvages, ce qui augmente les risques de maladies et la vulnérabilité des espèces.

L'acidification des océans est l'un des impacts les plus répandus. À mesure que la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère augmente en raison de l'utilisation de combustibles fossiles et d'autres activités telles que le déboisement, une plus grande partie du gaz est absorbée par les océans, ce qui rend progressivement l'eau plus acide.

Cette acidification croissante affecte directement les poissons, ronge leurs branchies et diminue la teneur en calcium de leur squelette.³⁷ Il affecte également leur capacité à se reproduire³⁸, avec des larves ou de petits alevins incapables de résister à l'acidité. D'autres études indiquent que beaucoup d'eaux acides interfèrent avec leurs neurotransmetteurs, affectant le comportement des poissons.³⁹ L'acidification affecte également négativement une gamme d'autres animaux aquatiques, y compris les polypes, qui forment la base de nombreux récifs coralliens, de minuscules mollusques tels que les pteropodes⁴⁰ et le krill⁴¹, sur lesquels dépendent tant de poissons, de baleines et d'espèces d'oiseaux.

Les impacts du changement climatique affectent également la dégradation, la biodisponibilité et la toxicité.⁴² des produits chimiques. Par exemple, il a été démontré que l'augmentation des températures de l'eau augmente la toxicité des pesticides couramment utilisés pour les espèces aquatiques.⁴³ Il a également été démontré que les changements induits par le climat dans l'acidité de l'eau affectent la bioaccumulation des substances toxiques dans les organismes marins.⁴⁴

Alors que la communauté mondiale est aux prises avec le problème de la pollution croissante des océans, elle doit, en même temps, s'attaquer à la fois aux causes du changement climatique et à ses impacts sur le sort et la toxicité des produits chimiques.

CHAPITRE 2

IDENTIFICATION DES POLLUANTS OCÉANIQUES

L'environnement marin est exposé aux impacts combinés d'un cocktail de produits chimiques toxiques et de déchets entrant dans nos cours d'eau et nos océans tous les jours. Bien que des évaluations environnementales soient souvent effectuées sur des polluants individuels, en réalité la vie marine est exposée à de multiples produits chimiques et autres facteurs de perturbation, comme la hausse des températures de la mer, l'acidité de la mer et la désoxygénation, tout à la fois.

On connaît des polluants océaniques persistants depuis des décennies. Par exemple, en 1974, un article décrivant la contamination des œufs de tortues marines par les PCB et le DDT dans l'Océan Atlantique Sud a été publié.⁴⁵ Plus récemment, nous avons pris conscience de l'existence de tant d'autres polluants, y compris les produits chimiques qui remettent en question notre idée de ce qu'est un produit chimique toxique persistant et comment nous devrions voir ses impacts.

La capacité d'un produit chimique à bioaccumuler dans les êtres vivants n'a été considérée que sous l'angle qu'il soit lipophile ou « affilié aux graisses », ce qui lui a permis de s'accumuler dans les tissus adipeux des organismes. Cependant, les produits chimiques fluorés, qui deviennent rapidement l'un des polluants océaniques les plus répandus, nous ont donné une nouvelle compréhension de la persistance. Au lieu de s'accumuler dans les tissus adipeux, ils se lient aux protéines dans le sang et le foie. Les produits finaux de décomposition des composés perfluorés, en raison de leur forte liaison entre le fluor et le carbone, résistent à une nouvelle dégradation de l'environnement et sont parfois connus sous le nom de « *produits chimiques permanents* ».

En raison de leur incorporation dans les polymères en plastique, les produits chimiques qui ne satisferaient normalement pas aux critères de persistance, par exemple, les phtalates, peuvent rester dans le milieu marin, et se déplacer dans des régions éloignées du globe.



Pour bon nombre des nouveaux polluants océaniques, il y a peu, voire aucune information sur leur écotoxicité ou leurs impacts sur la santé humaine. Pour certains, il n'existe même pas l'information de base sur les produits chimique. Lorsqu'il y a des informations sur la toxicité, le produit chimique a généralement été évalué individuellement. Cette approche à l'évaluation des risques associée à un polluant individuel entraîne inévitablement une sous-estimation des dangers et des risques pour l'écosystème marin.

L'impact toxicologique des mélanges chimiques tels que ceux que nous voyons dans la pollution des océans peut avoir des effets qui sont soit additifs, ce qui signifie que les toxicités chimiques individuelles sont additionnées, ou synergiques, ce qui signifie que ces produits chimiques ont des toxicités amplifiées.⁴⁶ Il a été démontré que certains polluants océaniques persistants augmentent les effets néfastes de certains pesticides ainsi que d'autres POP.⁴⁷

Même la séquence dans laquelle les organismes sont exposés à des substances toxiques peut affecter leur toxicité.⁴⁸ Par exemple, chez les crustacés d'eau douce, les chercheurs ont trouvé une toxicité différente lorsque l'ordre d'exposition de deux produits chimiques toxiques a été inversé, tout en maintenant la même dose.

Il y a des lacunes importantes au niveau des données et de la connaissance sur l'identité et les impacts des mélanges complexes des polluants auxquels nos océans et nos organismes marins sont exposés.

LES PRODUITS CHIMIQUES PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

Les mélanges chimiques complexes que l'on trouve dans l'océan incluent de nombreux produits chimiques perturbateurs endocriniens (EDC). Étant donné que les EDC peuvent simuler, rivaliser avec ou perturber la synthèse, le transport et le renouvellement naturel des hormones dans les organismes vivants, les expositions non linéaires à de faibles taux des EDC peuvent entraîner des changements passagers et permanents des systèmes endocriniens.

Les preuves indiquent maintenant que l'exposition aux EDC contribue énormément à l'appauvrissement de la biodiversité dans le monde et à la réduction du nombre d'amphibiens, de mammifères, d'oiseaux, de reptiles, de poissons d'eau douce et marins et d'invertébrés.⁴⁹

Les EDC affectent la reproduction, le métabolisme, le développement et la fonction immunitaire des espèces sauvages. Ceci peut mener à une susceptibilité augmentée aux maladies infectieuses, particulièrement chez les mammifères marins, ou au développement des cancers liés aux hormones.⁵⁰

Les EDC ont fréquemment des relations inhabituelles de type dose-réponse appelée relation dose-réponse non monotone (DRNM).⁵¹ Cela signifie que les effets de l'exposition à de faibles doses ne peuvent pas être prédits à partir de l'exposition à des doses élevées et, dans certains cas, de faibles doses peuvent effectivement causer un impact plus important que les doses élevées pour une réponse spécifique. Les produits chimiques qui démontrent une relation DRNM comprennent des additifs en plastique; les détergents et tensioactifs; les hydrocarbures aromatiques polycycliques; les métaux lourds; les pesticides; les ignifugeants; les PCB et les dioxines; et des produits chimiques de type dioxine.

L'organisme en développement est particulièrement vulnérable aux EDC. À des stades de développement critiques et sensibles, toute perturbation des processus naturels peut modifier la structure et/ou la fonction d'un système physiologique, parfois de façon irréversible. Cela s'applique autant aux mammifères marins, aux poissons et à d'autres espèces, qu'aux humains.

Chez l'homme, les troubles associés aux perturbateurs endocriniens comprennent les effets sur les organes reproducteurs masculins; la cryptorchidie, l'hypospadias, le cancer des testicules ainsi que la puberté précoce féminine; la leucémie; le cancer du cerveau et troubles neurocomportementaux; l'obésité, le diabète de type 2 et les maladies cardiovasculaires.⁵²

Les charges corporelles actuelles des EDC, comme les PCB, les pesticides organochlorés et le méthylmercure chez certaines espèces d'oiseaux piscivores et de mammifères marins, sont à des taux connus pour avoir un effet sur la reproduction et le système immunitaire. L'on retrouve chez les animaux ayant une exposition plus élevée aux EDC⁵³ un accroissement du taux de problèmes de reproduction.

LE TRIBUTYLÉTAIN ET L' IMPOSEX

L'histoire la plus tristement célèbre des EDC dans le milieu marin est l'impact qu'ils ont causé chez les mollusques marins à cause de l'exposition au tributylétain (TBT) utilisé dans les peintures antisalissures. Les peintures antisalissures contenant du tributylétain(TBT) ont été appliquées à de nombreux navires, souvent amarrés dans les estuaires et les marinas, à proximité de bancs de mollusques et de crustacés à valeur commerciale.

À de très faibles concentrations le TBT endommage les fonctions de reproduction chez un certain nombre d'espèces de mollusques, avec quelques mollusques marins femelles présentant des caractéristiques sexuelles masculines appelées «imposex». Les buccins femelles deviennent stériles quand le conduit excréteur superficiel bloque finalement la libération des oeufs.⁵⁴ En 1995, une étude des gastropodes marins de la côte sud-australienne a révélé à 100% la démonstration du phénomène « imposex ».⁵⁵ La sensibilité des mollusques marins a fait d'eux une espèce indicatrice importante de la perturbation endocrinienne dans l'écosystème marin.⁵⁶

Le TBT peut également activer un récepteur hormonal lié au développement de la graisse. Les souris qui y sont exposées pendant la vie prénatale deviennent plus grasses ; un trait qui pourrait être transmis aux générations futures.⁵⁷ Alors que les peintures antisalissures contenant du TBT ont été retirées dans la plupart des pays, l'utilisation des stabilisateurs en plastique à base d'étain se poursuit, et il a également été démontré qu'ils suscitent des troubles immunologiques chez les poissons et provoquent l'imposex dans les gastropodes.⁵⁸ Le Dibutylétain, un produit chimique utilisé dans la fabrication du chlorure de polyvinyle, ou PVC, peut modifier le métabolisme du glucose et augmenter le stockage de graisse chez les souris.⁵⁹

LE MERCURE - UN POLLUANT MARIN OMNIPRÉSENT

Le mercure est un polluant perturbateur endocrinien omniprésent dans le milieu marin.⁶⁰ Des milliers de tonnes de mercure sont émises et réémises

chaque année dans l'atmosphère, et une grande quantité de ce mercure se déverse dans nos océans.

Les sources de pollution par le mercure incluent les émissions atmosphériques provenant de la production d'énergie alimentée au charbon, des industries telles que les usines de fabrication du chlore-alcali avec des cellules au mercure et la production de monomères de chlorure de vinyle, l'incinération des déchets, la dentisterie et l'exploitation artisanale et à petite échelle de l'or (EAPO). Au cours des activités de l'EAPO, le mercure est utilisé pour séparer l'or du minerai non raffiné, ce qui entraîne une contamination généralisée des cours d'eau et des collectivités.

Les fongicides contenant du mercure ont été largement utilisés dans la culture de la canne à sucre dans des pays comme l'Australie, contaminant le sol et les cours d'eau adjacents. Les produits cosmétiques à effet éclaircissant à base de mercure sont toujours disponibles en Asie et dans les pays africains, ainsi que sur Internet.

Une mauvaise gestion des déchets des produits jetés contenant du mercure ajouté dans les pays en développement, en particulier les Petits États Insulaires en Développement (PIED), a également entraîné une lixiviation du mercure dans les sols et les cours d'eau, après que les produits aient été mis en décharge.

Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (le PNUE) et le Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique (PSEA) estiment que les émissions totales de mercure dans l'air provenant de sources générées par l'homme étaient d'environ 2 063 tonnes métriques en 2010. La combustion des combustibles fossiles et l'exploitation à petite échelle de l'or ont généré plus des deux tiers.⁶¹

Dans les milieux aquatiques, le mercure métallique inorganique est converti par les organismes bactériens en méthylmercure extrêmement toxique. Le méthylmercure présente des caractéristiques similaires aux POP en termes de toxicité, de persistance et de bioaccumulation, et de capacité à se déplacer à une longue distance. Il est lipophile et se bioaccumule dans les organismes aquatiques, se biomagnifie et atteint des concentrations élevées chez les prédateurs de premier ordre tels que les requins, le thon et l'espadon. Les taux de méthylmercure chez certaines espèces de poissons peuvent être jusqu'à un million de fois plus élevés que les taux présents dans l'eau environnante.⁶²

Le mercure est toxique pour les oiseaux à partir d'une concentration de 4 parties par million (ppm), mais l'on a signalé leur présence chez les puffins à pieds pâles (une espèce d'oiseau de mer) à 30 000 ppm⁶³, ce qui indique une contamination grave de la chaîne alimentaire marine.

LES TAUX ÉLEVÉS DE MERCURE DANS LES COMMUNAUTÉS D'ASIE-PACIFIQUE

La surveillance du mercure chez les femmes en âge de procréer en Asie et dans la région du Pacifique a été menée conjointement par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, le Biodiversity Research Institute (BRI) et l'IPEN.⁶⁴ Des femmes de six pays ont participé à l'étude, fournissant un total de 234 échantillons pour analyse dans les laboratoires du BRI. Les pays comprenaient les Îles Cook, Kiribati, les Îles Marshall, le Népal, le Tadjikistan et Tuvalu. Les femmes des Petits États Insulaires en Développement (PEID) du Pacifique avaient des taux très élevés de mercure dans leur corps par rapport à celles prélevées dans d'autres endroits. L'alimentation de la plupart des insulaires du Pacifique est riche en fruits de mer et les gros poissons prédateurs qu'ils consomment ont des concentrations élevées de méthylmercure dans leur chair. Sur les 150 participantes des îles du Pacifique qui ont pris part à l'étude, 96 % ont dépassé le taux de référence du mercure total qui est de 1 ppm dans les cheveux⁶⁵, comparativement à 21,4 % chez les participantes vivant ailleurs.

La consommation humaine de poissons contaminés peut entraîner une accumulation de mercure dans le corps, en particulier dans la myéline, les couches grasses qui enrobent et protègent les fibres nerveuses, ainsi que dans le cerveau et la moelle épinière. L'échantillonnage permettant de déterminer le taux de méthylmercure a montré que dans certains pays en développement, les populations ont été exposées au méthylmercure à cause de leur régime alimentaire riche en poissons, même dans les pays où la pollution industrielle est rare.

L'exposition humaine à des taux élevés peut nuire au cerveau, au cœur, aux reins, aux poumons et au système immunitaire des personnes de tous âges. Des taux élevés de méthylmercure dans le sang des bébés à naître et des jeunes enfants peuvent causer des lésions à leur système nerveux en développement et avoir un impact sur leur développement, réduire potentiellement le QI. Les communautés dépendantes des fruits de mer pour leurs protéines souffrent d'une dose chronique, disproportionnée et plus dangereuse de mercure toxique.

LES POLLUANTS TOXIQUES MONDIAUX : LES POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS

Les polluants organiques persistants (POP) sont des composés toxiques à base de carbone qui ont contaminé l'environnement mondial, y compris les océans et les écosystèmes marins. Ils persistent dans l'environnement pendant de longues périodes et sont capables de se déplacer à de longue distance. Les POP se bioaccumulent dans les tissus humains et animaux et

peuvent se biomagnifier dans les chaînes alimentaires, y compris la chaîne alimentaire marine.

Le public a appris l'existence des impacts causés par les POP en 1962, lorsque la biologiste Rachel Carson a publié *Silent Spring*. Dans son livre désormais célèbre dans le monde, elle a souligné la mort d'oiseaux résultant de la pulvérisation aérienne de DDT pour tuer les moustiques. Moins d'une décennie plus tard, le public a appris l'existence d'un autre POP, la dioxine, et sa contamination de l'Agent Orange. Les impacts dévastateurs de l'Agent Orange utilisés comme défoliant dans la guerre du Vietnam sont rapidement devenus clairs parmi le personnel de service, le peuple vietnamien et la communauté mondiale. L'impact de la contamination par la dioxine se poursuit encore des décennies plus tard.⁶⁶

Les POP ont été largement utilisés au fil des décennies et de grandes quantités ont été rejetées dans l'environnement par l'agriculture, la fabrication, les stocks de déchets et les produits de consommation. Certains POP, comme les dioxines et les furanes, sont également formés comme sous-produits des procédés industriels et de l'incinération.

Il existe 28 produits chimiques, ou groupes de produits chimiques, destinés à une élimination éventuelle qui sont énumérés dans *la Convention de Stockholm* sur les polluants organiques persistants. D'autres produits chimiques font actuellement l'objet d'une évaluation par le Comité d'Évaluation des POP, un groupe technique des Nations Unies, pour être inclus dans la Convention. Cependant, il peut y avoir plus de 500 produits chimiques qui dépassent les quatre critères de POP (persistance, bioaccumulation, toxicité et déplacement à de longue distance) et devrait également être considéré comme de POP potentiels. Environ dix d'entre eux sont des produits chimiques produits en grandes quantités.⁶⁷

La plupart des POP sont de nature semi-volatile et après un rejet intentionnel ou non intentionnel, ils se déplacent à travers le monde par l'eau ou les courants d'air, parfois sont transportés par les particules aéroportées pour se retrouver même dans les zones les plus reculées. Les POP générés dans les latitudes plus tempérées sont transportés vers les régions polaires où les conditions froides qui y prévalent diminuent leur volatilité.⁶⁸ Ceci entraîne leur dépôt dans les puits environnementaux du climat froid, comme la neige, la glace/la glace de mer, le sol, les sédiments, l'eau douce et les océans. Cette propagation à longue distance dans l'environnement des POP a entraîné la contamination de l'environnement marin mondial.

Sur les sites côtiers du Nord-Est du Groenland et de l'Est de l'Antarctique, l'air, la neige, la glace de mer et l'eau de mer ont été analysées pour une

gamme de pesticides contenant des POP au début de la fonte de la glace marine au printemps. Les concentrations de POP trouvées dans l'eau de mer, la glace de mer et la neige étaient généralement plus importantes sur le site arctique que dans l'Antarctique. Dans les conditions climatiques actuelles, l'Océan Austral dans le secteur du Pacifique indien sert toujours de puits environnemental pour les POP.⁶⁹

Les POP ont un fort potentiel de bioaccumulation dans le biote aquatique, et en particulier chez les espèces antarctiques, qui présentent généralement des taux d'élimination plus faibles pour ces produits chimiques par rapport aux poissons tempérés.⁷⁰

CONTAMINATION DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE DE L'ARCTIQUE

L'environnement froid et nordique et la chaîne alimentaire à base de matières grasses de l'Arctique favorisent la rétention et l'accumulation des polluants organiques persistants (POP). Dans un processus connu sous le nom de distillation mondiale, les courants océaniques et éoliens dominants amènent des contaminants dans l'Arctique où ils sont ensuite retenus par le climat froid. On pense que les animaux migrateurs déchargent leurs charges corporelles dans les écosystèmes arctiques par l'excrétion des déchets et pendant la décomposition. Les grandes rivières qui se vident dans les eaux arctiques y contribuent également. L'Arctique semble avoir une plus grande capacité de stockage des POP par rapport à d'autres régions; par conséquent, une fois que les POP pénètrent dans l'Arctique, ils sont facilement incorporés dans les systèmes biologiques et la chaîne alimentaire de l'Arctique. Les communautés de l'Arctique et les peuples autochtones qui dépendent des aliments traditionnels (p. ex. les légumes verts, les baies, le poisson et les mammifères terrestres et marins qui représentent 80 % de l'alimentation de certains peuples autochtones de l'Alaska) supportent souvent le plus grand fardeau de contamination par les produits chimiques. Même en quantités infimes, les POP dans notre corps peuvent causer des cancers, des troubles neurologiques et d'apprentissage, des perturbations hormonales (endocriniennes) et des changements subtils dans les systèmes reproducteurs et immunitaires. Les enfants sont particulièrement vulnérables aux expositions à ces produits chimiques persistants. Les expositions peuvent se produire avant la naissance *in utero*, à travers le lait maternel, et pendant les premières années de croissance rapide et de développement chez un enfant.

Adapté de Alaska Community Action on Toxics
https://www.akaction.org/tackling_toxics/world/global_transport_toxics_arctic/

L'effet des POP sur les espèces sauvages et le milieu marin peut varier considérablement, mais généralement, l'exposition aux POP chez l'homme et les organismes marins peut causer de graves problèmes de santé, y compris certains cancers, les malformations congénitales, un dysfonc-

tionnement des systèmes immunitaire et reproducteur, une plus grande sensibilité à la maladie, et même une baisse de l'intelligence.

LES POP PRÉSENTS DANS LE MILIEU MARIN

De nombreux POP sont présents dans le milieu marin, y compris les exemples suivants:

Les biphényles polychlorés (PCB) sont un grand groupe de produits chimiques industriels perturbateurs endocriniens extrêmement toxiques. À partir des années 1930s jusqu'aux années 1970s, lorsque la production de PCB a cessé, la production mondiale totale était d'environ 1,3 million de tonnes. On pense qu'environ 65 % se trouvent dans les décharges ou encore dans les équipements électriques, mais les 35 % restants sont susceptibles d'être trouvés dans les sédiments côtiers et en pleine mer.⁷¹

Les PCB ont été largement utilisés dans les transformateurs électriques, qui finissent souvent dans les décharges à la fin de leur vie. Ils ont été utilisés comme ignifugeants dans les câbles et autres polymères, y compris dans les revêtements en CPV (chlorure de polyvinyle). Ces revêtements sont parfois retirés des ponts et des infrastructures d'eau par le sablage. Cela a fait en sorte que de grandes quantités de particules fines contaminées puissent se retrouver dans les rivières et la mer.⁷² L'altération naturelle, la rénovation et la volatilité des peintures contaminées aux PCB ont entraîné une augmentation des taux de PCB dans les sédiments portuaires, où des concentrations élevées ont amené le gouvernement à donner des conseils contre la consommation de certains fruits de mer.⁷³

Les PCB polluent le milieu marin à une plus grande échelle, y compris en Antarctique et dans l'Arctique. Les concentrations de PCB dans certains poissons de l'Antarctique continuent d'augmenter⁷⁴, tandis que certaines des contaminations les plus élevées par les PCB se produisent dans les



zones côtières et les estuaires chinois.⁷⁵ Les PCB ont été mesurés dans de nombreuses créatures marines, même dans les profondeurs reculées de la fosse des Mariannes. Des concentrations élevées de PCB ont été trouvées dans les corps de crustacés ressemblant à des crevettes appelés amphipodes vivant près de 10 kilomètres au fond de l’océan.⁷⁶

Les PCB sont des substances toxiques puissantes qui causent des effets indésirables tels que la perte de poids corporel, l’immunosuppression, l’hépatotoxicité, la toxicité reproductrice et développementale, et la perturbation endocrinienne. Chez les espèces aquatiques, les PCB peuvent affecter la croissance et la reproduction. Les PCB sont également cancérigènes.⁷⁷

Les PCB représentent l’un des pires héritages toxiques au monde. En 2001, la Convention de Stockholm a interdit à toutes les Parties de produire intentionnellement des PCB, mais a permis l’utilisation continue d’équipements contenant des PCB tels que des transformateurs ou des condensateurs jusqu’en 2025. Les pays ne sont pas obligés de se débarrasser et de détruire tous les déchets contenant des PCB avant 2028. Malheureusement, même ces objectifs sont peu susceptibles d’être atteints. La contamination causée par les PCB a duré des décennies et devrait durer des décennies à venir. Il a conduit à l’ouverture d’un grand nombre de poursuites judiciaires contre le fabricant, Monsanto, pour le coût lié au nettoyage et à l’assainissement.⁷⁸

Le dichlorodiphénylétérinechloroethane (DDT) est un insecticide organochloré interdit d’utilisation en agriculture à cause de graves effets sur la santé chez les animaux. Le DDT est un EDC. On estime que 1,5 million de tonnes de DDT ont été utilisées dans le monde entre les années 1940 et 1970, et il est encore utilisé par certains pays pour lutter contre les moustiques vecteurs du paludisme.⁷⁹ Le DDT est toxique pour un grand nombre de vie aquatique. Les organismes marins concentrent le DDT et son produit de dégradation, le DDE, en facteurs de l’ordre des millions à mesure que les contaminants gravitent la chaîne alimentaire, atteignant des niveaux de toxicité chez les poissons ou chez les animaux qui les consomment.

Bien que l’utilisation du DDT subsistant tend à être dans l’hémisphère sud, les concentrations de DDT augmentent dans l’hémisphère nord. Alors que certains finissent par s’installer dans l’océan profond où il est enfoui dans les sédiments, la recherche indique que d’importantes quantités de DDT sont rejetées des océans du monde. Le DDT rentre continuellement dans l’atmosphère depuis l’océan, s’évaporant plus rapidement des eaux plus chaudes du sud avant d’être dissous à nouveau dans des mers plus fraîches dans un cycle récurrent.⁸⁰

L'Hexachlorocyclohexane (HCH) est utilisé comme insecticide organochloré, par exemple, le lindane, qui est un EDC. L'Hexachlorocyclohexane a deux isomères; le bêta-HCH et l'alpha-HCH.⁸¹ Ils sont neurotoxiques (endommagent le tissu nerveux), hépatotoxiques (endommagent les cellules hépatiques), et causent des effets immunosuppresseurs et le cancer chez les animaux de laboratoire.^{82, 83}

Le lindane est relativement volatile et des centaines de tonnes sont entrées dans l'atmosphère chaque année;⁸⁴ dont une grande quantité a ensuite été déposée dans les océans. Les isomères du HCH sont les organochlorés les plus abondants de l'océan Arctique, ce qui entraîne des résidus élevés d'isomères du HCH chez les mammifères marins.⁸⁵

Les rivières qui traversent les zones où le pesticide lindane a été appliqué sont d'importantes sources de HCH pour le milieu marin. Le lindane est plus soluble dans l'eau que la plupart des autres composés organochlorés, et est très stable dans l'eau avec une demi-vie atteignant 200 jours dans l'eau de mer. Il est principalement supprimé par adsorption aux sédiments et l'absorption par le biote marin.⁸⁶

Les isomères du HCH sont extrêmement toxiques pour les organismes aquatiques⁸⁷, et les concentrations d'eau entre 0,5 µg/l - 2,5 µg/l se sont avérées mortelles pour les poissons, les crevettes et les crabes.⁸⁸ Le Beta-HCH a été identifié dans neuf types de mollusques en provenance de dix villes côtières le long de la mer chinoise de Bohai.⁸⁹

Bien que le lindane soit moins lipophile que d'autres composés organochlorés, il se bioaccumule et a le potentiel de se biomagnifier à travers la chaîne alimentaire. L'échantillonnage des cultures vivrières dans les collectivités de l'Alaska de 1990 à 2001 a révélé que les concentrations totales de HCH étaient les plus élevées chez les baleines et les phoques, tandis les concentrations élevées ont également été trouvées chez d'autres espèces marines, par exemple, le morse, le corégone et le saumon.⁹⁰

L'Hexachlorobenzène (HCB) était un fongicide agricole largement utilisé et un produit chimique industriel. D'importants stocks existent encore. L'Hexachlorobenzène est à la fois une substance cancérigène et un EDC.⁹¹ De petites quantités d'Hexachlorobenzène sont émises pendant les processus de combustion. Une fois rejeté, L'Hexachlorobenzène est très résistant à la biodégradation et est très persistant dans l'eau. L'Hexachlorobenzène a une demi-vie de 2,7 à 6 ans dans l'eau et dans l'atmosphère.⁹²

Dans l'eau, une grande quantité de l'HCB est adsorbée par les particules et par les sédiments, ce qui peut aider à prolonger sa persistance dans le milieu marin. Des concentrations élevées de HCB ont été trouvées dans



des sédiments au large de l'une des chutes d'eaux usées de Sydney en Australie.⁹³

L'HCB a été détecté dans l'air, l'eau et les organismes marins dans la région arctique et représente une menace pour les oiseaux de mer et les mammifères par empoisonnement secondaire et son fort potentiel de bioamplification.

L'hexachlorobutadiène (HCBD) est principalement le sous-produit de la fabrication des fluides de nettoyage à sec le tétrachlorure de carbone et le tétrachloréthène. L'HCBD est un EDC persistant et bioaccumulatif. Il est très toxique pour les organismes aquatiques et a été trouvé dans les eaux marines et les sédiments. L'HCBD se bioaccumule chez les espèces aquatiques et se trouve dans les invertébrés marins de l'Arctique, les poissons, les oiseaux de mer et les mammifères, y compris les ours polaires.⁹⁴ L'HCBD est classé comme une substance potentiellement cancérigène pour l'homme par l'EPA des États-Unis.⁹⁵

Le pentachlorobenzène (PeCB) est un produit chimique industriel, un ignifugeant, un intermédiaire chimique et un fongicide. Le PeCB est également produit non intentionnellement pendant la combustion et les processus industriels, et se trouve comme une impureté dans certains solvants et pesticides. C'est un EDC persistant dans l'environnement, extrêmement bioaccumulatif, et a été trouvé dans des échantillons d'eau prélevés dans l'océan Pacifique Nord, et les détroits de Béring et de Chukchi.⁹⁶

Le PeCB est très toxique pour les organismes aquatiques et peut causer des effets néfastes à long terme dans le milieu aquatique. Le PeCB a été mesuré chez de nombreuses espèces marines dans les régions arctiques et

antarctiques, y compris les poissons, les œufs de pingouins, les phoques, la graisse de béluga, les ours polaires, le renard arctique et les mammifères prédateurs.⁹⁷ Lorsqu'il a été évalué à l'aide d'amphipodes d'eau douce et marins, le PeCB a démontré la toxicité additive avec d'autres produits chimiques organiques tels que le pyrène, un hydrocarbure aromatique présent dans le goudron de houille.⁹⁸

Le pentachlorophénool (PCP) a été utilisé comme herbicide, insecticide, fongicide, algues, désinfectant, conservateur du bois et un ingrédient des peintures antisalissures. Le PCP peut se décomposer ou se transformer en pentachloroanisole (PCA). Les deux sont hépatotoxiques, cancérigènes, immunotoxiques, neurotoxiques, et toxiques pour la reproduction, et les deux sont des perturbateurs endocriniens.

Le PCA est semi-volatile et est l'un des contaminants les plus abondants de la troposphère marine éloignée. La troposphère est la couche la plus basse de l'atmosphère terrestre, et où presque toutes les conditions météorologiques ont lieu. Des études suggèrent que les océans peuvent être une source émettrice continue dans l'air.⁹⁹ Le PCP et le PCA se trouvent dans l'air, l'eau, le sol et le biote à travers le monde, y compris dans le milieu marin et dans les régions éloignées. Les deux sont très toxiques pour les organismes aquatiques.

Le PCA contamine des espèces marines comme les ours polaires, les phoques annelés, l'omble de l'Arctique, l'omble dulcicole, le touladi et la lotte dans l'Arctique canadien. Des résidus ont également été signalés dans les invertébrés aquatiques, les poissons, les oiseaux et les mammifères au Groenland. Le PCP a été trouvé dans la mer du Nord, les eaux côtières et les estuaires de l'Allemagne, des Pays-Bas et du Royaume-Uni.¹⁰⁰

L'Hexabromocyclododecane (HBCD), est un ignifugeant utilisé principalement dans l'isolant en mousse du polystyrène expansé (PSE) et du polystyrène extrudé (PSX), ainsi que dans certains textiles et appareils électroniques.

L'HBCD est répandu dans l'environnement mondial et a été détecté dans l'eau douce et le biote marin. Déposé dans les sédiments au début des années 1970/1980, l'HBCD est encore présent en quantités importantes dans les sédiments marins en Asie et en Europe.¹⁰¹

L'HBCD est très toxique pour les organismes aquatiques¹⁰² et a été trouvé dans les poissons dans certaines eaux européennes.¹⁰³ L'HBCD se trouve partout dans l'environnement arctique et contamine les chaînes alimentaires de l'Arctique, y compris les mammifères marins tels que les bélugas,



les poissons, les ours polaires et les oiseaux de mer. Certaines des concentrations les plus élevées de l’HBCD chez les mammifères marins ont été mesurées chez les marsouins échoués sur les côtes irlandaises et écossaises de la mer d’Irlande.¹⁰⁴

L’HBCD a également été trouvé dans les huîtres des fermes aquacoles où des bouées de polystyrène contenant l’HBCD ont été utilisées.¹⁰⁵

Chez les mammifères, l’exposition au HBCD peut avoir des effets potentiellement graves sur le système neuroendocrinien¹⁰⁶ et peut affecter les enfants au cours des premiers stades de développement. L’HBCD peut causer des effets reproducteurs et développementaux. Certains effets sont transgénérationnels et affectent à la fois les parents et leurs enfants.¹⁰⁷

L’HBCD est énuméré dans la Convention de Stockholm en vue de son élimination à l’échelle mondiale, avec une dérogation spécifique de cinq ans pour l’utilisation dans l’isolation des bâtiments qui devrait expirer pour la plupart des Parties en 2019.

Les polybromodiphényléthers (PBDE) ont été utilisés comme ignifugeants et peuvent être combinés physiquement avec des matériaux tels que les plastiques. Les ignifugeants bromés sont des neurotoxines; c’est-à-dire des substances qui modifient la structure ou la fonction du système nerveux. Les PBDE démontrent également une toxicité développementale.

Les principaux composants de l’octabromodiphényléther (OctaBDE) commercial sont l’héxabromodiphényléther et l’héptabromodiphényléther.¹⁰⁸ Le tetrabromodiphényléther et le pentabromodiphényléther entrent dans

la composition du produit commercial, le pentabromodiphényléther (PentaBDE).¹⁰⁹

Le décabromodiphényléther (DecaBDE) est principalement utilisé comme produit chimique ignifugeant dans les boîtiers en plastique des ordinateurs et des téléviseurs, ce qui en fait un composant toxique clé des déchets électroniques. Les déchets électroniques et les plastiques contaminés recyclés approvisionnent des sources continues de DécaBDE dans l'environnement, en particulier lorsqu'ils deviennent des déchets. Les émissions de DécaBDE pendant l'utilisation sont également considérables, ce qui en fait l'un des produits chimiques ignifugeants les plus répandus dans l'environnement mondial.¹¹⁰

Les PBDE sont très persistants dans l'environnement. Le PentaBDE était encore présent dans les sédiments marins après 30 ans.¹¹¹ Les PBDE se bioaccumulent dans les espèces aquatiques et terrestres et ont été mesurés chez une variété de mammifères marins, chez les oiseaux de mer et les poissons, y compris ceux provenant des régions éloignées de l'Arctique.¹¹² Le DecaBDE a été trouvé à de fortes concentrations chez les prédateurs de niveaux trophiques supérieurs.¹¹³ Les bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent ont doublé leur concentration de congénères de PBDE en moins de trois ans,¹¹⁴ alors qu'ils se trouvaient en Antarctique, les analyses faites sur le krill et le phytoplancton suggèrent que les concentrations de PBDE augmentent au fil du temps.¹¹⁵

Dans les organismes aquatiques et les mammifères, le PentaBDE a démontré la toxicité au niveau du système reproducteur et du développement neurologique et les effets sur les hormones thyroïdiennes.¹¹⁶ L'OctaBDE a causé la neurotoxicité et les effets sur le système immunitaire chez les animaux de laboratoire,¹¹⁷ tandis que le DecaBDE a démontré la toxicité sur le plan de la reproduction et du développement, ainsi que des effets neurotoxiques. Le DecaBDE et ses produits de dégradation peuvent également agir comme des perturbateurs endocriniens.¹¹⁸

Les PBDE peuvent agir en combinaison et induire la neurotoxicité développementale chez l'homme et les espèces sauvages à des concentrations pertinentes sur le plan de l'environnement.^{119, 120}

Bien qu'ils soient très persistants, certains PBDE peuvent se décomposer par un processus de débromination. Les congénères plus élevés de bromodiphényléther peuvent être convertis en congénères inférieurs, et peuvent être plus toxiques. Par exemple, il est démontré que le DecaBDE se dégrade en composants de PentaBDE et d'OctaBDE.¹²¹



Les substances par- et poly-fluoroalkyle (PFAS), également appelées les perfluorochimiques (PFC), constituent un grand groupe de produits chimiques industriels et ceux destinés à la consommation; dont beaucoup sont des perturbateurs endocriniens, des cancérogènes et toxiques pour le système immunitaire. Les PFAS sont largement utilisés depuis les années 1950 dans les produits ménagers et industriels en raison de leur résistance à la chaleur, à l'huile, aux taches, à la graisse et à l'eau. Ils sont également largement utilisés dans les mousses d'extinction, ce qui entraîne leurs rejets directs dans l'environnement.

La contamination par le PFAS a donné lieu à de nombreuses poursuites contre les fabricants au sujet de la contamination des sources d'approvisionnement en eau potable et des effets sur la santé humaine. Le fabricant 3M a conclu un arrangement à l'amiable dans son procès avec le procureur général du Minnesota Lori Swanson contre 850 millions de dollars américains au sujet de la contamination de l'eau potable de l'État par le PFAS.¹²² DuPont et Chemours ont co payé 671 millions de dollars américains pour régler environ 3.550 indemnités pour blessures corporelles survenues à la suite de la fuite de l'acide perfluorooctanoïque PFOA (également connu sous le nom C-8) provenant de son usine de Parkersburg, en Virginie-Occidentale, aux États-Unis.¹²³

En 2009, le PFOS (acide sulfonique de perfluorooctane) et ses sels de fluorure de perfluorooctane sulfonyle) ont été énumérés dans la Convention de Stockholm. En 2018, deux autres, l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et l'acide sulfonique perfluorohexane-1(PFHxS), font l'objet d'une évaluation par le Comité d'Evaluation des POP.

Cependant, il existe entre 3 000¹²⁴ et 4 730 composés de PFAS,¹²⁵ dont 125 ont été mesurés en milieu marin. On estime qu'un « *seul composé précurseur du PFAS peut créer de 10 à 20 composés de transformation intermédiaires avec des groupes fonctionnels tout à fait différents du composé initial* ». ¹²⁶

Les PFAS ont une grande utilisation dans les procédés industriels et les produits de consommation. Le PFOS est toujours utilisé dans les pièces électroniques, l'imagerie photographique, les fluides hydrauliques et les mousses d'extinction. C'est aussi le produit de dégradation involontaire du pesticide sulfuramide.¹²⁷ Le PFOA et les composés liés au PFO sont utilisés pour produire des fluoropolymères utilisés pour la fabrication d'ustensiles de cuisine à revêtement anti-adhérent et le matériel de transformation des aliments. Les composés liés au PFOA sont également utilisés comme surfactants et des traitements antitaches pour les textiles, le papier et les peintures. Le PFOA peut être formé à partir d'une incinération inadéquate des plastiques fluoropolymères. Le PFHxS est utilisé dans les produits de consommation tels que les tapis, le cuir, les vêtements, les textiles, la fabrication du papier, les encres d'impression, les étanchéités, les ustensiles de cuisine à revêtement anti-adhérent et dans les mousses extinctrices.¹²⁸

Les PFOS, PFOA et PFHxS sont tous très stables et, en raison de leurs fortes liaisons carbone-fluor, ils sont très résistants à la dégradation. Ils sont rejetés des procédés de fabrication et de l'utilisation des produits. L'élimination des déchets entraîne également des rejets provenant des usines de traitement des eaux usées et des déversoirs ainsi que des sites d'enfouissement et des sols contaminés.

Des résidus de PFOA ont été trouvés dans les déchets industriels, les liquides utilisés pour le nettoyage des tapis, les tapis résistants aux taches, la poussière domestique, les sacs de maïs soufflé destinés aux micro-ondes, l'eau, les aliments et le téflon.¹²⁹

L'utilisation du PFOS dans les mousses d'extinction a entraîné une contamination généralisée des eaux souterraines et de surface en particulier autour des aéroports et des bases de défense. On le trouve dans les eaux côtières et en haute mer et le biote dans l'Arctique canadien, en Suède, aux États-Unis et aux Pays-Bas. Dans une étude menée dans les villes de Chine, le PFOS a été détecté dans tous les échantillons d'eau, y compris les eaux de surface et l'eau de mer, les eaux souterraines, les effluents municipaux et industriels et l'eau du robinet.¹³⁰

Une fois qu'ils sont rejetés, les PFAS parcourent le monde à travers l'air, l'eau et les espèces sauvages. Ils pénètrent dans l'environnement en tant

que rejets directs vers les eaux de surface ou sous forme de particules de poussière aéroportées. Ces rejets subissent ensuite une propagation à de longue distance à travers un cycle de dépôts atmosphériques et de volatilité des eaux marines.

Des acides perfluoroalkyle carboxyliques (PFCA) ont été trouvés dans plus de 80 % des 30 échantillons d'eau de mer provenant du Pacifique Nord à l'océan Arctique.¹³¹ Un autre PFAS, l'acide perfluorobutanoïque (PFBA), était le composé le plus répandu dans les échantillons et l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) était le deuxième plus abondant. La concentration de chaque PFAS dans l'eau de mer de surface de la mer de Chine orientale était beaucoup plus élevée que les autres mers dans lesquelles a eu lieu l'échantillonnage.

De nouveaux produits chimiques perfluorés introduits comme substituts au PFOS et au PFOA ont été identifiés comme des contaminants potentiels de l'eau de surface dans le monde. Des acides perfluoroalkyléther carboxyliques et sulfoniques (PFECA et PFESAs) ont été trouvés dans les eaux de surface en Chine, aux États-Unis, au Royaume-Uni, en Suède, en Allemagne, aux Pays-Bas et en Corée, ce qui indique une propagation et une distribution omniprésentes dans les eaux de surface à l'échelle mondiale. On estime que plus de 12 tonnes ont été rejetées dans cinq des principaux réseaux fluviaux en Chine.¹³² La Chine est un important producteur de produits chimiques contenant du PFAS.

Dix-huit PFAS ont été mesurés dans les sédiments de plage des zones côtières grecques, et l'on y a trouvé les concentrations les plus élevées de PFOA.¹³³ Le PFOA se trouve dans l'eau, l'air, les sédiments et le biote provenant des régions éloignées. Les composés liés au PFOA, une fois rejetés, peuvent se dégrader en PFOA, que ce soit dans l'environnement ou dans les organismes. Le PFHxS est également distribué à l'échelle mondiale et a été détecté dans l'air arctique et antarctique, la neige, l'eau de mer, les lacs d'eau douce et les sédiments, ainsi que chez les poissons, les oiseaux de mer, les mammifères marins et terrestres.

Bien que les PFAS aient des propriétés importantes de bioaccumulation et de bioamplification, ils ne suivent pas le modèle classique d'autres POP en se montrant une affinité avec les tissus adipeux. Au lieu de cela, ils se lient aux protéines dans le sang et le foie.¹³⁴

Le PFOS a été trouvé dans les espèces sauvages de l'Alaska et du cercle polaire¹³⁵, particulièrement dans les espèces de haut niveau trophique telles que les ours polaires¹³⁶ et les mammifères marins tels que les phoques.¹³⁷ Les PFCA sont également répandus dans les espèces sauvages de l'Arctique, ils s'accumulent dans le sang, le foie et les reins des espèces

sauvages comme les dauphins et les ours polaires¹³⁸, les oiseaux¹³⁹, les poissons¹⁴⁰, et d'autres espèces sauvages¹⁴¹, y compris les tortues.¹⁴² Il est également prouvé que pour certains PFCA (C9 et C10), les concentrations trouvées dans les ours polaires très vulnérables doublent tous les 5 à 8 ans.¹⁴³

Les poissons du fleuve Yangtze et du lac Tangxun ont été analysés pour déterminer leur teneur en PFAS. En plus des PFAS traditionnels (p. ex. le PFOS, le PFOA, le PFHxS, le PFBS), plus de 330 autres produits chimiques fluorés ont été détectés dans les foies des poissons.¹⁴⁴

Les produits chimiques contenant du PFAS sont toxiques pour les organismes aquatiques. Les baisses des taux de survie des poissons zèbres (*Danio rerio*), après l'exposition au PFOS, ont été observées au cours des générations.¹⁴⁵ Les poissons excrètent certains PFOA par les branchies, ce qui entraîne une réduction de l'absorption et de la bioaccumulation, mais le PFOA se bioamplifie chez les mammifères marins et peuvent affecter la fonction immunologique chez les dauphins et les tortues de mer.¹⁴⁶ Les organismes aquatiques tels que le tilapia mâle d'eau douce, les moules marines et les phoques de Baïkal ont démontré des effets œstrogènes induits par le PFOA, l'hépatotoxicité, l'inflammation et la chimiosensibilité.¹⁴⁷

Le PFOA peut également aggraver les effets néfastes de certains pesticides¹⁴⁸, comme la toxicité de l'herbicide paraquat qui a doublé avec la pré-exposition au PFOA. Dans les mélanges, le PFOS et le PFOA ont montré des effets interactifs complexes qui sont passés *«d'un effet additif à un effet synergique, puis à un effet antagoniste, et sont revenus à un effet synergique.»*¹⁴⁹

Les données d'écotoxicité pour le PFHxS sont limitées, mais les effets neurotoxiques et les troubles neurologiques du développement ainsi que les effets endocriniens ont été observés.¹⁵⁰ Les ours polaires de l'est du Groenland ont des concentrations de PFOS (y compris le PFHxS) qui dépassent le seuil limite lié aux altérations neurochimiques.

Chez l'homme, le PFOS est associé à la maladie thyroïdienne, à l'immunotoxicité et à une fécondité moins élevée. Le PFOA a été associé au cancer des reins et des testicules et l'on a montré qu'il cause des maladies thyroïdiennes, de l'hypertension causée par la grossesse et un taux élevé de cholestérol. Les effets du PFHxS chez l'homme influencent le système nerveux, le développement du cerveau, le système endocrinien et l'hormone thyroïdienne.

Voici quelques exemples d'autres produits chimiques contenant du PFAS qui contaminent les milieux aquatiques et marins:

L'acide perfluorononanoïque (PFNA) est utilisé comme surfactant pour la production du fluoropolymère fluorure de polyvinylidène. Le PFNA est également le produit de dégradation des composés précurseurs tels que les alcools fluorotélomérique (FTOH), utilisés industriellement et dans les produits de consommation. Le PFNA est toxique pour le développement et le système immunitaire. Il a été mesuré dans le biote, y compris chez les mammifères marins, par exemple, les phoques, les dauphins et les globicéphales dans les régions éloignées de l'Arctique et de l'Antarctique. Des résidus élevés trouvés chez les dauphins de la baie du Delaware aux États-Unis ont été attribués aux rejets industriels locaux.¹⁵¹

Le sulfonate de Perfluorobutane (PFBS) est largement utilisé dans les produits de consommation utilisés à l'extérieur tels que les farts de ski, les jaquettes, les pantalons et les bottes. Le PFBS est très résistant à la décomposition microbienne et contamine l'eau potable, les sédiments, les rivières et le biote marin, par exemple, les baleines à bosse, les dauphins et les marsouins aptères. Le PFBS n'est pas bien caractérisé sur le plan toxicologique¹⁵², mais il a été montré qu'il affecte la réponse immunitaire in vitro, inhibe l'activité de l'aromatase dans les cellules placentaires humaines¹⁵³, et modifier les fréquences cardiaques et le comportement chez les poissons zèbres.¹⁵⁴

L'acide perfluorobutanoïque (PFBA) se trouve dans les farts de ski, les échantillons de cuir et les produits de consommation utilisés à l'extérieur tels que les vestes, les pantalons et les bottes. Le PFBA contamine les océans, les lacs, les poissons marins, les rivières et les lacs, y compris dans l'Arctique. Le PFBA se trouve dans les effluents des stations d'épuration d'eaux usées.¹⁵⁵

Les paraffines chlorées à chaîne courte (PCCC) sont un groupe de produits chimiques industriels largement utilisés, y compris comme lubrifiant de coupe pour métaux et comme ignifugeant dans certains plastiques, caoutchouc, et les tapis. Ils ont également été utilisés comme plastifiants dans les peintures, les adhésifs et les enduits. Les PCCC peuvent avoir des effets indésirables sur le rein, le foie et la thyroïde. Ils sont toxiques pour les organismes aquatiques à de faibles concentrations, ils perturbent la fonction endocrinienne et sont soupçonnés de causer le cancer chez l'homme. Des PCCC ont été trouvés dans des produits pour enfants, comme des jouets et des équipements de sport.¹⁵⁶

Une fois dans le milieu marin, les PCCC sont persistants et peuvent rester plus d'un an dans les sédiments. Ils ont été mesurés dans l'eau, les poissons, les oiseaux, les mammifères terrestres et marins dans les régions éloignées de l'Arctique et de l'Antarctique, ce qui indique une contamination généralisée. Des concentrations élevées de PCCC ont été trouvées

chez les bélugas et les phoques annelés, ainsi que dans le biote aquatique d'eau douce et divers poissons. Les invertébrés d'eau douce et marins semblent être particulièrement sensibles aux PCCC.¹⁵⁷

L'Endosulfan est un insecticide POP organochloré, qui est génotoxique, neurotoxique et perturbateur endocrinien. L'Endosulfan a été utilisé sur une variété de cultures, y compris le café, les macadamias, le coton, le riz, le sorgho et le soja, et pour le contrôle des mouches tsé-tsé et des ectoparasites pour bétail, et comme agent de conservation du bois. L'Endosulfan se produit comme deux isomères: l'endosulfan alpha- et bêta, et les deux sont très toxiques pour les invertébrés aquatiques et les poissons. Le sulfate d'Endosulfan, un produit de décomposition, est plus persistant et toxique que les isomères d'endosulfan.¹⁵⁸

L'endosulfan persiste dans l'atmosphère, les sédiments et l'eau et a été détecté dans l'air, le brouillard, les sédiments, l'eau douce et l'eau de mer, la glace, la neige et les espèces sauvages, y compris dans les régions éloignées de l'Arctique. L'endosulfan Alpha a également été trouvé dans 40 % des échantillons de krill antarctique.¹⁵⁹ Au Groenland, l'endosulfan a été mesuré dans les poissons d'eau douce, les oiseaux de mer, les organismes marins comme les crevettes et les crabes, et dans les mammifères marins tels que les phoques annelés et les phoques, les petits rorquals, les bélugas et les Narval. L'endosulfan a connu de dépôt effectif dans les eaux de surface dans toutes les régions de l'océan Arctique depuis les années 1990. Ce transfert de l'air vers l'eau semble être sa principale voie d'entrée dans l'océan Arctique.

LES PESTICIDES EN USAGE CONSIDÉRÉS COMME DES POLLUANTS MARINS

De nombreux ingrédients qui entrent dans les formulations de pesticides encore utilisés aujourd'hui sont potentiellement toxiques pour les organismes marins, y compris les constituants actifs; les produits chimiques qui entrent dans la formulation comme les surfactants; et les impuretés et les métabolites. Les pesticides pénètrent dans le milieu marin par le biais de systèmes d'égouts et d'eaux pluviales, des rivières et des cours d'eau, et à mesure que le ruissellement direct, la vapeur et les pulvérisations proviennent de l'agriculture, de la foresterie, de l'aquaculture, des terrains de golf, des parcs et des jardins, des terrains de sport, des services publics, de l'entretien de la végétation longeant les routes et des propriétés résidentielles.

Des différentes catégories de pesticides ont des effets différents sur la vie aquatique. On sait que les pesticides provoquent la mort, les cancers, les tumeurs et les lésions, l'inhibition de la reproduction et l'infertilité, l'affai-



blissement du système immunitaire, la perturbation du système endocrinien, et les dommages sur les cellules et l'ADN. Les pesticides provoquent également des troubles de comportement qui peuvent modifier la survie des animaux et des changements dans la dynamique des populations et/ou le déséquilibre des écosystèmes. Dans une comparaison faite au sujet de la toxicité des insecticides à base d'organophosphates et des insecticides pyréthrinoïdes chez les macroarthropodes aquatiques (écrevisses et punaises d'eau), les insecticides pyréthrinoïdes étaient systématiquement plus toxiques que les pesticides à base d'organophosphates.¹⁶⁰

D'autres facteurs de perturbation dans le milieu marin, comme la température, le dioxyde de carbone et les niveaux d'oxygène, l'acidification/pH, les agents pathogènes et les niveaux d'éléments nutritifs, ont tous une influence sur les effets que les expositions aux pesticides peuvent avoir sur le milieu marin. Les recherches ont montré que l'exposition chronique à certains produits chimiques (p. ex., l'endosulfan, le phénol, le chlorpyrifos) peut réduire la tolérance des espèces à l'augmentation des températures¹⁶¹, ce qui est préoccupant dans un monde touché par le changement climatique et le réchauffement climatique.

Une étude menée sur des crustacés provenant des cours d'eau en milieu agricole a montré une sensibilité toxicologique accrue aux contaminants à base de pesticides séquentiels en raison des interactions synergiques entre les pesticides et le stress dû à la température. Les individus étaient 2,7 fois plus sensibles à l'exposition aux pesticides que les individus issus des cours d'eau témoins.¹⁶²

Les néonicotinoïdes ont été développés pour remplacer les insecticides à base d'organophosphates et de carbamates. Ils sont structurellement semblables à la nicotine. À l'échelle mondiale, des néonicotinoïdes ont été détectés dans une variété de plans d'eau, généralement à des concentrations situées dans la marge de faible $\mu\text{g/L}$.¹⁶³ Le lessivage dans les eaux de surface est l'une des principales préoccupations entourant une vaste utilisation mondiale des néonicotinoïdes, en particulier à proximité des plans d'eau.

Une étude des eaux de surface a été menée en Ontario, au Canada, afin d'évaluer les néonicotinoïdes sur quinze sites comprenant neuf cours d'eau près des zones agricoles (zone de drainage $<100 \text{ km}^2$), et six grands ruisseaux et rivières (zone de drainage $>100 \text{ km}^2$).¹⁶⁴ Les insecticides néonicotinoïdes les plus utilisés, l'imidaclopride, le thiaméthoxame et la clothianidine, ont été détectés dans plus de 90 % des échantillons provenant de plus de la moitié des sites étudiés au cours des trois années de l'étude entre 2012 et 2014.

Les insectes aquatiques sont particulièrement vulnérables aux néonicotinoïdes et la toxicité chronique a été observée à des concentrations d'imidacloprides inférieures à $1 \mu\text{g/L}$. La toxicité aiguë a été signalée à des concentrations inférieures à $20 \mu\text{g/L}$ pour les espèces aquatiques les plus sensibles. L'imidaclopride perturbe l'alimentation d'un crustacé amphipode d'eau douce (*Gammarus pulex*) à des concentrations similaires à celles retrouvées dans l'environnement. Les effets sur les taux d'alimentation ont été observés à des concentrations inférieures de deux ordres de grandeur à ceux causant la mortalité.¹⁶⁵ La croissance des crevettes mysides marines (*Americamysis bahia*) a été altérée à $0,163 \mu\text{g/L}$ d'imidaclopride.¹⁶⁶

Les chercheurs australiens ont étudié les impacts des insecticides pyréthrinoides et néonicotinoïdes sur l'aquaculture de crevettes dans le Nord-Est de l'Australie.¹⁶⁷ Des études antérieures ont montré que les crustacés, y compris les espèces commercialement importantes, peuvent être extrêmement sensibles à ces pesticides. La plupart des fermes de crevettes sont situées à côté des estuaires pour permettre l'accès à l'eau salée. De multiples utilisations des terres en amont, comme l'élevage de canne à sucre, les bananeraies, le cheptel bovin et l'urbanisation, ont tous un impact sur la qualité de l'eau.

L'étude a révélé que les crevettes sont sensibles à l'imidaclopride, au bifenthrine et au fipronil à des concentrations comparables à d'autres crustacés, et qu'elles sont sensibles à l'inhibition de l'alimentation induite par l'imidaclopride et le bifenthrine. L'analyse des concentrations de pesticides dans les eaux d'élevage des crevettes suggère qu'à certains endroits,



les concentrations de tous ces insecticides étaient suffisamment élevées pour causer des effets négatifs sur la croissance et la survie.

Les organophosphates/les Carbamates sont utilisés dans les milieux urbains et agricoles. Ils sont toxiques et bloquent l'enzyme acétylcholinestérase (AChE), qui est essentielle au fonctionnement des neurotransmetteurs, des messagers chimiques du corps. Les mélanges de pesticides carbamates et organophosphates ont le même mode d'action alors leurs effets peuvent être additifs ou parfois synergistiques.

Le chlorpyrifos est un organophosphate largement utilisé et, en tant qu'un EDC¹⁶⁸, il constitue des risques pour les organismes aquatiques et les écosystèmes.¹⁶⁹ Les expositions sont principalement par absorption directe de l'eau, bien que l'exposition alimentaire au chlorpyrifos puisse résulter à la concentration de résidus dans des aliments tels que les algues, les macrophytes et les invertébrés, ou des particules de sédiments ingérées.

Le chlorpyrifos est très toxique pour les crustacés et les oursins.¹⁷⁰ Plusieurs études ont rapporté des effets des chlorpyrifos sur le comportement des arthropodes et des poissons. Les effets sub-létaux sur les poissons ont démontré les changements dans la perception olfactive et le comportement. La plupart des réactions comportementales signalées chez les poissons causées par l'exposition au chlorpyrifos étaient liées à son inhibition de l'AChE.

Le chlorpyrifos se bioaccumule dans les organismes aquatiques et ses résidus ont été mesurés dans le sang des loutres de mer en liberté en Alaska et en Californie.¹⁷¹

Le glyphosate est l'un des herbicides les plus utilisés au monde. Les résidus de glyphosate se trouvent dans le sol, l'air, les eaux de surface et les eaux souterraines¹⁷², et dans les sédiments marins dans plusieurs

pays.^{173, 174} Les recherches menées pour déterminer la persistance du glyphosate dans l'eau de mer¹⁷⁵ ont révélé qu'il était modérément persistant dans l'eau marine en condition de faible luminosité (demi-vie de 47 jours à 25 degrés) et est très persistant dans l'obscurité (demi-vie de 267 jours à 25 degrés). L'AMPA, le principal métabolite microbien du glyphosate, a été décelé dans toutes les conditions.

Les herbicides à base de glyphosate ont démontré des perturbations endocriniennes.^{176, 177} Le glyphosate peut modifier la diversité microbienne et la composition de la communauté¹⁷⁸ et favoriser les proliférations d'algues.^{179, 180} Il a été rapporté que les surfactants et les agents mouillants dans les formulations commerciales de glyphosate sont eux-mêmes plus toxiques et /ou augmentent la biodisponibilité et la toxicité du glyphosate chez les espèces non ciblées.¹⁸¹

LES PESTICIDES ET LA GRANDE BARRIÈRE DE CORAIL

La Grande Barrière de Corail (GBC) est le cas le plus documenté d'Australie au sujet de la contamination d'un écosystème marin par les pesticides. Le ruissellement agricole dans la GBC contient des nutriments, des sédiments et des pesticides qui parviennent au milieu marin par les rivières, et est un facteur de stress important dans le déclin de la couverture corallienne dans de grandes parties de la GBC.¹⁸² Le ruissellement des terrains agricoles est un facteur de stress important pour d'autres écosystèmes estuariers et marins au sein de la zone du patrimoine mondial de la GBC, y compris les herbiers marins et les systèmes de mangrove.

Les résidus de pesticides détectés dans les rivières et les ruisseaux de la GBC lors des inondations comprennent les herbicides diuron, l'atrazine (et les produits de dégradation associés du déséthyl et du désisopropyle atrazine), l'hexazinone, l'amétryne, le tébuthiuron, le simazine, le metolachlore, le bromacil, le 2,4-D et le MCPA, et les insecticides contenant de l'imidaclopride, de l'endosulfan et du malathion. Le diuron, l'atrazine, l'hexazinone et l'amétryne ont été fréquemment détectés à des niveaux de concentrations les plus élevées dans les sites d'égouttage de la canne à sucre. Le diuron a également été trouvé dans l'échantillonnage urbain puisqu'il est employé pour lutter contre les mauvaises herbes à feuilles larges et des graminées annuelles et vivaces qui poussent sur des routes, des allées de jardin et des voies ferrées.¹⁸³

Les recherches ont également révélé qu'il y a peu de risque de dégradation des herbicides dans les panaches d'inondation qui se produisent généralement sur quelques semaines de l'année.¹⁸⁴ Les poissons côtiers vivant à l'intérieur et près des rivières qui se déversent dans la lagune de la GBC sont exposés à des composés oestrogéniques associés au ruissellement des

pesticides provenant de l'utilisation des terres utilisées pour la culture de la canne à sucre dans le bassin versant de la GBC.¹⁸⁵

On croit que les herbicides persistants représentent l'un des plus grands risques pour les écosystèmes et les organismes de la zone du patrimoine mondial de la GBC.¹⁸⁶

LES EAUX USÉES ET LES PRODUITS PHARMACEUTIQUES

Il existe de graves menaces pour la qualité de l'eau en cas de traitement inadéquat des eaux usées municipales et industrielles. De nombreux contaminants ne sont pas capturés ou détruits dans les usines de traitement des eaux usées et se retrouvent dans les boues d'épuration et les effluents, par exemple, les PBDE^{187, 188} et le PFAS.¹⁸⁹

Les eaux usées municipales rejettent également la pollution pharmaceutique dans les milieux aquatiques et marins. Les systèmes de traitement des eaux usées ne sont pas conçus pour éliminer les résidus pharmaceutiques et bon nombre de ces composés sont rejetés dans les effluents des eaux usées et, par conséquent, dans le milieu aquatique et marin.

LES PRODUITS CHIMIQUES CONTENUS DANS LES CRÈMES SOLAIRES ET LES BARRIÈRES DE CORAIL

Certains crèmes solaires et produits de soins personnels contiennent l'ingrédient appelé benzophénone-3 (BP-3; l'oxybenzone), qui protège contre les effets néfastes de la lumière ultraviolette. L'oxybenzone est un contaminant émergent qui soulève des inquiétudes pour les milieux marins, il est dispersé par les nageurs et rejeté dans les eaux usées municipales, résidentielles et provenant des bateaux/navires. Entre 6 000 et 14 000 tonnes de crèmes solaires pénètrent dans les récifs coralliens chaque année. Bien que tous les récifs coralliens ne soient pas situés près des zones touristiques, environ 10 % des récifs mondiaux présentent des risques élevés d'être exposés aux dommages causés par les crèmes solaires.¹⁹⁷

L'exposition des récifs coralliens à l'oxybenzone peut favoriser les infections virales¹⁹⁸, causer des déformations chez les bébés coralliens et peut endommager leur ADN. C'est aussi un perturbateur endocrinien qui agit au niveau du squelette. L'effet lié au perturbateur endocrinien fait que le bébé corallien s'enveloppe dans son propre squelette, entraînant sa mort.¹⁹⁹ Les effets nocifs de l'oxybenzone ont été observés même quand il était fortement dilué.

Hawaii est devenu le premier État des États-Unis à adopter une loi interdisant les crèmes solaires contenant de l'oxybenzone et de l'octinoxate, en raison de leurs effets nocifs importants sur les écosystèmes.

Les produits pharmaceutiques sont des composés très actifs qui ciblent des systèmes biologiques spécifiques et peuvent avoir des effets néfastes sur la physiologie et le comportement d'une variété d'organismes, même à de faibles concentrations. Ces effets peuvent être aggravés par une exposition chronique à long terme à des mélanges complexes de produits pharmaceutiques dans l'environnement.

Des résidus pharmaceutiques ont été détectés dans les eaux marines et les sédiments^{190, 191}, y compris dans la glace de mer et les eaux côtières. Les données issues de plus de 71 pays ont identifié 631 agents pharmaceutiques différents (ou leurs métabolites et leurs produits de transformation) dans l'environnement, y compris les antibiotiques, les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), les analgésiques, les hypolipidémiants, les oestrogènes, et les médicaments d'autres groupes thérapeutiques.¹⁹²

Les 61 composés pharmaceutiques les plus fréquemment rencontrés dans les systèmes fluviaux dans le monde entier ont été détectés à des concentrations médianes allant de 6,2 nanogrammes par litre (ng/l) à 163 673 ng/l.¹⁹³ Puisque les composés pharmaceutiquement actifs sont conçus pour être actifs à de faibles concentrations, la présence de résidus pharmaceutiques dans l'environnement, même à de faibles taux, peut avoir un impact négatif sur une variété de systèmes biologiques et avoir des effets négatifs plus larges sur les écosystèmes. Les palourdes ont été touchées par les effluents des eaux usées de deux centres de recherche dans l'Antarctique.¹⁹⁴

Une étude a révélé que l'exposition chronique des têtes deboules à de faibles concentrations (5 à 6 ng/l) à de l'oestrogène synthétique 17 α -ethinylestradiol (EE2, utilisé comme contraceptif) dans un lac d'eau douce a entraîné l'infertilité. Cela a entraîné une baisse totale de la population de poissons dans ce lac.¹⁹⁵ L'effet direct de l'EE2 sur la population de têtes deboules et d'autres petites espèces de poissons dans le lac s'est avéré avoir des effets indirects correspondants sur l'écosystème du lac entier en raison de la perturbation de la chaîne alimentaire. La perte de ces petits poissons a entraîné une réduction de l'approvisionnement alimentaire de grands poissons prédateurs comme la truite, ce qui a entraîné une détérioration de l'état général chez ces espèces de prédateurs.¹⁹⁶

LA POLLUTION PAR LES HYDROCARBURES

La pollution par les hydrocarbures est l'une des formes les plus visibles de la pollution marine. Bien que les catastrophes liées aux pétroliers ou aux plates-formes pétrolières soient souvent les plus visibles, la pollution par les hydrocarbures provient principalement de sources diffuses. Le pétrole pénètre dans l'océan par le drainage des eaux pluviales provenant des



villes et des fermes, de l'élimination des déchets non traités provenant des usines et des installations industrielles, et de la navigation de plaisance non réglementée. On estime qu'environ 706 millions de gallons (environ 2673 mégalitres) de déchets d'hydrocarbure pénètrent dans l'océan chaque année²⁰⁰, dont plus de la moitié proviennent du drainage terrestre et de l'élimination des déchets.

Les déchets d'hydrocarbure proviennent également des opérations de forage en mer, comme l'élimination des fluides de forage à base d'hydrocarbure et l'eau de production, les fuites de pipelines, le tarissement et l'explosion d'un puits. Certains navires coulés pendant la Seconde Guerre mondiale contiennent encore de grandes quantités d'hydrocarbures. En 2003, le gouvernement américain a pompé 10 millions de litres de carburant de la coque d'un pétrolier américain coulé en 1944 dans le Pacifique occidental.²⁰¹ Les petites nations du Pacifique dont les îles ont de nombreuses épaves de la 2ème Guerre Mondiale (GMII) ne peuvent pas se permettre d'aborder cette source de pollution par les hydrocarbures. Le pétrole peut également pénétrer dans l'environnement par des suintements de pétrole provenant de réservoirs naturels de pétrole.

Les déversements majeurs de pétrole causent d'énormes dommages au biote marin et aux pêches côtières. Les effets immédiats peuvent être la mortalité et la contamination massives des poissons et des espèces sauvages, mais les effets écologiques à long terme peuvent inclure la perturbation de la chaîne alimentaire marine et la baisse de la population des espèces. Les poissons, les mammifères marins, les tortues marines, les

amphibiens et les oiseaux de mer sont tous affectés par les déversements de pétrole.

Les dangers auxquels sont exposés les espèces sauvages comprennent des blessures telles que l'étouffement, la détérioration de leur capacité à s'isoler, par exemple, dans la fourrure de loutre de mer, et des dommages causés aux capacités hydrophobes des plumes d'oiseaux. Les oiseaux et les animaux marins avalent du pétrole et sont empoisonnés lorsqu'ils essaient de se nettoyer ou lorsqu'ils mangent des proies mazoutées.

Les effets toxiques de l'exposition et de l'ingestion peuvent endommager les systèmes reproducteurs et modifier les comportements. Les poissons et les crustacés peuvent digérer du pétrole, mais cela peut entraîner des changements dans la reproduction, les taux de croissance ou même les décès.²⁰² Les espèces ayant une importance commerciale comme les huîtres, les crevettes, le mahi-mahi, les mérours, l'espadon et le thon peuvent souffrir du déclin démographique et devenir trop contaminées pour être attrapées et consommées en toute sécurité.

La marée noire de Deepwater Horizon de 2010 a causé le rejet de 5 millions de barils de pétrole et d'environ 47 000 barils de dispersants corexit 9500 et 9527.²⁰³ Le dispersant à base de solvant d'hydrocarbures, d'éthylène glycol monobutyléther, plus des surfactants non ioniques et anioniques²⁰⁴ - a démontré la toxicité chez les animaux de laboratoire affectant les systèmes immunitaire, neurologique, cardiovasculaire et pulmonaire.²⁰⁵ La marée noire de Deepwater Horizon a causé la mort de minuscules foraminifera (organismes unicellulaires ayant des coquilles) sur le chemin du panache sous-marin, mais ceux-ci ont montré des signes de rétablissement au cours des années suivantes.²⁰⁶ Il y avait également des preuves des lésions cutanées anormales chez les poissons²⁰⁷ et la baisse apparente de la population chez certaines espèces de poissons.

LES HYDROCARBURES POLYCYCLIQUES AROMATIQUES (HPAS)

Le pétrole brut se compose de plus de 10 000 substances particulières, principalement des hydrocarbures. La composition précise varie selon le lieu d'origine, mais contiendra souvent des contaminants comme les métaux lourds.

Un constituant important du pétrole brut est un groupe de substances appelées hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPAs). Dans le milieu marin, les HPAs sont divisés en deux groupes; les HPA pyrogéniques et les HPAs pétrogéniques. Les HPAs pyrogéniques sont formés par la combustion incomplète de matières organiques tandis que les HPAs pétrogéniques sont présents dans le pétrole et certains produits pétroliers.

Les HPA ont été mesurés chez les moules en cage à proximité des plateformes pétrolières norvégiennes.²⁰⁸ Les marées noires à grande échelle, les fuites de pipelines et les accidents de pétroliers rejettent des HPA directement dans le milieu marin.²⁰⁹ Les émissions de HPA sont également associées à la production de gaz non conventionnel et les processus de combustion incomplets, par exemple, dans les moteurs. L'exploitation des sables bitumineux dans le nord de l'Alberta, au Canada, a causé le déversement des HPA dans la rivière Athabasca.²¹⁰

Les HPA ne se dissolvent pas facilement dans l'eau et ont tendance à s'accumuler ou à s'attacher aux particules de sédiments. Ceci constitue de graves risques pour les espèces vivant dans les sédiments des lacs et des rivières où de nombreux poissons pondent leurs œufs et où se développent leurs embryons. Les HPA peuvent être lentement décomposés par diverses bactéries et microbes dans l'eau et le sol, mais de nombreux microbes sont affectés par la toxicité des HPA. Cela signifie que les HPA restent dans l'environnement pendant de longues périodes de temps. En 1989, le pétrolier Exxon Valdez s'est échoué au large des côtes de l'Alaska, avec jusqu'à 119 millions de litres de pétrole brut rejetés dans l'écosystème côtier. Les HPA ont persisté dans les sédiments côtiers pendant plus de 20 ans.²¹¹

Certains HPA et/ou leurs produits de dégradation sont très toxiques et peuvent causer des cancers, des mutations et des malformations congénitales chez les poissons et d'autres animaux.²¹² Les expositions aiguës aux mélanges complexes de HPA dans le développement embryonnaire chez les poissons ont causé des malformations cardiaques et des œdèmes (accumulation de liquide). L'exposition des embryons de poissons aux sédiments contaminés par les HPA a entraîné des troubles locomoteurs et de comportement à long terme. Des troubles locomoteurs ont été également observés dans les premiers stades larvaires.²¹³ Les chercheurs ont également exprimé des préoccupations au sujet de l'exposition des reptiles aux HPA, citant des déformations et des anomalies développementales, des tumeurs, la toxicité reproductrice, le succès d'éclosion, et la survie.²¹⁴

Des échantillons de fruits de mer de la côte du golfe du Mississippi affectés par la marée noire de Deepwater Horizon ont été prélevés environ un mois après la première fuite. Des taux plus élevés de HPA totaux ont été détectés dans les quatre types d'échantillons de fruits de mer.²¹⁵

LE DRAGAGE ET LES POLLUANTS OCÉANIQUES

Le dragage implique l'enlèvement ou la relocalisation des sédiments afin d'améliorer l'accès maritime dans les ports, de décontaminer les sédiments contaminés ou d'entreprendre des activités de remise en état des terres.

Le dragage suspend inévitablement les sédiments dans la colonne d'eau, augmentant la turbidité. Les eaux turbides ont un impact direct sur les espèces de poissons lorsque leurs larves prennent les particules de sédiments pour leurs aliments, ce qui réduit la consommation des aliments et beaucoup moins de survie larvaire.²¹⁶ Les sédiments perturbés étouffent les herbiers marins et les lits de mollusques et les crustacés, et remobilisent également les contaminants hérités.²¹⁷

Dans les ports adjacents aux zones urbanisées ou industrialisées, les sédiments peuvent contenir des taux élevés de contaminants organiques et inorganiques. Les déchets issus de dragage peuvent être contaminés par des POP, des pesticides, des hydrocarbures pétroliers et des HPAs, ainsi qu'une vaste gamme de métaux lourds, y compris le cuivre, le plomb, le chrome, le cadmium, le mercure et l'arsenic.²¹⁸

Le dragage et la turbidité qui en résulte ont répandu les sédiments contenant les contaminants hérités dans le plan d'eau. Les matériaux suspendus provenant des activités de remise en état des terres et du dragage des voies maritimes seraient le plus important problème lié à la pollution marine de Singapour.²¹⁹

En 2010, la plus grande opération de dragage d'Australie a débuté dans le port de Gladstone, dans la zone du patrimoine mondial de la Grande Barrière de Corail. Le port industrialisé en pleine croissance est l'hôte d'un large éventail d'industries. Les métaux lourds, y compris le cuivre, l'arsenic, le nickel, le chrome, l'aluminium, le manganèse et le zinc, ainsi que les HPAs et le TBT, ont été mesurés dans le milieu aquatique et le biotope du port de Gladstone.²²⁰

Sur une période de trois ans entre 2010 et 2013, plus de 23 millions de mètres cubes de fond marin ont été retirés du port de Gladstone, ce qui a entraîné la destruction de vastes zones d'herbe marine de l'arrière-port. Ce dragage a coïncidé avec un épisode de maladie multi-espèces chez les poissons et de crustacés de mer.

Des maladies et la mortalité ont été observées chez les espèces aquatiques du port, y compris les téléostes, les élaémobranches, les crustacés, les mollusques, les tortues, les cétacés et les sirenias (p. ex., les dugongs).²²¹ La prévalence significativement plus élevée de la maladie ulcéreuse de la peau et du parasitisme ont été trouvés chez de nombreuses espèces animales, tandis que les crabes de boue ont démontré une prévalence beaucoup plus élevée des lésions de coquille. Des taux élevés de parasitisme ont été observés dans les tortues de mer vertes moribondes et décédées de la côte de Gladstone.²²² En 2011, les taux de mortalité chez des dauphins,



des dugongs et des tortues autour de Gladstone étaient bien au-dessus des moyennes à long terme.

LES DÉCHETS MINIERS ET L'EXPLOITATION MINIÈRE OCÉANIQUE

L'industrie minière est l'un des plus grands producteurs de déchets au monde.²²³ La plupart des mines de taille industrielle se débarrassent de leurs résidus (les sous-produits issus des exploitations minières des roches dures)²²⁴ dans le sol. Cependant, l'attention s'est récemment tournée vers d'autres méthodes d'élimination des résidus, y compris le placement des résidus sous-marins (PRS) et le placement des résidus en haute mer (PRHM). L'élimination des déchets miniers dans le milieu marin peut avoir des impacts environnementaux importants dans toute une gamme d'écosystèmes.²²⁵

La composition des résidus dépend en grande partie de la composition du minerai extrait et du processus utilisé pour l'extraire. En général, les résidus se composent de particules de limon, de métaux (y compris le zinc, le cuivre, l'arsenic, le cadmium, le mercure et le plomb), de produits chimiques issus des procédés (p. ex. les agents de flottaison) et de grandes quantités de sulfures. L'eau contenant les résidus laissée après le processus de filtrage des minerais minéraux contient des concentrations encore plus élevées de métaux lourds.²²⁶

L'un des principaux problèmes lié à l'exploitation minière est le drainage acide de la mine²²⁷, qui se produit lorsque les déchets miniers contenant des sulfures sont exposés à l'atmosphère et à l'eau, comme c'est le cas dans les barrages de résidus miniers et les aires de stockage. L'eau contaminée

par les métaux qui en résulte peut perturber la croissance et la reproduction des plantes et des animaux aquatiques.

La difficulté et les coûts liés à la gestion des déchets miniers ont suscité l'intérêt pour l'élimination des résidus en haute mer. Le processus consiste généralement à décharger les déchets comme une boue de roche finement moulue par une chute à des profondeurs inférieures à 1000 mètres.²²⁸ Le placement des résidus en haute mer des mines terrestres est une activité industrielle à grande échelle qui se déroule en haute mer, mais l'échelle et la persistance de ses impacts sur le biote des fonds marins est inconnue.²²⁹ Cependant, les recherches indiquent que les métaux lourds dissous provenant des résidus miniers sont susceptibles d'avoir une influence durable sur l'environnement en haute mer jusqu'à 60 à 70 ans.²³⁰

Sur les sites échantillonnés autour de la Papouasie-Nouvelle-Guinée, les dépôts de résidus ont eu de graves répercussions sur les communautés d'animaux benthiques d'eau profonde qui vivent dans le substrat d'un plan d'eau, en particulier dans un fond marin mou.²³¹ La multitude de ces organismes vivant dans les sédiments (p. ex. les palourdes, les vers tubicoles et les crabes terriers) est considérablement réduite à travers l'échelle de profondeur échantillonnée (800 à 2020 m).²³²

Bien que l'enfouissement des résidus sous-marins ne soit toujours pas pratique pour de nombreuses mines terrestres, la méthode d'élimination ferait partie intégrante de l'exploitation minière en haute mer, qui suscite de l'intérêt en raison de la diminution des réserves minérales terrestres. De grandes quantités de gisements minéraux se trouvent sur le fond marin (« sulfures massifs de fond marin » / SMM).

Les études de modélisation des impacts potentiels de cette forme d'exploitation minière suggèrent une dispersion étendue des rejets de sédiments avec une épaisseur accrue de sédimentation à moins d'un kilomètre du site de rejet. Certaines matières particulières pourraient s'étendre jusqu'à 10 kilomètres du site, se déposant à des taux inférieurs à la normale. Cela peut étouffer les organismes et rejeter des métaux toxiques et d'autres contaminants dans l'océan. Des effets toxiques des panaches déversés en profondeur par l'assèchement sont également possibles, tout comme le déversement de minerai ou de matières dangereuses provenant du navire de surface de l'exploitation minière ou des fuites hydrauliques.²³³

L'extraction des SMM est encore en phase de prospection, mais l'exploitation des gisements des SMM pourrait se produire dans un avenir prévisible dans l'Ouest de l'Océan Pacifique.²³⁴

LES CONTAMINANTS CONTENUS DANS LES PLASTIQUES MARINS

La toxicité chimique associée aux plastiques présents dans le milieu marin peut être attribuée à un ou plusieurs des éléments suivants:

- Les monomères résiduels²³⁵ provenant de la fabrication présents dans le plastique ou les additifs toxiques utilisés dans le plastique qui peut libérer du plastique ingéré, par exemple, le bisphénol A (BPA), les plastifiants à base de phtalate, les métaux lourds;
- La toxicité des produits intermédiaires résultant de la dégradation partielle des plastiques, par exemple, des HPAs et du styrène du polystyrène. Le styrène est à la fois un produit monomère et de dégradation;
- Les produits chimiques hydrophobes, par exemple, les POP présents dans l'eau de mer, qui sont absorbés ou adsorbés, se concentrant dans les fragments microplastiques.

L'Institut norvégien de recherche sur l'eau a publié un examen complet des contaminants mesurés dans le plastique prélevé dans le milieu marin.²³⁶ Ils incluent:

- Les pesticides: Le DDT et les composés connexes, les HCHs, les Chlordanes, les Cyclodienes, les Mirex, l'Hexachlorobenzène;
- Les produits chimiques industriels et les additifs plastiques: les PCBs, les PBDE, les Nonylphénols, les Octylphénols, le Bisphénol A, les PFAS;
- Les sous-produits: les HPAs, les hydrocarbures aliphatiques

LES TYPES DE PLASTIQUES ET LES ADDITIFS

Les plastiques sont généralement des cocktails complexes de polymères, de monomères résiduels et d'additifs chimiques. Il existe plusieurs grands types de plastiques, dont le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP), le polystyrène (PS), le polyéthylène téréphtalate (PET) et le chlorure de polyvinyle (CPV). Les fluoropolymères comme le polytetrafluoroéthylène (PTFE) et le polymère perfluoroalkoxy (PFA) sont utilisés dans de nombreux plastiques antiadhésifs et produits médicaux.

Une fois que les plastiques sont rejetés dans l'océan, leur devenir dans l'environnement dépend principalement de la densité des polymères. Les polymères qui sont plus denses que l'eau de mer, comme le CPV, couleront probablement, tandis que ceux qui ont une densité plus faible, comme le PE et le PP, auront tendance à flotter dans la colonne d'eau. Des processus comme l'encrassement biologique (la colonisation des organismes) sur la

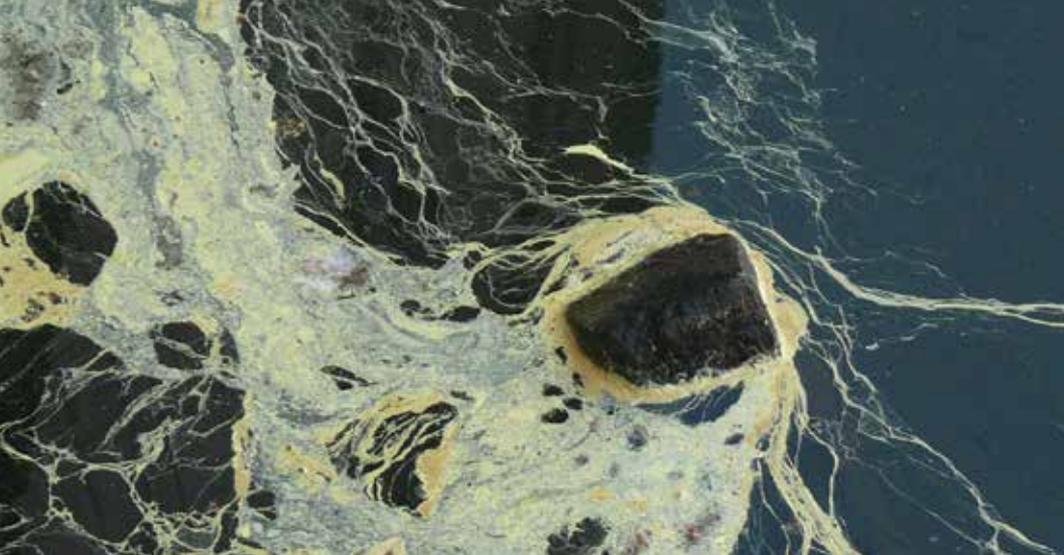
surface plastique augmentent le poids des particules. La dégradation, la fragmentation et le lessivage des additifs peuvent modifier la densité des objets et leur distribution le long de la colonne d'eau.²³⁷

Les additifs plastiques sont incorporés dans les polymères pendant les processus de fabrication afin d'améliorer leurs propriétés; par exemple, étendre leur résistance à la chaleur en ajoutant des ignifugeants, pour réduire les dommages oxydants liés au nonylphénol, ou pour contrôler la dégradation microbienne en ajoutant du triclosan. Le type de plastique et son utilisation prévue influencent le type d'additifs plastiques qui sont utilisés.

- Les plastifiants améliorent la flexibilité et la durabilité, et sont ajoutés à 10-80% w/w par exemple, les phtalates;
- Les ignifugeants (10-20%) pour réduire le risque d'incendie, p. ex., les composés organophosphoriques, les esters halogènes, les composés organiques fortement bromés ou chlorés, p. ex. l'hexabromocyclododecane (HBCDD), le PBDE/les ignifugeants bromés, le tébromobisphénol A (TBBPA), le Tri (2-chloroéthyle) phosphate ;
- Les stabilisateurs (0,1-10,09%), p. ex., les composés d'arsenic/ de l'étain organique, le triclosan, le bisphénol A (BPA), les composés de cadmium et de plomb, et les composés de nonylphénols/d'octylphénol;
- Les agents durcisseurs, par exemple, le formaldéhyde;
- Les colorants, p. ex., le dioxyde de titane, les composés de cadmium/ chromium/plomb; et les charges pour augmenter la raideur et la dureté et réduire les coûts, par exemple, le carbonate de calcium, le talc et le sulfate de baryum.

Des additifs plastiques ont été trouvés dans les écosystèmes marins, y compris dans le biote.

Les phtalates sont couramment utilisés comme plastifiants et se trouvent dans les jouets pour enfants, les produits de soins personnels et les contenants pour aliments. Certains sont les EDC connus.²³⁸ Les phtalates ont été mesurés dans les pellets en plastique marin.²³⁹ Dans une étude, plus de la moitié des échantillons de plancton de surface analysés contenaient des particules microplastiques avec des concentrations élevées de phtalates (DEHP et MEHP).²⁴⁰ L'étude a averti que les concentrations de phtalate mono 2-éthylhexyl (MEHP) trouvées dans la graisse des rorquals communs échoués peuvent indiquer une menace émergente de microplastiques et de leurs contaminants pour les baleines à fanons.



Le bisphenol A (BPA) est une substance chimique produite en grandes quantités dans le monde entier. En tant que monomère de plastique polycarbonate et de résine époxy, il est utilisé dans les contenants pour aliments et les revêtements à base d'époxy des aliments en conserve. Le BPA est rejeté dans le milieu marin à partir de déchets plastiques et par l'intermédiaire d'effluents d'eaux usées, de rivières et d'eaux côtières.

Le BPA est un perturbateur endocrinien connu.²⁴¹ Le tétrabromobisphénol A (TBBPA), utilisé comme ignifugeant dans certains plastiques, se décompose en BPA. Des concentrations relativement élevées de BPA ont été détectées dans des échantillons de fragments de plastique provenant de plages et de l'océan ouvert. Le sable et l'eau de mer analysés dans plus de 20 pays (principalement en Asie du Sud-Est et en Amérique du Nord) ont trouvé d'importantes quantités de BPA (0,01 à 50 ppm). Les polycarbonates et les revêtements à résine époxyde et les peintures ont été considérés comme la principale source.²⁴²

Les PBDE sont utilisés comme produits chimiques ignifugeants dans les boîtiers en plastique des ordinateurs et des téléviseurs, ce qui en fait les principaux composants toxiques des déchets électroniques (e-déchets). La combustion des déchets électroniques est une source importante de rejet de PBDE dans le milieu aquatique et marin.

Les Nonylphenols (NPs), utilisés comme stabilisateurs dans les plastiques, ont été trouvés dans les pellets de résine de polypropylène recueillis sur les côtes japonaises et étaient deux ordres de grandeur plus élevés que les taux trouvés dans les sédiments.²⁴³ Les NPs sont également formés à partir de la dégradation dans l'environnement des surfactants basés sur les ethoxylates nonylphénol (ENP).

Les métaux lourds sont utilisés comme colorants. Dans une étude sur les microplastiques des plages, le cadmium et le plomb ont été détectés dans tous les échantillons, avec des concentrations plus élevées trouvées dans les pellets rouges et jaunes ou des fragments. Les concentrations bioaccessibles maximales de cadmium et de plomb ont été évaluées comme dépassant celles estimées pour l'alimentation des oiseaux de mer locaux par des facteurs d'environ 50 et 4, respectivement.²⁴⁴

LES PRODUITS CHIMIQUES PERTURBATEURS ENDOCRINIENS DANS LE PLASTIQUE MARIN

En 2011, les chercheurs ont constaté que la plupart des produits en plastique rejettent des produits chimiques oestrogènes, précisant que « *Presque tous les produits en plastique disponibles dans le commerce échantillonnés, indépendamment du type de résine, du produit, ou de la source de vente au détail, libèrent les produits chimiques pouvant avoir une activité endocrinienne (AE) détectable et sûre, y compris ceux annoncés comme ne contenant pas de BPA. Dans certains cas, les produits ne contenant pas de BPA ont rejeté les produits chimiques ayant plus d'AE que les produits contenant du BPA.* »²⁴⁵

Les additifs plastiques couramment utilisés, tels que les phtalates, le BPA, les aléthylphénols et les PBDE, sont des EDC. Il a été démontré que les phtalates et le BPA affectent le développement et la reproduction des mollusques, des crustacés et des amphibiens, qui peuvent se produire à de très faibles concentrations dans l'environnement.²⁴⁶

INTERNATIONAL PELLET WATCH

International Pellet Watch (IPW) est un programme mondial de surveillance basé sur le bénévolat conçu pour surveiller l'état de pollution des océans. Lancé en 2005, il se concentre sur la surveillance des POPs à l'aide de pellets de résine plastique échoués. L'IPW a présenté des données sur les concentrations chimiques dans les pellets collectés sur 30 plages dans 17 pays différents. Les résultats reflétaient l'utilisation passée et présente des POPs particuliers dans ces pays. Les concentrations de PCB dans les pellets étaient les plus élevées sur les côtes américaines, suivi de l'Europe occidentale et du Japon, et étaient plus faibles en Asie tropicale, en Afrique australe et en Australie. Les DDT étaient à des concentrations élevées sur la côte ouest des États-Unis et au Vietnam. Des concentrations élevées de HHC ont été détectées dans les pellets provenant de l'Afrique australe.²⁶⁸ Les pellets provenant d'îles éloignées du Pacifique, de l'Atlantique, de l'océan Indien et de la mer des Caraïbes ont indiqué les taux de PCB, de DDT et de HCH d'un à trois ordres de grandeur plus petits que les pellets provenant des zones côtières industrialisées, bien qu'il y ait eu de fortes concentrations sporadiques des POPs dans les pellets.²⁶⁹

Certains additifs plastiques présentant des propriétés de perturbation endocrinienne, comme les PBDE, peuvent être présents dans les plastiques à des taux très élevés; c'est-à-dire de 1000 à 500 000 milligrammes/kilogrammes (mg/kg). Ceux-ci ont été largement utilisés comme ignifugeants dans les plastiques et les mousses de polyuréthane. L'HBCDD est toujours utilisé dans la mousse de polystyrène (EPS/XPS).²⁴⁷ Le tétrabromobisphénol A (TBBPA), utilisé comme ignifugeant dans l'époxy, les esters de vinyle et les résines de polycarbonate, a également démontré l'activité endocrinienne.²⁴⁸

Les polyéthoxylates d'alcyphénol sont également des EDC.²⁴⁹ Les nonylphénols (NP) peuvent causer la féminisation des espèces aquatiques et/ou la démasculinisation des poissons mâles. Ceci diminue la fertilité masculine et la survie des jeunes poissons.²⁵⁰ Les études menées dans les laboratoires démontrent les effets reproducteurs que les nonylphénols (NP) pourraient induire dans la vie aquatique. Il s'agit notamment:

- des changements des niveaux hormonaux mâles et femelles chez le turbot;
- de la diminution de la production et de la fertilisation des gamètes chez le medaka et le poisson zèbre;
- de la réduction de l'éclosion d'embryons de truite arc-en-ciel;
- de la modification des ratios sexe dans la descendance des huîtres exposées aux NP; et
- du développement de truites, de dorade et de grenouilles intersexuées, c'est-à-dire des descendants ayant des caractéristiques des deux sexes.²⁵¹

Les nonylphénols peuvent également induire une variété d'effets non reproducteurs, comme l'incapacité de maintenir l'équilibre des fluides et des électrolytes chez la dorade et le saumon de l'Atlantique, ce qui peut empêcher leur migration de l'eau douce vers l'eau de mer. Les palourdes et les oursins exposés aux NP ont montré une diminution de la respiration et une augmentation des malformations, respectivement.²⁵²

LES PRODUITS DE DÉGRADATION PLASTIQUE

Les monomères sous forme non réagie dans les plastiques et les résines, ainsi que les produits de dégradation, peuvent passer des polymères vers l'environnement, par exemple, les intermédiaires chimiques de la dégradation partielle du polystyrène.

La mousse en polystyrène expansé (MPS) se trouve partout dans le milieu marin. La MPS était la deuxième forme la plus abondante de déchets sur

les plages 43 étaient présents sur les sites le long de la côte du Orange County coast aux États-Unis.²⁵³ Les monomères styrènes et les sous-produits de dégradation ont été détectés dans l'eau de mer et le sable des régions côtières, probablement provenant des déchets de polystyrène.²⁵⁴ Il a été démontré que les sous-produits du styrène migrent des produits en polystyrène, par exemple, à partir de tasses à nouilles jetables en polystyrène.²⁵⁵ Le styrène est carcinogène chez les animaux, un carcinogène probable chez l'homme et est une neurotoxine.

Le MPS peut également contenir l'ignifugeant l'HBCD (ou l'HBCDD) contenant des POP. Des taux élevés de HBCD ont été observés chez des huîtres provenant des fermes aquacoles où des bouées de MPS/XPS contenant du HBCD ont été utilisées. Des taux élevés de HBCDD ont été trouvés chez les poissons dans certaines eaux européennes.²⁵⁶

LA SORPTION DES CONTAMINANTS TOXIQUES

La biodégradation du plastique marin contribue également à l'adsorption et à l'absorption des contaminants toxiques provenant de l'eau de mer. L'impact combiné des conditions environnementales et du temps d'exposition peut modifier les propriétés des plastiques. Les intempéries peuvent causer des ruptures de liaison dans le polymère, formant des fissures et augmentant la surface et la taille des pores, ce qui entraîne une plus grande contamination par les POP et les autres PBT. Les microplastiques qui se trouvent dans le milieu aquatique sont également sujets au bio-encrassement et les biomatériaux peuvent agir comme des absorbants supplémentaires.²⁵⁷ Les POP et les autres polluants océaniques peuvent se concentrer dans et sur des fragments de microplastiques à plusieurs ordres de grandeur plus élevés que dans l'eau de mer environnante.

Les différents types de polymères semblent attirer différemment les POP de l'environnement. Par exemple, l'adsorption se produit plus facilement sur les débris plastiques en LDPE et PP que pour les fragments de PET et de CPV.²⁵⁸

Dans les fragments de plastique (<10 millimètres / mm) provenant de la haute mer, et des plages éloignées et urbaines, les PCB, les HPA, le DDT et les métabolites, les PBDE, les alcylphénols et le bisphénol A ont été mesurés à des concentrations de 1 à 10 000 ng/g.²⁵⁹ Bien que les concentrations les plus élevées de PCB et de HPA aient été observées dans des fragments de plastique provenant des plages urbaines, des concentrations élevées ont été trouvées dans les plastiques marins provenant des plages éloignées et urbaines et de la haute mer.



LES NODULES EN PLASTIQUE

Les pellets en résine de plastique, ou les nodules, sont la matière première utilisée pour la fabrication de plastique et sont répandus dans les océans partout dans le monde, tout comme d'autres déchets plastiques.²⁶⁰ Les concentrations de POP et d'autres contaminants des pellets peuvent dépendre du temps qu'ils ont mis dans l'océan ou qu'ils ont mis à circuler dans des zones fortement polluées avant d'être finalement échoués. La couleur du pellet de résine peut influencer sur les concentrations de contaminants.²⁶¹ Sur la base des analyses de pellets collectés sur les plages portugaises, les pellets noirs avaient les concentrations les plus élevées de POP (PCB, DDT), mais ne contenaient pas de HPAs.

Les PCB et le DDE s'adsorbent facilement aux pellets de résine de polypropylène (PP), augmentant la concentration au fil du temps et accumulant des concentrations allant jusqu'à 106 fois plus élevées que celles trouvées dans l'eau de mer environnante. Des quantités importantes de PCB, de DDE et de nonylphénols (NP) dans les pellets en résine de PP ont été collectées sur quatre côtes japonaises. Les concentrations de PCB (4-117 ng/g, parties par milliard), de DDE (0,16-3,1 ng/g) et de NP (0,13-16 µg/g, parties par million) variaient selon les sites d'échantillonnage. La teneur de NP dans les pellets de résine PP était de deux ordres de grandeur plus élevée que celle que l'on avait trouvée dans les sédiments de la baie de Tokyo qui s'élevait à (0,1 à 0,6 µg/g).²⁶²

En 2007, des pellets composés principalement de polymères PP et PE ont été collectés à partir du Gyre du Pacifique Nord et de certains sites en Californie, à Hawaii et sur l'île de Guadeloupe, au Mexique. Des HPAs et des DDT et ses métabolites ont été trouvés dans tous les échantillons de plastiques.²⁶³ La concentration totale de PCB variait de 27 à 980 ng/g; de

DDTs de 22 à 7100 ng/g, de HPA de 39 à 1200 ng/g et des hydrocarbures aliphatiques de 1,1 à 8600 µg/g. Les pellets collectés sur les rives Sud-Ouest de l'Angleterre contenaient des concentrations de métaux avec des valeurs maximales de 3390 µg/g pour le Cd et 5330 µg/g pour le Pb.²⁶⁴

LE RECYCLAGE TOXIQUE : UNE SOURCE DE CONTAMINANTS DANS LES PLASTIQUES MARINS

Le recyclage des produits en plastique contenant des polluants organiques persistants (POP) contamine de nouveaux produits et est particulièrement dommageable pour une véritable économie circulaire. Il offre également une voie supplémentaire pour les POP dans le milieu marin si les produits contaminés deviennent des déchets et ne sont pas gérés de manière appropriée. Des études menées par l'IPEN sur les produits pour enfants ont montré des preuves indiquant l'existence des matières plastiques toxiques recyclées dans les jouets. Une étude de l'IPEN a testé des jouets Rubik's Cube provenant de 26 pays, dont des pays européens, et a révélé que 90 % des échantillons contenaient l'OctaBDE et le DecaBDE.²⁷⁰ Près de la moitié (43 %) contenait également l'HBDC. D'autres études menées sur les jouets fabriqués à partir des plastiques recyclés ont également révélé des pentaBDE, des OctaBDE et des DecaBDE commerciaux²⁷¹, tandis que les déchets électroniques ont également été recyclés pour fabriquer les ustensiles de cuisine et les tasses thermos.²⁷² Une autre étude menée par l'IPEN²⁷³ a testé les PCCC dans les produits pour enfants provenant de 10 pays et a révélé que les PCCC trouvées dans 45 % des échantillons étaient à des concentrations allant de 8,4 à 19 808 parties par million (ppm).

Dix-huit PFAS ont été mesurés dans les pellets de plastique et les sédiments de plage autour des zones côtières grecques. Les concentrations de pellets de plastiques étaient plus élevées que celles trouvées dans des sédiments et les chercheurs ont proposé que l'origine des PFAS sur la surface des pellets était due à l'adsorption de l'eau environnante.²⁶⁵

Les pellets de plastique peuvent être produits avec du plastique vierge ou en utilisant des plastiques recyclés contenant déjà des POP et d'autres substances toxiques.²⁶⁶ Le brome a été trouvé dans plus de 10% des pellets recueillis sur les rives du Sud-Ouest de l'Angleterre. Les concentrations élevées (13 000 µg/g) ont suggéré la présence des ignifugeants bromés provenant du recyclage des plastiques utilisés à l'origine dans les gainages des équipements électriques produisant de la chaleur.²⁶⁷



CHAPITRE 3

LES IMPACTS DES POLLUANTS OCÉANIQUES

La notion d'un vaste océan ayant une capacité illimitée d'absorber et de «diluer» la pollution est profondément ancrée dans notre psyché. Malgré les preuves croissantes des dommages écologiques répandus causés par les expositions aux produits chimiques et l'augmentation des taux de polluants persistants dans les communes, les organismes de réglementation continuent de s'appuyer sur l'approche dépassée, «la dilution est la solution à la pollution».

Les organismes de réglementation de l'environnement continuent d'autoriser des taux soi-disant « sûrs/sans danger » de rejets de produits chimiques dans l'air, au sol et dans l'eau, en supposant que lorsqu'ils sont dilués, les polluants ne causent qu'un minimum de dommages ou n'en causent pas du tout. Ces décisions sont prises malgré d'importantes lacunes dans les données sur les interactions écologiques complexes et les impacts cumulatifs des polluants, ainsi que par la mésestimation de la situation dans son ensemble.

En ce qui concerne la pollution des océans, l'approche de dilution est fondamentalement biaisée, puisque la ressource en eau de la planète a un volume limité et est constamment cyclable, se déplaçant vers les océans, qui

agissent comme un « puisard ». Il s'agit également d'une approche imparfaite parce qu'il ne peut y avoir de niveaux « sans danger » des polluants persistants qui se déplacent dans le monde entier et qui se bioaccumulent en remontant la chaîne alimentaire.

Pour avoir des océans sains, il faut qu'il y ait une chaîne alimentaire saine. Avant l'industrialisation, les poissons se trouvaient près du sommet de la chaîne alimentaire aquatique, soutenus au fond par les bactéries et les protozoaires, avec des populations saines de phytoplancton, de microalgues, d'herbes marines, de coraux, de zooplanctons, de crustacés, de crevettes et de calmars entre les deux. La chaîne alimentaire aquatique d'aujourd'hui semble être très différente. Le nombre de poissons a considérablement diminué ainsi que d'autres organismes aquatiques, provoquant une prolifération de bactéries et des maladies qui l'accompagnent. Les microalgues, le phytoplancton et les herbiers marins, qui constituent les « poumons de l'océan » et produisent les deux tiers de l'oxygène mondial, sont tous en baisse sous la pression de l'excès de sédiments, de nutriments et de pesticides.

La pollution des nutriments sous forme d'engrais et de déchets humains et animaux conduit à des zones mortes dépourvues d'oxygène dans l'océan. Il stimule la pullulation d'algues bleu-vert d'eau douce, et dans les habitats marins, les proliférations d'algues causent la marée rouge et l'étouffement des algues. Le dragage entraîne une pollution des sédiments, qui étouffe les herbes marines et d'autres milieux marins tout en mobilisant les charges de contaminants héritées dans la colonne d'eau. Les herbicides peuvent causer le dépérissement dans les mangroves et avoir un impact sur les coraux.²⁷⁴

Les animaux marins exposés à des substances toxiques peuvent souffrir d'une perte de résilience et d'immunosuppression. Les expositions aux pesticides causent le développement anormal des larves chez les poissons et d'autres dysfonctionnements de la reproduction et du développement. L'exposition sous-létale à de nombreux polluants chimiques rend les poissons plus sensibles à la pression thermique et modifie leurs comportements.²⁷⁵ Les pesticides tuent les invertébrés dont dépendent les poissons pour leur alimentation. Cette image ajoute à la mort à petit feu des écosystèmes océaniques.

LES IMPACTS ÉCOLOGIQUES

Associés à d'autres facteurs de stress tels que la perte d'habitat et le changement climatique, les espèces marines sont déjà affectées par des taux sans cesse croissants de polluants océaniques. Bien que l'exposition à court terme à des concentrations élevées de polluants ait eu comme consé-

quence des effets aigus tels que la mortalité de masse, même à de très faibles concentrations, les polluants toxiques peuvent avoir des effets néfastes sur la physiologie, la reproduction et l'immunologie des organismes marins, en particulier s'il s'agit des EDC ou si l'exposition est chronique. Cela a entraîné une augmentation du nombre et de l'ampleur des flambées de maladies chez les espèces marines.

La réaction des organismes marins exposés à des contaminants chimiques peut se manifester à plusieurs niveaux²⁷⁶:

- Biochimique et cellulaire, p. ex., toxication²⁷⁷, l'affection métabolique, les lésions cellulaires, la détoxification;
- Organismes, p. ex., les changements physiologiques, la diminution de la croissance due à l'énergie consacrée à la désintoxication et à la réparation des tissus, les changements de comportement, la prédisposition aux maladies, les effets sur la reproduction, la viabilité larvaire, les réactions immunitaires;
- La population, p. ex., l'âge et la structure des tailles, le recrutement, la mortalité, la capacité de la reproduction et d'autres caractéristiques démographiques; et
- La communauté, par exemple, l'abondance et la répartition des espèces, les impacts sur les chaînes alimentaires, l'adaptation des écosystèmes.

L'exposition aux POP chez les poissons et les invertébrés aquatiques peut affecter leur reproduction, leur croissance et leur développement, ainsi que leurs systèmes immunitaire et endocrinien. Les POP ont été associés à la perturbation de la fonction reproductrice chez les poissons mâles et peuvent altérer le transfert maternel de nutriments ou d'hormones.²⁷⁸

Deux espèces de poissons habitant un lac peu profond situé dans une zone agricole de l'Argentine ont eu des lésions dans les branchies et le foie, à cause des taux élevés d'endosulfan dans ces organes. L'exposition probable des poissons mâles aux EDC a également été démontrée, avec la vitellogénine (la protéine précurseur du jaune d'œuf) trouvée dans le plasma du poisson mâle.²⁷⁹

L'anomalie congénitale observée chez les embryons et les larves de poissons due à l'exposition parentale et au transfert maternel des PBDE peut se produire lorsqu'ils sont exposés à de très faibles concentrations. Chez les progénitures des parents exposés, peuvent survenir la diminution de l'éclosion, le déséquilibre du taux d'hormone thyroïdienne, et l'inhibition de la croissance.²⁸⁰



Dès les années 1970, les recherches ont prouvé que l'incidence du DDT et des PCB dans les corps des phoques réduisait les chances de reproduction de l'individu. Soit les phoques ne concevaient pas, soit ils avortaient ou résorbaient leur fœtus.²⁸¹ Les phoques femelles annelés de la mer Baltique, lorsqu'ils étaient exposés à la pollution par les organochlorés, ont subi un rétrécissement ou une fermeture du passage utérin et un ramollissement de l'os provoqué par les hormones.²⁸² En plus, en 1987, les marsouins de Dall du Pacifique Nord-Ouest ont démontré qu'à mesure que les concentrations de PCB et de DDT augmentaient, le taux d'hormone mâle, le testostérone diminuait.²⁸³ En 2003, des réductions analogues des taux de testostérone ont été signalées chez les ours polaires de Svalbard qui avaient une concentration élevée de PCB.²⁸⁴

Les œufs et les premiers stades de développement des poissons et d'autres organismes marins sont également très vulnérables aux effets toxiques des polluants génotoxiques des océans. Les substances génotoxiques peuvent endommager l'information génétique à l'intérieur d'une cellule, provoquant des mutations qui peuvent aboutir au cancer. Les polluants génotoxiques comme le DDT, certains PCB et L'HCH peuvent causer la détérioration de l'ADN, et des études ont révélé que des effets de l'exposition aux POP chez les poissons peuvent se manifester dans les générations à venir. Chez les poissons exposés aux métaux lourds, au tributylétain et aux œstrogènes synthétiques et naturels l'on a également démontré des modifications dans la méthylation de l'ADN²⁸⁵, qui peuvent jouer un rôle important dans la régulation et le développement des gènes.

Les cancers et les affections précancéreuses peuvent être causés et aggravés par l'exposition aux polluants. L'occurrence de la néoplasie (une condition cancéreuse) dans les foies des poissons plats a été rapportée comme preuve directe de l'exposition aux polluants, indiquant l'exposition aux produits chimiques cancérigènes qui causent et aggravent des maladies cancéreuses.²⁸⁶ Les états néoplasiques (croissance tumorale) ont été signalés dans le monde entier chez 15 espèces de bivalves marines, dont quatre espèces d'huîtres, six espèces de palourdes et cinq espèces de moules.²⁸⁷

Des taux élevés de polluants ont également été associés à une forte prévalence de tumeurs dans les populations de mammifères marins de l'estuaire canadien du Saint-Laurent.²⁸⁸ Plusieurs types de cancers ont été signalés dans des organismes marins provenant de sites côtiers urbains à travers le globe et, dans de nombreux cas, des liens ont été établis entre l'exposition aux polluants et les changements néoplasiques.

Au milieu des années 1990, les POP étaient également associés aux effets sur le système immunitaire et au nombre croissant de phoques souffrant d'une complexité ; «lésions primaires des surrénales avec des effets indésirables.»²⁸⁹ Les chercheurs ont établi un lien entre la maladie et l'immunosuppression et les déséquilibres hormonaux résultant de la contamination, en particulier celle associée aux PCB.

En 2005, un examen complet²⁹⁰ des effets des POP sur le biote de l'Arctique a signalé des liens entre les concentrations de certains POP et plusieurs biomarqueurs qui mesurent les changements au niveau cellulaire ou individuel. Les biomarqueurs qui se rapportent aux effets sur la résistance à l'infection, à la reproduction et au comportement étaient particulièrement importants.

L'examen a conclu que les effets sur les hormones étaient corrélés avec des taux plus élevés de PCB, de composés apparentés à la dioxine, le DDE, l'HCB et l'HCH. Les effets négatifs sur la reproduction et le développement ont été corrélés à des taux plus élevés de DDE, de PCB et de composés apparentés à la dioxine chez de nombreuses espèces, y compris les faucons pèlerins de l'Alaska, les pygargues à tête blanche des îles Aléoutiennes, les goélands bourgmestres et les ours polaires de Svalbard et de Hudson Bay.

Les chercheurs ont signalé que les mesures des fonctions immunitaires normales étaient négativement corrélées à l'augmentation des taux de PCB chez les otaries à fourrure du Nord et chez les nouveau-nés du lion de mer de Steller.²⁹¹ Chez les ours polaires, il y avait une diminution significative des anticorps causée par les taux plus élevés de PCB, et chez les goélands bourgmestres, l'intensité des nématodes a été positivement corrélée avec des concentrations de DDT, de mirex et de PCB. Des corrélations

semblables ont été observées entre les taux élevés de PCB et l'augmentation des activités liées au cytochrome P450 dans les espèces arctiques.²⁹² Les enzymes Cytochrome P450 se retrouvent principalement dans des cellules hépatiques et sont essentielles pour métaboliser des composés potentiellement toxiques.

Il a également été démontré que les concentrations de mercure, de PCB et de DDE 4,4-(dichloro diphényl-dichloroéthylène) affectent également les fonctions immunitaires et la santé des tortues caouannes.²⁹³ Les études sur le terrain ont trouvé qu'il existe une corrélation négative entre le mercure dans le sang chez les tortues caouannes et les nombres de lymphocytes et des réactions immunitaires. Ceci indique que les effets négatifs du mercure sur les fonctions immunitaires des tortues de mer sont possibles aux concentrations observées dans la nature.²⁹⁴ Les observations corrélatives faites chez les tortues caouannes en liberté suggèrent également que l'exposition chronique actuelle au DDE, aux PCB et au chlordanes inhibent leur immunité. Cette conclusion est corroborée également par des expériences *in vitro*, indiquant que l'exposition au OPC module l'immunité chez les tortues caouannes.²⁹⁵

Des œufs de tortues vertes (*Chelonia mydas*) ont été analysés pour déterminer leur teneur en POP et en métaux lourds. Des OPCs, des PCB, des chlordanes et des HHC ont été trouvés dans les 55 œufs analysés.²⁹⁶ Les OPCs et les PCB étaient les composés de POP les plus concentrés, tandis que l'arsenic était l'élément le plus commun avec les concentrations les plus élevées, détectées dans 65 % des œufs échantillonnés. Les concentrations d'arsenic suggéraient un risque relativement élevé de mortalité embryonnaire et la réduction du taux d'éclosions réussies.

Les chercheurs ont suggéré que le grand nombre de composés de POP observés dans les œufs pourrait être important en termes d'effets combinés, par exemple, l'effet de plusieurs composés de PCB sur l'inversion du sexe. Ils ont conclu que les concentrations de POP et de métaux lourds signalés dans les œufs présentaient des risques considérables pour la conservation des tortues de mer.

Même chez les ornithorynques, un monotrème aquatique ovipare de l'Australie, les études ont démontré la contamination généralisée liée aux POP.²⁹⁷ Des échantillons de graisse prélevés sur la queue ont démontré des PCB (d'une moyenne de 0.5 mg/kg), le DDT (0.6 à 0.8 mg/kg) et l'HCH. Les contaminants ont été associés à l'échec de l'incubation des couvées d'œufs et à l'immunotoxicité des PCB contribuant à leur prédisposition accrue aux infections.

LES ESPÈCES MARINES SENTINELLES

Les animaux marins servent d'espèces sentinelles, ce qui donne des avertissements précoces sur les impacts négatifs des polluants océaniques. Les mammifères marins dans les milieux aquatiques et côtiers vivent souvent longtemps, se nourrissent à un niveau trophique élevé et stockent les graisses, qui servent de dépôts pour les POP et les PBT, semblables à ceux des humains.

The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) des États-Unis a identifié de nombreuses espèces sentinelles, y compris les otaries de la Californie, les dauphins à bec de l'Atlantique, les loutres de mer du sud, les baleines boréales, les ours polaires et les lamantins Antillais en voie de disparition.²⁹⁸

Les otaries (loutres de mer) de la Californie vivent à proximité des communautés humaines. Environ 20 % des otaries échouées qui sont sexuellement matures ont un taux élevé d'un cancer urogénital nouvellement identifié. Le cancer



est lié à un nouveau virus de l'herpès et à l'exposition aux contaminants de type POP tels que les PCB et les DDT, qui contaminent les otaries et leurs aires d'alimentation. Les animaux atteints du carcinome avaient des concentrations moyennes plus élevées en graisses (basées sur le poids humide) de PCB et de DDT (plus de 85 % et 30 % plus élevés, respectivement).²⁹⁹ Les otaries génétiquement consanguines étaient plus prédisposées à développer le cancer, ce qui suggère des interactions entre les gènes, les toxines et les virus.

De même, les dauphins vivent dans des environnements océaniques, côtiers et estuariens également habités par des communautés humaines. Les études menées sur des dauphins et des lamantins montrent une émergence, ou résurgence, des maladies infectieuses et néoplasiques, reflétant le stress environnemental.³⁰⁰ Cela peut avoir un rapport direct ou indirect sur la santé humaine.

La bioamplification des POP, des PBT et des métaux lourds chez les ours polaires et les baleines boréales nous en dit également long sur la santé de l'Océan Arctique et les menaces qui pèsent sur les communautés humaines autochtones qui en dépendent pour leur alimentation. Aussi bien les êtres humains que les ours polaires se nourrissent de proies semblables.³⁰¹

LES IMPACTS DE LA POLLUTION PAR LES MICROPLASTIQUES

Les microplastiques contaminent tous les habitats marins, y compris les estuaires, les habitats de reproduction de nombreuses espèces de poissons.³⁰² La pollution par les microplastiques présente dans la colonne d'eau et les sédiments constitue une voie d'exposition directe pour les organismes aquatiques et marins. Les microplastiques peuvent également contaminer les proies et exposer les prédateurs par la migration à travers la chaîne alimentaire marine. Il s'agit d'une voie indirecte mais potentiellement majeure d'ingestion des microplastiques pour toute espèce dont l'écologie alimentaire implique la consommation de proies entières, y compris les êtres humains.³⁰³

Le transfert trophique³⁰⁴ des microplastiques dans le milieu marin a été observé, par exemple les algues vertes (*Scenedesmus* spp.) consommées par les puces d'eau planctonique (*Daphnia magna*), qui à leur tour sont consommées par plusieurs espèces de poissons, y compris le brochet polaire (*Esox lucius*) et le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*).³⁰⁵

Une étude sur le transfert trophique de plastiques en polystyrène fluorescents de taille nanométrique (nanoplastiques) à travers un écosystème d'eau douce contenant de l'algue, des puces d'eau et des poissons de consommation a confirmé que les nanoplastiques sont facilement transférés par l'intermédiaire des chaînes alimentaires aquatiques.³⁰⁶

Les puces d'eau de *Daphnia* exposées aux plastiques en polystyrène de taille nanométrique ont présenté une réduction de la masse corporelle et des altérations graves de la reproduction. Le nombre et la masse corporelle de leurs nouveau-nés étaient plus faibles, et les malformations chez les nouveau-nés ont augmenté jusqu'à atteindre 68% des individus.³⁰⁷

La consommation directe des microplastiques est répandue chez de nombreux suspensivores tels que les huîtres et les moules, ainsi que chez les organismes limivores, tels que les concombres de mer, les crabes et les homards. Ces organismes ne peuvent pas faire la différence entre les microplastiques et les aliments. La situation se trouve encore compliquée d'autant plus que des microplastiques dans les milieux marins ont acquis une «signature de sulfure de diméthyle»³⁰⁸ qui émet un parfum qui attire

certaines faunes aquatiques et marines.³⁰⁹ Le phytoplancton libère du sulphonio propionate de diméthyle dans l'eau de mer, qui se décompose en sulfure de diméthyle (SDM) et est émis dans l'air. Cette molécule est utilisée par les prédateurs (p. ex. les oiseaux de mer, les pingouins) pour localiser les zones de recherche de nourriture.

Des études ont montré que les déchets plastiques peuvent perforer l'intestin et/ou obstruer le passage des aliments, ce qui peut entraîner des effets sub-létaux (p. ex., une croissance ralentie) et même des effets mortels. Pourtant, on a fait valoir dans le cadre de l'écotoxicité³¹⁰ qu'il n'est pas démontré que ces décès causent des impacts écologiques identifiables tels que la modification de la population.³¹¹

Dans les études de laboratoire, l'exposition d'organismes aquatiques aux microplastiques a été associée à des effets négatifs sur la santé tels que l'augmentation de la réponse immunitaire, la diminution de la consommation alimentaire, la perte de poids et la diminution de l'énergie, la diminution du taux de croissance, la diminution de la fertilité et les impacts sur les générations futures.³¹²

LES BIVALVES ET LES CRUSTACÉS

Les bivalves tels que les mollusques sont les organismes les plus couramment utilisés dans les études sur l'écotoxicité et l'exposition aux microplastiques. Les effets indésirables incluent des altérations des réponses immunologiques, des effets neurotoxiques et l'apparition de la génotoxicité. Il a été démontré que les microplastiques affectent la reproduction et la croissance démographique subséquente des huîtres creuses du Pacifique.³¹³ La survie des moules a également diminué avec l'abondance croissante du CPV, probablement à cause de longues durées de fermeture de la valve en réaction à la présence des particules.³¹⁴

Les impacts des microplastiques sur les crustacés comprennent une réduction de l'alimentation et, lorsqu'ils sont exposés de façon chronique au cours des générations successives, l'augmentation des taux de mortalité. Les crabes verts peuvent ingérer des microplastiques par les branchies, réduisant la consommation des aliments et la croissance, tandis que l'exposition à long terme des homards de la Norvège ont réduit leur santé nutritionnelle et leurs réserves d'énergie.³¹⁵

Dans une étude menée sur des crustacés à forte valeur commerciale (*Crangon crangon* (L.)) provenant des habitats en eau peu profonde de la région de la Manche et de la partie sud de la Mer du Nord, des fibres synthétiques allant de 200 micromètres (µm) jusqu'à 1000 µm ont été trouvées dans 63 % des échantillons de crevettes. Les résultats ont suggéré que

des microplastiques supérieurs à 20 µm ne soient pas capables de migrer dans les tissus.³¹⁶ Des microplastiques ont été trouvés dans l'exosquelette et les muscles des crevettes tigre du golfe Persique.³¹⁷

Dans les tests en laboratoire, les microplastiques contenant du polystyrène ont démontré une toxicité à court terme chez les crevettes mysides, ce qui a entraîné un taux de mortalité de 30 % à une concentration élevée (1000 µg/L).³¹⁸ La dimension du microplastique a influencé leur toxicité. L'exposition de petits crustacés aquatiques copépodes (*Tigriopus japonicas*) aux microbilles de polystyrène mesurant entre 0,05 et 0,5 µm de taille a entraîné un retard significatif du développement et la diminution du taux de survie. Les microbilles de polystyrène légèrement plus grandes (6 µm) n'ont pas entraîné de retard significatif de la croissance.³¹⁹

LES POISSONS

L'ingestion des microplastiques par des espèces de poissons commerciales (benthiques et pélagiques) était évidente dans la Manche, la Mer du Nord, la Mer Baltique, l'Océan Indo-Pacifique, la Mer Méditerranée, la Mer Adriatique et l'Atlantique Nord-Est.³²⁰ En général, les quantités de microplastiques chez les poissons étaient faibles.

Les microplastiques ont été trouvés dans le tube digestif des larves de poissons sauvages de la Manche. **L'on a trouvé chez dix espèces de poissons de la Manche des fibres microplastiques, contenant le polymide représentant 35,6 % des microfibrilles et 57,8% de rayonne.**³²¹ Les poissons du Golfe Persique avaient des microplastiques dans leurs voies gastro-intestinales, leur peau, leur muscle, leurs branchies et leur foie.³²²

Les microplastiques ont également été retrouvés dans les branchies, le foie et le tube digestif du poisson zèbre, ce qui a entraîné une inflammation, un stress oxydatif et une perturbation du métabolisme énergétique.³²³ Chez les mulots cabots, de petites particules (< 600 µm/0,6 mm) sont passées du tube digestif au tissu hépatique, bien qu'en petit nombre.³²⁴

L'exposition aux plastiques en polystyrène de taille nanométrique affecté à l'activité de pêche, mesurée par la distance et la zone couverte. Il a également été démontré que les nanoplastiques pénètrent les parois d'embryon et étaient présents dans le sac vitellin des jeunes poissons.³²⁵

LES OISEAUX DE MER ET LES MAMMIFÈRES MARINS

La présence des microplastiques chez les oiseaux de mer et les mammifères marins a été bien documentée et presque toutes les espèces d'oiseaux de mer étudiées ont montré des preuves de l'ingestion de microplas-

tiques.³²⁶ Ceux qui avaient ingéré des taux élevés de plastique ont montré la réduction de l'état corporel et l'augmentation de la charge de contaminants.³²⁷ La majorité (95%) de fulmar boréal (*Fulmarus glacialis*) dans la Mer du Nord avait du plastique dans leur estomac, en moyenne 35 pièces pesant 0,31 grammes. Le seuil critique de 0,1 gramme de plastique a été dépassé chez 58 % des oiseaux.³²⁸

Les microplastiques sont également ingérés par les mammifères marins et ont été trouvés dans l'estomac des phoques communs, des baleines à bec et des cétacés à fanons. Lors des autopsies de 528 mammifères marins échoués et capturés, 45 (8,5 %) d'entre eux avaient des déchets marins dans leur tube digestif.³²⁹ Les déchets marins (p. ex., les plastiques mous, les cordes, les mousses de polystyrène et les fils monofilaments ont été trouvés dans 35,2 % des 54 tortues caouannes (*Caretta caretta*) retrouvées échouées ou mortes dans les zones de pêche de la mer Adriatique.³³⁰

LE TRANSFERT DES POLLUANTS PAR L'INTERMÉDIAIRE DES MICROPLASTIQUES

Les microplastiques ont le potentiel d'augmenter la disponibilité des polluants chimiques provenant de l'eau de mer. Les expériences sur l'alimentation ont montré que les PCB peuvent passer des plastiques contaminés aux poussins de Shearwater.³³¹ Des études sur les oiseaux de mer sauvages ont montré que leurs charges de contaminants peuvent être positivement corrélées avec la quantité de plastique ingérée.^{332, 333}

Dans une évaluation de la relation entre la charge plastique et les concentrations d'éléments à l'état de trace chez les oisillons à pieds pâles de Shearwater, des concentrations mesurables de 17 oligo-éléments ont été trouvées dans les plumes de leur poitrine. Des concentrations élevées de chrome et d'argent étaient positivement liées à la masse de plastique ingéré. On pense que les bioaccumulations de chrome dans les tissus aviaires, et les taux supérieurs à 2,8 mg/g trouvés dans les plumes sont associés à des effets neurotoxiques indésirables. Les nanoparticules d'argent ont des effets toxicologiques bien documentés au niveau cellulaire et subcellulaire.³³⁴

Lorsque les moules (*Mytilus galloprovincialis*) ont été exposées à des microplastiques contaminés de HPAs, les plastiques ont été trouvés dans l'hémolymphe, les branchies et, en particulier, le système digestif, et ont été accompagnés par l'accumulation significative de HPAs, du pyrène. Des effets indésirables au niveau cellulaire ont été constatés, y compris des altérations des réponses immunologiques et des effets neurotoxiques.³³⁵ L'augmentation des charges de PCB due aux microplastiques ont été également démontrées chez les arénicoles³³⁶ et dans les poissons myctophides

de l'Océan Atlantique Sud ; de grandes quantités de plastiques ont été associées à des concentrations significativement plus élevées de PBDE.³³⁷

Les microplastiques sont ingérés par les espèces de baleines à fanons par la consommation de proies planctoniques. Dans une étude des rorquals communs de la méditerranée (*Balaenoptera physalus*), il a été montré que le plancton de surface avait des particules microplastiques avec des concentrations élevées de phtalates. Des concentrations de phtalate mono-(2-éthylhexyl) (MEHP) ont également été trouvées dans les graisses de rorquals communs échoués.³³⁸

Chez les tortues vertes³³⁹, les concentrations de PCB ont montré une corrélation positive avec le nombre de morceaux de plastique ingérés ; cependant, les constatations ont été confondues par leur indice d'état corporel (IEC). Les tortues vertes avec un IEC plus élevé avaient consommé plus de plastiques et avaient également des taux de POP plus élevés. Pris ensemble, les chercheurs suggèrent que les tortues de mer accumulent encore la plupart des POP par leurs proies plutôt que par des déchets marins.³⁴⁰

L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture FAO³⁴¹ a également conclu que, sur la base des recherches actuelles, « *la quantité globale de PBT bioaccumulée à partir de proies naturelles dépasse la quantité de microplastiques ingérés* ».

L'augmentation de la sorption des polluants océaniques aux nanoplastiques pourrait vraisemblablement accroître l'importance des plastiques marins en tant que contributeurs à l'exposition globale aux produits chimiques. Il a été démontré que la sorption des PCB aux nanotubes de carbone multiparois et aux fullerènes (p. ex., les sphères de carbone ou « bulkyballs ») était de trois à quatre ordres de grandeur plus forts que la matière organique des sédiments ou le polyéthylène de taille de l'ordre du micromètre.³⁴² La sorption à la nano-polystyrène était une à deux ordres de grandeur supérieurs aux polyéthylènes de taille de l'ordre du micromètre. On pensait que cela était dû à l'aromaticité élevée (de l'encrassement biologique) et au rapport surface-volume du nano-polystyrène. La salinité a également augmenté la sorption pour les polymères, le nano-polystyrène et le polyéthylène de taille de l'ordre du micromètre.³⁴³

Bien que les impacts des polluants océaniques et des déchets plastiques marins aient été démontrés, les fréquences et la nature des impacts écologiques n'ont pas encore été quantifiées et bien comprises. Pour certains mammifères marins et oiseaux de mer, il existe de nombreuses informa-



tions pour montrer les effets néfastes de l'exposition aux polluants marins et à l'ingestion des microplastiques, mais malgré cela, il y a peu d'informations relatives aux impacts globaux sur les écosystèmes aquatiques et marins du problème sans cesse croissant des polluants océaniques.

LA CONTAMINATION PAR LES PRODUITS CHIMIQUES DES ALIMENTS MARINS QUE LES HUMAINS CONSOMMENT

Les impacts combinés des produits chimiques toxiques, de la pollution plastique et du changement climatique dans le milieu marin sont catastrophiques pour les écosystèmes marins et pour les communautés qui en dépendent. Cela est particulièrement le cas pour les peuples autochtones des collectivités éloignées de l'Arctique et des îles du Pacifique et dans la région Asie-Pacifique où les communautés dépendent fortement de l'environnement marin pour leur alimentation, leur culture et leurs moyens de subsistance.

Le poisson fournit au moins 40 % de protéines aux deux tiers de la population mondiale, y compris la plupart des pauvres.³⁴⁴ Pourtant, de nombreuses pêcheries commerciales et récréatives à travers le monde sont contaminées par des POP et du mercure. Puisque les espèces d'aliments marins sont de plus en plus exposées à des produits chimiques toxiques, cela se traduit inévitablement par une augmentation de l'exposition de l'homme. Bien que les jeunes et les personnes vulnérables soient les plus à risque, tous ceux qui dépendent des fruits de mer sont affectés négativement.

LE MERCURE DANS LES POISSONS

La pollution de l'atmosphère, des océans, des lacs et des rivières par le mercure a entraîné une pollution généralisée des pêcheries. Ceux qui dépendent fortement des fruits de mer pour leurs protéines souffrent d'une dose chronique beaucoup plus élevée et plus dangereuse de mercure que ceux qui ont plus d'options à choisir pour leurs besoins en protéines.

On prévoit que les concentrations de mercure doubleront dans l'Océan Pacifique Nord d'ici 2050.³⁴⁵ Cela entraînera probablement une augmentation significative du taux de mercure dans les poissons pélagiques marins, comme le thon rouge et l'espadon du Pacifique, et d'autres grands poissons pélagiques. Ces poissons sont au sommet de la chaîne alimentaire marine et sont des espèces importantes pour la pêche marine mondiale et la consommation humaine. En 2013, l'espadon de l'Océan Atlantique Sud avait le taux moyen le plus élevé de mercure, suivi du thon rouge du nord de l'Océan Pacifique.³⁴⁶

La preuve du rôle que joue la consommation de poisson dans l'exposition humaine au mercure est évidente dans l'analyse des cheveux humains des populations qui ont des régimes alimentaires riches en fruits de mer. Dans les Îles Cook, une petite nation du Pacifique très dépendante d'un régime alimentaire riche en fruits de mer, les populations ont eu des échantillons

de cheveux ayant des taux moyens de mercure 3,3 fois plus élevés que la dose de référence de l'U.S. EPA. Les résidents de Tokyo ayant un apport élevé en fruits de mer avaient des taux moyens de mercure 2,7 fois plus élevés que la dose de référence de l'U.S. EPA. Dans l'ensemble, 95 % des échantillons de cheveux provenant du Japon et 89 % des échantillons provenant des Îles Cook ont dépassé la dose de référence de l'U.S. EPA pour le mercure.³⁴⁷

The Swedish National Food Administration prend le risque au sérieux et a recommandé aux femmes qui cherchent à concevoir, ou qui sont enceintes ou qui allaitent, de ne pas consommer du poisson suédois comme le brochet ou la perche plus de 2 à 3 fois par an, à cause de leur contamination possible au mercure.

LES POP CONTENUS DANS LES RÉGIMES ALIMENTAIRES DES PEUPLES AUTOCHTONES

Les aliments contaminés constituent la principale voie d'exposition aux POP. Les produits chimiques contenant des POP et d'autres PBT contaminent les fruits de mer à de différents degrés à travers le monde. Cette exposition peut entraîner un plus grand risque d'effets nocifs sur la santé, y compris les effets sur le système reproducteur, le système endocrinien, le développement, le comportement, le système nerveux et le système immunitaire.

Les personnes dont l'alimentation comprend de grandes quantités de poissons, de crustacés ou d'aliments sauvages riches en graisse sont à risque d'exposition aux POP. Cela est particulièrement pertinent pour de nombreux peuples autochtones dépendants des aliments traditionnels, ainsi que pour les pêcheurs locaux de subsistance et les peuples insulaires. Par exemple, les œufs de tortues vertes contaminés vendus pour la consommation humaine contenaient des POP et des métaux lourds à des concentrations qui représentaient des risques considérables pour la santé humaine.³⁴⁸

Chez Les peuples Inuits qui dépendent principalement d'un régime alimentaire traditionnel riche en fruits de mer, les concentrations de POP sont très élevées. Les effets néfastes des POP, tels que la perturbation du système immunitaire et les maladies cardiovasculaires, sont évidents chez les peuples Inuits du Groenland. Les POP sont associés à l'inflammation et peuvent favoriser des maladies chroniques communes aux populations du Groenland.³⁴⁹ Un lien a également été établi entre les POP et les taux élevés de cholestérol chez les Inuits. L'étude a été menée à la suite des recherches antérieures qui ont trouvé un lien semblable entre les POP et certains types de diabète.³⁵⁰

Dans une étude des communautés indigènes de l'Alaska qui comptent sur un régime alimentaire traditionnel riche en fruits de mer, les chercheurs ont conclu que des concentrations élevées de PFAS à longue chaîne (L'acide perfluorononanoïque (PFNA) et l'acide perfluoroundecanoïque (PFUnDA)) présentes dans leur sang étaient probablement dues à l'exposition provenant des aliments traditionnels. Des PFAS et des PBDE ont été trouvés dans des poissons sentinelles consommés par ces communautés.³⁵¹

Les POP, le mercure et le cadmium contaminent également les aliments indigènes (p. ex. les phoques, les baleines et les poissons) des communautés côtières de Tchoukotka dans l'Arctique russe. Réagissant face aux taux élevés de contaminants et au transfert probable de ces contaminants à l'homme, les chercheurs ont demandé que des restrictions urgentes soient imposées à la consommation d'un éventail de poissons marins et d'eau douce, de certaines viandes sauvages (la sauvagine et les phoques), de graisses (de la baleine et du phoque), du foie (la plupart des animaux) et du rein (les rennes, les morses et les phoques).³⁵²

Pourtant, il n'y a pas que les communautés qui dépendent des aliments indigènes qui sont affectées. Le HCB, le DDE et les PCB ont été mesurés dans les tissus comestibles d'espèces de poissons commerciales comme le thon rouge, l'espadon et le maquereau de l'Atlantique. Les chercheurs suggèrent que les consommateurs qui mangent 400 grammes de ces poissons par semaine dépasseraient l'apport hebdomadaire tolérable établi (AHT).³⁵³ Fait important, l'AHT est normalement calculé pour un mâle adulte moyen et ne prend pas en considération les sous-populations vulnérables telles que les enfants. Les PBDE contaminent également les fruits de mer³⁵⁴ et en Chine, les apports alimentaires des PBDE étaient dominés par les poissons (45 %) et les mollusques (45%).³⁵⁵

Une étude des Gullah afro-américains de Caroline du Sud a associé leur régime alimentaire local riche en fruits de mer aux taux élevés de POP et de PBT dans leurs charges corporelles et des impacts oestrogéniques néfastes chez les femmes. Cette étude a montré des taux élevés de DDT et de ses métabolites, de HCH, de fluoranthène, de pyrène, de benzo (a) pyrène, de PCB, et de BDE-99 chez les patients présentant des croissances intra-utérines non cancéreuses, une pathologie liée aux effets endocriniens.³⁵⁶

En Australie, des taux élevés de dioxines ont été détectés dans certains fruits de mer (poissons, crustacés et mollusques) du port de Sydney et de la rivière Parramatta. Par conséquent, toute pêche commerciale dans le port de Sydney était interdite. Bien que la pêche récréative n'ait pas été interdite, des conseils sur la santé ont été donnés pour limiter la consom-

mation des fruits de mer pêchés à l'est du pont du port de Sydney et pour ne pas consommer des fruits de mer pêchés à l'ouest du pont du port de Sydney.³⁵⁷

La pollution des eaux souterraines et des eaux de surface résultant de la production du SPFO ou de l'utilisation de certaines mousses extinctrices a également fait en sorte que les avis relatifs à la consommation de poissons soient annoncés en Australie³⁵⁸ et aux États-Unis. Ces avis avertissent les communautés que leurs poissons sont contaminés par le SPFO et que leur consommation représente un risque pour la santé humaine.

Les POP, les PBT et le mercure représentent certains des pires contaminants de la chaîne alimentaire humaine, en particulier les aliments marins. Bien que certains cancers et effets endocriniens aient été associés à des régimes riches en fruits de mer, on comprend peu les impacts globaux de cette exposition, y compris les impacts épigénétiques ou intergénérationnels possibles de l'exposition aux produits toxiques sur la santé humaine.³⁵⁹

LA POLLUTION DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE HUMAINE PAR LES MICROPLASTIQUES

De nombreuses études montrent maintenant la présence de microplastiques dans les fruits de mer destinés à la consommation humaine.^{360, 361, 362, 363} Par exemple, en Suède, des microplastiques ont été trouvés dans les moules bleues de la Suède, les homards de Norvège, la morue, l'aiglefin et les crevettes.³⁶⁴ Vingt-sept espèces de poissons collectés sur les marchés aux poissons de Shanghai contenaient des différents degrés de contamination par les microplastiques (de 1,1 à 7,2 éléments par individu).³⁶⁵

Des microplastiques et d'autres déchets marins ont été principalement observés dans le tractus gastro-intestinal des poissons, mais, comme la plupart des espèces de poissons sont éviscérées avant la consommation par les humains, l'exposition humaine directe aux microplastiques provenant des poissons dans la plupart des cas peut être négligeable.³⁶⁶ Cependant, les régimes alimentaires riches en huîtres et autres bivalves peuvent fournir un lien plus direct entre les microplastiques et les aliments destinés à la consommation humaine. Les bivalves et plusieurs espèces de petits poissons sont consommés entiers, ce qui peut conduire à une exposition aux microplastiques.

La présence des microplastiques dans les fruits de mer soulève inévitablement des préoccupations concernant la santé humaine. Comme l'ingestion de plastiques marins a entraîné une inflammation dans le tractus gastro-intestinal, il pourrait causer des lésions physiques aux

humains lorsqu'ils sont ingérés via des fruits de mer entiers, par exemple des sardines entières, des moules et des huîtres. L'inquiétude au sujet de la toxicité cellulaire dans les cellules hépatiques humaines a été soulevée suite aux analyses du foie des souris exposées. Les biomarqueurs biochimiques ont suggéré que l'exposition aux microplastiques peut causer le stress oxydatif (le déséquilibre entre les radicaux libres et les antioxydants dans le corps) et le métabolisme énergétique et lipidique, aussi bien que des effets neurotoxiques.³⁶⁷

Les produits chimiques transportés par les microplastiques peuvent se transmettre aux poissons après l'ingestion et, par la suite aux humains.³⁶⁸ Cette transmission des produits chimiques dans les organismes des niveaux trophiques inférieurs soulève la possibilité de bioamplification chez les prédateurs, y compris les humains.³⁶⁹ La migration potentielle des constituants et des additifs en polymères dans les aliments et les boissons a été considérée par certains comme une source majeure d'exposition des êtres humains.³⁷⁰ Pourtant, d'autres ont argumenté que si les plastiques peuvent être dangereux pour la santé humaine par la toxicité de produits chimiques associés ou la toxicité des particules, la « ... magnitude à laquelle les microplastiques contenus dans chaque produit alimentaire et boisson y contribuent est discutable. »³⁷¹ Par rapport à l'utilisation énorme de matières plastiques dans la vie quotidienne, ils soulignent que les microplastiques provenant des produits alimentaires et des boissons ne sont susceptibles d'être qu'une source mineure d'exposition des êtres humains aux particules de plastique et aux produits chimiques connexes.³⁷²

L'Organisation Mondiale de la Santé procède à un examen de la question de savoir si une vie passée à manger et à boire des particules de plastique pourrait avoir un effet sur la santé.³⁷³

Les effets sanitaires néfastes causés par des nano- et des microplastiques peuvent résulter d'une combinaison de la toxicité intrinsèque du plastique (p. ex., les dommages physiques); la composition chimique (le lessivage des additifs); et sa capacité d'adsorber, de concentrer et de rejeter des polluants environnementaux dans les organismes. Le rôle des microplastiques comme source de contamination chez l'homme fait toujours l'objet d'études, mais, à mesure que l'incidence des microplastiques marins augmente à un rythme alarmant, avec une augmentation de la contamination des fruits de mer, cette source d'exposition revêtira une importance de plus en plus grande.



LA CONTAMINATION PAR LES MICROPLASTIQUES DE L'EAU POTABLE

La pollution par les microplastiques a été constatée dans 83 % des échantillons d'eau du robinet testés dans le monde entier. Les États-Unis ont le taux de contamination le plus élevé, soit 94 %, tandis que les pays européens ont le taux de contamination le plus faible, mais il s'agit tout de même de 72%.³⁷⁴ L'eau embouteillée est également contaminée suite à la pollution par les microplastiques.³⁷⁵ Des tests effectués sur 27 échantillons d'eau embouteillée provenant de 11 marques différentes achetées dans 19 endroits dans 9 pays ont révélé que 93 % contenaient des microplastiques, le polypropylène étant le plastique le plus présent. Des microplastiques ont également été trouvés dans les sels commerciaux.³⁷⁶

CHAPITRE 4

LES OPPORTUNITÉS ET LES DÉFIS LIÉS À LA LUTTE CONTRE LES POLLUANTS ORGANIQUES

La lutte contre les polluants océaniques nécessite des changements profonds.

Les polluants océaniques, y compris les déchets marins et la pollution par les microplastiques, sont aujourd'hui reconnus à l'échelle mondiale comme une menace omniprésente et partagée pour l'humanité et pour les écosystèmes dont dépendent toutes les espèces.³⁷⁷

Une croissance démographique insoutenable et un consumérisme sans cesse croissant signifient que de plus en plus de produits chimiques continuent d'être produits et utilisés, aboutissant éventuellement dans le flux des déchets. Une partie du flux de déchets se retrouvera dans le milieu marin.

Le problème des polluants océaniques est vaste et la dépendance à l'égard des pratiques et des politiques de gestion existantes n'est plus une option. Les gouvernements et les industries n'ont pas mis en œuvre des approches efficaces en matière de cycle de vie. De nombreux produits chimiques ne disposent pas de données toxicologiques adéquates ou des informations relatives au sort de l'environnement. Les systèmes de réglementation sont fragmentés et ne traitent pas de l'extraction des ressources, de la conception, de la fabrication, de l'utilisation, de la réutilisation et du recyclage dans le cadre d'une économie circulaire.

Les gouvernements restent fermes dans leur rejet du concept d'une « utilisation irréfléchie » et des produits produisant trop de déchets, plaident plutôt pour le droit des industries à fabriquer des produits, peu importe si cela entraîne le gaspillage des ressources limitées de la planète. Ces facteurs ont pour conséquence l'héritage toxique des rejets de produits chimiques et des déchets plastiques que nous retrouvons dans nos océans aujourd'hui.



Les combustibles fossiles desquels viennent les plastiques et la production des produits chimiques posent des défis complexes et difficiles pour tous les pays. L'ensemble du cycle de vie de la production pétrochimique actuelle, de l'extraction des matières premières à la consommation et à l'élimination finale, représente une menace pour le milieu marin. Toute solution visant à lutter contre la pollution des océans doit tenir compte de cette réalité. Alors que de nombreux pays se sont engagés à respecter l'Accord de Paris sur le climat et à réduire la consommation de combustibles fossiles pour la production d'énergie, en revanche, la production de produits chimiques et de plastiques à base de combustibles fossiles continue d'augmenter rapidement.³⁷⁸

Il existe des options politiques pour lutter contre les polluants océaniques, mais un engagement en faveur d'un véritable changement est essentiel. Les mesures prises pour mettre fin à la pollution et pour remédier aux impacts existants sont en retard et la mise en œuvre des mesures urgentes nécessaires exige un leadership, un soutien financier et une implication de tous les aspects de la société. Le problème est grand et les solutions exigent des changements profonds dans la politique et dans la façon dont la plupart d'entre nous vivons nos vies.

LA VOLONTÉ POLITIQUE DE S'ATTAQUER AUX POLLUANTS OCÉANIQUES

Au cours des cinq dernières décennies, la sensibilisation aux polluants océaniques s'est accrue, tout comme les expressions de la volonté politique

pour résoudre le problème. De nombreux programmes et instruments mondiaux et régionaux ont été élaborés et lancés, mais ils n'ont manifestement pas réussi à atteindre leurs objectifs visant à avoir un environnement océanique propre et sain.

LE PROGRAMME D'ACTION MONDIAL POUR LA PROTECTION DU MILIEU MARIN CONTRE LA POLLUTION DUE AUX ACTIVITÉS TERRESTRES

En 1995, l'inquiétude internationale face à la pollution marine a incité la création du Programme d'Action Mondial pour la Protection du Milieu Marin contre la pollution due aux Activités Terrestres (PAM).³⁷⁹ Plus de 108 gouvernements ont déclaré « *leur engagement à protéger et à préserver l'environnement marin contre les effets des activités terrestres* ».

En tant que mécanisme intergouvernemental mondial, le PAM visait à gérer la connectivité entre les écosystèmes terrestre, d'eau douce, côtier et marin. Il visait à fournir des orientations pratiques aux autorités nationales et/ou régionales pour aider à prévenir, réduire, contrôler et/ou éliminer la dégradation du milieu marin des effets des activités terrestres.

Le programme s'est concentré sur les impacts des eaux usées, des POP, des substances radioactives, des métaux lourds, du pétrole (hydrocarbures), des nutriments, de la mobilisation des sédiments et des déchets, ainsi que de l'altération physique et de la destruction de l'habitat. La gestion des éléments nutritifs, des déchets marins et des eaux usées ont été mis en évidence comme les catégories de source prioritaires.

Le PNUE accueille l'Unité de coordination du PAM et coordonne les activités du programme. Des réunions d'examen intergouvernementales sont organisées tous les cinq ans pour examiner les progrès réalisés par les pays dans la mise en œuvre du PAM dans le cadre de leurs plans d'action nationaux respectifs.

Le PAM a également établi trois partenariats multipartites mondiaux: le Partenariat mondial pour la gestion des nutriments, le Partenariat mondial pour les déchets marins et l'Initiative mondiale pour les eaux usées. Le Partenariat mondial pour les déchets marins³⁸⁰ a finalement été créé en juin 2012 lors de la Conférence des Nations Unies sur le Développement Durable (Rio+20).³⁸¹ Il vise à réunir des agences internationales, des gouvernements, des universités, le secteur privé, la société civile et les individus pour aborder les problèmes liés aux déchets marins.

Bien que le PAM ait attiré l'attention sur la pollution terrestre transportée par les rivières, les estuaires et les égouts pluviaux, son cadre volontaire et non contraignant a limité son efficacité.

LES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DES NATIONS UNIES

En octobre 2015, les gouvernements ont adopté l'Agenda 2030 pour le développement durable et ses 17 Objectifs de Développement Durable (ODD). Le préambule souligne la détermination de prendre « *des mesures audacieuses et transformatrices qui sont urgemment nécessaires pour faire passer le monde sur une voie durable et résiliente* ». ³⁸²

L'Agenda 2030 pour le développement durable réaffirme tous les principes de la Déclaration de Rio sur l'Environnement et le Développement et les engagements concernant « *le droit de l'homme à l'eau potable et à l'assainissement* » et un monde « *où la nourriture est suffisante, sûre, abordable et nutritive* ».

Un rapport préparé dans le cadre d'un processus multipartite propose 100 indicateurs mondiaux pour le suivi, accompagnés de suggestions pour les indicateurs nationaux complémentaires, qui suivent ensemble toute l'éventail des ODD et des cibles d'une manière intégrée claire et effective. ³⁸³

L'Agenda 2030 pour le développement durable réaffirme tous les principes de la Déclaration de Rio sur l'Environnement et le Développement et les engagements concernant « *le droit de l'homme à l'eau potable et à l'assainissement* » et un monde « *où la nourriture est suffisante, sûre, abordable et nutritive* ».

Un rapport préparé dans le cadre d'un processus multipartite propose 100 indicateurs mondiaux pour le suivi, accompagnés de suggestions pour les indicateurs nationaux complémentaires, qui suivent ensemble toute l'éventail des ODD et des cibles d'une manière intégrée claire et effective.

L'OBJECTIF DE DÉVELOPPEMENT DURABLE 14, LA VIE AQUATIQUE

L'ODD 14 vise à « *conserver et utiliser durablement les océans, les mers et les ressources marines pour le développement durable* ». Pour ce faire, l'objectif 14.1 exige : « *D'ici à 2025, prévenir et réduire nettement la pollution marine de tous types, en particulier celle résultant des activités terrestres, y compris les déchets en mer et la pollution par les nutriments* ».

Pour ce faire, des approches multisectorielle et multipartite fondées sur des principes de bonne gestion des produits chimiques, c'est-à-dire le droit de savoir, le pollueur-payeur, la précaution et la substitution, sont nécessaires. Les réponses politiques doivent également adhérer aux principes de l'équité sociale, environnementale et intergénérationnelle.

Les activités doivent incorporer, au minimum:

- les conventions et programmes internationaux actuels visant à répondre aux problèmes liés aux produits chimiques et aux déchets avec un nouvel instrument international pour les plastiques;
- l'examen des normes de qualité de l'eau, ce qui a permis d'harmoniser les normes mondiales pour l'eau de mer;
- les programmes de biosurveillance visant à informer pareille gouvernance, pour les zones côtières nationale de qualité et dans les océans et les mers mondiaux;
- l'élargissement et la mise en œuvre des programmes de responsabilité élargie des producteurs;
- les politiques de zéro déchet;
- la lutte contre la pollution tout en évitant les substitutions regrettables; l'assainissement et le nettoyage;
- les systèmes de pêche et de certification des océans; et
- la sensibilisation, le renforcement des capacités et l'autonomisation des communautés.

Pour aider à atteindre l'ODD 14, l'ONU Environnement administre le Programme régional des mers (PRM),³⁸⁴ qui a des programmes de protection des milieux marins et côtiers en Afrique de l'Ouest, aux Caraïbes, en Méditerranée, au Pacifique Nord-Ouest, en mer d'Asie de l'Est, en mer Caspienne et en Afrique de l'Est, ainsi que dans plusieurs autres régions du monde. Une omission importante constatée dans le Programme régional des mers semble être la sous-région du Pacifique Sud-Est, où de nombreux Petits États insulaires du Pacifique (PEID) comptent sur la pêche comme source importante de recettes nationales.

LA COMMUNAUTÉ D'ACTION SUR L'OcéAN

En février 2017, l'ONU Environnement a lancé #CleanSeas³⁸⁵ dans le but d'engager les gouvernements, le grand public, la société civile et le secteur privé dans la lutte contre les déchets plastiques marins. Ils visent à s'attaquer à la cause profonde des déchets marins en ciblant la production et la consommation des plastiques non récupérables et à usage unique, et



à donner une plate-forme aux nombreuses organisations locales qui font déjà un travail important sur les déchets marins.

La Conférence des Nations Unies sur l'Océan en juin 2017 a réuni plus de 4 000 participants venant des gouvernements, du système des Nations Unies et d'autres organisations intergouvernementales, d'ONG, du milieu universitaire, de la communauté scientifique et du secteur privé. La Conférence a abouti à l'adoption de la déclaration « Notre océan, Notre Avenir : Appel à l'Action » et à la nomination de l'Envoyé Spécial du Secrétaire général des Nations Unies pour les océans.

La Communauté d'Action sur l'Océan est un registre des engagements volontaires pris par les parties prenantes pour aider à atteindre l'ODD 14. Plus de 1 400 engagements volontaires ont été enregistrés, dont plus de 540 sont liés à la réduction de la pollution marine.³⁸⁶ Le plus souvent, ils abordent les questions liées à la pollution des milieux marins par les plastiques et comprennent l'interdiction de certains produits en plastique, ainsi que le recyclage et le nettoyage des zones côtières. Il y avait aussi des engagements relatifs à la gestion des nutriments et au contrôle de certaines sources de pollution. Cette Communauté d'Action sur l'Océan soutient ses membres en échangeant des rapports d'avancement, des expériences, des leçons apprises et des exemples de bonnes pratiques.

UNE VOLONTÉ POLITIQUE DE HAUT NIVEAU - LE G7 ET LE G20

Plus récemment, la volonté politique d'aborder au moins certains aspects des polluants océaniques a été évidente dans les engagements déclarés du G20 et du G7.

En 2015, le G7 (le Canada, la France, l'Allemagne, l'Italie, le Japon, le Royaume-Uni et les États-Unis) a adopté le Plan d'Action du G7 pour lutter contre les déchets marins.³⁸⁷ Les pays se sont engagés à prévenir, réduire et éliminer les déchets marins, en soutenant le développement et la mise en œuvre des plans d'action nationaux ou régionaux visant à réduire les déchets entrant dans les eaux intérieures et côtières et, en fin de compte, à devenir des déchets marins, ainsi qu'à éliminer les déchets existants. Le G7 a soutenu l'utilisation de plates-formes et d'outils existants tels que les Conventions et plans d'action sur le PAM et les mers régionales.

En 2017, le G20 a également adopté le Plan d'Action sur les déchets marins³⁸⁸, qui aiderait à la prévention des déchets, à l'efficacité des ressources, à la gestion durable des déchets, au traitement efficace des eaux usées et à la gestion des eaux pluviales, ainsi qu'à la sensibilisation et au renforcement des capacités. Le plan d'action du G20 est lié au Partenariat mondial du PNUE sur les déchets marins.

L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Le concept d'une économie circulaire repose sur un système durable d'apports de ressources, de production en boucle fermée, d'utilisation et de réutilisation/de recyclage. La notion de déchets est rejetée et les impacts négatifs minimisés.⁴⁰⁶ Cela est réalisé grâce à la conception appropriée du produit et le choix des ingrédients, permettant au produit d'être réutilisé, remis à neuf et recyclé sans émissions toxiques ou résidus. La transformation des déchets en énergie est souvent présentée comme l'une des clés d'une économie circulaire, permettant de maintenir la valeur des produits, des matériaux et des ressources sur le marché le plus longtemps possible, ce qui minimise l'utilisation des déchets et des ressources. Cependant, l'incinération des matériaux, même pour la production d'énergie, ne répond pas aux critères d'un système circulaire durable, car la ressource est détruite. Au lieu de cela, l'incinération « des déchets avec récupération de l'énergie » reprend le modèle linéaire d'extraction, de production, d'utilisation et d'élimination des matières premières.

LES INSTRUMENTS INTERNATIONAUX DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION MARINE

Il existe des instruments internationaux ayant pour objectif de lutter contre la pollution marine. Il s'agit notamment de:³⁸⁹

- La Convention Internationale pour la Prévention de la Pollution par les Navires (MARPOL),³⁹⁰ qui aborde des questions liées à la pollution et de l'immersion des déchets à partir des navires en raison des pertes découlant des opérations ou des accidents.
 - L'Annexe V de MARPOL³⁹¹ met l'accent sur les plastiques éliminés en mer et dans les installations de réception portuaires.
- La Convention de l'ONU sur le Droit de la Mer (CNUDM)³⁹², qui met l'accent sur la prévention de la pollution par les navires et les sources terrestres de la pollution, ainsi que sur l'immersion des déchets et le transfert de la pollution d'un pays à l'autre.
- La Convention de Londres sur l'Immersion des Déchets³⁹³, qui aborde les questions liées à l'immersion délibérée des déchets terrestres en mer, chaque membre réglementant les rejets de déchets sur ses propres navires.
- La Convention de Barcelone³⁹⁴ aborde le problème lié aux déchets terrestres et océaniques provenant de l'immersion des déchets, du ruissellement et des rejets (y compris les plastiques) dans la région de la Méditerranée.
- La Convention de Carthagène³⁹⁵ aborde le problème lié à la pollution causée par les navires, de l'immersion des déchets en mer et des sources terrestres de la pollution dans la vaste région des Caraïbes.
- La Directive Cadre sur la Stratégie Marine de l'Union Européenne³⁹⁶ aborde le problème lié à tous types de déchets dans les mers de l'Union Européenne en fonction de l'endroit où l'on en trouve (par exemple, sur le littoral, dans les colonnes d'eau, ingéré par des animaux marins) et le type (par exemple, les microplastiques).
- La convention pour la Protection de l'Environnement Marin de l'Atlantique du Nord-Est (OSPAR)³⁹⁷ aborde le problème lié aux rejets de déchets provenant des navires européens, des matériaux de pêche perdus et jetés provenant des navires, des déchets issus d'activités terrestres provenant de l'élimination dans les eaux côtières ou fluviales et des déchets issus des activités récréatives.
- La Convention d'Helsinki³⁹⁸ aborde le problème lié à la pollution marine provenant de toutes les sources (p. ex., les apports provenant des sources ponctuelles ou diffuses provenant de sources terrestres).

Les membres doivent établir une législation pour la prévention et la réduction de la pollution marine.

Bien que certains instruments tels que la Convention d'Helsinki aient considérablement amélioré la qualité de l'eau marine au niveau sous-régional, ces instruments dans l'ensemble n'ont jusqu'à présent pas permis de s'attaquer à la grande diversité des sources terrestres des polluants océaniques³⁹⁹ qui semble être responsable de la majorité de la pollution chimique et plastique dans le milieu marin.

LA CONVENTION-CADRE DES NATIONS UNIES SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le changement climatique affecte les rejets de produits chimiques et leurs impacts toxiques, ainsi que l'acidification dangereuse de nos océans. L'objectif de la **Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique** est de « *stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêcherait les interférences anthropiques dangereuses avec le système climatique* ». La Convention fixe des limites non contraignantes sur les émissions de gaz à effet de serre pour chaque pays, selon qu'il s'agisse d'un pays développé, d'une économie en transition ou d'un pays le moins développé.

La lutte contre le changement climatique est essentielle pour protéger l'environnement marin; cependant, une gestion efficace et durable des produits chimiques est également primordiale.

L'APPROCHE STRATÉGIQUE DE LA GESTION INTERNATIONALE DES PRODUITS CHIMIQUES (SAICM)

En 2002, le Sommet Mondial sur le Développement Durable a établi l'approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques (SAICM), un processus multipartite et multisectoriel engagé à atteindre un objectif visant à s'assurer que « *les produits chimiques sont produits et utilisés de manière à minimiser les dommages* ». ⁴⁰⁰

La SAICM a un rôle important à jouer dans la promotion d'une politique sur les produits chimiques plus sûrs grâce à la réduction des substances toxiques. Il appelle à l'élimination et à la substitution afin d'éviter et, en fin de compte, d'éliminer les effets toxiques néfastes inhérents au cycle de vie des produits et des emballages provenant de l'extraction des matières premières, de l'utilisation et de l'élimination finale.

LES PRODUITS CHIMIQUES CONTENANT LES POPS

L'ANNEXE A (L'ELIMINATION)

Les parties doivent prendre des mesures pour éliminer la production et l'utilisation des produits chimiques énumérés dans l'Annexe A. Des dérogations spécifiques pour l'utilisation ou la production sont énumérées dans l'Annexe et ne s'appliquent qu'aux Parties qui se sont inscrits pour ces dérogations.

- L'Aldrine *
- Le Chlordane *
- Le Chlordécone *
- Le Décabromodiphényl ether (mélange commercial, c-decaBDE)
- La Dieldrine *
- L'Endrine *
- L'Heptachlore *
- L'Hexabromobiphényl
- L'Hexabromocyclododécane (HBCDD)
- L'Hexabromodiphényle et heptabromodiphénylether
- L'Hexachlorobenzène (HCB) *
- L'Hexachlorobutadiène
- L'Alpha hexachlorocyclohexane
- Le Beta hexachlorocyclohexane
- Le Lindane
- Le Mirex*
- Le Pentachlorobenzène
- Le Pentachlorophénol et ses sels et esters
- Les Biphényles polychlorés (PCB) *
- Les Naphtalènes polychlorés
- Les Paraffines chlorées à courtes chaînes (PCCC/SCCPs)
- L'Endosulfan technique et ses isomères connexes

- L'Éther de tétrabromodiphényle et éther de pentabromodiphényle
- Le Toxaphene *

L'ANNEXE B (LA RESTRICTION)

Les parties doivent prendre des mesures pour restreindre la production et l'utilisation des produits chimiques énumérés en vertu de l'Annexe B à la lumière de toutes les fins acceptables applicables et/ou de dérogations spécifiques énumérées dans l'Annexe.

- Le DDT *
- L'Acide sulfonique de perfluorooctane, les sels et le sulfonyl fluorure perfluorooctane

L'ANNEXE C (LA PRODUCTION INVOLONTAIRE)

Les parties doivent prendre des mesures pour réduire les rejets involontaires de produits chimiques énumérés dans l'Annexe C dans le but de continuer à les minimiser et, dans la mesure du possible, procéder à leur élimination finale.

- L'Hexachlorobenzène (HCB) *
- L'Hexachlorobutadiène (HCBD)
- Le Pentachlorobenzène
- Les Biphényles polychlorés (PCB de type dioxine) *
- Les Dibenzo-p-dioxines polychlorés (PCDD) *
- Les Dibenzofurans polychlorés (PCDF) *
- Le Naphtalènes polychlorés

Note: ceux marqués * sont les produits chimiques contenant les POP qui ont été énumérés au départ.

La SAICM reconnaît 11 éléments de base essentiels aux niveaux national et régional pour parvenir à une saine gestion des produits chimiques et des déchets, qui sont cruciaux pour lutter contre la pollution des océans :

- Les cadres juridiques pour aborder le cycle de vie des produits chimiques et des déchets
- Les mécanismes nécessaires pour la mise en œuvre et la conformité
- La mise en œuvre des accords environnementaux multilatéraux sur les produits chimiques et les déchets, ainsi que la santé, le travail et d'autres conventions pertinentes et mécanismes volontaires
- Les cadres institutionnels solides et les mécanismes de coordination entre les parties prenantes concernées
- La collecte et les systèmes pour le partage transparent des données et des informations pertinentes entre toutes les parties prenantes concernées en utilisant une approche du cycle de vie, y compris la mise en œuvre du Système Général Harmonisé de Classification et d'Étiquetage des produits chimiques
- La participation du secteur industriel et la responsabilité définie tout au long du cycle de vie, y compris les politiques et les systèmes de recouvrement des coûts ainsi que l'intégration d'une saine gestion des produits chimiques dans les politiques et les pratiques de l'entreprise
- L'inclusion de la saine gestion des produits chimiques et des déchets dans les processus nationaux de budgétisation et de planification du développement dans le secteur de la santé, du travail, des affaires sociales, de l'environnement et de l'économie
- L'évaluation et la réduction des risques liés aux produits chimiques grâce à l'utilisation de meilleures pratiques
- Le renforcement des capacités pour faire face aux accidents liés aux produits chimiques, y compris le renforcement institutionnel pour les centres antipoison
- Le suivi et l'évaluation des impacts des produits chimiques sur la santé et l'environnement
- Le développement et la promotion d'alternatives écologiquement rationnelles et les alternatives plus sûres

L'IPEN a préparé un Guide d'ONG sur la SAICM⁴⁰¹ qui présente des moyens par lesquels les ONG et la société civile peuvent utiliser la SAICM pour protéger la santé humaine et les écosystèmes contre les dommages causés par l'exposition aux substances chimiques toxiques.



LES CONVENTIONS SUR LES PRODUITS CHIMIQUES ET LES DÉCHETS

Il existe toute une gamme de conventions internationales et régionales sur les produits chimiques et les déchets qui peuvent contribuer à limiter les rejets des produits chimiques. Pour atteindre leurs buts et leurs objectifs, tous les pays doivent ratifier et mettre pleinement en œuvre leurs obligations.

La Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants 2001

La Convention de Stockholm sur les POP est un traité mondial juridiquement contraignant adopté en 2001 dans le but de protéger la santé humaine et l'environnement des impacts causés par des POP.⁴⁰² La Convention compte 182 parties.

Pour figurer sur la liste de la Convention, les produits chimiques doivent être proposés par une Partie à la Convention, satisfaire aux critères de toxicité, de persistance, de bioaccumulation et de capacité à se déplacer à de longue distance, et avoir démontrés l'exigence d'une réglementation au niveau mondial. Le Comité d'examen/évaluation des POP entreprend l'évaluation de nouveaux POP, y compris les polluants océaniques connus. Certains, comme les PBDE, sont associés à la production des plastiques et

des polymères. Une fois qu'un produit chimique est listé, les Parties à la convention doivent éliminer la production, l'utilisation et le commerce à moins que des dérogations ne s'appliquent.

Les parties sont également tenues d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies pour identifier les stocks de POP existants et d'élaborer des stratégies pour identifier les produits utilisés qui contiennent ou sont contaminés par des POP et des déchets contenant des POP. Les déchets contenant des POP doivent être éliminés de manière à ce que leur teneur en POP soit détruite ou transformée de manière irréversible et ne présente plus de caractéristiques des POP. L'article 6 de la Convention interdit le recyclage ou la réutilisation des déchets contenant des POP ou des déchets de POP.

Néanmoins, lorsque les ignifugeants contenant le PentaBDE et l'OctaBDE ont été listés/inscrits, les Parties ont convenu de leur accorder une dérogation qui permet jusqu'en 2030, le recyclage de matériaux tels que la mousse et les plastiques qui contiennent ces substances. Réagissant à cela, le Comité d'Examen/Evaluation des POP a élaboré des recommandations pour s'attaquer à ce recyclage toxique⁴⁰³, y compris l'élimination des PBDE de la chaîne de recyclage aussi rapidement que possible. Ils ont reconnu que le fait de ne pas le faire entraînerait une contamination plus répandue des êtres humains et de l'environnement et la propagation des PBDE. Le recyclage des matériaux contenant des POP contamine les produits finaux et perpétue l'héritage des émissions et des expositions dangereuses.

En raison de la persistance, de la toxicité, de la bioaccumulation et du transport à longue distance de micro-plastiques et de nanoplastiques, il a été suggéré qu'ils pourraient être considérés comme un nouveau type de POP en vertu de la Convention de Stockholm.⁴⁰⁴ Compte tenu du rôle que jouent les plastiques marins dans la distribution des produits chimiques contenant des POP, ils devraient également être inclus dans l'évaluation des propositions d'inscription de nouveaux POP, tandis que les mesures visant à réduire les plastiques marins devraient être incluses dans les plans nationaux de mise en œuvre de la Convention de Stockholm.⁴⁰⁵

Depuis sa création, la Convention de Stockholm a réussi à aider à débarasser le monde de certains des pires polluants océaniques, mais elle a ses limites. Par exemple, l'inscription exige la proposition par un Parti à la Convention et de nombreux pays hésitent beaucoup à entreprendre cette tâche. Dans certains cas, l'interdiction d'un POP a été rapidement remplacée par une autre de même calibre, appelée « substitution regrettable ». Cette pratique, et le grand nombre de produits chimiques contenant des POP nécessitant une évaluation, a mis en évidence la nécessité urgente d'introduire des évaluations de groupe avec des interdictions ou



des restrictions sur les groupes de produits chimiques tels que les produits chimiques perfluorés très persistants, qui sont des contaminants ubiquistes dans le milieu marin.

La pression de l'industrie s'accroît également et des dérogations pour continuer à utiliser certains des pires polluants contenant des POP ont été incorporées dans les récentes listes de la Convention de Stockholm. Les industries qui ont déjà éliminé les POP potentiels de leurs cycles de production ne sont souvent pas représentées dans les réunions, ce qui permet à l'industrie « qui pollue » de faire pression pour poursuivre leurs activités polluantes. Une meilleure participation des ONG environnementales, des groupes de défense de la santé et des organisations de travailleurs pourrait contribuer à améliorer les résultats.

La Convention de Bâle sur le Contrôle des Mouvements Transfrontaliers de Déchets Dangereux et Leur Élimination - 1989

La Convention de Bâle⁴⁰⁷ vise à protéger la santé humaine et l'environnement contre les effets néfastes des déchets. Il couvre les déchets définis comme étant des « déchets dangereux », en fonction de leur origine et/ou de leur composition et de leurs caractéristiques, ainsi que de deux types de déchets définis comme « d'autres déchets » : les déchets ménagers et les cendres d'incinérateur. La Convention compte 186 Parties.

La Convention est chargée d'élaborer les directives techniques sur les POP et les déchets plastiques. La directive inclut l'incinération des déchets dangereux comme étant une technologie de destruction appropriée, malgré l'énoncé de la Convention de Stockholm selon lequel ce processus

gène des sous-produits dangereux tels que les émissions de dioxine et les cendres contaminées dans l'atmosphère.

En décembre 2002, la Convention a adopté les «*Directives techniques pour l'identification et la gestion écologiquement rationnelle (GER) des déchets plastiques et pour leur élimination*»⁴⁰⁸, qui mettent l'accent sur la gestion et le recyclage des déchets plastiques. Toutefois, pour être efficaces dans la lutte contre les plastiques marins, les directives sur les déchets plastiques doivent être modifiées afin de répondre spécifiquement aux problèmes liés aux plastiques tout au long de son cycle de vie. Cela comprend ses additifs toxiques, son utilisation et le rôle que joue le plastique en tant que polluant océanique.

Les directives de la Convention sur la prévention et la minimisation de la production de déchets dangereux et autres déchets mettent en évidence le fait que les déchets plastiques constituent un flux de déchets importants. Pourtant, la Convention n'aborde pas le problème lié à l'exportation des déchets contenant du plastique vers des pays où les opérations de recyclage, de récupération ou d'élimination finale ne peuvent se dérouler de manière écologiquement rationnelle.

La Convention de Bâle a élaboré des directives sur les questions relatives aux plastiques marins⁴⁰⁹, y compris des directives sur la façon d'améliorer l'interface mer-terre afin de s'assurer que les déchets relevant du cadre de la Convention de MARPOL, une fois déchargés d'un navire, sont gérés de manière écologiquement rationnelle. Les centres régionaux et de coordination des Conventions de Bâle et de Stockholm ont été encouragés à travailler sur les impacts causés par des déchets plastiques, des déchets plastiques marins et des microplastiques, ainsi que sur les mesures visant à les prévenir.

En 2017, la Conférence des parties de la Convention de Bâle a décidé que son organe subsidiaire, le Groupe de Travail à Composition Non Limitée, devrait examiner les options pertinentes disponibles dans le cadre de la Convention pour aborder davantage les questions liées aux déchets plastiques et aux microplastiques qui se trouvent dans le milieu marin.

Une modification de la Convention a été proposée qui reclasserait les déchets plastiques dans la catégorie des «*déchets nécessitant une attention particulière*». Cela signifierait que les expéditions de déchets plastiques entre les Parties nécessiteraient une notification préalable et le consentement des autorités compétentes des pays exportateurs, de transit et d'importation.



La Convention de Bâle a également mis en place le Partenariat pour les déchets ménagers afin de promouvoir une gestion écologiquement durable (GED) des déchets ménagers.⁴¹⁰ Il s'agit d'un forum d'échange d'informations, de sensibilisation, de vulgarisation et de coordination en relation avec les activités sur la GER des déchets ménagers.

La Convention de Bâle pourrait jouer un rôle déterminant dans l'élaboration de stratégies et de moyens efficaces pour aider à prévenir et à minimiser les plastiques marins et d'autres polluants océaniques classés comme déchets dangereux.⁴¹¹ Ces changements sont nécessaires non seulement dans les documents d'orientation de Bâle, en élargissant leur portée pour aborder efficacement les problèmes liés aux plastiques marins, mais cela dépendrait également de la mise en œuvre complète de la Convention par toutes les Parties, y compris la ratification et la mise en œuvre de l'Amendement d'Interdiction de Bâle, qui prévoit l'interdiction de tous les mouvements transfrontaliers par les pays développés, des déchets dangereux destinés à des opérations de réutilisation, de recyclage ou de récupération.

La Convention de Minamata sur le Mercure - 2013

La Convention de Minamata vise à protéger la santé humaine et l'environnement contre les émissions anthropiques et les rejets de mercure et de composés de mercure. La Convention de Minamata reconnaît « *que le mercure est un produit chimique préoccupant à l'échelle mondiale en raison de son transport atmosphérique à de longue distance, de sa persistance dans l'environnement dès lors qu'il a été introduit par l'homme, son*

potentiel de bioaccumulation dans les écosystèmes et de ses effets négatifs importants sur la santé humaine et l'environnement ». ⁴¹² La convention de Minamata compte 95 Parties.

La Convention exige l'élimination progressive de nombreux produits contenant du mercure, met en œuvre des restrictions sur le commerce et l'approvisionnement en mercure et établit un cadre pour réduire ou éliminer les émissions et les rejets de mercure provenant des procédés industriels et de l'exploitation minière. La Convention exige des plans nationaux de gestion pour une source importante de mercure, comme l'extraction artisanale et à petite échelle de l'or. L'IPEN a préparé un guide sur le traité sur le mercure pour aider les ONG actives dans la campagne sans mercure. ⁴¹³

LES ACCORDS VOLONTAIRES

Il y a des efforts volontaires visant à lutter contre les déchets marins, y compris la Stratégie d'Honolulu ⁴¹⁴, un cadre pour un vaste effort mondial de collaboration visant à réduire les impacts écologiques, humains et économiques des déchets dans le monde entier. Il a été élaboré avec le soutien et l'assistance des scientifiques, des praticiens, des gestionnaires et du secteur privé du monde entier avec le Programme de déchets marins du PNUE et de la NOAA qui fournit un soutien technique et financier.

Conçue pour servir d'outil de planification et de surveillance pour les programmes de déchets marins, la stratégie fournit un cadre de référence pour la collaboration et le partage de meilleures pratiques.

La stratégie a trois objectifs :

- Réduire la quantité et l'impact des sources terrestres des déchets marins introduits dans la mer;
- Réduire la quantité et l'impact des sources marines des déchets marins, y compris les déchets solides; les cargaisons perdues; les engins de pêche abandonnés, perdus ou jetés (ALDFG); et des navires abandonnés, introduits dans la mer; et
- Réduire la quantité et l'impact des déchets marins accumulés sur les rivages, dans les habitats benthiques et dans les eaux pélagiques.

En janvier 2012, la stratégie d'Honolulu a été approuvée par des représentants de 65 gouvernements et de la Commission Européenne lors de la 5ème Conférence internationale sur les déchets marins.

L'ASSEMBLÉE DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT

L'Assemblée des Nations Unies pour l'Environnement (ANUE)⁴¹⁵ est la plus haute instance de décision au monde en matière d'environnement. Elle a été créée pour relever les défis environnementaux cruciaux auxquels le monde est confronté et mettre en œuvre l'Agenda 2030 pour le développement durable.

Lors de sa deuxième session, l'ANUE a adopté une résolution sur les déchets plastiques marins et les microplastiques⁴¹⁶ et, en décembre 2017, l'ANUE a mis en place un Groupe de Travail Spécial à Composition Non Limitée sur les déchets marins et les microplastiques afin d'évaluer les stratégies potentielles pour résoudre le problème, y compris l'examen d'un instrument juridiquement contraignant. Leurs recommandations seront présentées lors de la prochaine Assemblée des Nations Unies pour l'Environnement en 2019:

- Pour être efficace, un instrument juridiquement contraignant devrait :
- Aborder les problèmes liés à la gestion durable des plastiques tout au long de leur cycle de vie, y compris la conception, la production, l'utilisation, le recyclage et l'élimination des plastiques;
- Éliminer progressivement les EDC et d'autres ingrédients toxiques dans le plastique pour faciliter leur recyclage;
- Intégrer des mécanismes de surveillance, d'élaboration de rapports et de la mise en application de la loi;
- Aider à la construction des systèmes nationaux efficaces de collecte et de recyclage vérifié;
- Élaborer et mettre en œuvre des régimes de responsabilité élargie des producteurs;
- Interdire les types de déchets plastiques marins les plus courants ou les plus nuisibles (p. ex., les microbilles et les nodules de la taille d'un œuf de poisson);
- Soutenir le développement et la transition vers des produits de substitution durables;
- Élaborer des critères pour les substituts de produits et de matériaux qui intègrent et mettent l'accent sur les impacts marins potentiels, par exemple, concevoir des produits et des matériaux ayant le moindre danger pour l'océan depuis la conception (en utilisant la chimie verte, les matières premières renouvelables ou régénératrices, etc.) ;
- Préciser les mesures nécessaires pour atteindre les objectifs convenus et le(s) système(s) d'évaluation;
- Élaborer une législation modèle;

- Mener des recherches et fournir le financement pour récupérer les déchets plastiques marins;
- Identifier et fournir un soutien pour le traitement sans combustion / la destruction des plastiques contaminés /les plastiques non recyclables;
- Inclure des partenariats multipartites avec un cadre multisectoriel;
- Créer un mécanisme de financement adéquat; et
- Inclure un système efficace de surveillance et de rétroaction pour évaluer les résultats.

Un nouvel instrument devrait être compatible avec les accords multilatéraux existants et, pour atteindre ses objectifs, devrait également se concentrer sur la réduction des niveaux de production et de consommation ainsi que sur la responsabilité de l'industrie pour leurs produits durant tout leur cycle de vie. Il devrait s'attaquer aux problèmes d'utilisation inutile ou frivole, favoriser la réutilisation des produits dans la mesure du possible et promouvoir le recyclage non toxique, et non le «downcycling». L'instrument doit sensibiliser la communauté et l'industrie et être fondé sur l'acceptation que le « statu quo » n'est pas une option.

LES ORGANISATIONS NON GOUVERNEMENTALES

Il existe une gamme d'organisations non gouvernementales internationales (ONG) et de réseaux travaillant dans le domaine de la réduction des produits toxiques, de la gestion des déchets et de la pollution chimique et plastique. Il s'agit notamment, mais ne se limite pas aux organisations suivantes:

IPEN

<https://ipen.org/>

L'IPEN réunit des groupes d'intérêt public de premier plan travaillant sur les questions environnementales et de santé publique dans plus de 100 pays afin de prendre des mesures à l'échelle internationale pour minimiser et, dans la mesure du possible, éliminer les produits chimiques dangereux et toxiques. La mission de l'IPEN à savoir un avenir sans substances chimiques pour tous est contenue dans ses déclarations de Stockholm, Dubaï et Minamata.

Break Free From Plastic

<https://www.breakfreefromplastic.org/>

Le BFFP vise à apporter un changement systémique par le biais d'une approche holistique, abordant la lutte contre la pollution plastique dans l'ensemble de la chaîne de création des plastiques, en se concentrant sur la prévention plutôt que la guérison, et en fournissant des solutions efficaces.

Basel Action Network (BAN)

<https://www.ban.org/>

La mission de BAN est de défendre la santé et la justice environnementale au niveau mondial en mettant fin au commerce des produits toxiques, en catalysant un avenir sans toxiques et en faisant campagne pour le droit de chacun à un environnement sain.

Center for International Environmental Law (CIEL)

<https://www.ciel.org/>

CIEL utilise le pouvoir du droit pour protéger l'environnement, promouvoir les droits de l'homme et assurer une société juste et durable. Il s'efforce de parvenir à un avenir sans toxiques en négociant de nouveaux traités internationaux et en modifiant les politiques publiques et les pratiques privées.

Friends of the Earth (FOE)

<https://foe.org/issues/oceans/>

Les Friends of the Earth aspirent à un monde plus sain et plus juste. Sa campagne sur les océans met l'accent sur la pollution de l'air, de l'eau et par les hydrocarbures provenant des navires, des pétroliers et des bateaux de plaisance.

Global Alliance for Incinerator Alternatives (GAIA)

<http://www.no-burn.org/>

Le GAIA est une alliance mondiale regroupant les groupes communautaires, les ONG et les individus dans plus de 90 pays dont la vision ultime est un monde juste, sans toxiques et sans incinération.

Greenpeace International

<https://www.greenpeace.org/international/>

L'objectif de Greenpeace est d'assurer la capacité de la terre à cultiver la vie en protégeant la biodiversité, en prévenant la pollution et l'abus de l'océan, du sol, de l'air et de l'eau douce, et en mettant fin à toutes les menaces nucléaires.

LA PLATE-FORME SUR LES POLLUANTS OCÉANIQUES DE L'IPEN

Réagissant face à la menace croissante des polluants marins dans nos océans, l'IPEN a mis au point une plate-forme intégrant des engagements actuels et futurs pour lutter contre les polluants océaniques. Les recherches menées par l'IPEN⁴¹⁷ ont démontré l'impact de la pollution par le mercure dans la région Asie-Pacifique et, grâce à ses travaux sur les nouveaux POP et le Comité d'Examen des POP de la Convention de Stockholm, ont mis en évidence la détection croissante des POP tels que les PBDE et les PFAS dans les milieux marins.

L'IPEN participe au processus d'évaluation des POP proposés et a également souligné les incapacités des pays à gérer leurs déchets, démontrant la création de la pollution par les POP due à la combustion des déchets. L'IPEN milite pour l'adoption de technologies de destruction sans combustion. Les organisations participantes de l'IPEN poursuivent leurs efforts pour assurer une mise en œuvre efficace des Conventions de Stockholm et de Minamata, y compris la participation aux plans nationaux de mise en œuvre (PNM) et aux plans d'action nationaux (PAN), respectivement

Afin de sensibiliser le monde entier sur les problèmes liés aux EDC, l'IPEN a travaillé avec la Société Endocrinienne pour réaliser le guide intitulé « *Introduction aux produits chimiques perturbateurs endocriniens (EDC) : Guide réalisé pour les organismes d'intérêt public et les décideurs.* »



CONCLUSION

« ... nous sommes habitués à penser que l'océan est illimité, ce n'est pas le cas. Nous avons poussé beaucoup de ses habitants au bord de l'extinction et au-delà. Nous avons étouffé ses eaux avec des plastiques et d'autres polluants, faisant pénétrer des poisons dans les corps des poissons et d'autres animaux ainsi que dans notre propre corps. Nous avons déjà modifié de façon irréversible son écologie, sa biologie, même sa propre chimie ». ⁴¹⁸

Les océans de la Terre ont été érodés par l'humanité, avec seulement 13,2% des océans du monde maintenant classés comme la nature marine sauvage. ⁴¹⁹ Même ces régions sauvages sont affectées par la contamination chimique et les déchets plastiques. Les polluants océaniques contribuent à la destruction des écosystèmes marins et des approvisionnements alimentaires, tandis que les impacts du changement climatique sur le milieu marin et nos systèmes de survie sont dévastateurs.

Malgré une myriade de programmes nationaux et régionaux et d'instruments mondiaux, la pollution des océans est hors de contrôle et s'aggrave, avec la dépendance continue des combustibles fossiles, une population sans cesse croissante et un consumérisme poussé.

L'environnement industriel mondial reste en grande partie d'autorégulation, guidé par le profit et la cupidité, avec peu de considération pour les

ressources limitées de l'environnement mondial ou pour les générations futures.

De nombreux polluants océaniques, y compris les plastiques marins, prendront des siècles pour se décomposer, si cela est possible. Les produits terminaux tels que le SPFO et l'APFO sont susceptibles d'être avec nous jusqu'à la fin des temps. Pourtant, de plus en plus de produits chimiques et de produits plastiques à usage unique sont créés et rejetés dans le milieu marin intentionnellement ou par inadvertance.

Les gouvernements nationaux ne parviennent pas à réglementer adéquatement les industries polluantes et ne protègent pas leurs citoyens et les générations futures. Les programmes et instruments mondiaux, bien que divers et étendus, n'ont pas été pleinement mis en œuvre et n'atteignent pas leurs objectifs. Dans le même temps, il y a une prise en captivité des organisations constituées comme l'ONU Environnement et le découplage en cours de la science et de la politique..

Bien que le travail des ONG, des individus engagés et des industries durables ne cesse de gagner en ampleur et en efficacité, la communauté en général se débat avec une connaissance incomplète de l'ampleur des problèmes et de sa capacité d'effectuer des changements au-delà du niveau individuel et communautaire.

La voie à suivre est difficile et les changements nécessaires pour protéger et restaurer les océans ne sont rien de moins que révolutionnaires. Mais face à eux, nous devons, parce que nous et d'innombrables autres espèces sommes totalement dépendants des écosystèmes océaniques sains pour notre alimentation, la régulation du climat, et la vie elle-même.

NOTES DE FIN

- 1 Census on Marine Life <http://www.coml.org/index.html>
- 2 Breitburg D, Levin LA, Oschlies A, Grégoire M, Chavez FP, Conley DJ, Garçon V, Gilbert D, Gutiérrez D, Isensee K, Jacinto GS, Limburg KE, Montes I, Naqvi SWA, Pitcher GC, Rabalais NN, Roman MR, Rose KA, Seibel BA, Telszewski M, Yasuhara M, Zhang J. (2018) Declining oxygen in the global ocean and coastal waters, *Science*, Vol. 359, Issue 6371, DOI: 10.1126/science.aam7240
- 3 <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/2015-report.html>
- 4 P.K. Krishnakumar, P.K. Asokan, Environmental impacts of marine pollution- effects, challenges and approaches. January 2017 In book: Mathrubhumi Year Book Plus 2017 Chapter: Environmental Pollution Editors: Mathrubhumi
- 5 Ji-Dong Gu, You-Shao Wang, (2015) Coastal and marine pollution and ecotoxicology, *Ecotoxicology* 24:1407-1410 DOI 10.1007/s10646-015-1528-3
- 6 EEA, 2011. The European environment – state and outlook 2010: assessment of global megatrends. European Environment Agency, Copenhagen. <https://www.eea.europa.eu/soer/synthesis/synthesis>
- 7 <https://www.statista.com/statistics/272157/chemical-production-forecast-worldwide/>
- 8 Fueling Plastics How Fracked Gas, Cheap Oil, and Unburnable Coal are Driving the Plastics Boom, Center for International Environmental Law, 2017 <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2017/09/Fueling-Plastics-How-Fracked-Gas-Cheap-Oil-and-Unburnable-Coal-are-Driving-the-Plastics-Boom.pdf>
- 9 US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, What is the biggest source of pollution in the ocean? www.oceanservice.noaa.gov
- 10 <http://www.oceanhealthindex.org/methodology/components/chemical-pollution>
- 11 National Pollutant Inventory <http://www.npi.gov.au>
- 12 <http://www.oceanhealthindex.org/methodology/components/chemical-pollution>
- 13 Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596-1605
- 14 Hurley, Rachel, Woodward, Jamie, Rothwell, James. (2018) Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding. *Nature Geoscience*. 11. 251-257
- 15 Christian Schmidt, Tobias Krauth, Stephan Wagner, Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea, *Environmental Science & Technology* 2017 51 (21), 12246-12253 DOI: 10.1021/acs.est.7b02368
- 16 UNEP, GRID-Arendal, Marine Litter Vital Graphics, United Nations Environment Programme and GRID-Arendal. Nairobi and Arendal, 2016. www.grida.no/publications/60
- 17 Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, et al. (2014) Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS One* 9(12): e111913. DOI:10.1371/journal.pone.0111913
- 18 Sonja Oberbeckmann, A. Mark Osborn, and Melissa B. Duhaime Microbes on a Bottle: Substrate, Season and Geographical Influence Community Composition of Microbes Colonizing Marine Plastic Debris *PLoS One*. 2016; 11(8) doi: 10.1371/journal.pone.0159289
- 19 The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics, World Economic Forum 2016 <https://www.weforum.org/reports/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics>
- 20 Jenna R. Jambeck, Roland Geyer, Chris Wilcox, Theodore R. Siegler, Miriam Perryman, Anthony Andrady, Ramani Narayan, Kara Lavender Law, (2015) Plastic Waste input from land into the ocean, *Science* Vol. 347, Issue 6223, pp. 768-771 DOI: 10.1126/science.1260352
- 21 Erik van Sebille, Chris Wilcox, Laurent Lebreton, Nikolai Maximenko, Britta Denise Hardesty, Jan A van Franeker, Marcus Eriksen, David Siegel, Francois Galgani, Kara Lavender Law, (2015) A global inventory of small floating plastic debris, *Environmental Research Letters*, 10 124006
- 22 Sanae Chiba, Hideaki Saito, Ruth Fletcher, Takayuki Yogi, Makino Kayo, Shin Miyagi, Moritaka Ogido, Katsunori Fujikura, (2018) Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris, Article in Press, *Marine Policy*, doi.org/10.1016/j.marpol.2018.03.022
- 23 L. Lebreton, B. Slat, F. Ferrari, B. Sainte-Rose, J. Aitken, R. Marthouse, S. Hajbane, S. Cunsolo, A. Schwarz, A. Levivier, K. Noble, P. Debeljak, H. Maral, R. Schoeneich-Argent, R. Brambini & J. Reisser, (2018) Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic, *Scientific Reports* 8, Article number: 4666
- 24 Erik van Sebille et al (2015)
- 25 Eriksen M, et al. (2014)
- 26 Meso- and macroplastic includes all plastic particles of a size fraction of more than 5 mm in diameter, while microplastic includes particles less than 5 mm in diameter. See Gewert et al., (2015)

- 27 Brennecke, D., E. C. Ferreira, T. M.M. Costa, D. Appel, B. A.P. de Gama, M. Lenz (2015). Ingested microplastics are translocated to organs of the tropical fiddler crab *Uca rapax*. *Marine Pollution Bulletin*, 96, 491-495.
- 28 Pieter Jan Kole, Ansje J. Löh, Frank G. A. J. Van Belleghem, Ad M. J. Ragas (2017) Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14, 1265; doi:10.3390/ijerph14101265
- 29 Rist, S., & Hartmann, N. B. (2017). Aquatic Ecotoxicity of Microplastics and Nanoplastics: Lessons Learned from Engineered Nanomaterials. In M. Wagner, & S. Lambert (Eds.), *Freshwater Microplastics - Emerging Environmental Contaminants?* (pp. 25-49). Springer. (The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 58). DOI: 10.1007/978-3-319-61615-5_2
- 30 Gallo et al. Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures *Environ Sci Eur* (2018) 30:13 <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0139-z>
- 31 Andrady et al., (2011)
- 32 Fueling Plastics, Untested Assumptions and Unanswered Questions in the Plastics Boom, Centre for International Environmental Law 2017 <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2018/04/Fueling-Plastics-Untested-Assumptions-and-Unanswered-Questions-in-the-Plastics-Boom.pdf>
- 33 Oceans Awash in Toxic Plastic Brought to You by the Fracking Industry, July 2018 <https://www.foodandwaterwatch.org>
- 34 Marie Bigot, Derek C. G. Muir, Darryl W. Hawker, Roger Cropp, Jordi Dachs, Camilla F. Teixeira, Susan Bengtson Nash (2016) Air–Seawater Exchange of Organochlorine Pesticides in the Southern Ocean between Australia and Antarctica *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50, 8001–8009
- 35 Bigot et al., (2016)
- 36 UNEP/AMAP, 2011. Climate Change and POPs: Predicting the Impacts. Report of the UNEP/AMAP Expert Group. <https://www.amap.no/documents/doc/climate-change-and-pops-predicting-the-impacts/753>
- 37 Lisa Phinney Air Quality Sciences, Meteorological Service of Canada, Environment Canada, 'Environmental Impacts of Air Pollution,' Presentation to 2004 Canadian Acid Deposition Science Assessment
- 38 Milazzo M et al. 2016 Ocean acidification affects fish spawning but not paternity at CO2 seeps. *Proc. R. Soc. B* 283:20161021. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.1021>
- 39 Danielle L Dixon, Ocean Acidification Effects Fish Behavior and Survival as a Consequence of Impaired Chemoreception, September 2011, Conference: American Fisheries Society 140th Annual Meeting
- 40 Jessie Gardner, Clara Manno, Dorothee C. E. Bakker, Victoria L. Peck, Geraint A. Tarling, (2018) Southern Ocean pteropods at risk from ocean warming and acidification *Mar Biol.* 165(1):8. doi:10.1007/s00227-017-3261-3
- 41 <http://www.antarctica.gov.au/news/2010/krill-face-deadly-cost-of-ocean-acidification>
- 42 UNEP/AMAP, 2011. Climate Change and POPs: Predicting the Impacts. Report of the UNEP/AMAP Expert Group. <https://www.amap.no/documents/doc/climate-change-and-pops-predicting-the-impacts/753>
- 43 Patra et al., Interactions between water temperature and contaminant toxicity to freshwater fish (2015) *Environmental Toxicology* June <https://doi.org/10.1002/etc.2990>
- 44 Wei Shi, Xinguo Zhao, Yu Han, Zhumei Che, Xueliang Chai & Guangxu Liu, (2016) Ocean acidification increases cadmium accumulation in marine bivalves: a potential threat to seafood safety *Scientific Reports* volume 6, Article number: 20197
- 45 Thompson NP, Rankin PW, Johnston DW. (1974) Polychlorinated biphenyls and p,p' DDE in green turtle eggs from Ascension Island, South Atlantic Ocean. *Bull Environ Contam Toxicol.* 11(5):399-406.
- 46 UNEP/POPS/POPRC.8/16/Annex V Annex V Guidance for drafters of risk profiles on consideration of toxicological interactions when evaluating chemicals proposed for listing, Qualitative literature-based approach to assessing mixture toxicity under Annex. www.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Guidance/
- 47 Rodea-Palomares et al., (2015) Effect of PFOA/PFOS pre-exposure on the toxicity of the herbicides 2,4-D, Atrazine, Diuron and Paraquat to a model aquatic photosynthetic microorganism, *Chemosphere* 139:65-72
- 48 Ashauer R, O'Connor I, Escher BI., (2017) Toxic Mixtures in Time-The Sequence Makes the Poison. *Environ Sci Technol.* Mar 7;51(5):3084-3092. doi: 10.1021/acs.est.6b06163. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.6b06163>
- 49 State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals 2012, United Nations Environment Programme and the World Health Organization, 2013 <http://www.who.int/ceh/publications/endocrine/en/>

- 50 State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals 2012, United Nations Environment Programme and the World Health Organization, 2013 <http://www.who.int/ceh/publications/endocrine/en/>
- 51 Fabien Lagarde, Claire Beausoleil, Scott M Belcher, Luc P Belzunces, Claude Emond, Michel Guerbet, Christophe Rousselle (2015) Non-monotonic dose-response relationships and endocrine disruptors: a qualitative method of assessment. *Environ Health.*; 14: 13.
- 52 Andrea C. Gore et al. Introduction to Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs) A Guide for Public Interest Organizations and Policy-Makers 2014 A Joint Endocrine Society-IPEN initiative www.ipen.org
- 53 State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals 2012, United Nations Environment Programme and the World Health Organization, 2013 <http://www.who.int/ceh/publications/endocrine/en/>
- 54 Reijnders, Peter J.H.,(1994): Toxicokinetics of chlorobiphenyls and associated physiological risk responses in marine mammals, with particular reference to their potential for ecotoxicological risk assessment. *Sci. Total Environ* 154 229-236
- 55 Edyvane, K. (1995) Issues in the South Australian Marine Environment, State of the Marine Environment Report for Australia. South Australia Research & Development Institute.
- 56 https://www.ospar.org/site/assets/files/7413/ospar_assessment_sheet_cemp_imposex_2014.pdf
- 57 Raquel Chamorro-García, Bassem M. Shoucri, Sigal Willner, Heidi Käich, Amanda Janesick, Bruce Blumberg. (2018) Effects of Perinatal Exposure to Dibutyltin Chloride on Fat and Glucose Metabolism in Mice, and Molecular Mechanisms, in Vitro. *Environ Health Perspect*; DOI:10.1289/EHP3030
- 58 State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals 2012, United Nations Environment Programme and the World Health Organization, 2013 <http://www.who.int/ceh/publications/endocrine/en/>
- 59 Raquel Chamorro-García et al., (2018)
- 60 Xinqiang Zhu, Yukinori Kusaka, Kazuhiro Sato, and Qunwei Zhang (2000) The endocrine disruptive effects of mercury *Environ Health Prev Med.* 4(4): 174-183. doi: 10.1007/BF02931255
- 61 Global Mercury Hotspots. A Publication by the Biodiversity Research Institute and IPEN Updated: October 2014 Initial Release: January 9, 2013 http://www.ipen.org/sites/default/files/documents/BRI-IPEN-report-update-102214%20for%20web_0.pdf
- 62 Health Canada: http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/mercure/q47-q56_e.html
- 63 <https://www.smh.com.au/environment/conservation/deadly-diet-of-marine-plastic-kills-seabirds-20110513-1emff.html>
- 64 Mercury monitoring in women of child-bearing age in Asia and the Pacific Region April 2017, Lee Bell IPEN Mercury Adviser www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/News/Mercury%20Monitoring%20Women%20Asia%20Pacific%20April%202011%20Short.pdf
- 65 Corresponding with the U.S. EPA's reference dose (RfD) of 0.1 microgram per kilogram per body weight per day (ug/kg bw/day) and a blood mercury concentration of 4-5 µg/L.
- 66 Schecter AI, Dai LC, Pápke O, Prange J, Constable JD, Matsuda M, Thao VD, Piskac AL. (2001) Recent dioxin contamination from Agent Orange in residents of a southern Vietnam city. *J Occup Environ Med* 43(5):435-43.
- 67 Martin Scheringer, Sebastian Stempel, Sirja Hukari, Carla A. Ng, Markus Blepp, Konrad Hungerbühler (2012) How Many persistent organic pollutants should we expect? *Atmospheric Pollution Research* Vol. 3: 4 3383-391
- 68 Bigot et al., (2016)
- 69 Bigot et al., (2016)
- 70 Strobel, A., Burkhardt-Holm, P., Schmid, P., Segner, H., (2015). Benzo (a) pyrene metabolism and EROD and GST biotransformation activity in the liver of red-and white-blooded Antarctic fish. *Environ. Sci. Technol.* 49, 8022- 8032
- 71 Alan J. Jamieson, Tamas Malkocs, Stuart B. Piertney, Toyonobu Fujii, Zulin Zhang (2017) Bioaccumulation of persistent organic pollutants in the deepest ocean fauna. *Nature Ecology & Evolution* 1, 0051 DOI: 10.1038/s41559-016-0051 www.nature.com/natecoleval
- 72 Gallo et al. (2018)
- 73 Jartun M, Ottesen RT, Steinnes E, Volden T (2009) Painted surfaces-important sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) contamination to the urban and marine environment. *Environ Pollut* 157(1):295-302
- 74 Strobel, A., et al., (2016) Persistent organic pollutants in tissues of the white-blooded Antarctic fish *Champocephalus gunnari* and *Chaenocephalus aceratus* *Chemosphere* 161:555-562 <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.089>
- 75 Feng Guo, Lei Wang, Wen-Xiong Wang (2012) Acute and Chronic Toxicity of Polychlorinated Biphenyl 126 to *Tigriopus Japonicus*: Effects on Survival, Growth, Reproduction and Intrinsic Rate of Population Growth, *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 31, No. 3, pp. 639-645,

- 76 Alan J. Jamieson, Tamas Malkocs, Stuart B. Piertney, Toyonobu Fujii, Zulin Zhang (2017) Bioaccumulation of persistent organic pollutants in the deepest ocean fauna. *Nature Ecology & Evolution* 1, 0051 DOI: 10.1038/s41559-016-0051 www.nature.com/natecolevol
- 77 Feng Guo et al (2012)
- 78 <https://projectearth.us/new-lawsuits-target-monsanto-over-lingering-chemicals-a-1796423567>
- 79 Richard A. (2010) Lovett Oceans release DDT from decades ago. *Nature* doi:10.1038/news.2010.4
- 80 Stemmler, I. & Lammel, G. (2009). Cycling of DDT in the global environment 1950–2002: World ocean returns the pollutant *Geophys. Res. Lett.* 36, L24602 <https://www.nature.com/news/2010/100107/full/news.2010.4.html>
- 81 An isomer describes two or more compounds with the same formula but a different arrangement of atoms in the molecule and different properties.
- 82 UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.8 Risk profile on alpha hexachlorocyclohexane Nov 2007 <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/TheNewPOPs/tabid/2511/Default.aspx>
- 83 UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.9 Risk profile on beta hexachlorocyclohexane Nov 2007 <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/TheNewPOPs/tabid/2511/Default.aspx>
- 84 OSPAR Commission, 2006: OSPAR background document on lindane https://www.ospar.org/documents%5cdbase%5cpublications%5cp00153_Background%20document%20on%20lindane%20updated.pdf
- 85 UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.9 Risk profile on beta hexachlorocyclohexane Nov 2007 <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/TheNewPOPs/tabid/2511/Default.aspx>
- 86 OSPAR Commission, 2006: OSPAR background document on lindane https://www.ospar.org/documents%5cdbase%5cpublications%5cp00153_Background%20document%20on%20lindane%20updated.pdf
- 87 UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.9 Risk profile on beta hexachlorocyclohexane Nov 2007 <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/TheNewPOPs/tabid/2511/Default.aspx>
- 88 OSPAR Commission, 2006: OSPAR background document on lindane https://www.ospar.org/documents%5cdbase%5cpublications%5cp00153_Background%20document%20on%20lindane%20updated.pdf
- 89 Wang Y. et.al. (2007). Investigation of organochlorine pesticides (OCPs) in mollusks collected from coastal sites along the Chinese Bohai Sea from 2002 to 2004. *Environ Pollut.* 146(1), p. 100-6
- 90 UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.9 Risk profile on beta hexachlorocyclohexane Nov 2007 <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/TheNewPOPs/tabid/2511/Default.aspx>
- 91 Public Health Statement Hexachlorobenzene Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology and Human Health Sciences August 2015 www.atsdr.cdc.gov
- 92 D.J. Mukesh Kumar, S.Dinesh Kumar, D. Kubendran, P.T. Kalaichelva Hexachlorobenzene- Sources, Remediation And Future Prospects *Int J Cur Res Rev*, Jan 2013/Vol 05 (01)
- 93 Des W. Connell, Gregory, J. Miller, Munro R. Mortimer, Glen R. Shaw and Shelly M. Anderson Persistent Lipophilic Contaminants And Other Chemical Residues In The Southern Hemisphere <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/42cf47eb-4ae5-47db-b983-ec1c3679ab74/files/connell.pdf>
- 94 UNEP/POPS/POPRC.8/16/Add.2 Risk profile on hexachlorobutadiene 2012
- 95 IPEN GUIDE TO NEW POPs, April 2017 <https://ipen.org/documents/ipen-guide-new-pops-april-2017>
- 96 UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.7 Risk profile on pentachlorobenzene Nov. 2007
- 97 UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.7 Risk profile on pentachlorobenzene Nov. 2007
- 98 UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.7 Risk profile on pentachlorobenzene Nov. 2007
- 99 UNEP/POPS/POPRC.9/13/Add.3 Risk profile on pentachlorophenol and its salts and esters Oct. 2013
- 100 UNEP/POPS/POPRC.9/13/Add.3 Risk profile on pentachlorophenol and its salts and esters Oct. 2013
- 101 UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2 Risk profile on hexabromocyclododecane Oct. 2010
- 102 UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2 Risk profile on hexabromocyclododecane Oct. 2010
- 103 Gallo et al. (2018)
- 104 Bart N Zegers, Anhelique Mets, Ronald van Bommel, Jan P Boon. (2005) Levels of Hexabromocyclododecane in Harbor Porpoises and Common Dolphins from Western European Seas, with Evidence for Stereoisomer-Specific Biotransformation by Cytochrome P450, *Environmental Science and Technology* 39(7):2095-100 DOI:10.1021/es049209t
- 105 Gallo et al. (2018)
- 106 The neuroendocrine system regulates reproduction, metabolism, eating and drinking behaviour, energy utilization and blood pressure.
- 107 UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2 Risk profile on hexabromocyclododecane Oct. 2010
- 108 UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.6 Commercial Octabromodiphenyl Ether Risk Profile Dec 2007

- 109 UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.1 Risk profile on commercial pentabromodiphenyl ether Nov. 2006
- 110 UNEP/POPS/POPRC.10/10/Add.2 Risk profile on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE) Nov.2014
- 111 UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.1 Risk profile on commercial pentabromodiphenyl ether Nov. 2006
- 112 Herzke D, Berger U, Kallenborn R, Nygard T, Vetter W. (2005) Brominated flame retardants and other organobromines in Norwegian predatory bird eggs. *Chemosphere* 61: 441-449. Also see Knudsen LB, Gabrielsen GW, Verreault J, Barrett R, Skare JU, Polder A, Lie E. Temporal trends of brominated flame retardants, cyclododeca-1,5,9-triene, and mercury in eggs of four seabird species from Northern Norway and Svalbard, Norwegian Polar Institute, Tromsø University Museum, National Veterinary Institute of Norway, Norwegian School of Veterinary Science. SPFO-Report 942/2005, December 2005
- 113 UNEP/POPS/POPRC.10/10/Add.2 Risk profile on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE) Nov.2014
- 114 Lebeuf M, Gouteux B, Measures L, Trottier S. (2004) Levels and temporal trends (1988-1999) of polybrominated diphenyl ethers in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary, Canada. *Environ Sci Technol* 38:2971-2977
- 115 Erin Markham, Emily K. Brault, Mohammed Khairy, Anna R. Robuck, Michael E. Goebel, Mark G. Cantwell, Rebecca M. Dickhut, Rainer Lohmann (2018) Time Trends of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Antarctic Biota. *ACS Omega*, 3 (6), pp 6595-6604
- 116 UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.1 Risk profile on commercial pentabromodiphenyl ether Nov. 2006
- 117 UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.6 Commercial Octabromodiphenyl Ether Risk Profile Dec 2007
- 118 UNEP/POPS/POPRC.10/10/Add.2 Risk profile on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE) Nov.2014
- 119 Lucio G Costa, Gennaro Giordano. (2007) Developmental neurotoxicity of polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants, *NeuroToxicology* 28(6):1047-1067 DOI:10.1016/j.neuro.2007.08.007
- 120 UNEP/POPS/POPRC.10/10/Add.2 Risk profile on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE) Nov.2014
- 121 UNEP/POPS/POPRC.10/10/Add.2 Risk profile on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE) Nov.2014
- 122 <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-20/3m-is-said-to-settle-minnesota-lawsuit-for-up-to-1-billion>
- 123 <https://www.reuters.com/article/us-du-pont-lawsuit-west-virginia/dupont-settles-lawsuits-over-leak-of-chemical-used-to-make-teflon-idUSKBN15S18U>
- 124 PFAS National Environmental Management Plan January 2018 http://www.epa.vic.gov.au/~media/Files/Your%20environment/Land%20and%20groundwater/PFAS%20in%20Victoria/PFAS%20NEMP/FINAL_PFAS-NEMP-20180110.pdf
- 125 <http://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/>
- 126 PFAS National Environmental Management Plan January 2018 http://www.epa.vic.gov.au/~media/Files/Your%20environment/Land%20and%20groundwater/PFAS%20in%20Victoria/PFAS%20NEMP/FINAL_PFAS-NEMP-20180110.pdf
- 127 UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.5 Risk profile on perfluorooctane sulfonate Nov.2006
- 128 Proposal to list perfluorohexane sulfonic acid (CAS No: 355-46-4, PFHxS), its salts and PFHxS-related compounds in Annexes A, B and/or C to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. UNEP/POPS/POPRC.13/4. 2017
- 129 UNEP/POPS/POPRC.12/11/Add.2 Risk profile on pentadecafluorooctanoic acid (CAS No: 335-67-1, PFOA, perfluorooctanoic acid), its salts and PFOA-related compounds Oct.2016
- 130 UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.5 Risk profile on perfluorooctane sulfonate Nov.2006
- 131 Li L, Zheng H, Wang T, Cai M, Wang P. (2018) Perfluoroalkyl acids in surface seawater from the North Pacific to the Arctic Ocean: Contamination, distribution and transportation. *Environ Pollut*. 16;238:168-176. doi: 10.1016/j.envpol.2018.03.018. [Epub ahead of print] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29554564>
- 132 Yitao Pan, Hongxia Zhang, Qianqian Cui, Nan Sheng, Leo W. Y. Yeung Yan Sun, Yong Guo, and Jiayin Dai (2018) Worldwide Distribution of Novel Perfluoroether Carboxylic and Sulfonic Acids in Surface Water. *Environ. Sci. Technol.*, Article ASAP DOI: 10.1021/acs.est.8b00829
- 133 Llorca M et al., (2014) Levels and fate of perfluoroalkyl substances in beached plastic pellets and sediments collected from Greece. *Mar Pollut Bull.* 15;87(1-2):286-91
- 134 UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.5 Risk profile on perfluorooctane sulfonate Nov.2006
- 135 Kurunthachalam Kannan, Se Hun Yun and Thomas J. Evans (2005) Chlorinated, Brominated, and Perfluorinated Contaminants in Livers of Polar Bears from Alaska. *Environ. Sci. Technol.*, 39 (23), 9057-9063
- 136 Smithwick M, Mabury SA, Solomon KR, Sonne C, Martin JW, Born EW, Dietz R, Derocher AE, Letcher RJ, Evans TJ, Gabrielsen GW, Nagy J, Stirling I, Taylor MK, Muir DC. (2005) Circumpolar

- study of perfluoroalkyl contaminants in polar bears (*Ursus maritimus*). *Environ Sci Technol.* 1;39 (15):5517-23
- 137 Bossi R, Riget FF, Dietz R. (2005) Temporal and spatial trends of perfluorinated compounds in ringed seal (*Phoca hispida*) from Greenland. *Environ Sci Technol.* 1;39(19):7416-22
- 138 Magali Houde, Trevor A.D. Bujas, Jeff Small, Randall S. Wells, Patricia A. Fair, Gregory D. Bossart, Keith R. Solomon, & Derak C.G. Muir. (2006) Biomagnification of Perfluoroalkyl Compounds in the Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*) Food Web, *Environmental Science & Technology*, Vol. 40, No. 13, pp4138- 4141
- 139 Verreault J, Houde M, Gabrielsen GW, Berger U, Haukas M, Letcher RJ, Muir DC., (2005) Perfluorinated alkyl substances in plasma, liver, brain, and eggs of glaucous gulls (*Larus hyperboreus*) from the Norwegian arctic. *Environ Sci Technol* Oct 1;39(19):7439-45
- 140 Jesus Olivero-Verbel, Lin Tao, Boris Johnson-Restrepo, Jorge Guette-Fernández, Rosa Baldiris-Avila, Indira O'byrne-Hoyos and Kurunthachalam Kannan. (2006) Perfluorooctanesulfonate and related fluorochemicals in biological samples from the north coast of Colombia. *Environmental Pollution*, 142(2):367-372
- 141 Gregg T. Tomy, Wes Budakowski, Thor Halldorson, Paul A. Helm, Gary A. Stern, Ken Friesen, Karen Pepper, Sheryl A. Tittlemier, Aaron T. Fisk, (2004) Fluorinated Organic Compounds in an Eastern Arctic Marine Food Web, *Environ. Sci. Technol.*, 38 (24), 6475 -6481
- 142 Jennifer M. Keller, Kurunthachalam Kannan, Sachi Taniyasu, Nobuyoshi Yamashita, Rusty D. Day, Michael D. Arendt, Al L. Segars, John R. Kucklick, (2005) Perfluorinated Compounds in the Plasma of Loggerhead and Kemp's Ridley Sea Turtles from the Southeastern Coast of the United States. *Environ. Sci. Technol.*, 39 (23), 9101 -9108
- 143 Action plan on perfluorocarboxylic acids and precursors, Environment Canada and Health Canada, <http://www.ec.gc.ca/nopp/DOCS/consult/PFCA/EN/actionPlan.cfm>.
- 144 Yanna Liu, Manli Qian, Xinxin Ma, Lingyan Zhu, Jonathan W. Martin (2018) Nontarget Mass Spectrometry Reveals New Perfluoroalkyl Substances in Fish from the Yangtze River and Tangxun Lake, *China Environ. Sci. Technol.*, DOI: 10.1021/acs.est.8b00779
- 145 Keiter, S., et al., (2012) Long-term effects of a binary mixture of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and bisphenol A (BPA) in zebrafish (*Danio rerio*) *Aquatic toxicology* (Amsterdam, Netherlands) 118-119:116-29
- 146 UNEP/POPS/POPRC.12/11/Add.2 Risk profile on pentadecafluorooctanoic acid (CAS No: 335-67-1, PFOA, perfluorooctanoic acid), its salts and PFOA-related compounds Oct.2016
- 147 UNEP/POPS/POPRC.12/11/Add.2 Risk profile on pentadecafluorooctanoic acid (CAS No: 335-67-1, PFOA, perfluorooctanoic acid), its salts and PFOA-related compounds Oct.2016
- 148 Rodea-Palomares et al., (2015)
- 149 Ding G1, Zhang J, Chen Y, Wang L, Wang M, Xiong D, Sun Y. (2013) Combined effects of PFOS and PFOA on zebrafish (*Danio rerio*) embryos. *Arch Environ Contam Toxicol.* 64(4):668-75. doi: 10.1007/s00244-012-9864-2.
- 150 Proposal to list perfluorohexane sulfonic acid (CAS No: 355-46-4, PFHxS), its salts and PFHxS-related compounds in Annexes A, B and/or C to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. UNEP/POPS/POPRC.13/4. 2017
- 151 Health-Based Maximum Contaminant Level Support Document: Perfluorononanoic Acid (PFNA) New Jersey Drinking Water Quality Institute Health Effects Subcommittee June 22, 2015
- 152 Draft consolidated guidance on alternatives to perfluorooctane sulfonic acid and its related chemicals UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15 26 July 2016
- 153 Gorrochategui E, Pérez-Albaladejo E, Casas J, Lacorte S, Porte. (2014) Perfluorinated chemicals: differential toxicity, inhibition of aromatase activity and alteration of cellular lipids in human placental cells. *Toxicol Appl Pharmacol.* 1;277(2):124-30. doi: 10.1016/j.taap.2014.03.012.
- 154 An Hagenaaars, Lucia Vergauwen, Wim de coen, Dries Knapen. (2011) Structure-activity relationship assessment of four perfluorinated chemicals using a prolonged zebrafish early life stage test, *January Chemosphere* 82(5):764-72 DOI:10.1016/j.chemosphere.2010.10.076
- 155 Lutz Ahrens, Jelena Rakovic, Siri Axelsson, Roland Kallenborn, Source tracking and impact of per-andpolyfluoroalkyl substances at Svalbard- FluorosImpact - Department of Aquatic Sciences and Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences April 2016 <https://www.syssellmannen.no/globalassets/svalbards-miljoevernfond-dokument/prosjekter/rapporter/2016/14-103-sluttrapport.pdf>
- 156 Toxic Industrial Chemical Recommended for Global Prohibition Contaminates Children's Toys Pamela Miller and Joseph DiGangi, Ph.D. April 2017; www.ipen.org
- 157 UNEP/POPS/POPRC.11/10/Add.2 Risk profile on short-chained chlorinated paraffins Nov. 2015
- 158 UNEP/POPS/POPRC.5/10/Add.2 Risk profile on endosulfan Oct. 2009
- 159 UNEP/POPS/POPRC.5/10/Add.2 Risk profile on endosulfan Oct. 2009

- 160 Neal T. Halstead, David J. Civitello, Jason R. Rohr (2015) Comparative toxicities of organophosphate and pyrethroid insecticides to aquatic macroarthropods, *Chemosphere* 135:265-271 DOI 10.1016/j.chemosphere.2015.03.091
- 161 Ronald W. Patra, John C. Chapman, Richard P. Lim, And Peter C. Gehrke (2007) The Effects of Three Organic Chemicals on the Upper Thermal Tolerances of Four Freshwater Fishes, *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 26, No. 7, pp. 1454-1459
- 162 Renato Russo., Jeremias Becker., Matthias Liess (2018) Sequential exposure to low levels of pesticides and temperature stress increase toxicological sensitivity of crustaceans *Science of The Total Environment* 610-611:563-569 DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.08.073
- 163 J.C. Anderson, C. Dubetz, V.P. Palace, (2015) Neonicotinoids in the Canadian aquatic environment: A literature review on current use products with a focus on fate, exposure, and biological effects, *Science of The Total Environment*, Vol. 505, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.090.
- 164 John Struger, Josey Grabuski, Steve Cagampan, Ed Sverko, Daryl McGoldrick, Christopher H. Marvin (2017) Factors influencing the occurrence and distribution of neonicotinoid insecticides in surface waters of southern Ontario, Canada, *Chemosphere*, Vol. 169, doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.036.
- 165 Annika Agatz, Roman Ashauer, Colin Brown, (2014) Imidacloprid perturbs feeding of *Gammarus pulex* at environmentally relevant concentrations *Environmental Toxicology and Chemistry* 33(3) DOI 10.1002/etc.2480
- 166 USEPA 2017 Preliminary Aquatic Risk Assessment to Support the Registration Review of Imidacloprid. Office of Chemical Safety and Pollution Prevention. Washington DC <https://www.epa.gov/pesticides/epa-releases-neonicotinoid-assessments-public-comment>
- 167 Sharon E. Hook, Hai Doan, Debra Gonzago, Dean Musson, Jun Du, Rai Kookana, Melony J. Sellars, Anu Kumar (2018) The impacts of modern-use pesticides on shrimp aquaculture: An assessment for north eastern Australia, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 148, doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.028.
- 168 Kaimin Yu, Guochao Li, Weimin Feng, Lili Liu, Yanchun Yan (2015) Chlorpyrifos is estrogenic and alters embryonic hatching, cell proliferation and apoptosis in zebrafish, *Chem Biol Interact.* Sep 5;239:26-33
- 169 Giddings J.M., Williams W.M., Solomon K.R., Giesy J.P. (2014) Risks to Aquatic Organisms from Use of Chlorpyrifos in the United States. In: Giesy J., Solomon K. (eds) *Ecological Risk Assessment for Chlorpyrifos in Terrestrial and Aquatic Systems in the United States. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology (Continuation of Residue Reviews)*, vol 231. Springer, Cham. doi. org/10.1007/978-3-319-03865-0_5
<http://dev.panap.net/sites/default/files/monograph-chlorpyrifos.pdf>
- 170 Jessup DA, Johnson CK, Estes J, Carlson-Bremer D, Jarman WM, Reese S, Dodd E, Tinker MT, Ziccardi MH. (2010) Persistent organic pollutants in the blood of free-ranging sea otters (*Enhydra lutris*ssp.) in Alaska and California. *J Wildlife Dis* 46(4):1214-33.
- 172 IARC Monographs Some organophosphate and insecticides and herbicides, Vol. 112 2017
- 173 Emerging Environmental Concern in Auckland's Aquatic Sediments. ARC Technical Report 2009/021. Prepared by National Institute of Water and Atmosphere for Auckland Regional Council, Auckland
- 174 Stachowski-Haberkorn S, Becker B, Marie D, Haberkorn H, Coroller L, de la Broise D. (2008) Impact of Roundup on the marine microbial community, as shown by an in situ microcosm experiment. *Aquat Toxicol* 89(4):232-41.
- 175 Philip Mercurio, Florita Flores, Jochen F. Mueller, Steve Carter, Andrew P. Negri, (2014) Glyphosate persistence in seawater, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 85, Issue 2, Pages 385-390
- 176 Marliese Guerrero Schimpf, María M. Milesi, Paola I. Ingaramo, Enrique H. Luque, Jorgelina Varayoud (2017) Neonatal exposure to a glyphosate based herbicide alters the development of the rat uterus, *Toxicology* 1;376:2-14. doi: 10.1016/j.tox.2016.06.004.
- 177 María M. Milesi, Virginia Lorenz, Guillermina Pacini, María R. Repetti, Luisina D. Demonte, Jorgelina Varayoud, Enrique H. Luque. (2018) Perinatal exposure to a glyphosate-based herbicide impairs female reproductive outcomes and induces second-generation adverse effects in Wistar rats *Archives of Toxicology*, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00204-018-2236-6>
- 178 Stachowski-Haberkorn et al., (2008).
- 179 Qiu H, Geng J, Ren H, Xia X, Wang X, Yu Y. (2013) Physiological and biochemical responses of *Microcystis aeruginosa* to glyphosate and its Roundup® formulation. *J Hazard Mater* 248-249:172-6.
- 180 Pérez GL, Torremorell A, Mugni H, Rodríguez P, Solange Vera M, do Nascimento M, Allende L, Bustingorry J, Escaray R, Ferraro M, Izaguirre I, Pizarro H, Bonetto C, Morris DP, Zagarese H. (2007) Effects of the herbicide Roundup on freshwater microbial communities: a mesocosm study. *Ecol Appl* 17(8):2310-22.

- 181 J. R. Rice, P. Dunlap, S. Ramaiahgari, S. Ferguson, S. L. Smith-Roe, and M. DeVito., Effects Of Glyphosate And Its Formulations On Markers Of Oxidative Stress And Cell Viability In HepaRG And HaCaT Cell Lines. U.S. National Toxicology Program, 2018
- 182 Juliette King, Frances Alexander, John Brodie, (2013) Regulation of pesticides in Australia: The Great Barrier Reef as a case study for evaluating effectiveness, Agriculture, Ecosystems and Environment 180 54-67
- 183 Stephen E. Lewis, Jon E. Brodie, Zoe T. Bainbridge, Ken W. Rohde, Aaron M. Davis, Bronwyn L. Masters, Mirjam Maughan, Michelle J. Devlin, Jochen F. Mueller, Britta Schaffelke, (2009) Herbicides: A new threat to the Great Barrier Reef, Environmental Pollution 157 2470-2484
- 184 Lewis, S., Brodie, J., Andersen, J., Armour, J., Baillie, C., Davis, A., Eaglesham, G., Elledge, A.E., Fillols, E., Flores, F., Gallen, C., Kookana, R., McHugh, J., Masters, B., Mercurio, P., Mortimore, C., Mueller, J., Negri, A.P., O'Brien, D., Oliver, D., Packett, B., Paxman, C., Rojas-Ponce, S., Shaw, M., Silburn, D.M., Smith, R., Thornton, C.M., Turner, R., Warne, M. (2014). Pesticide Dynamics in the Great Barrier Reef Catchment and Lagoon: Management practices (sugar, grazing, bananas) and risk assessments: Overview report for project number RRRD037 and RRRD038. Report to the Reef Rescue Water Quality Research & Development Program. Reef and Rainforest Research Centre Limited, Cairns (22pp.). ISBN 978-1-925088-24 3.
- 185 Frederieke J Kroon, Sharon E Hook, Dean Jones, Suzanne Metcalfe, Brent Henderson, Rachael Smith, Michael St. J. Warne, Ryan D. Turner, Adam McKeown, David A. Westcott, (2015) Altered transcription levels of endocrine associated genes in two fisheries species collected from the Great Barrier Reef catchment and lagoon Marine Environmental Research 104C:51-61 DOI 10.1016/j.marenvres.2015.01.00
- 186 Kefford, B.J., Wood, R.J., Mitrovic, S. and von der Ohe, P. (2014) Biomonitoring effects of pesticides in rivers draining on to the Great Barrier Reef. Final report for project number RRRD058: A novel biological method of monitoring herbicides. Report to the Reef Rescue Water Quality Research & Development Program. Reef and Rainforest Research Centre Limited, Cairns (109pp.).ISBN: 978-1-925088-18-2
- 187 Moche W, Thanner G. Federal Environment Agency of Austria, Vienna, Austria. Levels of PBDE in effluents and sludge from sewage treatment plants in Austria. Brominated Diphenyl Ether (BDE) Residues in Canadian Human Fetal Liver and Placenta. Third International Workshop on Brominated Flame Retardants, University of Toronto, Ontario, Canada, June 6-9, 2004;
- 188 Hale RC, Alace M, Manchester-Neesvig JB, Stapleton HM, Ikonomou MG (2003) Polybrominated diphenyl ether flame retardants in the North American environment. Environ Int 29:771-779
- 189 Higgins CP, Field JA, Criddle CS, & Luthy RG., (2005) Quantitative determination of perfluorochemicals in sediments and domestic sludge. Environ Sci Technol. June 1;39 (11):3946-56
- 190 Stewart, M. Pharmaceutical Residues in the Auckland Estuarine Environment. (Prepared by NIWA for Auckland Council, 2013).
- 191 Watkinson, A. J., Murby, E. J., Kolpin, D. W. & Costanzo, S. D. (2009) The occurrence of antibiotics in an urban watershed: from wastewater to drinking water. Sci. Total Environ. 407, 2711-2723
- 192 Dr Kirstie Murdoch, Pharmaceutical Pollution in the Environment: Issues for Australia, New Zealand and Pacific Island countries, National Toxics Network 2015 <http://www.ntn.org.au/wp/wp-content/uploads/2015/05/NTN-Pharmaceutical-Pollution-in-the-Environment-2015-05.pdf>
- 193 Hughes, S. R., Kay, P. & Brown, L. E. (2012) Global Synthesis and Critical Evaluation of Pharmaceutical Data Sets Collected from River Systems. Environ. Sci. Technol. 47, 661-677
- 194 Emnet, P., Gaw, S., Northcott, G., Storey, B. & Graham, L. Personal care products and steroid hormones in the Antarctic coastal environment associated with two Antarctic research stations, McMurdo Station and Scott Base. Environ. Res. 136, 331-342 (2015)
- 195 Karen A. Kidd, Paul J. Blanchfield, Kenneth H. Mills, Vince P. Palace, Robert E. Evans, James M. Lazorchak, and Robert W. Flick (2007) Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 104, 8897-8901
- 196 Kidd, K. A., Patterson MK., Rennie MD., Findaly DL., Liber K. (2014) Direct and indirect responses of a freshwater food web to a potent synthetic oestrogen. Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 369.
- 197 <https://www.theguardian.com/travel/2018/may/03/hawaii-becomes-first-us-state-to-ban-sunscreen-harmful-to-coral-reefs>
- 198 Roberto Danovaro, Lucia Bongiorno, Cinzia Corinaldesi, Donato Giovannelli, Elisabetta Damiani, Paola Astolfi, Lucedio Greci, and Antonio Pusceddu (2008) Sunscreens Cause Coral Bleaching by Promoting Viral Infections Environ Health Perspect. 116(4): 441-447. doi: 10.1289/ehp.10966
- 199 Downs, C.A., Kramarsky-Winter, E., Segal, R. et al. (2016) Toxicopathological Effects of the Sunscreen UV Filter, Oxybenzone (Benzophenone-3), on Coral Planulae and Cultured Primary Cells and Its Environmental Contamination in Hawaii and the U.S. Virgin Islands Arch Environ Contam Toxicol 70: 265. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0227-7>
- 200 <http://www.waterencyclopedia.com/Oc-Po/Oil-Spills-Impact-on-the-Ocean.html>

- 201 <https://www.newscientist.com/article/mg17723831-400-ecowar-looms-in-the-pacifics-pristine-waters/>
- 202 Oil spills: A major marine ecosystem threat <http://www.noaa.gov/explainers/oil-spills-major-marine-ecosystem-threat>
- 203 Leila J. Hamdan, Jennifer L. Salerno, Allen Reed, Samantha B. Joye & Melanie Damour. (2018) The impact of the Deepwater Horizon blowout on historic shipwreck-associated sediment microbiomes in the northern Gulf of Mexico Scientific Reports Volume 8, Article number: 9057
- 204 Fiona M. Mitchell And Douglas A. Holdway. (2000) The Acute and Chronic Toxicity of the Dispersants Corexit 9527 and 9500, Water Accommodated Fraction (WAF) of Crude Oil, And Dispersant Enhanced Waf (DEWAF) To Hydra Viridissima (Green Hydra) Wat. Res. Vol. 34, No. 1, pp. 343-348
- 205 Yanling Chen, David H. Reese. (2016) Corexit-EC9527A Disrupts Retinol Signaling and Neuronal Differentiation in P19 Embryonal Pluripotent Cells PLoS One. 2016; 11(9): e0163724. doi: 10.1371/journal.pone.0163724
- 206 Patrick Schwing, Bryan J O'malley, David J Hollander (2018) Resilience of benthic foraminifera in the Northern Gulf of Mexico following the Deepwater Horizon event (2011–2015) Ecological Indicators 84:753-764 DOI:10.1016/j.ecolind.2017.09.044
- 207 Steven A. Murawski, William T. Hogarth, Ernst B. Peebles, Luiz Barbeiri (2014) Prevalence of External Skin Lesions and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Concentrations in Gulf of Mexico Fishes, Post-Deepwater Horizon, Transactions of the American Fisheries Society, 143:4, 1084-1097, DOI:10.1080/00028487.2014.911205
- 208 Sundt RC, Pampanin DM, Grung M, Baršienė, Ruus A (2011) PAH body burden and biomarker responses in mussel (*Mytilus edulis*) exposed to produced water from North Sea oil field: Laboratory and field assessments. Mar. Poll. Bull. 62:1498-1505
- 209 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Environment and Natural Resources (ENR) Government of the Northwest Territories, Canada <http://www.enr.gov.nt.ca/sites/enr/files/pahs.pdf>
- 210 Kelly, E. N., Short, J. W., Schindler, D. W., Hodson, P. V., Ma, M., Kwan, A. K., and B. L. Fortin. (2009). Oil sands development contributes polycyclic aromatic compounds to the Athabasca River and its tributaries. Proc. Natl Acad. Sci. USA. 106 (52):22346-22351 www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0912050106
- 211 www.enr.gov.nt.ca/files/polycyclic-aromatic-hydrocarbons-pahs-fact-sheet
- 212 Thamaraiselvan Rengarajan, Peramaiyan Rajendran, Natarajan Nandakumar, Boopathy Lokeshkumar, Palaniswami Rajendran, Ikuo Nishigaki. (2015) Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine Vol. 5, Issue 3, 182-189 [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(15\)30003-4](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(15)30003-4)
- 213 Brown DR, Bailey JM, Oliveri AN, Levin ED, and Di Giulio RT (2016) Developmental exposure to a complex PAH mixture causes persistent behavioral effects in naive *Fundulus heteroclitus* (killifish) but not in a population of PAH-adapted killifish Neurotoxicol Teratol. 53: 55–63. doi: 10.1016/j.ntt.2015.10.007
- 214 Gregory et al., (2017) Reptilian Exposure To Polycyclic Aromatic Hydrocarbons And Associated Effects Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 36, No. 1, pp. 25–35, 2017
- 215 Kang X, Gale Hagood, Christina Childers, Jack Atkins, Beth Rogers, Lee Ware, Kevin Armbrust, Joe Jewell, Dale Diaz, Nick Gatian, and Henry Folmer. (2012) Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Mississippi Seafood from Areas Affected by the Deepwater Horizon Oil Spill. Environ. Sci. Technol., 46 (10), pp 5310–5318
- 216 G. J. Partridge, R. J. Michael (2010) Direct and indirect effects of simulated calcareous dredge material on eggs and larvae of pink snapper *Pagrus auratus*. Journal of Fish Biology Vol. 77: 1227-240
- 217 M. M. Dennis, B. K. Diggles, R. Faulder, L. Olyott, S. B. Pycroft, G. E. Gilbert, M. Landos (2016) Pathology of finfish and mud crabs *Scylla serrata* during a mortality event associated with a harbour development project in Port Curtis, Australia. Dis Aquat Org 121: 173-188
- 218 Environment Australia, National Ocean Disposal Guidelines for Dredged Material May 2002, Commonwealth of Australia 2002
- 219 Peter A. Todd, Xueyuan Ong, Loke Ming Chou (2010) Impacts of pollution on marine life in Southeast Asia. Biodivers Conservation Vol. 19, Issue 4, pp 1063-1082 DOI 10.1007/s10531-010-9778-0
- 220 Dennis et al., (2016)
- 221 Dennis et al., (2016)
- 222 Flint M., Eden PA, Limpus CJ, Owen H, Gaus C, Mills PC. (2015) Clinical and Pathological Findings in Green Turtles (*Chelonia mydas*) from Gladstone, Queensland: Investigations of a Stranding Epidemic. Ecohealth. 12(2):298-309. doi: 10.1007/s10393-014-0972-5.
- 223 Bernhard Dold (2014) Submarine Tailings Disposal (STD) - A Review. Minerals 4, 642-666; doi:10.3390/min4030642
- 224 Wenbin Ma, Dingena Schott, Gabriël Lodewijks. (2017) A New Procedure for Deep Sea Mining Tailings Disposal Minerals, 7, 47; doi:10.3390/min7040047 www.mdpi.com/journal/minerals

- 225 Elisabetta B. Morello, Michael D.E. Haywood, David T. Brewer, Simon C. Apte, Gert Asmund, Y.T. John Kwong & Darren Dennis (2016) The Ecological Impacts of Submarine Tailings Placement. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 54, 315-366
- 226 Wenbin et al., (2017)
- 227 Morello et al., (2016)
- 228 Wenbin et al., (2017)
- 229 David J. Hughes, Tracy M. Shimmield, Kenneth D. Black & John A. Howe. Ecological impacts of large-scale disposal of mining waste in the deep sea *Scientific Reports* Volume 5, Article number: 9985 (2015)
- 230 Wenbin et al., (2017)
- 231 Infauna refers to benthic animals that live in the substrate of a body of water, especially in a soft sea bottom. Infauna usually construct tubes or burrows and are commonly found in deeper and subtidal waters. Clams, tubeworms, and burrowing crabs are infaunal animals.
- 232 David J. Hughes, Tracy M. Shimmield, Kenneth D. Black, John A. Howe. (2015) Ecological impacts of large-scale disposal of mining waste in the deep sea *Scientific Reports* Volume 5, Article number: 9985
- 233 R.E. Boschen, A.A. Rowden, M.R. Clark, J.P.A. Gardner (2013) Mining of deep-sea sea floor massive sulfides: A review of the deposits, their benthic communities, impacts from mining, regulatory frameworks and management strategies *Ocean & Coastal Management*. Vol. 84, 54-67
- 234 Boschen et al., (2013)
- 235 A monomer is a molecule that forms the basic unit for polymers. Monomers bind to other monomers to form a repeating chain molecule via a process called polymerization.
- 236 Microplastics in marine environments: Occurrence, distribution and effects, Report SNO. 6754-2014 Norwegian Institute for Water Research <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M319/M319.pdf>
- 237 Avio, C.G., et al., (2016) Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat, *Marine Environmental Research*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.05.012>
- 238 Gore et al. (2014)
- 239 Mato, Isobe, Takada, Kahnehiro, Ohtake, and Kaminuma. (2001) Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment *Environ. Sci. Technol.* 35, 318-32
- 240 Fossi et al., (2012) Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenopteryphysalus*), *Marine Pollution Bulletin* Vol. 64, Issue 11, 2374-2379
- 241 Gore et al., (2014)
- 242 American Chemical Society. "Hard plastics decompose in oceans, releasing endocrine disruptor BPA." *Science Daily*. Science Daily, 24 March 2010. <www.sciencedaily.com/releases/2010/03/100323184607.htm>.
- 243 Mato et al., (2001)
- 244 Angelo Massos, Andrew Turner, (2017) Cadmium, lead and bromine in beached microplastics, *Environmental Pollution* 227:139-145
- 245 Yang et al. (2011) Most Plastic Products Release Estrogenic Chemicals: A Potential Health Problem That Can Be Solved *Environ Health Perspect* 119:989-996 <https://ehp.niehs.nih.gov/1003220/>
- 246 Oehlmann J, Schulte-Oehlmann U, Kloas W, Jagnytsch O, Lutz I, Kusk KO, Wollenberger L, Santos EM, Paull GC, Van Look KJW, Tyler CR (2009) A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Phil Trans R Soc B*. <https://doi.org/10.1098>
- 247 Gallo et al. (2018)
- 248 Van der Ven LT, et al. (2008) Endocrine effects of tetrabromobisphenol-A (TBBPA) in Wistar rats as tested in a one-generation reproduction study and a subacute toxicity study. *Toxicology*. 12;245(1-2):76-89. doi: 10.1016/j.tox.2007.12.009. Epub 2007 Dec 23.
- 249 Abdulla Bin-Dohaish el-J. (2012) The effects of 4-nonylphenol contamination on livers of Tilapia fish (*Oreochromis spilurs*) in Jeddah. *Biol Res.*;45(1):15-20. doi: 10.4067/S0716-97602012000100002.
- 250 Gallo et al. (2018)
- 251 Toxicological Profile for Nonylphenol September 2009 Integrated Risk Assessment Branch Office of Environmental Health Hazard Assessment California Environmental Protection Agency www.opc.ca.gov/webmaster/ftp/project_pages/MarineDebris_OEHHA_ToxProfiles/Nonylphenol%20Final.pdf
- 252 www.opc.ca.gov/webmaster/ftp/project_pages/MarineDebris_OEHHA_ToxProfiles/Nonylphenol%20Final.pdf
- 253 California Coastal Commission / Miriam Gordon (2006) "Eliminating Land-based Discharges of Marine Debris in California: A Plan of Action from The Plastic Debris Project," www.plasticdebris.org Note, one year after implementation of the San Francisco ordinance that prohibits the use of

- EPS foodware, San Francisco's litter audit showed a 36% decrease in EPS litter. EPS has a very low recycling rate (California's 0.8%)
- 254 Microplastics in fisheries and aquaculture, Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615, Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017
- 255 Kawamura, Y, Nishi, K, Sasaki, H, Yamada, T. (1998) Determination method of styrene dimers and trimers in instant noodles contained in polystyrene cups. The Agriculture, Forestry and Fisheries Research Information Technology Center FAO <http://www.affrc.go.jp/en/>
- 256 Gallo et al. (2018)
- 257 Hartmann, N.B., Rist, S., Bodin, J., Jensen, L.H., Schmidt, S.N., Mayer, P., Meibom, A., Baun, A., (2017) Microplastics as vectors for environmental contaminants: Exploring sorption, desorption, and transfer to biota. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 13, 488–493. doi:10.1002/ieam.1904
- 258 Chelsea M. Rochman, Eunha Hoh, Tomofumi Kurobe & Swee J. Teh, (2013) Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress *Scientific Reports* 3, Article number: 3263 <http://www.nature.com/articles/srep03263>
- 259 H. Hirai et al. (2011) Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches, *Marine Pollution Bulletin* 62 1683–1692
- 260 Mato, et l., (2001)
- 261 Frias et al, Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 60, Issue 11, November 2010, Pages 1988–1992
- 262 Mato, et al., (2001)
- 263 L.M. Rios et al. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment, *Marine Pollution Bulletin* 54 (2007) 1230–1237
- 264 Massos et al., (2017)
- 265 Llorca et al., (2014)
- 266 Guzzonato et al., Evidence of bad recycling practices: BFRs in children's toys and food-contact articles *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 2017, Advance Article
- 267 Massos et al., (2017)
- 268 Ogata, Y., H. Takada, K. Mizukawa, H. Hirai, S. Iwasa, S. Endo, Y. Mako, M. Saha, K. Okuda, A. Nakashima, and others. (2009) International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants in coastal waters. Part 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Marine Pollution Bulletin* 58:1,437–1,446, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.06.014>.
- 269 Marvin Heskett et al. (2012) Baseline Measurement of persistent organic pollutants (POPs) in plastic resin pellets from remote islands: Toward establishment of background concentrations for International Pellet Watch. *Marine Pollution Bulletin* Volume 64, Issue 2, February, Pages 445–448
- 270 DiGangi J, Strakova J, Bell L (2017) POPs recycling contaminates children's toys with toxic flame retardants, IPEN <http://ipen.org/documents/pops-recycling-contaminates-childrens-toys-toxic-flame-retardants>
- 271 Ionas AC, Dirtu AC, Anthonissen T, Neels H and Covaci A (2014) Downsides of the recycling process: Harmful organic chemicals in children's toys, *Environment International* 65: 54–62
- 272 Samsonek J., Puype F. (2013) Occurrence of brominated flame retardants in black thermo cups and selected kitchen utensils purchased on the European market, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30 (11), 1976–1986.
- 273 Toxic Industrial Chemical Recommended for Global Prohibition Contaminates Children's Toys, Pamela Miller and Joseph DiGangi, Ph.D. April 2017
- 274 Norman C Duke, Alicia M Bell, Dan K Pederson, Susan Maria Bengtson Nash (2005) Herbicides implicated as the cause of severe mangrove dieback in the Mackay region, NE Australia: Consequences for marine plant habitats of the GBR World Heritage Area, *Marine Pollution Bulletin* 51(1-4):308–24 DOI: 10.1016/j.marpolbul.2004.10.040
- 275 Melissa Mary Schultz, Stephen E Bartell, Heiko Schoenfuss (2012) Effects of Triclosan and Tricloro-carban, Two Ubiquitous Environmental Contaminants, on Anatomy, Physiology, and Behavior of the Fathead Minnow (*Pimephales promelas*), *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 63(1):114–24 DOI:10.1007/s00244-011-9748-x
- 276 Judith McDowell Capuzzo, Michael N. Moore and John Widdows (1988) Effects of toxic chemicals in the marine environment: predictions of impacts from laboratory studies *Aquatic Toxicology*, II 303–311
- 277 Toxication or toxification is the conversion of a chemical compound into a more toxic form in living organisms or in substrates such as soil or water.
- 278 Capuzzo et al., (1988)
- 279 Barni MFS, Ondarza PM, Gonzalez M, Da Cuiña R, Meijide F, Grosman F, Sanzano P, Lo Nostro FL, Miglioranza KSB (2016) Persistent organic pollutants (POPs) in fish with different feeding ha-

- bits inhabiting a shallow lake ecosystem. *Sci Total Environ.* 15;550:900-909. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.01.176.
- 280 Lyndal Johnson, Bernadita F. Anulacion, Mary R Arkoosh, Gina M Ylitalo (2013) Effects of Legacy Persistent Organic Pollutants (POPs) in Fish-Current and Future Challenges *Fish Physiology* 33:53-140 DOI:10.1016/B978-0-12-398254-4.00002-9
- 281 Moscrop, A. & Simmonds, M.P. (1995): The Significance of Pollution for Marine Cetaceans, Scientific Committee, International Whaling Commission Review SC/46/O 14.
- 282 Reijnders, P., Donovan, G.P. (April 1995): Report of the Workshop on Chemical Pollution and Cetaceans' Scientific Committee, International Whaling Commission.
- 283 An Subramanian, S Tanabe, R Tatsukawa, S Saito, N Miyazaki (1987) Reduction in the testosterone levels by PCBs and DDE in Dall's porpoises of northwestern North Pacific *Marine Pollution Bulletin* Volume 18, Issue 12, 643-646 [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(87\)90397-3](https://doi.org/10.1016/0025-326X(87)90397-3)
- 284 Geir W. Gabrielsen, Even H. Jørgensen, Anita Evensen and Roland Kallenborn, Report from the AMAP Conference and Workshop Impacts of POPs and Mercury on Arctic Environments and Humans, Tromsø, 20-24 January 2003
- 285 Johnson et al., (2013)
- 286 Feist, S.W., and Lang, T. (2014). Liver tumours in flatfish. ICES Identification Leaflets for Diseases and Parasites of Fish and Shellfish Leaflet No. 615 p
- 287 P.K. Krishnakumar and P.K. Asokan Environmental impacts of marine pollution- effects, challenges and approaches. January 2017 In book: Mathrubhumi Year Book Plus 2017 Chapter: Environmental Pollution Editors: Mathrubhumi
- 288 Daniel Martineau, Karin Lemberger, André Dallaire, Igor Mikaelian, (2002) Cancer in Wildlife, a Case Study: Beluga from the St. Lawrence Estuary, Québec, Canada *Environmental Health Perspectives* 110(3):285-92 DOI 10.1289/ehp.02110285
- 289 Olsson, M., Karlsson, B., Ahnland, E. (1994) Disease and environmental contaminants in seals from the Baltic and the Swedish west coast. *Sci. Total Environ* 154 217-227.
- 290 Cynthia De Wit, Aaron T. Fisk, Derek C.G. Muir. (2005) Effects of Persistent Organic Pollutants (POPs) in Arctic Wildlife. *Organohalogen Compounds - Volume 67* (200
- 291 De Wit et al., (2005)
- 292 De Wit et al., (2005)
- 293 Jason P. van de Merwe, Mary Hodge, Henry A. Olszowy, Joan M. Whittier, Kamarruddin Ibrahim, Shing Y. Lee (2009) Chemical Contamination of Green Turtle (*Chelonia mydas*) Eggs in Peninsular Malaysia: Implications for Conservation and Public Health *Environ Health Perspect.* Sep; 117(9):1397-1401. doi: 10.1289/ehp.0900813
- 294 Rusty D. Day, L. Segars, Michael D. Arendt, A. Michelle Lee, Margie M. Peden-Adams (2007) Relationship of Blood Mercury Levels to Health Parameters in the Loggerhead Sea Turtle (*Caretta caretta*) *Environ Health Perspect.* 115(10): 1421-1428. doi: 10.1289/ehp.9918
- 295 Jennifer M. Keller, Patricia D. McClellan-Green, John R. Kucklick, Deborah E. Keil, Margie M. Peden-Adams (2006) Effects of Organochlorine Contaminants on Loggerhead Sea Turtle Immunity: Comparison of a Correlative Field Study and In Vitro Exposure Experiments *Environ Health Perspect.* 114(1): 70-76 doi: 10.1289/ehp.8143
- 296 van de Merwe et al., (2009)
- 297 Munday, B.L., Stewart, N.J., & Sodergren, A., (1998). Occurrence of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in platypuses (*Ornithorhynchus anatinus*) in Tasmania. *Aust Vet J.*, Vol 76, No 2
- 298 Gregory D. Bossart, (2006) Marine Mammals as Sentinel Species for Oceans and Human Health *Oceanography* Vol. 19, No. 2,
- 299 Ylitalo, G.M., J.E. Stein, T. Hom, L.L. Johnson, K.L. Tilbury, A.J. Hall, T. Rowles, D. Greig, L.J. Lowenstine, F.M.D. Gulland. (2005). The role of organochlorines in cancer-associated mortality in California sea lions (*Zalophus californianus*). *Marine Pollution Bulletin* 50:30-39.
- 300 Gregory D. Bossart, *Emerging Diseases in Marine Mammals from Dolphins to Manatees.* (2007) *Microbe* Vol. 2:11 pp 544-549
- 301 Gregory D. Bossart, *Marine Mammals as Sentinel Species for Oceans and Human Health* (2006) *Oceanography* Vol. 19, No. 2
- 302 A. Bakir et al. (2014) Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 140
- 303 Nelms SE, Galloway TS, Godley BJ, Jarvis DS, Lindeque PK. (2018) Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environ Pollut.* 238:999-1007
- 304 Trophic refers to the position an organism occupies in a food chain, e.g., plants, herbivores, carnivores that eat herbivores, carnivores that eat other carnivores, apex predator. Trophic transfer refers in this case to the movement of contaminants through the food chain.

- 305 Amy Lusher, Jeremy Mendoza-Hill Microplastics in fisheries and aquaculture, Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615 Food and Agriculture Organization of The United Nations Rome, 2017
- 306 Yooeun Chae, Dokyung Kim, Shin Woong Kim, Youn-Joo An, (2018) Trophic transfer and individual impact of nano-sized polystyrene in a four-species freshwater food chain Scientific Reports Vol. 8, Article 284 doi:10.1038/s41598-017-18849-y
- 307 Ellen Besseling, Bo Wang, Miquel Lurling, Albert Koelmans (2014) Nanoplastic Affects Growth of *S. obliquus* and Reproduction of *D. magna* Environmental Science and Technology 48(20):12336-12343 DOI 10.1021/es503001d
- 308 Luisa Amo, Miguel Ángel Rodríguez-Gironés, Andrés Barbosa, (2013) Olfactory detection of dimethyl sulphide in a krill-eating Antarctic penguin MEPS 474:277-285 DOI: <https://doi.org/10.3354/meps10081>
- 309 Matthew S. Savoca, Martha E. Wohlfeil, Susan E. Ebeler, Gabrielle A. Nevitt, (2016) Marine plastic debris emits a keystone infochemical for olfactory foraging seabirds. Science Advances; Vol. 2, no. 11, e1600395
DOI: 10.1126/sciadv.1600395
- 310 Ecotoxicity, the subject of study of the field of ecotoxicology (a portmanteau of ecology and toxicology), refers to the potential for biological, chemical or physical stressors to affect ecosystems.
- 311 Rochman CM, Browne MA, Underwood AJ, van Franeker JA, Thompson RC, Amaral-Zettler LA. (2016) The ecological impacts of marine debris: unraveling the demonstrated evidence from what is perceived Ecology. 2016 Feb;97(2):302-12.
- 312 Amy Lusher and Jeremy Mendoza-Hill, Microplastics in fisheries and aquaculture Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615 Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017
- 313 Avio, C.G., Gorbi, S., Milan, M., Benedetti, M., Fattorini, D., d'Errico, G., Pauletto, M., Bargelloni, L. & Regoli, F. 2015a. Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. Environ. Pollut., 198: 211-222.
- 314 Rist SE, Assidqi K., Zamani NP, Appel D , Perschke M , Huhn M , Lenz M .Suspended micro-sized PVC particles impair the performance and decrease survival in the Asian green mussel *Perna perna*. Mar Pollut Bull. 2016 Oct 15;111(1-2):213-220. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.07.006.
- 315 Amy Lusher and Jeremy Mendoza-Hill Microplastics in fisheries and aquaculture Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615 Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017
- 316 Devriese LI, van der Meulen MD, Maes T, Bekaert K, Paul-Pont I, Frère L, Robbens J, Vethaak AD., (2015) Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. Mar Pollut Bull. 15;98(1-2):179-87. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.06.051.
- 317 Sajjad Abbasi, Naghmeh Soltani, Behnam Keshavarzi, Farid Moore, Andrew Turner, Mina Hassanaghaei (2018) Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf Chemosphere Vol. 205, pp80-87 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.076>
- 318 Mingxin Wang, Xiao Wang, Xianxiang Luo, Hao Zheng, (2017) Short-term toxicity of polystyrene microplastics on mysid shrimps *Neomysis japonica* IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 61 012136
- 319 Chang-Bum Jeong, Hye-Min Kang, Min-Chul Lee, Duck-Hyun Kim, Jeonghoon Han, Dae-Sik Hwang, Sami Souissi, Su-Jae Lee, Kyung-Hoon Shin, Heum Gi Park & Jae-Seong Lee, (2017) Adverse effects of microplastics and oxidative stress-induced MAPK/Nrf2 pathway-mediated defense mechanisms in the marine copepod (*Paracyclopsina nana*) Scientific Reports volume 7, Article number: 41323 doi:10.1038/srep41323
- 320 Bråte, I. L. N., Huwer, B., Thomas, K. V., Eidsvoll, D. P., Halsband, C., Almroth, B. C., & Lusher, A. (2017). Micro- and macro-plastics in marine species from Nordic waters. Nordic Council of Ministers. (TemaNord; No. 2017:549). DOI: 10.6027/TN2017-549
- 321 Lusher, AL, McHugh M, Thompson RC, (2013) Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel, Marine Pollution Bulletin, Vol. 67, Issues 1-2, 2013
- 322 Sajjad Abbasi, Naghmeh Soltani, Behnam Keshavarzi, Farid Moore, Andrew Turner, Mina Hassanaghaei, (2018) Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf Chemosphere Vol. 205, pp 80-87 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.076>
- 323 Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., Jiang, W., Zhao, Y., Geng, J., Ding, L. & Ren, H. (2016) Uptake and Accumulation of Polystyrene Microplastics in Zebrafish (*Danio rerio*) and Toxic Effects in Liver. Environ. Sci. Technol., 50(7): 4054-4060.
- 324 Avio et al., (2016)

- 325 Yooeun Chae et al., (2018)
- 326 Amy Lusher and Jeremy Mendoza-Hill Microplastics in fisheries and aquaculture Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615 Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017
- 327 Lavers, J., Bond A., Hutton I. (2014). Plastic ingestion by Flesh-footed Shearwaters (*Puffinus carneipes*): Implications for fledgling body condition and the accumulation of plastic- derived chemicals. *Environmental Pollution* (187), pp. 124-129.
- 328 van Franeker JA1, Blaize C, Danielsen J, Fairclough K, Gollan J, Guse N, Hansen PL, Heubeck M, Jensen JK, Le Guillou G, Olsen B, Olsen KO, Pedersen J, Stienen EW, Turner DM. (2011) Monitoring plastic ingestion by the northern fulmar *Fulmarus glacialis* in the North Sea. *Environ Pollut.* 159(10):2609-15. doi: 10.1016/j.envpol.2011.06.008. Epub 2011 Jul 6
- 329 Lusher AL, Hernandez-Milian G, Berrow S, Rogan E, O'Connor I.(2017) Incidence of marine debris in cetaceans stranded and bycaught in Ireland: Recent findings and a review of historical knowledge *Environmental Pollution* 232:467-476. doi: 10.1016/j.envpol.2017.09.070
- 330 Lazar B, Gračan R., (2011) Ingestion of marine debris by loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, in the Adriatic Sea. *Mar Pollut Bull.* 62(1):43-7. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.09.013.
- 331 Teuten EL, Saquing JM, Knappe DR, Barlaz MA, Jonsson S, Björn A, Rowland SJ, Thompson RC, Galloway TS, Yamashita R, Ochi D, Watanuki Y, Moore C, Viet PH, Tana TS, Prudente M, Boonyatumanond R, Zakaria MP, Akkhang K, Ogata Y, Hirai H, Iwasa S, Mizukawa K, Hagino Y, Imamura A, Saha M, Takada H. (2009) Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 27;364(1526):2027-45. doi: 10.1098/rstb.2008.0284.
- 332 Rochman et al., (2013)
<http://www.nature.com/articles/srep03263>
- 333 Lavers, J., Bond A., Hutton I. (2014). Plastic ingestion by Flesh-footed Shearwaters (*Puffinus carneipes*): Implications for fledgling body condition and the accumulation of plastic- derived chemicals. *Environmental Pollution* (187), pp. 124-129.
- 334 Lavers et al., (2014)
- 335 Carlo Giacomo Avio, Stefania Gorbi, Massimo Milan, Maura Benedetti, Daniele Fattorini, Giuseppe d'Errico, Marianna Pautetto, Luca Bargelloni, Francesco Regoli, (2015) Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels *Environmental Pollution* 198 211-222
- 336 Teuten et al., (2009)
- 337 Rochman CM, Lewison RL, Eriksen M, Allen H, Cook AM, Teh SJ. (2014) Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish tissue may be an indicator of plastic contamination in marine habitats. *Sci Total Environ.* 1;476-477:622-33. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.01.058.
- 338 Fossi et al., (2012)
- 339 Katharine E Clukey, Christopher A. Lepczyk, George H. Balazs, & Jennifer M. Lynch (2017) Persistent organic pollutants in fat of three species of Pacific pelagic longline caught sea turtles: Accumulation in relation to ingested plastic marine debris *Science of The Total Environment* 610-611:402-411 DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.07.242
- 340 Clukey et al., (2017)
- 341 Amy Lusher and Jeremy Mendoza-Hill Microplastics in fisheries and aquaculture Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615 Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017
- 342 Velzeboer I, Kwadijk C, Koelmans AA (2014) Strong sorption of PCBs to nanoplastics, microplastics, carbon nanotubes, and fullerenes. *Environ Sci Technol* 48:4869-4876
- 343 Velzeboer et al.,(2014)
- 344 J.B Ogunremi, O.I Oladele (2012) Adoption of Aquaculture Technology by Fish Farmers in Lagos State, Nigeria *Life Science Journal* 9(2) <http://www.lifesciencesite.com>
- 345 Sunderland, E. M., D. P. Krabbenhoft, J. W. Moreau, S. A. Strode, and W. M. Landing (2009), Mercury sources, distribution, and bioavailability in the North Pacific Ocean: Insights from data and models, *Global Biogeochem. Cycles*, 23, GB2010, doi:10.1029/2008GB003425.
- 346 Global Mercury Hotspots. A Publication by the Biodiversity Research Institute and IPEN Updated: October 2014 Initial Release: January 9, 2013 http://www.ipen.org/sites/default/files/documents/BRI-IPEN-report-update-102214%20for%20web_0.pdf
- 347 Global Mercury Hotspots. A Publication by the Biodiversity Research Institute and IPEN Updated: October 2014 Initial Release: January 9, 2013 http://www.ipen.org/sites/default/files/documents/BRI-IPEN-report-update-102214%20for%20web_0.pdf
- 348 van de Merweet et al., (2009)

- 349 Schæbel LK, Bonefeld-Jørgensen EC, Vestergaard H, Andersen S. (2017) The influence of persistent organic pollutants in the traditional Inuit diet on markers of inflammation. *PLoS One*. 19;12(5) doi: 10.1371/journal.pone.0177781.
- 350 Kavita Singh, Hing Man Chan (2018) Association of blood polychlorinated biphenyls and cholesterol levels among Canadian Inuit *Environmental Research Volume 160* : 298-305 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.010>
- 351 Samuel Byrne, Samarys Seguinot-Medina, Pamela Miller, Vi Waghiyi, Frank A. von Hippel, C. Loren Buck, David O. Carpenter (2017) Exposure to polybrominated diphenyl ethers and perfluoroalkyl substances in a remote population of Alaska Natives *Environmental Pollution* 231: 387-395
- 352 Alexey A. Dudarev (2012) Dietary exposure to persistent organic pollutants and metals among Inuit and Chukchi in Russian Arctic Chukotka, *Int J Circumpolar Health*. 71: 10.3402/ijch.v71i0.18592.
- 353 Simonetta Corsolinia, Nicoletta Ademolloa, Teresa Romeo, Silvio Grecob Silvano Focardia (2015) Persistent organic pollutants in edible fish: a human and environmental health problem *Microchemical Journal* 79, 1–2, 115-123 <https://doi.org/10.1016/j.microc.2004.10.006>
- 354 Espen Mariussen, Eirik Fjeld, Knut Breivik, Eiliv Steinnes, Anders Borgen, Gösta Kjellberg, Martin Schlöbach (2008) Elevated levels of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish from Lake Mjøsa, Norway. *Science of The Total Environment* 390 132–141
- 355 Guo Ji, Wu F, Shen R, Zeng EY. (2010) Dietary intake and potential health risk of DDTs and PBDEs via seafood consumption in South China. *Ecotoxicol Environ Saf. Oct;73(7):1812-9*. doi: 10.1016/j.ecoenv.2010.08.009.
- 356 DL Kamen, MM Peden-Adams, JE Vena, GS Gilkeson, TC Hulsey, L Moultrie and BE Stevens (2012) Seafood consumption and persistent organic pollutants as triggers of autoimmunity among Gullah African Americans *Arthritis Research & Therapy* 14 (Suppl 3) :A19 <https://doi.org/10.1186/ar3953>
- 357 <http://www.health.nsw.gov.au/environment/factsheets/Pages/dioxins.aspx>
- 358 Dietary advice for fish from Currumbene Creek, 07 May 2018 <https://www.epa.nsw.gov.au/news/media-releases/2018/epamedia180507-dietary-advice-for-fish-from-currumbene-creek>
- 359 Peter D. Sly, David O. Carpenter, Martin Van den Berg, Renato T. Stein, Philip J. Landrigan, Marie-Noel Brune-Drisse, William Suk. (2016) Health Consequences of Environmental Exposures; Causal Thinking in the *Global Environmental Epidemiology Annals of Global Health*, Vol.82 : 1,
- 360 Wilfried Sanchez, Coline Bender, Jean-Marc Porcher (2014) Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence, *Environmental Research*, Volume 128, DOI: 10.1016/j.envres.2013.11.004
- 361 Diogo Neves, Paula Sobral, Joana Lia Ferreira, Tania Pereira, (2015) Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 101, Issue 1, 2015
- 362 Van Cauwenberghe L, Janssen C, (2014) Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193, 65-70. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.06.010
- 363 Chelsea M. Rochman, Akbar Tahir, Susan L. Williams, Dolores V. Baxa, Rosalyn Lam, Jeffrey T. Miller, Foo-Ching Teh, Shinta Werorilangi & Swee J. The. (2015) Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption *Scientific Reports* 5:14340 DOI: 10.1038/srep14340
- 364 <https://www.government.se/press-releases/2018/02/more-steps-to-reduce-plastics-and-microplastics-in-the-oceans/>
- 365 Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J. & Shi, H. 2016. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environ. Pollut.*, 221: 141-149.
- 366 Amy Lusher and Jeremy Mendoza-Hill Microplastics in fisheries and aquaculture Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615* Food And Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017
- 367 Messika Revel, Amélie Châtel and Catherine Mouneyrac, Micro(nano)plastics: A threat to human health? *Current Opinion in Environmental Science & Health* 2018, 1:17–23 <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.003>
- 368 Rochman et al., (2015)
- 369 Messika Revel, Amélie Châtel, Catherine Mouneyrac (2018) Micro(nano)plastics: A threat to human health? *Current Opinion in Environmental Science & Health* 1:17–23 <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.003>
- 370 Messika Revel et al., (2018)
- 371 Sinja Rist, Bethanie Carney Almroth, Nanna B Hartmann, Therese Karlsson (2018) A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics *Science of The Total Environment* 626:720-726 DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.01.092
- 372 Rist et al., (2018)
- 373 <http://www.bbc.com/news/science-environment-43389031>

- 374 'Invisibles: The plastic inside us' https://orbmedia.org/stories/Invisibles_plastics/multimedia
- 375 Synthetic polymer contamination in bottled water, Sherri A. Mason, Victoria Welch, Joseph Neratko, State University of New York at Fredonia, Department of Geology & Environmental Sciences, 2018
- 376 Ali Karami, Abolfazl Golieskardi, Cheng Keong Choo, Vincent Larat, Tamara S.Galloway & Babak Salamatinia (2017) The presence of microplastics in commercial salts from different countries, *Scientific Reports* 7, Article number: 46173
- 377 UNEP (2016). Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7720>
- 378 The Center for International Environmental Law (2017) Fossils, Plastics, & Petrochemical Feedstocks, Washington, DC <http://www.ciel.org/wp-content/uploads/2017/09/Fueling-Plastics-Fossils-Plastics-Petrochemical-Feedstocks.pdf>
- 379 <https://www.unenvironment.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/addressing-land-based-pollution/why-does-addressing-land>
- 380 www.unep.org/gpa/what-we-do/global-partnership-marine-litter
- 381 <https://sustainabledevelopment.un.org/rio20.html>
- 382 United Nations (2015) Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development, UN General Assembly, A/RES/70/1 http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E
- 383 Indicators and a Monitoring Framework for the Sustainable Development Goals, Launching a data revolution for the SDGs. A report to the Secretary-General of the United Nations by the Leadership Council of the Sustainable Development Solutions Network, June 12, 2015 <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2013150612-FINAL-SDSN-Indicator-Report1.pdf>
- 384 <https://www.unenvironment.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/working-regional-seas/regional-seas-programmes>
- 385 <http://cleanseas.org/about>
- 386 <https://oceanconference.un.org/coa/MarinePollution>
- 387 https://www.env.go.jp/water/marine_litter/07_mat13_2_%EF%BC%93-2ALD.pdf
- 388 <http://www.g20.utoronto.ca/2017/2017-g20-marine-litter.html>
- 389 Pritzker Environmental Law and Policy BRIEF NO. 5 | October 2013 Stemming the Tide of Plastic Marine Litter: A Global Action Agenda by Mark Gold, Katie Mika, Cara Horowitz, Megan Herzog, & Lara Leitner. (www.law.ucla.edu/emmett-pritzker-brief-no-5 | October 2013)
- 390 International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, Nov. 2, 1973, 12 I.L.M. 1319, as amended by Protocol, Feb. 17, 1978, 17 I.L.M. 546.
- 391 Protocol of 1978 Relating to the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, Feb. 17, 1978, 94 Stat. 2297, 1340 U.N.T.S. 22484, as amended by Amendments to the Annex of the Protocol of 1978 Relating to the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, July 15, 2011 (entered into force Jan. 1, 2013) [hereinafter, MARPOL Annex V].
- 392 U.N. Convention on the Law of the Sea, Dec. 10, 1982, 1833 U.N.T.S. 3, 21 I.L.M. 1261.
- 393 Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, Dec. 29, 1972, 26 U.S.T. 2403, 1046 U.N.T.S. 120, 11 I.L.M. 1291.
- 394 Convention for the Protection of the Mediterranean Sea Against Pollution, Feb. 16, 1976, 15 I.L.M. 285, revised as Convention for the Protection of the Marine Environment and the Coastal Region of the Mediterranean, June 10, 1995, 1102 U.N.T.S. 27 (entered into force July 9, 2004).
- 395 Convention for the Protection and Development of the Marine Environment in the Wider Caribbean Region, Mar. 24, 1983, 1506 U.N.T.S. 157, 22 I.L.M. 221.
- 396 Directive 2008/56/EC, of the European Parliament and of the Council Establishing a Framework for Community Action in the Field of Marine Environmental Policy (Marine Strategy Framework Directive), 2008 O.J. (L 164).
- 397 Convention for the Protection of the Marine Environment of the North East Atlantic, Sept. 22, 1993, 2354 U.N.T.S. 67, 32 I.L.M. 1069.
- 398 Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area, 1992, Apr. 9, 1992, 1507 U.N.T.S. 167, 13 I.L.M. 546 (entered into force Jan. 17, 2000).
- 399 Pritzker Environmental Law and Policy BRIEF NO. 5 | October 2013 Stemming the Tide of Plastic Marine Litter: A Global Action Agenda by Mark Gold, Katie Mika, Cara Horowitz, Megan Herzog, & Lara Leitner. (www.law.ucla.edu/emmett-pritzker-brief-no-5 | October 2013)
- 400 <http://www.saicm.org/>
- 401 NGO Guide to SAICM (2014), A Framework for Action to Protect Human Health and the Environment from Toxic Chemicals by Jack Weinberg Senior Policy Advisor, International POPs Elimination Network <https://ipen.org/documents/ngo-guide-saicm-2014>
- 402 <http://chm.pops.int/>

- 403 POPRC-6/2: Work programmes on new persistent organic pollutants, Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its sixth meeting, UNEP/POPS/POPRC.6/13
- 404 Rainer Lohmann (2017) Microplastics are not important for the cycling and bioaccumulation of organic pollutants in the oceans-but should microplastics be considered POPs themselves?: Should Microplastics Be Considered POP Integrated Environmental Assessment and Management 13(3):460-465 DOI:10.1002/ieam.1914
- 405 Gallo et al. (2018)
- 406 McDonough, W. and Braungart, M. (2002), Cradle To Cradle: Remaking The Way We Make Things (San Francisco, CA: North Point Press)
- 407 <http://www.basel.int/>
- 408 www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW-WAST-GUID-PlasticWastes.English.pdf
- 409 www.basel.int/Implementation/MarinePlasticLitterandMicroplastics/Overview/tabid/6068/Default.aspx
- 410 <http://www.basel.int/Implementation/HouseholdWastePartnerships/Meetings/1stHWPMay2018/tabid/6298/Default.aspx>
- 411 Gallo et al. (2018)
- 412 Minamata Convention on Mercury <http://mercuryconvention.org/Convention/tabid/3426/Default.aspx>
- 413 Guide to the New Mercury Treaty, IPEN Heavy Metals working Group, April 2013 <https://ipen.org/pdfs/ipen-booklet-hg-treaty-en.pdf>
- 414 www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW-IMPL-MarinePlastic-HonoluluStrategy.English.pdf
- 415 <http://web.unep.org/environmentassembly/un-environment-assembly-and-governing-council>
- 416 www.basel.int
- 417 Mercury monitoring in women of child-bearing age in Asia and the Pacific Region April 2017, Lee Bell IPEN Mercury Adviser www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/News/Mercury%20Monitoring%20Women%20Asia%20Pacific%20April%2011%20Short.pdf; Global Mercury Hotspots. A Publication by the Biodiversity Research Institute and IPEN Updated: October 2014 Initial Release: January 9, 2013 http://www.ipen.org/sites/default/files/documents/BRI-IPEN-report-update-102214%20for%20web_o.pdf
- 418 James Bradley, The end of the oceans, August 2018 <https://www.themonthly.com.au/issue/2018/august/1533045600/james-bradley/end-oceans>
- 419 Jones et al., (2018) The Location and Protection Status of Earth's Diminishing Marine Wilderness, Current Biology, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.06.010>



pour un avenir sans toxiques

www.ipen.org

ipen@ipen.org

[@ToxicsFree](https://www.instagram.com/ToxicsFree)