Le mercure, un enjeu brûlant pour la planète et ses océans

Lars-Eric Heimbürger-Boavida : Océanographe chimiste au CNRS
et chercheur à l'Institut Méditerranéen d'Océanologie de l'Université d'Aix-Marseille

Pourquoi le mercure est-il un polluant particulièrement inquiétant ?

Avec le réchauffement climatique, la perte de biodiversité et la dispersion de polluants dans l'environnement, notre planète subit actuellement de profonds bouleversements. Et le mercure illustre un paradoxe : c'est un polluant qui fait partie de nos vies depuis des siècles, et pourtant nous le maîtrisons mal. Selon l'*Évaluation mondiale du mercure* de 2018 du Programme des Nations unies pour l'environnement, les sources anthropiques émettent environ 3 100 tonnes de mercure par an et l'ensemble de la population mondiale est exposée à une quantité plus ou moins élevée[1]. Et même si nous connaissons les principales sources anthropiques de mercure (extraction de l'or, combustion du charbon et production de ciment), nous ne comprenons pas encore comment l'environnement génère du méthylmercure, qui est la forme organique du mercure, mais aussi la plus toxique.

Le mercure est un polluant particulièrement préoccupant[2] en raison de la neurotoxicité du méthylmercure et de sa forte biomagnification[3] dans la chaîne alimentaire. Ce danger est connu de longue date dans les sociétés humaines. Dans la Rome antique, la *Damnatio ad metalla* (la « condamnation aux mines ») exposait les esclaves à des doses mortelles dans les mines de mercure. La maladie du Chapelier fou, telle que décrite dans Alice au pays des merveilles, illustre les effets neurotoxiques d'une exposition chronique aux vapeurs de mercure, autrefois fréquente dans la chapellerie.

La mer Méditerranée présente un intérêt particulier. Comme elle est fermée, elle se caractérise par des eaux peu productives et favorise l'accumulation du mercure provenant de sources d'émission régionales

La découverte de la maladie de Minamata en 1956 a incité les autorités japonaises à mettre en place une réglementation visant à limiter et contrôler la contamination au mercure. Une usine de produits chimiques, située à proximité de la ville de Minamata, rejetait du méthylmercure dans la baie depuis plus de dix ans, entraînant une bioaccumulation dans la faune marine et la contamination de plus de 2 200 personnes par la consommation du poisson local. Les victimes souffraient de symptômes neurologiques graves, des femmes enceintes ayant accouché de bébés morts-nés ou atteints de malformations. La population locale subit encore aujourd'hui les conséquences de cette maladie. Le méthylmercure est si toxique que quelques gouttes ayant traversé le gant de la chimiste américaine Karen Wetterhahn ont suffi à provoquer sa mort en quelques mois[4].

Et même si nous connaissons les effets de l'empoisonnement aigu, l'exposition au mercure reste difficile à évaluer. Toutefois, des études menées auprès de cohortes de mères et d'enfants exposés de manière chronique au mercure montrent que les enfants les plus exposés présentent des scores plus faibles aux tests de QI[1,2].

Quelles sont les avancées de la recherche sur le mercure et sa pollution ?

Il subsiste beaucoup d'incertitudes autour du cycle du mercure. Par exemple, nous n'avons pas de chiffres précis sur le bilan océanique du mercure, ni sur la part anthropique de ce dernier, ni sur l'influence du réchauffement climatique et de la perte de biodiversité sur la formation du méthylmercure et la bioamplification. Les mesures actuelles de la quantité mondiale de mercure rejetée par les activités humaines reposent sur de simples estimations, et beaucoup de lacunes persistent dans notre compréhension de sa circulation entre l'air, l'eau, les sédiments et les organismes. Le méthylmercure n'est pas émis directement par les activités humaines, mais se forme au sein des écosystèmes, lorsque le mercure inorganique rejeté dans l'air et l'eau subit une transformation par les microbes. Dans les années 1970, des scientifiques suédois ont découvert du méthylmercure dans des poissons en décomposition, puis ont démontré qu'il pouvait être généré naturellement dans les sédiments[5]. Son origine dans les eaux côtières des océans du globe reste difficile à cerner, mais elle est probablement liée à l'intervention d'autres microbes[6].

1 Évaluation mondiale du mercure de 2018. https://www.unep.org/resources/publication/global-mercury-ssessment-2018.

2 Organisation mondiale de la santé (2024) Mercury and Health fact sheet. [Fiche d'information sur le mercure et la santé]. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health.

3 Le processus par lequel la concentration d'une substance augmente à mesure que l'on progresse dans la chaîne alimentaire.

4 *Science* (1997) Mercury Poisoning Kills Lab Chemist [L'empoisonnement au mercure entraîne la mort d'un chimiste de laboratoire] | Science | AAAS. https//:doi.org/10.1126/article.40157.

5 Jensen, S. & Jernelöv, A. Biological methylation of mercury in aquatic organisms [Production de méthylmercure en eaux peu profondes dans la zone marginale de la banquise de l'océan Arctique central]. *Nature* 223, 753–754 (1969). https://doi.org/10.1038/223753a0.

6 Villar, E., Cabrol, L., Heimbürger-Boavida, L. & Heimbürger-Boavida, L. E. Widespread microbial mercury methylation genes in the global ocean [Gènes de méthylation du mercure d'origine microbienne largement répandus dans les océans du monde entier]. *Environmental Microbiology Reports* 12, 1758-2229.12829 (2020). https://doi.org/10.1111/1758-2229.12829.

Sur le plan de la recherche, la mer Méditerranée présente un intérêt particulier. Comme elle est fermée, elle se caractérise par des eaux peu productives et favorise l'accumulation du mercure provenant de sources d'émission régionales. Ses eaux relativement chaudes stimulent également l'activité microbienne. L'Arctique est également un bassin océanique semi-clos, ce qui le rend particulièrement sensible aux perturbations externes. Cet océan contient environ 2 000 tonnes de mercure, sans compter les 600 000 tonnes encore piégées dans le pergélisol, amené à fondre avec le réchauffement climatique[7].

Y a-t-il des régions ou des populations particulièrement exposées à la pollution par le mercure ?

Quand les écosystèmes sont dégradés, les polluants se propagent plus rapidement d'un niveau trophique à un autre[8] et les populations consommant régulièrement les prédateurs marins, qui concentrent les niveaux les plus élevés de méthylmercure, y sont les plus exposés. C'est le cas des communautés arctiques, telles que les Inuits et les Samis. Historiquement marginalisés et déplacés de force vers des régions reculées présentant peu d'alternatives, ces groupes dépendent presque exclusivement de la faune marine pour se nourrir. Et même si l'Arctique ne contient pas plus de mercure que d'autres bassins océaniques, le niveau d'exposition des populations locales est paradoxalement élevé. Les populations vivant sur les côtes de la Méditerranée, qui consomment aussi beaucoup de poissons, présentent également des niveaux élevés de contamination au mercure, même si elles ont davantage d'alternatives alimentaires[9].

C'est pour ces raisons que mes recherches se concentrent sur ces régions. Les mesures que nous avons effectuées dans l'océan Arctique suggèrent que le méthylmercure se forme en eaux peu profondes et subit potentiellement une bioamplification plus forte chez les animaux arctiques[10].

La station polaire Tara.
© Lars-Eric Heimbürger-Boavida

Nous avons récemment découvert que nos connaissances actuelles étaient biaisées. En effet, il existe des variations saisonnières du mercure et du méthylmercure dans l'océan Arctique et les observations passées étaient principalement effectuées pendant l'été[11]. Pendant les 20 prochaines années, nous utiliserons la station polaire Tara pour étudier le mercure en toute saison[12].

7 Dastoor, A.; Angot, H.; Bieser, J.; Christensen, J. H.; Douglas, T. A.; Heimbürger-Boavida, L.-E.; et al. Arctic Mercury Cycling [Le cycle du mercure dans l'Arctique]. *Nat. Rev. Earth Environ.* 2022, *3* (4), 270–286. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00269-w.

8 Les niveaux trophiques désignent les différents niveaux alimentaires au sein d'un réseau trophique, et la manière dont l'énergie et les nutriments sont transférés des petits organismes (comme le plancton) vers des prédateurs de plus en plus grands (comme les poissons, les mammifères marins ou les humains).

9 Petrova, M. V.; Ourgaud, M.; Boavida, J. R. H.; Dufour, A.; et al. Human Mercury Exposure Levels and Fish Consumption at the French Riviera [Niveaux d'exposition au mercure chez l'homme et consommation de poisson sur la Côte d'Azur]. *Chemosphere* 2020, *258*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127232.

10 Heimbürger, L.-E.; Sonke, J. E.; Cossa, D.; Point, D.; et al. Shallow Methylmercury Production in the Marginal Sea Ice Zone of the Central Arctic Ocean [Production de méthylmercure en eaux peu profondes dans la zone marginale de la banquise de l'océan Arctique central]. Sci. *Rep.* 2015, *5*, 10318.

11 Kohler, S. G.; Heimbürger-Boavida, L.-E.; Petrova, M. V.; Digernes, M. G.; et al. Arctic Ocean's Wintertime Mercury Concentrations Limited by Seasonal Loss on the Shelf [Concentrations hivernales de mercure dans l'océan Arctique limitées par la perte saisonnière sur le plateau continental]. *Nat Geosci* 2022, *15* (8), 621–626. https://doi.org/10.1038/s41561-022-00986-3. ; Kohler, S. G.; Heimbürger-Boavida, L.-E.; Assmy, P.; Müller, et al. Biotic Transformation of Methylmercury at the Onset of the Arctic Spring Bloom [Transformation biotique du méthylmercure au début de la floraison printanière dans l'Arctique]. *Prog. Oceanogr.* 2024, 103224. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103224.

12 JF Ghiglione, LE Heimbürger-Boavida, M Fourquez, I Hough, et al. (2026). Tara Polaris expeditions: seasonal and long-term contaminant monitoring in the changing central Arctic [Expéditions Tara Polaris : surveillance saisonnière et à long terme des contaminants dans un Arctique central en pleine mutation]. Elementa: Science of the Anthropocene. (hal-05466231).

Mon groupe travaille également sur les émissions hydrothermales de mercure, en particulier en mer Méditerranée, car elles constituent la seule source directe de mercure d'origine naturelle dans l'océan. Celles-ci pourraient expliquer les niveaux élevés de mercure et l'exposition humaine observés dans la région méditerranéenne[13].

Comment pouvons-nous réduire l'exposition humaine au mercure ?

Depuis 2013, la Convention de Minamata sur le mercure constitue le principal cadre international visant à réduire l'exposition humaine au mercure. Parmi les objectifs proposés figurent l'élimination de toutes les utilisations du mercure, qu'elles soient intentionnelles (ex. dans les processus industriels ou la fabrication de produits tels que les interrupteurs) ou non intentionnelles (ex. rejets de mercure lors de la combustion du charbon), l'interdiction des exportations de mercure destinées à l'exploitation aurifère, et la mise en œuvre de technologies de contrôle de la pollution. L'article 22 de la Convention prévoit également des évaluations scientifiques pour mesurer l'efficacité des mesures.

Les populations vivant sur les côtes de la Méditerranée, qui consomment aussi beaucoup de poissons, présentent également des niveaux élevés de contamination au mercure

Les chercheurs ont constaté une diminution des niveaux de mercure dans l'atmosphère au cours des 20 dernières années[14], ce qui montre qu'en appliquant une réglementation et des mesures efficaces, il est possible de réduire notre impact sur l'environnement. Toutefois, ces progrès restent fragiles : en raison des activités humaines actuelles et passées, la concentration de mercure dans l'atmosphère reste 450 % supérieure au niveau naturel[15]. Sans compter que la réouverture de centrales à charbon risque de réduire à néant les progrès récents, tandis que d'importantes lacunes scientifiques persistent.

À titre individuel, nous pouvons nous protéger contre l'exposition au mercure en modifiant nos habitudes alimentaires. Le mercure rejeté s'accumule dans les écosystèmes et nous revient par le biais des poissons que nous consommons. C'est pourquoi les organismes de santé, tels que l'ANSES[16], recommandent aux femmes enceintes et aux jeunes enfants[17] de limiter leur consommation d'espèces riches en mercure (comme le thon ou l'espadon). Protéger la biodiversité contre les rejets d'origine humaine n'est donc pas seulement un objectif environnemental : c'est une nécessité pour préserver la santé humaine.

13 Torres-Rodriguez, N.; Yuan, J.; Petersen, S.; Dufour, A.; et al.Fluxes from Hydrothermal Venting at Mid-Ocean Ridges Constrained by Measurements [Mesures permettant d'estimer les flux de mercure provenant des cheminées hydrothermales des dorsales médio-océaniques]. Nat. Geosci. 2024, 1–7. https://doi.org/10.1038/s41561-023-01341-w.

14 American Chemical Society (2025) Mercury levels in the atmosphere have decreased throughout the 21st century [Les concentrations de mercure dans l'atmosphère ont diminué tout au long du XXIe siècle]. https://www.acs.org/pressroom/presspacs/2025/may/mercury-levels-in-the-atmosphere-have-decreased-throughout-the-21st-century.html.

15 Convention de Minamata sur le mercure (2026) Minamata-Convention-booklet-Oct2024-EN.pdf. https://minamataconvention.org/sites/default/files/documents/information_document/Minamata-Convention-booklet-Oct2024-FR.pdf.

16 L'Agence nationale française de sécurité sanitaire.

17 Méthylmercure : un risque pour la santé en cas de consommation importante de poissons | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. https://www.anses.fr/fr/content/methylmercure-un-risque-pour-la-sante-en-cas-de-consommation-importante-de-poissons.

À propos de l'auteur

Lars-Eric Heimbürger-Boavida *est océanographe chimiste au CNRS et mène ses recherches à l'Institut méditerranéen d'océanologie de l'Université d'Aix-Marseille. Formé à la chimie analytique en Allemagne et aux États-Unis, il a obtenu un doctorat en océanographie chimique au Laboratoire d'océanographie de Villefranche-sur-Mer. Depuis 2015, ses travaux portent sur les cycles des métaux dans l'océan, en particulier sur le mercure, une expertise qui lui a valu, la même année, un prix de Recherche du mécénat d'AXA. Il a co-rédigé l'Évaluation mondiale du mercure du Programme des Nations unies pour l'environnement en 2018 et le Programme de surveillance et d'évaluation du mercure dans l'Arctique en 2021.*

Poissons contaminés au mercure pêchés à proximité d'une cheminée hydrothermale au large de Milos, en Grèce.
© Lars-Eric Heimbürger-Boavida