

MEDI-SPHERE

L'HEBDO DU GÉNÉRALISTE

ACTUALITÉ SOCIO-PROFESSIONNELLE

Vandenbroucke:
«Le généraliste est aussi important
que le traitement lui-même»

SANTÉ ET SOCIÉTÉ

«Méfiez-vous de la fausse empathie
de ChatGPT!»

Un entretien avec le Dr Caroline Depuydt

FOCUS: **NEURO-PSY**

**La plastification
cérébrale de
l'espèce humaine**

Samira Benali et al.

**L'exercice physique
jusqu'à la dépendance**

Philippe Lambert

**Détection précoce
de l'autisme**

Pr Herbert Roeyers (UGent)



La plastification cérébrale de l'espèce humaine: une nouvelle urgence sanitaire

Groupe de travail – UMon : Samira Benali, Philippe Dubois, Ysatis Fagbemi, Sophie Laurent, Mario Manto, Clément-Rochan Shoeibi, Lise Sogalov, Antoniya Toncheva, Thomas Vangijzegem

Depuis plus de sept décennies, les matériaux plastiques jouent un rôle crucial dans le développement économique mondial jusqu'à devenir un marqueur essentiel de l'Anthropocène. Leur polyvalence, leur durabilité et leur coût relativement faible ont permis de révolutionner de nombreux secteurs industriels, transformant ainsi les modes de production, de consommation et de distribution de notre quotidien. Le modèle de la plasturgie a prospéré tant que les considérations environnementales restaient secondaires, favorisant une production de masse sans réelle remise en question de l'impact écologique. Après les additifs, c'est maintenant la fin de vie des plastiques qui pose un grand défi. En effet, la dégradation des plastiques dans la nature sous la forme de microplastiques (MPs) ou nanoplastiques (NPs) conduit à la propagation de polluants ubiquitaires, contaminant non seulement le milieu aquatique mais également l'air ou les sols. Aujourd'hui, la réalité démontre que les conséquences sociétales de la pollution par les MPs/NPs sont d'autant plus inquiétantes qu'elles restent encore très incomprises.

Chez l'homme, ces polluants pénètrent l'organisme par ingestion, inhalation ou exposition cutanée. On les détecte dans de nombreux organes et fluides corporels. Les données récentes ont mis en évidence leur présence en forte concentration (de l'ordre de 3000 µg/gr tissu) dans le cerveau humain, en particulier le polyéthylène (PE). Les données expérimentales in vitro et in vivo chez l'animal suggèrent notamment une cytotoxicité, une génotoxicité, un effet pro-inflammatoire et une toxicité neurologique. Cependant, les conséquences sur le cerveau humain nécessitent des études approfondies car les données demeurent limitées. En

particulier, les MPs/NPs pourraient exacerber ou déclencher des maladies neurodégénératives. Parmi les points critiques figurent la nécessité de développer des méthodes standardisées tant pour la collecte que l'analyse des échantillons humains. Il est dès lors important de développer des méthodes d'analyse innovantes et fiables afin d'étudier les effets à long terme sur le cerveau en raison de l'accumulation continue et de longue durée des MPs/NPs dans l'organisme. Seule une approche pluridisciplinaire pourrait permettre d'atteindre des objectifs ambitieux de dépollutions des MNPs ou d'écoconception de matériaux plastiques aux fins de vie contrôlées. La pollution par les plastiques est ainsi devenue une urgence sanitaire à l'échelon mondial.

Que sont les microplastiques?

Inventée en 1907 par Leo Baekeland, le premier polymère synthétique, la bakélite, marque le début d'une nouvelle ère industrielle des plastiques (1). Ce sont d'abord leur polyvalence qui a conduit à de nombreuses innovations industrielles mais également la capacité de l'industrie pétrochimique à fournir divers monomères, abondants et bon marché et le développement de procédés de mise en œuvre optimisés, peu énergivores et économiquement viables. En effet, les plastiques ont permis des innovations dans des domaines à hautes valeurs ajoutées tels que l'automobile, l'industrie aéronautique, l'électronique ou encore la médecine. Cette polyvalence a également stimulé la croissance industrielle en facilitant la production de biens plus légers, plus résistants et plus performants dans des domaines à forte valeur économique tels que l'emballage, les filets de pêche ou d'aquaculture ou encore les mousses d'isolation pour l'habitat.

L'utilisation des plastiques a souvent conduit à des coûts de production réduits par rapport aux matériaux traditionnels comme le métal, le bois et le verre. La facilité de fabrication et la possibilité de les produire en grande série ont permis aux entreprises de baisser leurs coûts de fabrication, rendant les produits plus accessibles au grand public. L'essor des matériaux plastiques a transformé l'industrie de l'emballage, rendant le transport et la conservation des produits plus efficaces. Les plastiques offrent en effet une protection contre les dommages physiques, l'humidité et les contaminations, prolongeant ainsi la durée de vie des produits et réduisant les pertes économiques.

En 2019, la production mondiale de plastique continue d'augmenter, atteignant environ 460 Mt pour une projection à plus de 1200 Mt pour 2060 sans changement politique d'ici là (2). Les problématiques majeures de cette industrie galopante du plastique sont (a) l'utilisation de MPs primaires (dimensions entre 1 µm et 5 mm) (3) pour des applications spécifiques comme les cosmétiques ou les abrasifs industriels (4) et (b) leur gestion de fin de vie qui conduisent à des MPs mais aussi à des NPs (dimensions inférieure à 1 µm). En effet, dans la nature les déchets plastiques se fragmentent en MPs puis en NPs, susceptibles de contaminer les sols, les milieux aquatiques et l'air avec des effets potentiellement nocifs dans les écosystèmes (5).

La pollution par les MPs/NPs

Ce que l'on sait actuellement c'est que tous les plastiques peuvent conduire à la formation de ces MPs/NPs. C'est notamment le cas des objets que nous utilisons au quotidien à base de polyéthylène (PE; le plus courant), suivi du polypropylène (PP), du polychlorure de vinyle (PVC), du polyéthylène téréphtalate (PET; présent notamment dans les bouteilles et textiles) et du polystyrène (PS). Ces polymères constituent la majorité des MPs/NPs retrouvés dans l'environnement et qui constituent une pollution des écosystèmes devenue majeure à l'échelle planétaire

(6-7). Les MPs/NPs s'accumulent notamment dans le milieu aquatique (poissons, crustacés...) où un processus de bioaccumulation survient. De nombreux fleuves sont actuellement contaminés dans le monde. Concrètement, les particules de plastique rejetées dans les rivières finissent dans les océans, sont ingérées par les poissons, puis peuvent remonter toute la chaîne alimentaire jusqu'à notre assiette... et finalement nos corps. Plus inquiétant encore, les microfibrilles textiles de nos vêtements ou les produits issus de l'abrasion des pneus sont déjà présents dans l'air et peuvent ainsi plus facilement pénétrer nos corps par notre système ORL.

Chez l'homme, ces polluants pénètrent l'organisme par ingestion, inhalation ou exposition cutanée.

Les MPs présentent également un problème de toxicité majeur en raison de leur surface hydrophobe, qui favorise l'accumulation de substances toxiques organiques ou biologiques. La surface des MPs n'est en effet pas une surface inerte (8-9). Cette capacité à adsorber des polluants comme les pesticides, les hydrocarbures ou les bactéries pathogènes augmente leur potentiel nocif pour les organismes marins et terrestres. Les MPs sont considérés comme des vecteurs de contamination par les métaux comme l'aluminium, le fer, le chrome, le zinc, le nickel, le molybdène, le manganèse, le plomb, le cobalt ou le cuivre (11). Lorsqu'ils sont ingérés, les MPs peuvent libérer ces substances toxiques dans les organismes, perturbant ainsi les fonctions biologiques et la santé. De plus, cette contamination peut se propager dans la chaîne alimentaire, affectant finalement les humains. La compréhension de ces mécanismes est aussi essentielle pour évaluer les risques environnementaux liés aux microplastiques.

Les techniques actuelles d'analyse des MPs/NPs

L'analyse des MPs/NPs dans les tissus biologiques repose sur des protocoles de laboratoire visant à les extraire, les identifier et les quantifier (11). Une première étape consiste en une digestion enzymatique (par ex: trypsine) ou chimique par des agents acides (par ex: acide nitrique) et/ou alcalins (par ex: hydroxyde de potassium) ou des agents oxydants (par ex: peroxyde d'oxygène) permettant d'éliminer le plus sélectivement possible la matière organique et de récupérer les MPs/NPs (12-13). La deuxième étape consiste à analyser les données par différentes techniques dont la microscopie (optique ou électronique), les techniques de spectroscopie (micro-FTIR; Raman) et la pyrolyse couplée à

la chromatographie-spectrométrie de masse (Py-GC/MS). Des équipes scientifiques multidisciplinaires s'accordent sur la nécessité de développer des méthodes d'analyse standardisées tant en termes de collectes des échantillons que de dosages et caractérisation des MPs/NPs. Derrière ces termes techniques se cache un objectif simple: mieux comprendre comment ces particules se distribuent dans notre corps, où elles se logent, et si elles sont dangereuses à long terme.

Les modèles expérimentaux d'exposition aux MPs/NPs

Les expériences sur les animaux démontrent que les MPs/NPs pénètrent dans l'organisme par ingestion (via la nourriture ou l'eau), inhalation ou contact cutané (14-15). Ils traversent les barrières biologiques comme la paroi intestinale, les alvéoles pulmonaires ou l'épithélium olfactif. Véhiculés par le sang ou la lymphe, ils atteignent les organes du corps comme le foie, le rein ou le placenta (14,16-17). Ils passent la barrière hémato-encéphalique pour atteindre le cerveau et s'y accumuler (16).

Les modèles expérimentaux révèlent en particulier des impacts métaboliques et endocriniens (puberté précoce), une inflammation chronique et une obstruction des artères (18-20). Des processus de peroxydation lipidique, une apoptose et un génotoxicité ont été documentés. Les MPs/NPs pourraient agir à la manière de transporteurs d'agents toxiques comme les phtalates et les métaux lourds. En traversant le placenta, les MPs/NPs peuvent entraîner chez le fœtus des malformations des organes, comme par exemple au niveau cérébral ou hépatique (17). Des troubles du comportement et de l'anxiété ont été observés (16,21). Les conséquences sur l'organisme sont fonction des concentrations tissulaires (4).

Ce que cela signifie: une exposition aux microplastiques pourrait commencer avant même la naissance, en passant de la mère à l'enfant via le placenta, avec des effets possibles sur le développement.

Quelles conséquences pour l'homme?

L'impact des MPs/NPs sur l'organisme humain fait désormais l'objet de nombreuses interrogations et même d'inquiétudes. Après ingestion, notamment par la consommation d'animaux provenant de la pêche ou d'eau contenue dans des bouteilles en plastique, les particules traversent la barrière intestinale et induisent un stress cellulaire pouvant menacer l'intégrité de l'intestin (22). Les particules inhalées se déposent dans les poumons. Le cerveau accumule notamment du PE (23). Les dépôts de MPs/NPs dans le cerveau seraient liés à l'intégrité de la barrière hémato-encéphalique (BHE) et leurs concentrations seraient augmentées lors d'infection du liquide céphalo-rachidien altérant les propriétés de la barrière hémato-encéphalique (24). D'autres études, montrent que l'exposition au PS diminue

l'expression des jonctions serrées et augmente la perméabilité membranaire (25). On découvre ainsi aujourd'hui que certaines particules de plastique peuvent s'accumuler dans notre cerveau, et que leur présence pourrait être favorisée par certaines infections. C'est une question de santé publique encore largement inexplorée.

La question est posée du rôle éventuel des MPs/NPs dans la pathogénie de maladies neurodégénératives telles que les démences. La maladie d'Alzheimer est actuellement la démence la plus fréquente et se caractérise par le dépôt de peptides β -amyloïde (A β) dans le tissu cérébral. Il a été démontré que la présence de NPs, en particulier ceux à base de PS, favorise l'agrégation de peptides A β et d' α -synucléine (26-27), mais peut également en induire la nucléation, agissant ainsi comme un facteur potentiel de la progression de la maladie. Dans la maladie de Parkinson, caractérisée par la dégénérescence de neurones dopaminergiques de la substance noire mésencéphalique, des altérations similaires sont observées (27). Parmi les hypothèses avancées figurent notamment le stress oxydatif ou l'activation gliale entraînant des dysfonctions neurodéveloppementales, des anomalies du comportement et des troubles moteurs.

L'impact des MPs/NPs sur l'organisme humain fait désormais l'objet de nombreuses interrogations et même d'inquiétudes.

Campen et al. ont analysé le cortex moteur provenant d'autopsies (28). En comparant des cadavres de 2016 et 2024, les concentrations de MPs/NPs étaient augmentées de 50% sur cette période de 8 ans, avec des taux médians de 3.345 μ g/g (année 2016) et 4.917 μ g/g (année 2024). À titre de comparaison, les concentrations de GABA dans le cortex moteur sont de l'ordre de 135 à 165 μ g/g. De manière surprenante, les concentrations cérébrales en MPs/NPs étaient 7 à 30 fois supérieures dans le cerveau par rapport aux reins ou au foie. Ceci pourrait être expliqué en partie par le caractère lipophile de la plupart des polymères, le cerveau étant la deuxième structure du corps la plus riche en contenu lipidique après les adipocytes. Les auteurs ont également découvert des taux fortement augmentés dans le cerveau de patients atteints de démence.

Dans l'étude de Marfella et al. sur les plaques d'athérome de l'artère carotide interne, la présence de PE et PVC a été démontrée chez 150 patients sur 257 (58,4%). Dans ce groupe, les auteurs ont observé une augmentation du risque d'AVC, d'infarctus

myocardique et de décès lorsque les plaques contenaient des MPs/NPs (26). Ceci pose une question déterminante à l'échelon sociétal: l'accumulation des MPs/NPs paraissant être un nouveau facteur de risque cardiovasculaire pour l'homme, des mesures devraient-elles être prises? Autrement dit, sommes-nous déjà face à une crise sanitaire insidieuse?

Conclusions

L'accumulation de MPs/NPs tant dans les écosystèmes marins ou terrestres que chez l'homme est devenue un enjeu sociétal majeur qui reste un défi pour les scientifiques. Les taux de MPs/NPs mesurés dans le cerveau des personnes décédées sont particulièrement élevés. Le principal plastique accumulé est le polyéthylène qui n'est autre que le plastique le plus produit au monde. Compte-tenu de l'incidence croissante de maladies neurodégénératives comme la maladie d'Alzheimer, il est urgent de déterminer les conséquences des MPs/NPs sur le cerveau humain.

Ce sujet nous concerne tous. Ce n'est pas seulement un problème de curiosité scientifique, mais une question collective avec un vrai impact sociétal. Car si ces particules sont partout, alors la solution doit venir de tous les secteurs - science, industrie, société civile, et chacun(e) d'entre nous. ■



Take-home messages

- Les microplastiques (MPs) et nanoplastiques (NPs) sont des polluants ubiquitaires.
- Ils pénètrent l'organisme humain par ingestion, inhalation ou contact cutané.
- Ils sont présents en forte concentration dans le cerveau humain.
- À ce stade les données humaines sont très peu nombreuses mais les modèles in vitro et les modèles animaux suggèrent un effet toxique des MPs et NPs.
- Les MPs/NPs pourraient exacerber ou déclencher des maladies neurodégénératives.
- Les MPs/NPs constituent une nouvelle urgence sanitaire qui est insidieuse mais bien présente.

Références

- Knop A, Pilato A. Phenolic resins: chemistry, applications and performance, future directions. *Acta Polym.* 1987;38:10-100.
- Tollefson J. Plastic pollution: three numbers that support a crackdown. *Nature.* 2024;628:242-243.
- Gigault J, Halle AT, Baudrimont M, Pascal PY, Gouffre F, Phi TL, El Hadri H, Grassl B, Reynaud S. Current opinion: what is a nanoplastic? *Environ Pollut.* 2018;235:1030-1034.
- Leslie HA. Microplastics in personal care products and cosmetics. In: Rocha Santos TAP, Duarte AC, editors. *Microplastics - A review of sources, separation, analysis and removal strategies.* Singapore: Springer; 2024. p. [Chapitre 9].
- Rochman CM, Hoellein TJ, Powell H, Teh S. Oxidation and fragmentation of plastic debris in a changing environment. *Sci Total Environ.* 2022;839:156567.
- Tursi A, Baratta M, Easton T, Chatzisyron E, Chidichimo F, De Biase M, De Filipo G. Microplastics in aquatic systems, a comprehensive review: origination, accumulation, impact, and removal technologies. *RSC Adv.* 2022;12:28318-28340.
- Rani A. Types and sources of microplastics; the ubiquitous environment contaminant: a review. *J Polym Mater.* 2022;39:17-35.
- Pandey D, Singh A, Ramanathan A, Kumar M. The combined exposure of microplastics and toxic contaminants in the floodplains of north India: A review. *J Environ Manage.* 2021;279:111557.
- Li Y, Tao L, Wang Q, Wang F, Li G, Song M. Potential health impact of microplastics: a review of environmental distribution, human exposure, and toxic effects. *Environ Health (Wash).* 2023;14:249-257.
- Squadrone S, Pederiva S, Bezzi T, Sartor RM, Battuello M, Nurra N, Grigione A, Brizio P, Abete MC. Microplastics as vectors of metals contamination in Mediterranean Sea. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2022;29(20):29529-29534.
- Qian N, Gao X, Lang X, Deng H, Bratu TM, Chen Q, Stapleton P, Yan B, Min W. Rapid single-particle chemical imaging of nanoplastics by SRS microscopy. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2024;121. e2300582121.
- Mariano S, Tacconi S, Fidalco M, Rossi M, Dini L. Micro and nanoplastics identification: classic methods and innovative detection techniques. *Frontiers Toxicol.* 2021;3:636640.
- Liu Y, Lüttjohann S, Vianello A, Lorenz C, Liu F, Vollertsen J. Detecting small microplastics down to 1.3 µm using large area ATR-FTIR. *Mar Pollut Bull.* 2024;198:115795.
- Lei L, Wu S, Lu S, Liu M, Song Y, Fu Z, Shi H, Raley-Susman KM, He D. Microplastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode *Caenorhabditis elegans*. *Sci Total Environ.* 2018;619:1-8.
- Balkrishna A, Tiwari A, Sinha S, Kumari A, Gohel V, Dev R, Bhattacharya K, Varshney A. Polystyrene microplastic induced airway hyper-responsiveness, and pulmonary inflammation are mitigated by bronchom treatment in murine model of lung disease. *Biomedicine Pharmacotherapy.* 2025;187:118122.
- Jeong B, Baek JY, Koo J, Park S, Ryu YK, Kim KS, Zhang S, Chung C, Dogan R, Choi HS, Um D, Kim TK, Lee WS, Jeong J, Shin WH, Lee JR, Kim NS, Lee DY. Maternal exposure to polystyrene nanoplastics causes brain abnormalities in progeny. *J Hazardous Mat.* 2022;426:127815.
- Ferraboschi I, Canzolino F, Ferrari E, Sissa C, Masino M, Rizzi M, Bussolati S, Basini G, Bertini S, Groli S, Ramoni R, Di Ianni F, Vetere A, Bigliardi E. Detection of Microplastics in the Feline Placenta and Fetus. *PLoS One.* 2025; 20:0320694.
- Shin, Heesang, et Chang-Bum Jeong. Metabolism deficiency and oxidative stress induced by plastic particles in the rotifer *Brachionus plicatilis*: common and distinct phenotypic and transcriptomic responses to nano- and microplastics. *Mar Poll Bull.* 2022; 182: 113981.
- Jeong CB, Won EJ, Kang HM, Lee MC, Hwang DS, Hwang UK, Zhou B, Souissi S, Lee SJ, Lee JS. Microplastic size-dependent toxicity, oxidative stress induction, and p-JNK and p-P38 activation in the Monogonont Rotifer (*Brachionus Koreanus*). *Environ Sci Technol.* 2016;50:8849-57.
- Wang C, Chang H, Wang H, Li H, Ding S, Ren F. Exposure to microplastics during pregnancy and fetal liver function. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2025;294:118099.
- Wright SL, Thompson RC, Galloway TS. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environ Poll.* 2013;178:483-92.
- Sofield CE, Anderton RS, Gorecki AM. Mind over microplastics: Exploring microplastic-induced gut disruption and gut-brain-axis consequences. *Curr Issues Mol Biol.* 2024;46:4186-4202.
- Amato-Laurenço LF, Dantas KC, Júnior GR, Paes VR, Ando RA, De Oliveira Freitas R, et al. Microplastics in the olfactory bulb of the human brain. *JAMA Netw Open.* 2024;7:e2440018.
- Xie J, Ji J, Sun Y, Ma Y, Wu D, Zhang Z. Blood-brain barrier damage accelerates the accumulation of micro- and nanoplastics in the human central nervous system. *J Hazard Mat.* 2024;480:136028.
- Moiniafshari K, Zanut A, Tapparo A, Pastore P, Bogioli S, Abdolshahpur Monikh F. A perspective on the potential impact of microplastics and nanoplastics on the human central nervous system. *Environ Sci Nano.* 2025;12:1809-1820.
- Gou X, Fu Y, Li J, Xiang J, Yang M, Zhang Y. Impact of nanoplastics on Alzheimer's disease: Enhanced amyloid-β peptide aggregation and augmented neurotoxicity. *J Hazard Mat.* 2024;465:133518.
- Mohammadipour A, Haghir H, Ebrahimzadeh Bideskan A. A link between nanoparticles and Parkinson's disease. Which nanoparticles are most harmful? *Rev Environ Health.* 2020;35(4):545-56. doi:10.1515/reveh-2020-0043.
- Nihart AJ, Garcia MA, El Hayek E, Liu R, Olewine M, Kingston JD, Castillo EF, Galluppi RR, Howard T, Bleske B, Scott J, Gonzalez-Estrella J, Gross JM, Spilde M, Adolphi NL, Gallego DF, Jarrell HS, Dvorscak G, Zuluaga-Ruiz ME, West AB, Campen MJ. Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. *Nat Med.* 2025;31:1114-1119.
- Marfella, Raffaele, et al. Microplastics and Nanoplastics in Atherosclerosis and Cardiovascular Events. *New Engl J Med.* 2024;390:900-910.