



HAL
open science

Éliminer les microplastiques

Eric Lichtfouse, Didier Robert, Chuanyi Wang

► **To cite this version:**

Eric Lichtfouse, Didier Robert, Chuanyi Wang. Éliminer les microplastiques. Le CNRS en Chine, 2022, 36, pp.47-50. hal-03824776

HAL Id: hal-03824776

<https://hal.science/hal-03824776>

Submitted on 25 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Eliminer les microplastiques

Didier Robert, Eric Lichtfouse, Chuanyi Wang

Didier Robert : Maître de conférences HDR au sein de l'Institut de Chimie et Procédés pour l'Energie, l'Environnement et la Santé (ICPEES-UMR 7515) antenne de Saint-Avold, Université de Strasbourg, IUT-ME.

Eric Lichtfouse : Docteur en géochimie organique (Géosciences de l'Environnement), Université Aix-Marseille, CNRS, IRD, INRAE, CEREGE.

Chuanyi Wang : Président académique de la *Shaanxi University of Science and Technology (SUST)* ; *School of Environmental Science and Engineering (SUST Xi'an)*.

Notre collaboration qui associe les laboratoires CNRS des **Universités de Strasbourg** et **Aix-Marseille** avec l'**Université des Sciences et Technologies du Shaanxi** fait l'inventaire des méthodes pour **dépolluer les microplastiques** [1].

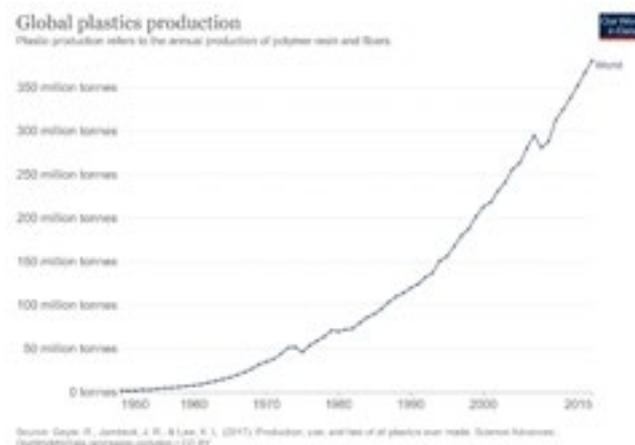
Les microplastiques sont des contaminants qui ont été identifiés récemment dans les organismes vivants et dans la plupart des milieux naturels dans le monde entier. Cette présence pose un problème de santé car d'une part, certains microplastiques sont toxiques, et d'autre part, ils transportent d'autres contaminants et des microbes pathogènes. C'est également un problème de changement climatique car **la plupart des plastiques proviennent du pétrole**, et donc leur dégradation augmente la teneur en CO₂ de l'atmosphère.

Le «Plasticocène», l'ère du plastique

Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, la transformation de notre société s'est accompagnée d'une augmentation régulière de la capacité de production de matières plastiques. Elle a donné naissance à « **l'ère des plastiques** » [2]. La durée « d'utilisation » des produits plastiques peut varier d'une année à plus de 50 ans en fonction de leur utilisation et de leur nature. Ils sont ensuite éliminés comme déchets qui seront soit recyclés (9%), soit utilisés pour la **valorisation énergétique** (12%), mis en **décharge** (8%) ou **perdus dans l'environnement** (71%).

Par conséquent, le rejet et l'accumulation de déchets plastiques dans l'environnement représentent **une pollution majeure** au niveau mondial.

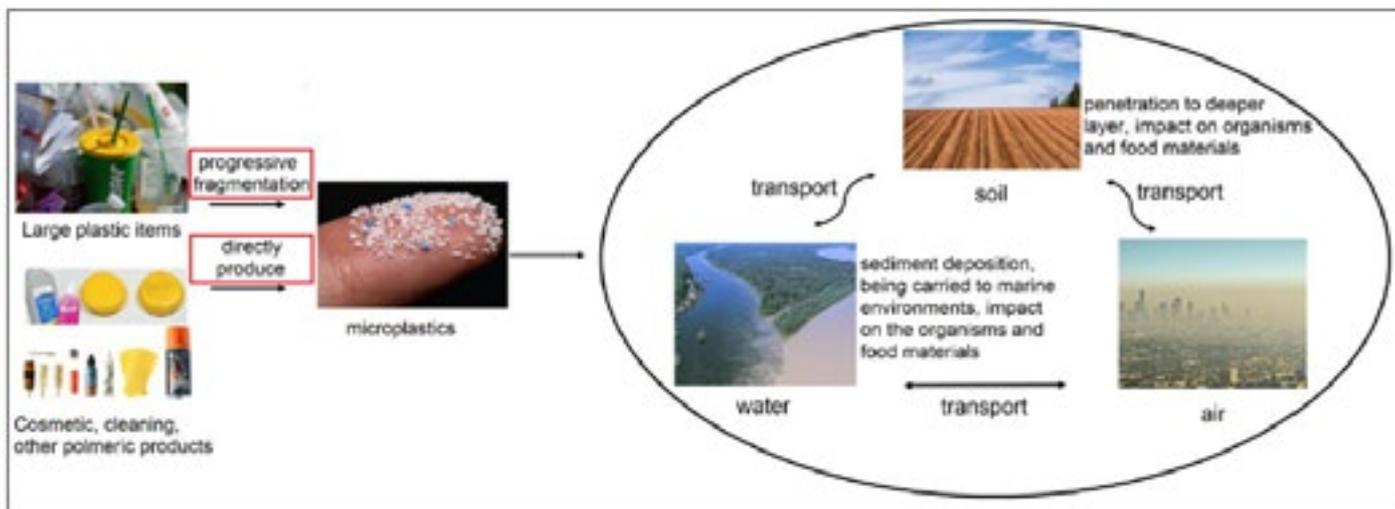
En effet, on considère que **près de la moitié des déchets plastiques ont été rejetés dans l'environnement en 2015** [3]. A l'échelle planétaire chaque année, plus de 350 millions de tonnes d'objets en plastique sont produites et environ 13 millions de tonnes sont rejetées dans les rivières et les océans [4] (Figure 1). Ce sont ainsi plus de **250 millions de tonnes** de déchets en plastique qui devraient s'accumuler d'ici 2025 [5].



■ Figure.1 : Production mondiale de matériaux plastiques

D'où proviennent les microplastiques ?

Les débris et particules de plastique sont classés par taille. Les microplastiques (MPs) sont le plus souvent définis comme faisant moins de 5 mm, tandis que les plus petits, les nanoplastiques (NPs), sont caractérisés avec une taille allant de 1 nm à 1 µm [6]. Les MPs apparaissent dans les masses d'eau de surface et dans les mers et océans selon deux origines (Figure 2, page suivante) :



■ Figure. 2 : Voies de transport des microplastiques depuis les sources d'origine vers les différents environnements.

- **Le transport dans le milieu marin sous forme de microparticules synthétiques** : par exemple des microbilles incorporées dans les produits cosmétiques et de soins personnels, dans les peintures, dans l'électronique ou certains adhésifs [7]. Ils sont également émis par les imprimantes 3D.
- **La fragmentation de gros débris de plastique par différents processus** : photodégradation par les ultraviolets, biodégradation, processus de dégradation mécaniques et chimiques, qui vont donc former ce qu'on appelle des MPs secondaires. Cependant, une grosse partie provient également de la fragmentation des matériaux plastiques dans les stations de traitement de l'eau (STEPs), ces micro- et nanoparticules se retrouvant ensuite dans les océans via les eaux de surface [8].

La présence des MPs dans les milieux aquatiques est maintenant bien identifiée et étudiée depuis le début du 21^{ème} siècle. Ils ont été détectés dans les eaux douces, les mers et les océans du monde entier y compris au niveau des pôles [9]. Cependant, l'intérêt de la communauté scientifique pour **les technologies de réduction ou d'élimination des microplastiques dans l'eau est très récent**. Si les microplastiques ont fait l'objet de travaux plus anciens, les premières études sur l'élimination des MPs ont été publiées il y a moins de 5 ans. C'est pour cette raison, qu'avec nos collègues : **WANG Chuanyi** et **Mohsen Padervand** de la *Shaanxi University of Science and Technology*, nous avons pensé qu'il était opportun de faire le point sur ce sujet sous la forme d'un article de revue publié dans le journal « *Environmental Chemistry Letters* » [1].

De nouveaux polluants toxiques

La toxicité des MPs peut avoir plusieurs origines. Elle peut être **chimique**. Par exemple, la présence de **résidus de polystyrène** dans les aliments causerait de graves problèmes de santé, tandis que les **résines époxy de bisphénol A** sont absorbées par les tissus vivants, interférant avec le taux de division cellulaire [10]. D'autre part, la libération **d'additifs chimiques**, utilisés pendant les processus de fabrication des polymères pour améliorer les performances des produits, y compris les additifs fonctionnels tels que les plastifiants, les stabilisants thermiques, les retardateurs de flamme et les antioxydants, les colorants, provenant des matériaux à base de plastique constituent une autre source d'effets toxiques.

La toxicité des MPs peut avoir également une **origine physique**. En 2015, des chercheurs ont montré que la forme et la texture des microplastiques ingérés par des amphipodes d'eau douce (des petits crustacés) influençaient leurs effets toxiques ainsi que leur capacité d'absorption [11]. Selon les résultats de cet article, **les fibres de microplastique de polypropylène** étaient plus toxiques que les particules sphériques. Ils ont attribué cela au temps de séjour plus long des fibres dans l'intestin, ce qui peut affecter la capacité de transformation des aliments.

Enfin, les microplastiques peuvent être des **vecteurs de micro-organismes toxiques** dans l'environnement. Ainsi une équipe allemande a mis en évidence, le transport de bactéries pathogènes (*V. parahaemolyticus*) sur des microparticules de polyéthylène, de polypropylène et de polystyrène recueillies en mer du Nord [12].

Comment éliminer les microplastiques des eaux de surface ?

Supprimer tous les microplastiques présents dans les océans semble irréaliste et utopique. Cependant, **limiter leurs rejets dans l'environnement est possible**, par exemple en agissant en amont sur les stations municipales de traitement de l'eau. Actuellement, les matières plastiques sont principalement éliminées par des procédés **physico-mécaniques** (décantation, sédimentation, dégrillage, flottation...), **physico-chimiques** (coagulation-floculation, aération et clarification, séparation membranaire), biologiques (biofilm/boues activées...) et **chimiques** (oxydation, chloration, désinfection...).

Les processus intervenant dans les stations d'épuration peuvent donc être classés en deux catégories : **les processus de séparation** (coagulation-floculation, séparation membranaire, etc.) et **les processus de dégradation** (photo-oxydation, traitement biologique, etc.). Ils sont également considérés comme des étapes de traitement préliminaires, primaires, secondaires et tertiaires.

Néanmoins, les plus petits débris plastiques compris entre 20 et 100 nm (les NPs) peuvent contourner toutes ces étapes de traitement, et sont rejetés dans l'environnement [13]. À ce jour, aucune étude à grande échelle n'a été réalisée sur le rejet de NPs dans les eaux de surface, principalement parce qu'ils sont difficiles à détecter et à quantifier. De nombreuses études suggèrent que malgré leur mise à niveau, les stations d'épuration représentent toujours une voie importante de rejet quotidien de micro- et nanoplastiques dans l'environnement [14].

Vers la recherche de nouveaux procédés d'élimination des micro et nanoplastiques

D'autre part, les MPs perturbent le fonctionnement des procédés classiques de **traitement des eaux usées** (ralentissement de la filtration rapide sur sable, colmatage des filtres à membranes, etc.) et contrairement à la majorité des MPs, les NPs sont rejetées en quasi-totalité dans les milieux naturels. De plus, le principal inconvénient de la plupart des procédés conventionnels

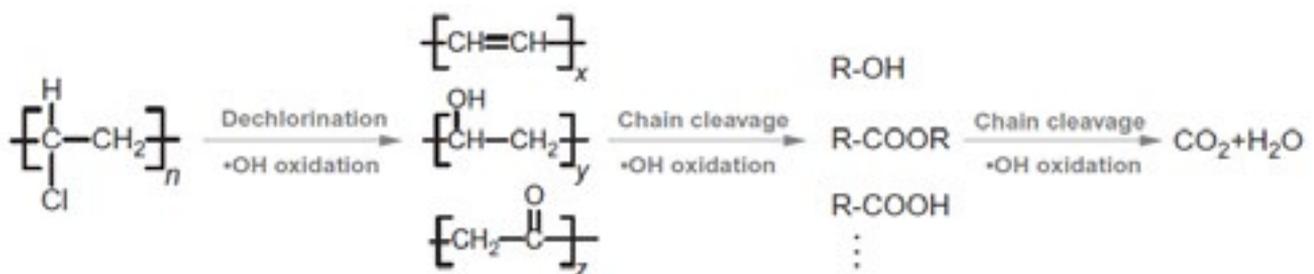
est qu'ils sont non destructifs et ne font que transférer cette pollution vers d'autres sites (sur des filtres ou des adsorbants). Par exemple, les procédés de coagulation/floculation ou d'électrocoagulation produisent de grands volumes de boues contenant de fortes concentrations en microplastiques [15].

Le développement de **procédés de dégradation et de minéralisation** respectueux de l'environnement est donc nécessaire pour éliminer les MPs et surtout les NPs présents dans l'eau potable ou dans les eaux usées. Dans ce contexte, les **procédés d'oxydation avancés (POA)** peuvent représenter une solution intéressante pour la dégradation des NPs [16]. Le principe général des POA est basé sur la **génération in-situ d'agents oxydants puissants**, tels que les radicaux hydroxyles ($\text{HO}\bullet$), à une concentration suffisante pour décontaminer efficacement les eaux. Au cours des 30 dernières années, plusieurs études ont comparé l'efficacité des principaux procédés d'oxydation avancés. Cependant, la plupart d'entre elles se sont concentrées sur la **dégradation des molécules organiques** (pesticides, colorants, médicaments, etc.) et leurs sous-produits [16]. Il n'y a eu que quelques tentatives sur les microplastiques. Une étude récente a montré qu'une **technologie de type électro-Fenton** basée sur une cathode TiO_2 /graphite, était capable de dégrader le chlorure de polyvinyle (PVC) [17] (Figure 3).

Cependant, toutes les études sur la dégradation catalytique, photocatalytique et électrochimique des MP et des NP ont été réalisées à l'échelle du laboratoire, et des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer les défis associés à la mise à l'échelle.

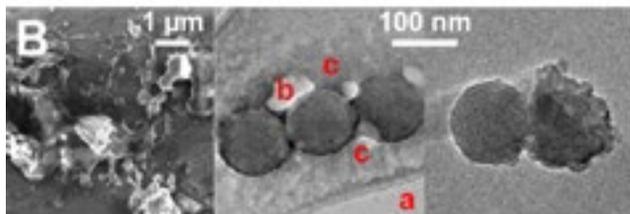
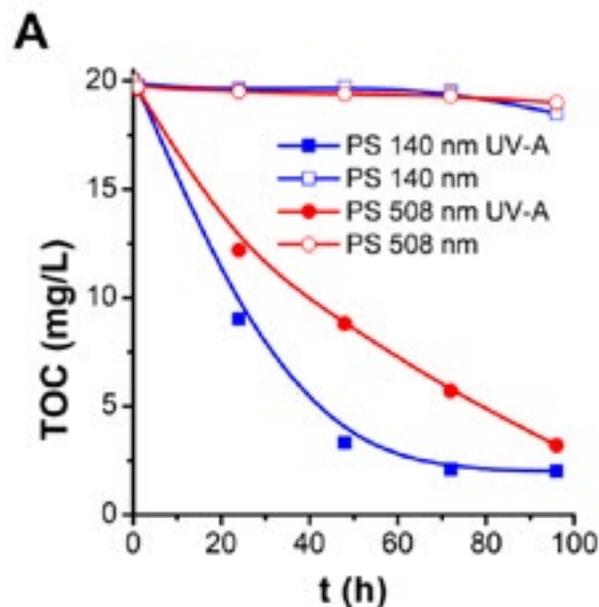
La photocatalyse hétérogène utilisée pour éliminer des nanobilles de plastique

Peu de travaux ont été réalisés sur l'élimination des micro et nanoplastiques par **photocatalyse** hétérogène. Notre équipe de l'ICPEES à Strasbourg a été une des premières à démontrer la faisabilité de la dégradation photocatalytique de nanoparticules calibrées de polyméthacrylate de méthyle (PMMA) et de polystyrène (PS) avec des mousses de TiO_2 -P25/ β -SiC sous lumière UV-A [18]. Ainsi, lors de la



■ Figure 3 : Mécanisme de dégradation du PVC par électro-Fenton [17]

dégradation photocatalytique de suspensions de nanobilles de polystyrène (Figure 4A), nous avons montré une minéralisation de près de 80 % après 96h de traitement. L'image au microscope de la figure 4B après 48h d'irradiation montre la présence de débris polymériques avec une grande variété de tailles et de formes.



■ Figure 4 : Dégradation photocatalytique d'une suspension de nanobilles de polystyrène en présence de TiO₂ supporté sur mousse de SiC et sous irradiation UV.

Les images en microscopie révèlent la transformation de forme des NP de polystyrène sphériques de départ bien définis et montrent à quel point la morphologie des nanoparticules a été affectée par les multiples attaques des radicaux ((a) trou de membrane de carbone, (b) membrane de carbone, (c) matériau polymère libéré des nanobilles de polystyrène).

Nous avons également observé l'influence de la taille des nanoparticules de PS sur la vitesse de minéralisation, ainsi que d'autres facteurs tels que le pH, l'intensité de l'irradiation et le débit de la suspension dans le réacteur.

La quantité de carbone permet d'avoir une estimation de la proportion de nanopolymères photo-oxydés et

minéralisés. Pour obtenir plus d'informations sur la proportion de nanobilles de PS restantes, nous avons utilisé la **chromatographie en phase gazeuse par pyrolyse** couplée à la **spectroscopie de masse** (Py-GC/MS), qui est une méthode prometteuse pour la **caractérisation et la quantification** directes des MPs et des NPs dans des échantillons environnementaux grâce à l'analyse de leurs produits de pyrolyse spécifiques. De plus, des analyses par pyGC/MS à basse température permettent de détecter la présence de sous-produits de dégradation lors de la photocatalyse du PS. Ainsi, plusieurs molécules dont l'acide acétique, l'acide benzoïque, la benzophénone et le monobenzoate de 1,2-Ethanediol ont été détectées. ☘

Références

- [1] Padervand M, Lichtfouse E, Robert D, Wang C: Removal of microplastics from the environment. A review, *Environ Chem Lett* 18(3):807–828, 2020
- [2] Thompson, R.C., Moore, C. J., vom Saal, F. S., Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philos. Trans. R. Soc. London.* 364, 2153–2166.
- [3] Lebreton, L., Andrady, A. L. (2019) "Future scenarios of global plastic waste generation and disposal." *Palgrave Communications* 5: 1-11.
- [4] Geyer, R., Jambeck, J. R., Law, K.L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3, e1700782.
- [5] Foerster K.H. (2017). In: Idweaver (Ed.), *Plastics Europe -Association of Plastic Manufacturers.*
- [6] Gigault J, Ter Halle A, Baudrimont M, Pascal PY, Gauffre F, Phi T, El Hadri H, Grassl H, Reynaud S, (2018) Current opinion: What is a nanoplastic?. *Environ. Pollut.* 235, 1030.
- [7] Koelmans, A.A., Besseling, E., Shim, W.J. (2015) Nanoplastics in the aquatic environment. *Critical Review.* In : *Marine Anthropogenic Litter*; Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (2015). Eds.; Springer International Publishing.; pp 325– 340
- [8] Law K.L., (2017). *Plastics in the Marine Environment.* *Ann. env. Mar. Sci.*, 9, 205.
- [9] Eriksen M., et al, (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Mar. Pollut. Bull.*, 77, 177.
- [10] Lau O-W, Wong S-K (2000) Contamination in food from packaging material. *Journal of Chromatography A* 882 (1-2), 255-270.
- [11] Au SY, Bruce TF, Bridges WC, Klaine SJ (2015) Responses of *Hyalella azteca* to acute and chronic microplastic exposures. *Environmental Toxicology and Chemistry* 34 (11), 2564-2572.
- [12] Kirstein IV, Kirmizi S, Wichels A, Garin-Fernandez A, Erler R, Martin L, Gerdtz G (2016) Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. *Marine environmental research* 120, 1-8
- [13] Cesa, F.S., Turra, A., Baroque-Ramos, J., (2017) Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: a review from textile perspective with a focus on domestic washings. *Sci. Total Environ.* 598, 1116-1129.
- [14] Enfrin M, Dumée L.F, Lee J., (2019) Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes, origin, impact and potential solutions, *Water Research* 161, 621-638.
- [15] Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., Setälä, O., (2017). Solutions to microplastic pollution - removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Res.* 123, 401–407.
- [16] Brillas E, (2020) A review on the photoelectro-Fenton process as efficient electrochemical advanced oxidation for wastewater remediation. Treatment with UV light, sunlight, and coupling with conventional and other photo-assisted advanced technologies, *Chemosphere*, 250, 126198.
- [17] Miao F, Yanfeng L, Mingming G, et al.: Degradation of polyvinyl chloride microplastics via an electro-Fenton-like system with a TiO₂/graphite cathode, *J Hazard Mater* 399:123023, 2020.
- [18] Allé P.H., Garcia-Munoz P, Adouby K., Keller N., Robert D., (2021). Efficient photocatalytic mineralization of polymethylmethacrylate and polystyrene nanoplastics by TiO₂/β-SiC alveolar foams. *Env. Chem. Lett.* 19, 1803.