

Matières plastiques et dérivés : quels impacts écotoxicologiques sur les écosystèmes terrestres ?

Depuis plusieurs décennies, l'usage par l'Homme des matières plastiques s'est accru dans le monde à des fins domestiques, industrielles ou encore agricoles. En conséquence, la pollution des surfaces continentales et océaniques par les plastiques augmente, et soulève de nombreuses questions quant à ses conséquences écotoxicologiques ou sanitaires potentielles (European Commission, 2011 ; Lambert *et al.*, 2014 ; Thompson *et al.*, 2009). Le signal d'alarme a été tiré depuis plusieurs années dans le cas des écosystèmes marins, où des zones à fortes densités de plastiques ont été décrites avec des impacts avérés sur la faune sauvage marine (Cole *et al.*, 2011). Des débris et particules sont également observés dans les rivières et les estuaires (Mani *et al.*, 2015). En revanche, la présence de résidus de matières plastiques, comme leurs éventuels impacts sur les écosystèmes terrestres continentaux, sont encore peu étudiés (Rillig, 2012).

Une contamination des sols mal connue d'un point de vue quantitatif et qualitatif

La contamination des sols et des écosystèmes terrestres par les matières plastiques revêt plusieurs origines. De nombreuses particules sont émises vers l'atmosphère via la mise en décharge ou l'incinération de matières plastiques (Dris *et al.*, 2015, 2016). L'utilisation de plastiques en agriculture, malgré une récupération et un recyclage importants, contribue aussi à cette contamination (Steinmetz *et al.*, 2016). Toutefois, nous ne disposons que de rares données quantitatives sur les entrées réelles de plastiques.

La dispersion atmosphérique des particules conduit à des retombées évaluées à 100 particules/m²/jour dans les zones urbanisées (Dris *et al.*, 2015), ce qui correspond à une contamination calculée de l'ordre de 0,7 particules/kg de sol/jour sur les 10 premiers centimètres de l'horizon de surface, équivalente à 27 µg de plastiques/kg de sol/an. Une source importante d'entrée de plastiques dans les sols notamment sous forme de fibres synthétiques résulte de la valorisation agricole de produits résiduels organiques comme les boues d'épuration urbaines générées par les stations d'épuration (Zubris and Richards, 2005). Des teneurs de 1000 particules/kg de matière sèche sont rapportées, ce qui correspond à 170 particules/kg de sol pour un épandage de 30 tonnes de matière sèche de boues. Nous estimons que l'irrigation de cultures comme le maïs occasionnerait des apports de l'ordre de 1 particule/kg de sol/cycle cultural compte tenu des teneurs en plastiques rapportées dans des eaux de surface. Enfin les bioplastiques, majoritairement utilisés pour le paillage des cultures, peuvent représenter plusieurs centaines de kg apportés par hectare cultivé.

Les plastiques sont présents sous différentes formes dans les sols, les produits bruts subissant plusieurs étapes d'altération. La formation de microplastiques, comme celle de particules de plus petite taille, est due à l'action de facteurs biotiques et abiotiques (Wood et Zimmer, 2014). La structure polymérique des particules est ensuite altérée, et des composés chimiques (constituants, additifs, catalyseurs, charges, composés adsorbés...) sont relargués. Dans les sols, les particules et composés chimiques pourront être dégradés voire minéralisés, ou partiellement transformés, ou encore stabilisés lorsqu'ils entrent en interaction avec les constituants du sol. Ces processus auront des conséquences sur la biodisponibilité de l'ensemble des composés chimiques sur le compartiment biologique, et moduleront l'exposition des organismes. Comme la dégradation totale des plastiques est longue, des fibres ayant été détectées 15 ans après l'épandage de boues (Zubris and Richards, 2005), les matières plastiques sont considérées comme persistantes dans les sols. De plus, les

microplastiques, en raison de leur rapport surface/volume important et de leur composition chimique, sont des vecteurs de contaminants chimiques constitutifs ou adsorbés souvent persistants (métaux, polluants organiques..., Ashton *et al.*, 2010 ; Rios *et al.*, 2010) en plus de matériels biologiques adsorbés (bactéries...).

Ce manque de connaissances sur la contamination effective des sols par les matières plastiques et leurs dérivés, associée à la complexité de cette contamination sont des freins à la connaissance de l'exposition réelle des organismes des écosystèmes terrestres.

Des effets biologiques potentiellement nombreux et variés

Les effets biologiques résultant de l'exposition des organismes terrestres aux matières plastiques et à leurs dérivés sont potentiellement nombreux. Peu étudiés, ils semblent comparables à ceux exercés sur les organismes aquatiques, et associent les effets des contaminants physiques à ceux des contaminants chimiques. Les particules de grande taille sont ingérées et provoquent chez les organismes un blocage physique du tractus digestif, des lésions des organes et des tissus, une sous-alimentation des individus, qui conduisent à une diminution d'activité ou à la mort. Les particules de petite taille, ainsi que l'ensemble des contaminants chimiques (constituants, additifs ou adsorbés) conduisent à des effets létaux et sub-létaux. Les fonctions écophysiologiques importantes des individus, métaboliques, reproductives ou comportementales, sont altérées. Par exemple, la libération de l'ensemble des composés chimiques associés aux plastiques est souvent associée à une perturbation de la fonction endocrinienne (Lambert *et al.*, 2014 ; Oehlmann *et al.*, 2009). Si de rares études étudient les effets des matières plastiques et de leurs dérivés au niveau individuel ou sub-individuel, la prise en compte de niveaux d'organisation biologique supérieurs (populations, communautés) reste à développer. Toutefois, certains composés chimiques constituants des plastiques ou adsorbés sont connus pour modifier la diversité et l'activité des communautés microbiennes des sols (Kapanen *et al.*, 2007).

Une incidence importante des cancers a été rapportée chez la faune sauvage marine depuis une vingtaine d'années (McAloose and Newton, 2009). Elle semble associée à une contamination globale des écosystèmes (Erren *et al.*, 2009), due à la charge critique causée par les débris plastiques. Les espèces marines apparaissent comme des indicateurs sensibles et des sentinelles vis-à-vis de menaces environnementales à l'égard de l'ensemble des espèces sauvages et de l'Homme, mais elles peuvent aussi constituer des vecteurs de composés cancérogènes via les chaînes alimentaires. De plus, des particules de plastiques ont été retrouvées dans les miels (Liebezeit and Liebezeit, 2015), la bière, l'eau minérale, tandis qu'en Chine des risques pour l'Homme ont été clairement mis en évidence dans le périmètre d'usines de recyclage des déchets plastiques (Tang *et al.*, 2015).

Une évaluation réglementaire et expérimentale des effets à renforcer sur les organismes des sols

A ce jour, l'évaluation réglementaire de l'écotoxicité concerne essentiellement les bioplastiques utilisés en agriculture pour le paillage des cultures. Les essais ne traduisent que peu d'effets significatifs sur les paramètres mesurés, sauf en ce qui concerne les micro-organismes (Chenon *et al.*, 2011). La nitrification se montre sensible à la présence de plastiques dans les sols. Ces essais traduisent également des difficultés concernant leur mise en œuvre, avec des questionnements concernant le vieillissement des matériaux à tester, les doses à utiliser...

L'évaluation expérimentale de l'écotoxicité des matières plastiques sur les organismes des sols est peu documentée. Une seule étude porte sur l'annélide *Lumbricus terrestris* (Lwanga *et al.*, 2016). En raison de leur importance dans le fonctionnement des sols, les vers de terre sont des bioindicateurs d'intérêt pour les études d'écotoxicité. Dans un premier temps, des individus ont été placés dans des sols recevant en surface de la litière contaminée avec des concentrations croissantes de poudre de polyéthylène à des doses environnementalement réalistes. Après 60 jours d'exposition, la mortalité représentait 8 à 25% des individus pour les doses de plastiques les plus élevées, et était accompagnée d'une diminution significative de leur croissance. Le taux d'ingestion de sol était également augmenté alors que le nombre de galeries creusé était modifié, sans relation dose-réponse apparente avec la quantité de plastiques. Aucun effet n'a été constaté sur la reproduction ni sur le positionnement vertical des vers. Cette étude permet de conclure que les microplastiques peuvent affecter la productivité primaire et secondaire de l'écosystème, en influant sur la décomposition de la matière organique et le cycle des éléments nutritifs. Dans un second temps, des vers ont été placés dans des boîtes de Pétri pour déterminer le taux d'ingestion des microplastiques et leurs concentrations dans les turricules. Après 4 jours, aucune mortalité des vers n'a été observée mais la croissance des vers a été réduite sans effet clair de relation avec la dose. Comme dans les expérimentations en mésocosmes, les microplastiques ont été mesurés en concentration plus élevée dans les turricules produits par les vers exposés à de faibles doses de plastiques. Une fraction des plastiques est immobilisée au niveau du tube digestif, traduisant la bioconcentration des plastiques dans les individus et un transfert possible dans les réseaux trophiques. L'autre fraction se retrouve dans les turricules selon une excrétion dépendant de la taille des particules.

Si les particules de plastiques peuvent se bioconcentrer au long des réseaux trophiques, un comportement identique est à attendre de la part des composés chimiques qu'elles contiennent ou qu'elles ont adsorbé. Des expériences réalisées sur le ver marin *Arenicola marina* exposé à du sable contenant des microplastiques préalablement contaminés avec des polluants et des additifs ont montré que ces composés étaient désorbés des plastiques, transférés dans le tube digestif des vers (Browne *et al.*, 2013) et induisent des effets biologiques. Il est probable que des phénomènes similaires se produisent dans les sols. L'exemple des polychlorobiphényles (PCBs), souvent associés aux plastiques, illustre ce comportement de transfert dans une chaîne alimentaire courte. Dans le tube digestif des vers de terre, les concentrations en PCBs restent faibles, du même ordre de grandeur que celles mesurées dans les sols. A l'inverse, elles augmentent très fortement dans le foie d'étourneau qui consomme ces vers de terre, et dans les œufs de faucon qui ont consommé les étourneaux. Ces niveaux de concentration très élevés ont été rendus responsables de la stérilisation des œufs et par voie de conséquence de la diminution des populations de rapaces.

Conclusion : des besoins de recherche

L'étude de la contamination des sols et des écosystèmes terrestres par les matières plastiques et leurs dérivés est un enjeu de santé environnementale et sanitaire. De nombreux challenges sont adressés à la recherche. Ils concernent i) le développement d'outils pour analyser et quantifier ces composés dans les matrices complexes que sont les sols et les tissus biologiques, ii) le développement de biomarqueurs adapté à l'enjeu de la présence de plastiques dans les sols et iii) le développement de méthodes statistiques pour aborder la complexité des expositions multiples et l'importance des facteurs confondants dans l'analyse des effets. Ces outils permettront i) de quantifier les flux réels de matières plastiques et dérivés dans les sols, ii) de quantifier l'exposition des populations au cours du temps (exposome), iii) de mieux connaître les sites d'interaction intra-organismes, iv) de connaître les effets-transgénérationnels consécutifs à ces expositions.



Contacts

Christian Mougin et Isabelle Lamy

UMR ECOSYS, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Pôle Ecotoxicologie, 78026, Versailles, France



Pour en savoir plus

Les plastiques dans l'environnement : <http://www.centrecotox.ch/news-publications/fiches-info/>

Plastiques : quels enjeux pour demain ? Pollution physico-chimique - Impacts environnementaux et sanitaires : <http://www.aret.asso.fr/fascicule-colloque-2016.pdf>

Bibliographie citée

- Ashton K, Holmes L, Turner A (2010). Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 60:2050–2055.
- Browne MA, Niven SJ, Galloway TS, Rowland SJ, Thompson RC (2013). Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. *Current Biology*, 23:2388-2392.
- Chenon P., Nassr N., Badin AL (2011). Ecotoxicité des polymères organiques de synthèse places en fin de vie dans les sols agricoles. Rapport d'étude du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire.
- Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62:2588-2597.
- Dris R, Gasperi J, Rocher V, Saad M, Renalt N, Tassin B (2015). Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, 12(5):592-599.
- Dris R, Gasperi J, Saad M, Mirande C, Tassin B (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, 104:290-293.
- Erren T, Zeus D, Steffany F, Meyer-Rochow B (2009). Increase of wildlife cancer: an echo of plastic pollution? *Nature review Cancer*, 9:842
- European Commission (2011). Plastic waste: ecological and human health impacts. *Science for Environment Policy In depth-report*. 41 pages.
- Kapanen A, Stephen JR, Brüggemann J, Kiviranta A, White DC, Itävaara M (2007). Diethyl phthalate in compost: ecotoxicological effects and response of the microbial community. *Chemosphere*, 67:2201-2209.
- Lambert S, Sinclair CJ, Boxall AB (2014). Occurrence, degradation and effect of polymer-based materials in the environment. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 227:1-53.
- Liebezeit G and Liebezeit E (2015). Origin of synthetic particles in honeys. *Polisj Journal of Food and Nutrition Sciences*, 65:143-147.
- Lwanga EH, Gertsen H, Gooren H, Peters P, Salanki T, van der Ploeg M, Besseling E, Koelmans AA (Koelmans A, Geissen V (2016). Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Environmental Science and Technology*, 50(5):2685-2691.
- McAllose D and Newton AL (2009). Wildlife cancer: a conservation perspective. *Nature reviews Cancer*, 9:517-526.
- Mani T, Hauk A, Walter U, Burkhardt-Holm P (2015). Microplastics profile along the Rhine river. *Scientific reports*, 5:17988.
- Oehlmann J, Schulte-Oehlmann U, Kloas W, Jagnytsch O, Lutz I, Kusk K, Wollenberger L, Santos EM, Paull GC, Van Look KJW, Tyler CR (2009). A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364:2047-2062.
- Rillig MC (2012). Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil. *Environmental Science and Technology*, 46:6453-6454.
- Rios LM, Jones PR, Moore C, Narayan UV (2010). Quantitation of persistent organic pollutants adsorbed on plastic debris from the Northern Pacific Gyre's "eastern garbage patch". *Journal of Environmental Monitoring*, 12:2226-2236.
- Schweizer C and Taradellas J (1980). State on research on polychlorinated biphenyls in Switzerland. *Chimia*, 34:509-519.
- Steinmetz Z, Wollmann C, Schaefer M, Buchmann C, David J, Tröger J, Muñoz K, Frör O, Schaumann GE (2016). Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Science of the Total Environment*, 550:690–705.
- Tang Z, Zhang L, Huang Q, Yang Y, Nie Z, Cheng J, Yang J, Wang Y, Chai M (2015). Contamination and risk of heavy metals in soils and sediments from a typical plastic waste recycling area in North China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122:343-351.
- Thompson RC, Moore CJ, vom Saal FS, Swan SH (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 1:1-14.
- Wood CT et Zimmer M (2014). Can terrestrial isopods (Isopoda: Oniscidea) make use of biodegradable plastics? *Applied Soil Ecology*, 77:72-79.
- Zubris KAV and Richards BK (2005). Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. *Environmental Pollution*, 138:201-211.