

Projet MISSOURI

*Microplastiques dans les sols et les eaux souterraines :
Sources, transfert, métrologie et impacts*



Le projet européen MISSOURI (MIcroplasticS in Soils and GROUndwater: sources, transfer, metrology and Impacts) s'est déroulé du 1er novembre 2020 au 31 octobre 2021. Il a été partiellement financé par la plateforme européenne SOILveR. Ce projet a été coordonné par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), avec comme partenaires, le département Environnement & Santé de la Vrije Universiteit (VU) néerlandaise et l'Institut scientifique wallon de la fonction publique (Issep).

Les plastiques sont globalement utilisés dans divers secteurs urbains et industriels et dans les activités humaines quotidiennes. Leur production mondiale est passée de 1,5 million de tonnes en 1950 à 322 millions de tonnes en 2015 dont seuls 5 % seraient recyclés. Les déchets plastiques arrivant dans l'environnement peuvent se fragmenter en particules plus petites telles que les microplastiques qui s'accumulent considérablement dans l'environnement. Afin de mieux connaître les transferts et les impacts des microplastiques sur les écosystèmes terrestres (le compartiment aquatique étant le plus étudié) et sur l'homme, il est nécessaire de pouvoir les caractériser et quantifier leur occurrence. Cette étape ne peut s'effectuer qu'associée à une définition consensuelle des microplastiques qui n'existe pas aujourd'hui.

Les objectifs du projet européen MISSOURI (MIcroplasticS in Soils and GROUndwater: sources, transfer, metrology and Impacts) étaient ainsi de:

- (1) proposer une définition des microplastiques ;
- (2) comparer les méthodes de laboratoire pour la séparation et l'analyse des microplastiques dans les sols grâce à une revue d'état de l'art ainsi que par la participation et l'analyse des résultats d'une étude entre plusieurs laboratoires ;
- (3) établir un état de l'art des connaissances scientifiques sur les microplastiques dans les sols et eaux souterraines ainsi que de leurs impacts sur l'écosystème terrestre et l'homme ;
- (4) recueillir les constats et opinions des parties prenantes en lien avec les microplastiques (laboratoires d'analyse, fabricants, utilisateurs de microplastiques pour la recherche et développements, chercheurs en science de l'environnement et toxicologues...);
- (5) identifier des actions de gestion et des priorités pour les futurs projets de recherche sur les microplastiques.

Cette brochure pédagogique a vocation à expliciter les différents débats sur les propositions de définition et de protocoles d'analyse et quantification des microplastiques, résumer l'état de l'art sur les microplastiques dans les sols et eaux souterraines¹, leurs impacts sur les écosystèmes terrestres et l'homme puis l'expression des constats et opinions des parties prenantes.

¹ Les sédiments n'ont pas fait l'objet d'étude dans le cadre de ce projet

Sommaire

Objectifs du projet MISSOURI	3
Définition et protocole d'harmonisation	4
État de l'art sur les sols et eaux souterraines	5-6
Exposition et effets environnementaux et sur la santé	7
Constats et opinions des parties prenantes	8
Les partenaires	10

Définition et protocole d'harmonisation

Le débat sur la taille des microplastiques

Les microplastiques sont généralement définis comme des fragments de plastique ayant une taille inférieure à 5 mm et supérieure à 100 nm, cependant les limites de taille font encore débat pour les distinguer respectivement des macro- et nano-plastiques.

Concernant la taille limite supérieure, la norme ISO/TR 21960 : 2020 stipule 1 mm alors que les personnes s'occupant du traitement des eaux usées et des engrais considèrent la taille de 2 mm. C'est la taille pour laquelle la filtration des eaux usées est maximale et la limite qu'un compost ou un digestat peut contenir.

Concernant la limite inférieure de taille, la norme ISO/TR 21960 : 2020 la fixe à 1 µm tandis que les (éco) toxicologues la fixent à 100 nm, taille permettant à une particule de franchir les barrières biologiques.

Le débat sur la forme des microplastiques

Le débat sur la définition est accentué par le fait qu'il existe des microplastiques de différentes formes : les microbilles principalement utilisées dans les produits de soins personnels, les granulés plastiques de fabrication de pellets, les fibres (type le plus courant) générées à partir des vêtements, la mousse utilisée pour les récipients alimentaires et les gobelets à boissons, et les fragments (les plus petits) dérivés de la dégradation de produits plastique plus gros. Pour une micro-

bille, la taille correspondrait à son diamètre alors que pour une fibre, elle pourrait être sa longueur ou sa largeur.

Le débat sur les techniques d'identification

Outre la question de savoir ce qu'il faut caractériser, la manière de le faire implique différentes techniques de procédure en chaîne qui sont déjà testées :

- échantillonnage, séparation et extraction (ex. séchage et tamisage, séparation par densité, élimination de la matière organique, filtration) ;
- identification et quantification (identification visuelle, spectroscopie vibrationnelle, analyse thermique, chromatographie).

Ces techniques diffèrent selon la matrice environnementale étudiée et il n'existe actuellement aucune méthode analytique normalisée pour le suivi des microplastiques du sol. La recherche et les développements techniques devraient se concentrer sur ce protocole de normalisation associé à des processus d'assurance qualité/contrôle qualité, à des matériaux de référence de microplastiques. Ces efforts permettront un suivi à grande échelle de la contamination des sols par les microplastiques, l'identification des activités humaines les plus polluantes et une meilleure compréhension du devenir et des impacts des microplastiques du sol.

État de l'art sur les sols et eaux souterraines

Les sources de microplastiques dans les sols agricoles

Les principales sources de microplastiques dans les sols agricoles européens sont les boues d'épuration (estimées entre 125 et 850 tonnes par million d'habitants). Les boues issues des eaux usées contiennent des fibres microplastiques provenant de l'abrasion de textiles dans les machines à laver, des billes de microplastiques issues de produits cosmétiques et/ou de substances de revêtements. Outre le compostage de boues, les microplastiques peuvent également être introduits par le fumier de porc issu d'élevage, par le paillage plastique utilisé pour le maraîchage, l'irrigation avec des eaux usées traitées et non traitées, ainsi que par la fertilisation à partir de granulés d'engrais enrobés pour une diffusion lente. Les sources supplémentaires proviennent non seulement de transports atmosphériques de particules issues d'abrasion de pneus et de freins de véhicules routiers mais également d'inondations, du ruissellement des eaux de surface ou de transferts par les organismes terrestres (ingestion/excrétion, transports par voie cutanée). La plupart des microplastiques se déposent à la surface des sols, leur concentration est plus importante en surface qu'en profondeur.

Des microplastiques différents en fonction de la nature des sols et de leur utilisation

Dans les sols urbains, agricoles et côtiers, le polyéthylène est le principal type de microplastiques, suivi du polypropylène et du polystyrène. Les sols urbains contiennent également du polychlorure de vinyle. En termes de formes, les frag-

ments, fibres et films sont les plus courants. À ces données doivent être rajoutées celles des additifs contenus dans les microplastiques, utilisés pour leurs propriétés de plastifiants, retardateurs de flammes, stabilisants, antioxydants ou pigments. Peu de données existent aujourd'hui sur leur type et concentration dans les sols et encore moins sur leur impact potentiel sur la faune, la flore et les fonctions des écosystèmes terrestres.

Impacts des microplastiques sur les sols

De par leur grande surface spécifique, leur polarité, leur hydrophobie et leur persistance dans l'environnement, les microplastiques ont la capacité d'interagir avec les contaminants du sol (pesticides, métaux lourds, HAP², POP³...) et de favoriser leur dispersion en jouant ainsi le rôle de « cheval de Troie ». Cette capacité dépend du type, de la taille, de la forme, du vieillissement (en lien avec le taux de dégradation) des microplastiques combinés aux conditions du sol et aux propriétés des contaminants. Certains microplastiques biodégradables comme l'acide polylactique ou le succinate de polybutylène ont une plus grande affinité pour les contaminants hydrophobes (HAP lourds, PCB⁴, PBDE⁵...) comparativement aux microplastiques synthétiques conventionnels non dégradables. Ces microplastiques biodégradables seraient ainsi plus nocifs que les microplastiques synthétiques conventionnels. Cependant, ces résultats nécessitent d'être étayés par des études plus approfondies.

Ces différentes propriétés confèrent aux microplastiques le pouvoir d'affecter la densité apparente, la

² HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

³ POP : Polluant Organique Persistant

⁴ Polychlorobiphényle

⁵ Polybromodiphényléthers

capacité de rétention en eau et la relation fonctionnelle entre activité microbienne et agrégats stables dans l'eau. De plus, en étant capables de modifier les communautés microbiennes du sol, les microplastiques peuvent avoir un impact sur les activités enzymatiques en lien avec la dégradation du carbone qui affectent à leur tour l'état des nutriments disponibles pour les plantes et plus généralement les cycles du carbone et de l'azote.

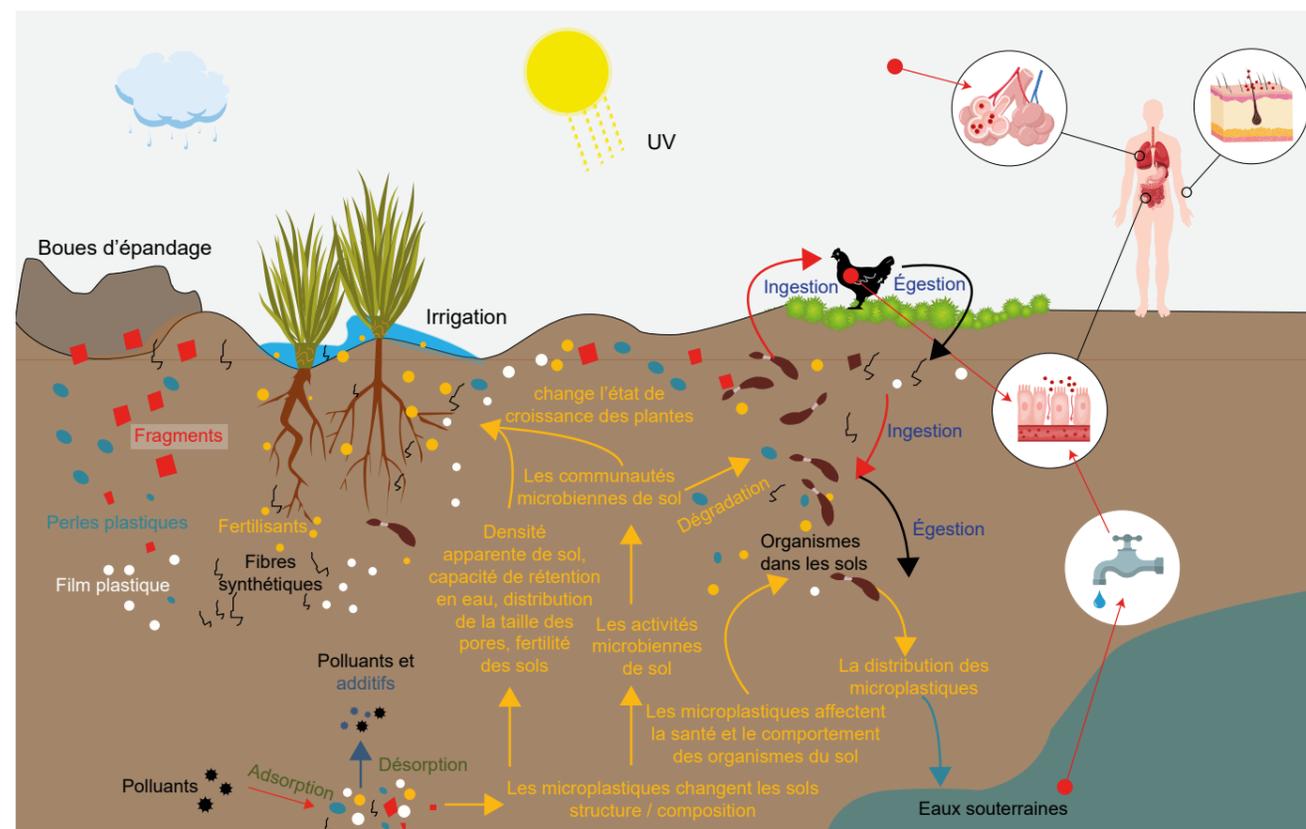
Microplastiques et eaux souterraines

Peu d'études font état spécifiquement des microplastiques dans les eaux souterraines. Ceux-ci proviendraient de leur migration du sol vers la profondeur, notamment du lessivage des sols, ruissellement de surface, lixiviats de décharge, effluents d'eaux usées, effluents septiques et boues d'épuration. Une étude sur des eaux souterraines karstiques révèle des concentrations comprises entre 6 et 15 particules de microplastiques/L, corrélées aux concentrations du triclosan, phosphate et chlore (composants des eaux usées). Les microplastiques les plus présents dans les eaux souterraines

sont le polyéthylène, le polytéréphtalate d'éthylène et le propylène, composés également présents dans les eaux de boisson, eaux potables et du robinet, majoritairement sous forme de fibres et fragments.

Les facteurs du sol influençant le transfert des microplastiques du sol vers les eaux souterraines sont le pH du sol, la force ionique, le cycle de gel-dégel, la température, l'activité microbienne et de la macrofaune (à travers la bioturbation), la texture et structure du sol notamment la porosité et les fissures du sol. Ces transports dépendent également des caractéristiques physico-chimiques (densité, solubilité et hydrophobicité), de la taille, forme, composition et vieillissement des microplastiques.

Concernant l'impact des microplastiques sur les écosystèmes d'eaux souterraines, les études sont quasi inexistantes. Il existe cependant une étude sur l'impact des microplastiques sur *Daphnia magna*, espèce présente dans les eaux souterraines. Cette étude démontre une diminution du taux de croissance, de la reproduction, une inhibition de la mobilité ainsi qu'une augmentation de la mortalité. Cependant, d'autres études sont nécessaires pour étayer ces résultats.



Transferts de microplastiques dans les écosystèmes terrestres (sols et eaux souterraines) et vers l'homme

Exposition et effets environnementaux et sur la santé

Les impacts et enjeux des microplastiques dans les sols pour la faune et la flore

La plupart des études faisant état de l'impact des microplastiques sur la faune et la flore terrestres se focalisent sur des niveaux de concentration en microplastiques correspondant à la réalité (jusqu'à 1000 mg/kg de sol). Dans certains cas, l'ingestion de microplastiques par les invertébrés comme les lombricidés et gastéropodes peut entraîner une réduction de la prise alimentaire et de l'excrétion, endommager les parois gastro-intestinales, modifier le microbiote et induire un stress oxydatif toxique. Certains microplastiques peuvent adhérer à la surface externe d'organismes représentatifs des collemboles, entraver directement leur mobilité et par conséquent influencer leur comportement. Les microplastiques peuvent également altérer la structure des communautés microbiennes des sols et impacter les fonctions écologiques de sols.

Concernant les effets des microplastiques sur les végétaux supérieurs, peu d'études existent sur leur absorption et leur translocation par le système racinaire. Néanmoins, certaines montrent que les microplastiques peuvent avoir un effet sur la croissance des végétaux, la composition du tissu végétal, la physiologie racinaire et les formations symbiotiques au niveau racinaire.

L'ensemble de ces observations est néanmoins variable en fonction des caractéristiques de sols, faune et flore, types (formes et composés) et concentrations de microplastiques considérés. Des efforts d'harmonisation des méthodes de test

sont requis pour pouvoir comparer les résultats et statuer sur les situations de contamination en microplastiques ayant réellement des effets sur les écosystèmes terrestres.

Les impacts et enjeux des microplastiques dans les sols pour l'homme

Concernant l'exposition aux microplastiques, aucune étude publiée n'a encore examiné directement les effets des microplastiques sur l'homme. Il s'agit en général d'expériences en laboratoire consistant à exposer des cellules, tissus humains ou rongeurs à différentes concentrations (souvent très élevées) de microplastiques. L'ingestion de grandes quantités de microplastiques par les rongeurs entraîne une inflammation dans leur intestin grêle. Les études *in vitro* sur des cellules ou des tissus humains suggèrent de potentiels stress oxydatif, réponse immunitaire, troubles du métabolisme lipidique, réponse neurotoxique, variables cependant en fonction de la quantité et du type de microplastiques ainsi que des cibles testées. D'autres études se focalisent sur certains additifs composant les microplastiques, comme le bisphénol A et les phtalates. Elles révèlent des effets potentiels sur le système endocrinien et la reproduction.

Cependant, ces études ne permettent pas d'extrapoler les effets à l'homme, d'autant que les données d'exposition, en l'absence de protocoles de mesures standardisés, sont peu présentes.

Constats et opinions des parties prenantes

L'ensemble des parties prenantes interrogées ont fait part des réglementations visant à limiter la pollution plastique mentionnant les directives européennes 1994/62/CE relative aux emballages, 2015/720 sur les plastiques légers et 2019/904 portant sur les plastiques à usage unique ainsi que la proposition de restriction sur les microplastiques intentionnels, portée par l'agence européenne des produits chimiques (ECHA) dans le cadre du règlement REACH et élément du plan d'action européen Green Deal. En France, une interdiction est déjà mise en place pour les microbilles dans les produits cosmétiques ainsi que pour les lave-linge neufs vendus qui devront être munis de filtres limitant la libération de microplastiques durant le lavage (à compter du 1er janvier 2025). Aux Pays-Bas, une stratégie politique vise à réduire la quantité de microplastiques dans les eaux. Toutes les parties font le constat de politiques trop sectorisées et de la nécessité de développer des politiques intersectorielles.

Concernant la définition sur la taille des microplastiques, la majorité des parties prenantes est d'accord avec la définition générale. Certains d'entre eux ont cependant souhaité distinguer les petits microplastiques (inférieurs à 1 mm) et les grands (de 1 mm à 5 mm). Concernant la forme des microplastiques, la plupart des parties prenantes souhaite que les fibres soient les plus étudiées.

Concernant les **sources des microplastiques**, pour les acteurs interrogés, les besoins pour limiter les rejets de microplastiques dans l'environnement sont outre la proposition de restriction sur les microplastiques ajoutés intentionnellement, une meilleure connaissance de gestion des déchets plastiques et du cycle de vie des produits contenant des microplastiques ainsi que des techniques de remédiation.

Concernant la recherche sur le **comportement** des microplastiques dans les sols, outre le besoin de d'évaluer la biodégradabilité des microplastiques, les acteurs souhaitent également augmenter les connaissances sur l'impact des additifs sur l'environnement terrestre. Pour les **transferts**, les parties prenantes souhaitent plus d'études permettant de mieux identifier le niveau de contamination des différents compartiments terrestres afin de mieux évaluer les transferts possibles de microplastiques dans les cultures et l'alimentation humaine, ainsi que des eaux souterraines vers l'eau potable et les transferts atmosphériques de microplastiques pouvant être inhalés.

Associés à ces études de transferts et d'exposition des **écosystèmes et de l'homme**, des recherches portant sur les valeurs seuils d'(éco)toxicité pour les écosystèmes, les organes et le corps humain à différents stades de développement sont indispensables.

Le projet MISSOURI s'est principalement concentré sur les microplastiques dans les sols et eaux souterraines ainsi que sur leurs effets possibles sur les écosystèmes terrestres et la santé humaine. Cet état de l'art a consisté en une analyse approfondie des protocoles de caractérisation existants, des études liées aux microplastiques dans les sols et eaux souterraines et leurs effets potentiels. Des hypothèses générales relatives aux mécanismes de transferts des microplastiques dans les sols et eaux souterraines ainsi l'identification de sujets de recherche ont pu être tirées de cette revue. Il en ressort une contamination globale en microplastiques de tous les milieux qu'ils soient anthropisés ou non ainsi que des effets potentiels sur les écosystèmes ou l'homme liés aux caractéristiques physico-chimiques des microplastiques, à leur vieillissement ainsi qu'à leur pouvoir d'association avec d'autres contaminants ou à leurs additifs. Cependant pour l'heure, il est impossible de conclure clairement sur ces effets du fait d'un manque de protocoles standardisés tant en termes de mesures que d'études d'impacts. Il convient donc de les développer.

Qu'est SOILver?

La plateforme SOILver croit fermement à la nécessité d'une recherche intégrée sur les sols et les terres et d'un échange de connaissances en Europe. Elle reconnaît la valeur ajoutée de la coordination, du cofinancement et de la diffusion de la recherche transfrontalière sur la gestion des sols et des terres. SOILver est une plateforme autofinancée. Les membres de la plateforme ont un intérêt commun à partager et à mettre en œuvre une recherche multidisciplinaire intégrée. SOILver s'appuie sur les expériences d'autres réseaux de financement tels que SNOWMAN et répond aux besoins de connaissances identifiés par ex. le projet Horizon 2020 INSPIRATION et d'autres initiatives ainsi que celles proposées par les membres de SOILver.

Les partenaires de MISSOURI :

Ineris : L'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle du ministère chargé de l'environnement. Il mène des programmes de recherche visant à mieux comprendre les phénomènes susceptibles de conduire aux situations de risques ou d'atteintes à l'environnement et à la santé, et à développer sa capacité d'expertise en matière de prévention.

www.ineris.fr

ISSEP : L'Institut Scientifique de Service Public (ISSEP) est soumis à l'autorité du Gouvernement wallon qui en détient les pouvoirs de gestion. Son Ministre fonctionnel est le Ministre de l'Environnement. L'ISSEP exerce des activités scientifiques et techniques dans le domaine environnemental, il est également reconnu en tant que laboratoire de référence de la Wallonie.

www.issep.be

VU : VU Amsterdam est une université unique avec des facultés en sciences humaines, sciences naturelles, sciences sociales et sciences médicales. L'enseignement et la recherche sont nettement multidisciplinaires. C'est un véritable campus universitaire au cœur du Zuidas Knowledge District, qui partage une position et accessibilité d'excellence au niveau national et international. La mission du Département de l'environnement et de la santé (E&H) de VU est de mieux comprendre l'impact des contaminants environnementaux sur la santé humaine et l'environnement grâce à une recherche universitaire et à une éducation de qualité supérieure.

www.vu.nl/en