



ACADÉMIE
DES SCIENCES
INSTITUT DE FRANCE

Les traductions des *Comptes Rendus*

Géoscience

Sciences de la Planète

Du plastique sur les sentiers : l'empreinte invisible, mais nocive des semelles de chaussures

Article traduit par Agnia Marina

Date de publication : 2024-10-02

<https://doi.org/10.5802/crgeos.199-fr>


Résumé : Les activités récréatives et sportives en plein air ont gagné en popularité. Leur impact environnemental reste peu étudié, en particulier les déchets générés par la surfréquentation des espaces de loisirs. Notre objectif ici est de documenter comment la fréquentation élevée d'un court sentier de randonnée pédestre en montagne peut conduire à la production de quantités importantes de déchets. Dans ce but, tous les petits objets trouvés le long d'un sentier de trois kilomètres ont été ramassés et leur origine déterminée. Les polymères plastiques prédominaient, principalement sous forme de fragments de semelles de chaussures. Ce phénomène n'a jamais été documenté auparavant et doit être porté à la connaissance du public en raison de sa nocivité potentielle pour les écosystèmes terrestres et riverains, ainsi que pour sensibiliser les randonneurs.

Mots-clés : Randonnée pédestre, Déchets, Plastique, Impact environnemental, Sensibilisation

Article original :

Philippe Cecchi, "Plastics on the rocks: the invisible but harmful footprint of shoe soles". *Comptes Rendus Géoscience*, vol. 355 (2023), p. 135-144. <https://doi.org/10.5802/crgeos.199>

Les traductions des *Comptes Rendus* sont mises à disposition du public dans un but d'accessibilité mais n'ont pas reçu de validation scientifique avant leur publication, seule la publication initiale engage la responsabilité de l'Académie des sciences. Le projet Traduction des *Comptes Rendus* est soutenu par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et par la délégation à la langue française et aux langues de France du ministère de la Culture.

 This translation is licensed under the
CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION 4.0 INTERNATIONAL LICENSE.
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1. Introduction

En 2019, la production mondiale de plastique a atteint 368 millions de tonnes (Mt) dans le monde, soit 200 fois plus qu'en 1950 lorsque ce matériau avait commencé à se populariser [Plastics Europe 2020]. Les déchets plastiques augmentent également, car moins de 10 % sont réellement recyclés et la plupart des produits plastiques indésirables sont simplement jetés [PNUE 2021]. De nos jours, les déchets plastiques constituent un problème mondial et sont parfois considérés comme l'empreinte de l'Anthropocène [Zalasiewicz et al. 2016, Kramm et al. 2018]. On estime qu'entre 1950 et 2017, 9200 Mt de plastique vierge ont été produites dans le monde. Cela a généré environ 7000 Mt de déchets plastiques, dont environ 5300 Mt qui ont été rejetés dans l'environnement [Geyer 2020]. Comme les matériaux plastiques se dégradent difficilement sous l'effet des intempéries et du temps, ils persistent dans l'environnement pendant des décennies, voire des siècles, d'abord dans les paysages terrestres [Hoellein et Rochman 2021] où ils s'accumulent et se désintègrent progressivement pour créer des microplastiques secondaires nocifs [Frias et Nash 2019] et des nanoplastiques [Gigault et al. 2018]. Des preuves scientifiques abondantes et croissantes ont documenté leurs impacts sur les environnements terrestres [Malizia et Monmany-Garzia 2019] et aquatiques [voir Ostle et al. 2019 pour les océans; Blettler et al. 2018 pour les eaux douces], ainsi que sur les organismes vivants [Beaumont et al. 2019, Galgani et al. 2019], y compris potentiellement les humains [Carbery et al. 2018, Rodrigues et al. 2019]. Les sources terrestres de pollution plastique *engendrent* environ 80 % des déchets plastiques marins [Lebreton et al. 2017], principalement par le biais des rejets fluviaux [Meijer et al. 2021]. Au cours de la dernière décennie, environ dix millions de tonnes de débris plastiques ont fini dans les océans chaque année [Jambeck et al. 2015]. Une étude récente a prédit que la quantité de déchets plastiques pénétrant dans les écosystèmes aquatiques mondiaux pourrait atteindre 90 Mt/an d'ici 2030, si les tendances de production de déchets se poursuivent comme prévu sans amélioration de la gestion des déchets [Borrelle et al. 2020]. Par conséquent, le défi émergent est lié à l'identification des sources de déchets plastiques [Black et al. 2019], dans le but de s'attaquer au problème avant le rejet et la dispersion de ces produits dans les océans, où leur collecte est très coûteuse et modérément efficace [Compa et al. 2019]. « *L'initiative actuelle de nettoyage des plastiques des océans ne répond pas suffisamment à la masse de legs plastique en transit sur la surface du globe* », souligne clairement Sonke et al. [2022]. Les pertes de plastique les plus importantes sont liées à l'usage (par exemple, les microbilles des produits de soins, les fibres des textiles synthétiques, l'usure des pneus) et à la culture du tout-jetable (par exemple, les plastiques à usage unique). Elles représentent respectivement environ 36 % et 55 % de toutes les pertes [IRP (International Resource Panel) 2019]. Les principaux responsables de ces pertes de plastiques sont l'expansion des zones urbaines et périurbaines, et la nécessité de subvenir aux besoins des habitants de ces nouveaux quartiers. Les zones naturelles, telles que les montagnes, ne sont pas épargnées [Padha et al. 2022] en raison du transport aérien de microplastiques vers ces régions reculées [voir par exemple Allen et al. 2021], mais également en raison de la pollution directe causée par les activités traditionnelles (par exemple, le pâturage) et/ou les visiteurs (par exemple, les activités récréatives et sportives). Dans le cas de la pollution directe, la responsabilité sociale des individus est engagée et peut constituer un levier pour diminuer les déchets plastiques. Des opérations de nettoyage sont régulièrement menées par des bénévoles, notamment sur les plages [Jorgensen et al. 2020], et elles sont peu coûteuses et efficaces [Nelms et al. 2017]. Outre le nettoyage, ces opérations contribuent à sensibiliser la population et peuvent conduire à des changements positifs dans les comportements et les attitudes [Wyles et al. 2016]. Il est connu que les groupes de bénévoles sont plus conscients et plus préoccupés que les autres utilisateurs des plages [Owens 2018] qui manquent souvent d'informations sur les déchets et leurs multiples implications au-delà de l'inconfort visuel [Rayon-Vina et al. 2019]. De plus, les visiteurs réguliers de la plage ne sont pas nécessairement conscients qu'ils sont la principale source de déchets présents sur la plage, ce qui suggère que le partage d'informations est crucial pour influencer leur volonté et leur engagement à changer de comportement [Portman et al. 2019]. Des observations similaires ont été faites sur le ressenti des pêcheurs concernant leur contribution aux déchets marins et les leviers à actionner pour accroître leur « sensibilisation au plastique » et renforcer leur engagement à modifier leurs comportements et pratiques réelles en matière de gestion du plastique [Lewin et al. 2020]. Comme observé

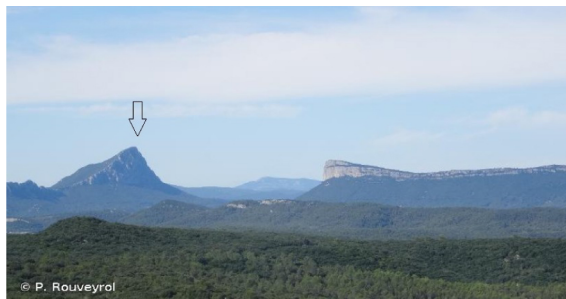


FIGURE 1 – Le pic Saint-Loup (source : <https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR9101389?lg=en>). Le sentier rejoint le sommet depuis le sud (à gauche de la flèche).

dans de nombreux endroits à travers le monde, par exemple sur les plages baltiques allemandes [Schernewski et al. 2018], le tourisme contribue massivement au rejet total de déchets. Même dans des sites reculés, par exemple la plage d’Espiguette (dans le sud de la France), l’une des plages les moins touchées en Europe, les plastiques à usage unique (principalement les filtres et mégots de cigarettes et les capsules et bouchons en plastique des boissons), intrinsèquement associés aux activités récréatives locales, constituent environ la moitié des objets collectés lors des relevés [Vlachogianni et al. 2020]. Dans les aires marines protégées, les activités humaines locales constituent également des sources importantes de pollution plastique [Guerrini et al. 2019]. Dans de nombreux cas, il peut ne pas y avoir d’intention de dégradation, mais les déchets plastiques sont volontairement jetés et laissés dans l’environnement, quelle que soit la valeur écologique et emblématique du lieu et quel que soit l’impact des déchets. Dans l’ensemble, le manque d’informations est le facteur crucial pour expliquer ces comportements inappropriés. Par conséquent, fournir des informations pertinentes et convaincantes est un objectif clair afin de changer les attitudes/comportements des visiteurs des sites naturels vers des pratiques plus respectueuses de l’environnement.

Enfin, même des personnes bien intentionnées et supposément informées peuvent contribuer involontairement au fardeau de la pollution plastique à travers leur empreinte écologique (apparemment invisible). C’est notamment le cas dans les zones naturelles reculées où les impacts anthropiques sont principalement dus à leur fréquentation pour les loisirs. Forster et al. [2020] ont montré comment l’abrasion des fibres synthétiques dans les chaussures et les vêtements pourrait être une source majeure de microplastiques dans les zones sauvages qui ne sont pas affectées par d’autres sources de pollution directe que le passage humain. Après avoir décrit la contamination environnementale réelle associée aux polymères fragmentés perdus par les randonneurs sur les sentiers de randonnée et leurs environs immédiats, Forster et al. [2020] ont également fourni des données impressionnantes sur cette source inconnue de pollution potentielle liée au marché économique du sport et des chaussures.

L’objectif de la présente étude était d’illustrer une telle situation inattendue en décrivant des observations faites fin décembre 2019, lors d’une randonnée matinale sur un court sentier dans le sud de la France. Différents types de petits débris y ont été trouvés et environ la moitié d’entre eux étaient des fragments de semelles de chaussures perdus involontairement par les randonneurs. Comme leur quantité cumulée était assez importante, les randonneurs devraient être plus conscients de leurs impacts potentiellement néfastes. Ensuite, des recommandations très simples sont fournies.

2. Méthode

Le pic Saint-Loup (43° 46’ 44.0” N, 03° 48’ 44.0” E) est une petite montagne (658 m) située à 20 km au nord de Montpellier (sud de la France), à environ 30 km de la côte méditerranéenne (Figure 1).

Le pic Saint-Loup domine la région côtière plate. Il est visible de loin et constitue un point topographique important. Le pic Saint-Loup est une attraction touristique majeure et l’une des excursions préférées des

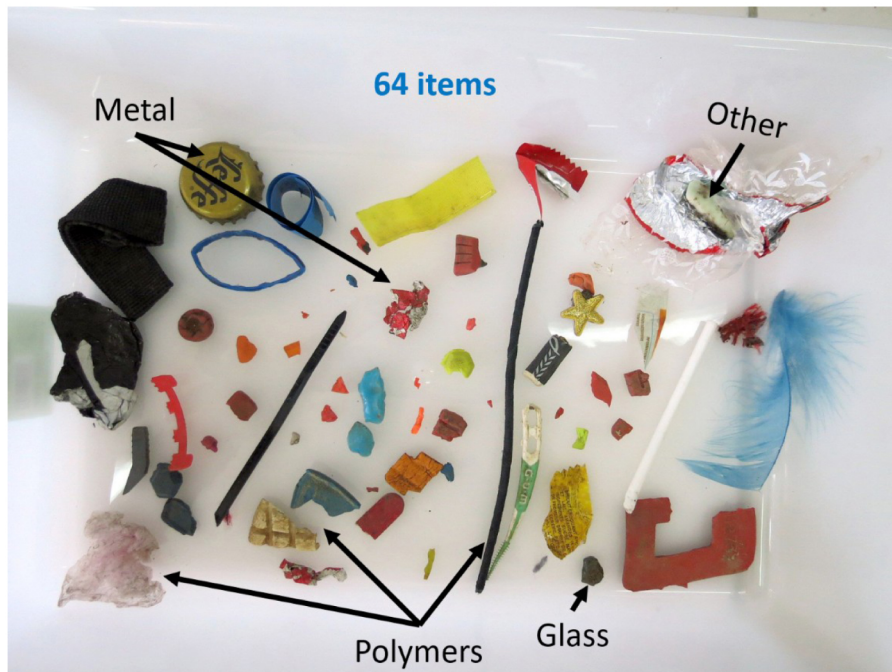


FIGURE 2 – Les 64 objets trouvés sur le sentier de randonnée du pic Saint-Loup le 29 décembre 2019.
(64 pièces : métal, polymères, verre, autres)

locaux. Cette montagne est constituée de calcaire du Jurassique et fait partie d'un grand ensemble de reliefs calcaires plissés (anticlinal) qui s'étendent des Pyrénées à la Provence. La roche du pic Saint-Loup s'est formée par accumulation de sédiments marins d'une grande épaisseur, façonnés par les températures et les pressions au fil du temps pour donner une roche blanche souvent acérée que les mouvements des plaques tectoniques ont dressée vers le ciel (tectogenèse de la zone pyrénéenne). Le pic est soumis au climat méditerranéen du sud de la France, avec des précipitations annuelles importantes (1000 à 1200 mm/an). Une partie de cette pluie s'infiltré et rejoint le vaste système karstique souterrain qui alimente la source de Lez, l'une des sources d'eau potable pour les quelques 300 000 habitants de Montpellier [Fourneaux et al. 1989]. Un sentier de 3 km (face sud de la montagne) permet aux randonneurs d'atteindre le sommet et de revenir en quelques heures. Le sentier est principalement rocheux, avec des zones à faible pente et des sections plus accidentées, surtout près du sommet. Un capteur souterrain, qui compte les randonneurs empruntant le chemin, a été installé au départ du sentier en 2016. Fin 2019, 337 772 passages ont été cumulés pour cette seule année. Cela signifie qu'en moyenne, 231 personnes ont emprunté ce sentier chaque jour [CCGPSL 7 2018, et communication personnelle pour 2019].

J'ai effectué ma randonnée annuelle le 29 décembre 2019. Le parking au départ du sentier était vide et j'ai commencé à marcher au lever du soleil (vers 8 h). Le temps était humide et doux, en parfaite harmonie avec le paysage fraîchement lavé par la rosée du matin. Malheureusement, quelques minutes après le début de la randonnée, un petit objet rouge coincé entre deux pierres a attiré mon attention. Je l'ai ramassé et placé dans un sac hermétique. Je suis tombée sur et ramassé d'autres objets à plusieurs reprises au cours des 3 km de randonnée. La collecte opportune de tous les objets manifestement exogènes que j'ai pu voir lors de la promenade constitue l'échantillon présenté ci-après (Figure 2).

Après un nettoyage délicat à l'eau distillée, tous les objets ont été séchés, pesés, classés en polymères, métaux, verre et autres, puis triés en : « incivilités » (un mégot, une capsule de bouteille de bière, un pa-

pier de bonbon) et « déchets involontaires » (un lacet, un morceau de tissu, de petits fragments de semelles de chaussures). Les incivilités comprenaient des objets qui ont probablement été « délibérément » (c'est-à-dire intentionnellement) jetés, tandis que les déchets involontaires ont sûrement été perdus « accidentellement » (c'est-à-dire involontairement). La représentativité de l'échantillon est évidemment discutable, car il correspondait à une accumulation d'objets sur une période inconnue. Cette collecte a eu lieu après cinq jours sans précipitations, suivis de plusieurs jours de pluie modérée (46 mm en dix jours) (source : https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/weatherarchive/pic-saint-loup-france_2978708) qui a été insuffisante pour un lessivage significatif. On peut émettre l'hypothèse que les objets collectés se sont accumulés pendant une période de deux semaines.

3. Résultats

Soixante-quatre éléments ont été trouvés (soit environ un tous les 100 m, en considérant un aller-retour complet) (Figure 2). Cinquante-trois (83 %) étaient des polymères (figure 3A) et correspondaient à la moitié (53 %) de la masse totale (30 g) de détritits (figure 3B). Les objets collectés étaient poussiéreux, mais pas sales, et l'absence d'altération a confirmé qu'ils avaient été perdus récemment sur le sentier. Cinq morceaux de métal et cinq morceaux de verre ont également été trouvés (8 % en nombre ; 20 % et 22 % en masse, respectivement). Un élément (un chewing-gum) constituait la classe « autres » (5 % en masse). L'omniprésence désastreuse des plastiques a malheureusement été confirmée, mais l'observation la plus frappante concernait l'« archéologie » ou les « récits d'objets » de cet échantillon de déchets (figure 3C, D). « *Comment ces objets sont-ils arrivés ici, et quels comportements les ont amenés à suivre une trajectoire particulière qui les a conduits à devenir polluants ?* », p. 230 dans Schofield et al. [2020]. De plus, quelles actions auraient pu prévenir ce résultat ?

Parmi les 64 objets, 21 (33 %) ont été considérés comme des incivilités (Figure 3C). Tous sauf deux (un morceau de lime à ongles et un mégot de cigarette) étaient liés à l'alimentation : un bâton de sucette, un morceau de bouchon de bouteille en plastique, un chewing-gum, une capsule de bouteille de bière et une douzaine d'emballages de bonbons et de biscuits qui constituaient la moitié de la masse de cette catégorie. Les tessons de bouteilles constituaient l'autre moitié des déchets délibérément jetés. Fait important, leur nombre a été largement sous-estimé en raison de leur grande quantité observée à proximité et au sommet. Leur empreinte cumulée est évidente et sera durable.

La plupart des objets (43 ; 67 %) ont été perdus accidentellement (Figure 3D). Ils étaient en plastique (42 objets) et en métal (un fragment de pédalier de vélo), et représentaient 56 % de la masse de détritits. Concernant les objets en plastique, neuf provenaient de vêtements ou d'accessoires : une plume bleue, une petite étoile jaune, un morceau de lacet noir, deux morceaux de fibres rouges, plusieurs morceaux de tissu jaune, bleu ou noir. Les 33 autres objets en plastique provenaient de semelles de chaussures de course/baskets de couleurs vives (petits fragments et morceaux de crampons variant en taille entre 5 mm et 5 cm). Par conséquent, les fragments de semelles de chaussures représentaient 52 % de tous les détritits (31 % en masse), 62 % des polymères (58 % en masse) et 79 % des objets perdus accidentellement (55 % en masse).

L'extrapolation sur une année complète, basée sur une période d'accumulation de deux semaines, a conduit à des résultats dramatiques : jusqu'à 1500 petits objets jetés chaque année, correspondant à 720 g de déchets dont environ 380 g de plastique. Environ un millier d'entre eux (environ 400 g) seront perdus accidentellement, y compris environ 800 petits morceaux de semelles de chaussures (environ 220 g). À ce jour, la dynamique de la formation de microplastiques secondaires (de moins de 5 mm) n'a pas été entièrement comprise. Sans aucun doute, nos résultats ne sont probablement que la « pointe de l'iceberg » en raison de la courte longueur du sentier (3 km, comparé aux 180 000 km de sentiers balisés en France).

Deux principales catégories de visiteurs empruntent le sentier du pic Saint-Loup : les familles/groupes sociaux et les sportifs. On peut soupçonner que les « incivilités » sont principalement dues à la première catégorie, tandis que les « déchets involontaires » pourraient être principalement liés à la seconde. Cette deuxième catégorie est également clairement en croissance : les sportifs sont de plus en plus nombreux à rechercher un entraînement visant à améliorer leurs performances et capacités cardiovasculaires. Cela

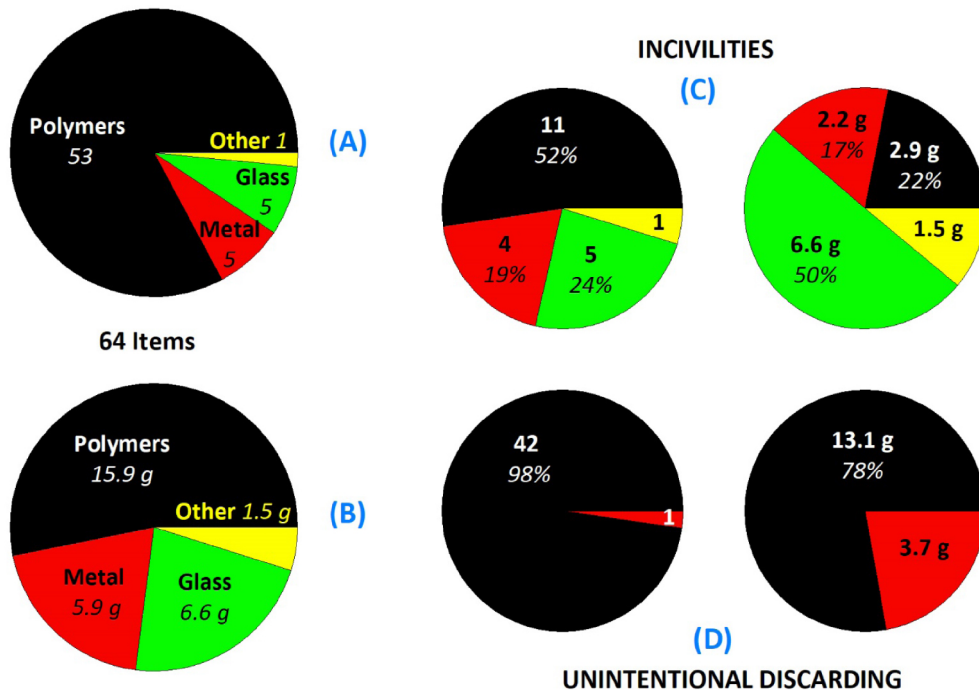


FIGURE 3 – La répartition des 64 objets trouvés sur le sentier de randonnée du pic Saint-Loup le 29 décembre 2019. (A) Nombre total d’objets par catégorie (polymères, métal, verre, autres). (B) Masse totale par catégorie. (C) Nombre et masse par catégorie de déchets jetés délibérément. (D) Nombre et masse par catégorie d’objets jetés accidentellement.

suggère que les sportifs qui gravissent le pic Saint-Loup sont parmi les principaux pollueurs, contribuant involontairement à la moitié des déchets plastiques dont la durée de vie qui s’étend sur des siècles et avec des dangers largement méconnus qui y sont associés.

4. 4 Discussion

Toutes les activités humaines pratiquées sur les sentiers ont des effets sur l’environnement. L’impact des activités de plein air dans les zones reculées a été peu évalué et les études se sont rarement concentrées sur les pollutions pernicieuses. Jusqu’à récemment [Forster et al. 2020], l’évaluation de l’impact environnemental de la randonnée dans les zones naturelles n’a jamais mentionné les déchets anthropiques comme une menace significative, mais seulement la dégradation des sols et de la végétation [Evju et al. 2021], la dispersion de graines de mauvaises herbes [Pickering 2022, Dolman et Marion 2022] et la propagation de bactéries et de gènes résistants aux antibiotiques [Scott et al. 2021]. En particulier, l’effet polluant des chaussures a été complètement négligé [Horton 2022], bien que les microplastiques issus de l’abrasion des chaussures puissent être des contaminants importants dans les environnements naturels à forte fréquentation. En effet, il est facile de supposer que les chaussures sont des sources de microplastiques, principalement en raison de l’usure des semelles par friction sur les surfaces, comme observé pour les pneus qui représentent globalement la plus grande source de microplastiques perdus dans l’environnement [Heller et al. 2020, Knight et al. 2020]. Par conséquent, les chaussures des personnes empruntant des pistes de course ou de marche peuvent émettre de grandes quantités de microplastiques qui peuvent facilement atteindre les environnements naturels par le ruissellement des eaux de pluie et le vent. Un rapport de l’Agence danoise de protection de l’environnement

a estimé qu'en 2015, l'abrasion annuelle totale des semelles de chaussures se situait entre 100 et 1 000 tonnes rien qu'au Danemark [Lassen et al. 2015]. De plus, une étude allemande a calculé que l'usure des semelles de chaussures (109 g par habitant et par an) était le septième plus grand contributeur de microplastiques dans le pays [Bertling et al. 2018]. De nombreux matériaux différents sont utilisés pour fabriquer une seule chaussure. La semelle est généralement faite de cuir, de caoutchouc vulcanisé, de caoutchouc thermoplastique, de polyuréthanes, de polyuréthanes thermoplastiques ou d'éthylène-acétate de vinyle [Muthu et Li 2021]. En outre, les chaussures synthétiques contiennent des concentrations élevées de substances dangereuses [Herva et al. 2011] qui représentent un problème préoccupant.

La pollution microplastique dans les aquifères karstiques reste largement méconnue [Panno et al. 2019]. La porosité élevée des sols du pic Saint-Loup peut entraîner le transfert des matériaux laissés à sa surface lors de l'alimentation de l'aquifère karstique [Viaroli et al. 2022]. Seulement quatre études ont évalué la toxicité des microplastiques des semelles de chaussures [Ingre-Khans et al. 2010, Kim et al. 2022, Lee et al. 2022, da Costa Araújo et al. 2022] et ont constaté qu'elle est liée aux produits chimiques transférés dans les organismes aquatiques (algues, crustacés, amphibiens et poissons) et dans les plantes de haricots. Fourneaux et al. [1989] ont tracé expérimentalement (fluorescéine) la connectivité des masses d'eau souterraines le long du pic Saint-Loup et ont constaté que pendant la saison sèche, 95 % du débit marqué était récupéré dans la source du Lez (à environ 7,5 km au sud du pic Saint-Loup). Cette source alimente en partie la ville de Montpellier en eau douce et constitue également un important hotspot de la biodiversité (Natura 2000) où vit l'endémique chabot du Lez (*Cottus petiti*), l'une des espèces de poissons d'eau douce les plus menacées d'Europe [Persat et al. 1996]. L'hydrologie de ce système karstique est complexe [Fleury et al. 2009] et, selon la saison, les eaux de pluie s'infiltrent lorsque l'aquifère est à l'étiage ou s'écoulent lorsque le système est complètement rechargé. Par conséquent, les déchets plastiques du pic Saint-Loup peuvent affecter à la fois les systèmes fluviaux terrestres et d'eau douce, ainsi que l'aquifère.

À l'échelle mondiale, l'industrie de la chaussure est responsable d'importants déchets en fin de vie de la chaussure (un an pour les baskets) qui sont le plus souvent mis en décharge. Entre 2015 et 2020, la production mondiale de chaussures était d'environ 22 à 25 milliards de paires par an [Statista 2022]. Le marché mondial des chaussures de sport représente actuellement environ 90 milliards de dollars et devrait atteindre plus de 93 milliards de dollars d'ici 2025. La consommation mondiale de chaussures a doublé tous les 20 ans depuis les années 1950, et chaque individu achète désormais trois nouvelles paires de chaussures par an [Van Rensburg et al. 2020], avec d'importantes variations à travers le monde (< 1 en Inde et au Vietnam; > 5 en Europe et aux États-Unis). La plupart des chaussures sont faites de mélanges complexes de divers polymères cousus et collés ensemble, ce qui les rend difficiles à recycler [Muthu et Li 2021]. La fabrication d'une seule chaussure implique au moins 40 matériaux différents [Van Rensburg et al. 2020], ce qui est l'une des principales raisons de l'impact environnemental élevé de ce secteur. En fin de vie, 95 % de toutes les chaussures sont mises en décharge, où une chaussure peut mettre jusqu'à 40 ans à se décomposer et les matériaux synthétiques jusqu'à plusieurs siècles. Par conséquent, la consommation croissante de chaussures contribue à accroître l'accumulation de polymères synthétiques sous forme de déchets dans notre environnement.

En raison de leur légèreté et de leur durabilité, les déchets plastiques peuvent être facilement transportés dans des environnements terrestres où ils peuvent s'accumuler dans des systèmes d'eau douce [Blettler et Wantzen 2019]. Ainsi, l'utilisation de chaussures de sport pendant l'exercice physique (bénéfique pour la santé humaine) peut ajouter un facteur de stress environnemental aux organismes aquatiques et terrestres, potentiellement éloignés des lieux de pratique sportive. De plus, les chaussures sont des produits riches en signification et leur achat est lié à l'identité culturelle du consommateur et la renforce. La durabilité est une question cruciale à l'échelle mondiale, et les consommateurs exercent une pression croissante sur les entreprises pour qu'elles entreprennent et adoptent un comportement responsable face aux enjeux environnementaux et sociaux. « *C'est le produit, et non le polymère, qui est à l'origine du problème des déchets plastiques* » [Stanton et al. 2021].

5. Conclusion

Les pratiques contemporaines de consommation et de rejet (« du berceau à la tombe ») sont la principale source de déchets anthropiques dans l'environnement. Pour être efficaces, les actions environnementales visant à minimiser les rejets de déchets doivent s'appuyer sur des données scientifiques objectives afin d'induire des changements dans les pratiques de consommation des utilisateurs, ainsi que dans la conception des produits. Le recyclage et l'économie circulaire (« du berceau au berceau ») sont une voie actuellement explorée par les principales marques d'articles de sport.

Dolman et Marion [2022] ont indiqué que la pandémie de COVID-19 a entraîné une augmentation d'environ 20 % de la participation aux activités de plein air aux États-Unis en 2020. Les sites traditionnels pour les sorties en nature sont très demandés, et une surfréquentation prochaine de ces sites est à prévoir. Je pense qu'il est possible d'identifier et d'anticiper les conséquences néfastes directes ou indirectes de cette tendance; cependant, les principaux fautifs pourraient ne pas être ceux auxquels nous pensons spontanément. La plupart de nos lecteurs sont des observateurs assidus de la nature; beaucoup d'entre eux sont également des pratiquants enthousiastes d'activités de plein air. Le but de cette note est d'accroître leur sensibilisation et peut-être aussi leur engagement à lutter contre cette situation choquante. Cette étude peut attirer leur attention et appeler à leur vigilance. La connaissance de l'environnement joue un rôle essentiel dans l'influence des processus décisionnels et des actions réelles : les personnes qui perçoivent des risques environnementaux sont plus susceptibles d'adopter un comportement respectueux de l'environnement [Yoon et al. 2021]. Il est sans aucun doute crucial de fournir et de publier des informations scientifiques solides. [Charitou et al. 2021]. C'est aussi le but de cette petite note.

6. Recommandations immédiates

- Nettoyage régulier du sentier : cela peut être encouragé par le biais de sessions spécifiques impliquant les citoyens.
- Information : placer des affiches sur le parking pour informer les visiteurs des risques liés aux déchets et les encourager à faire attention à leurs propres déchets.
- Incitation : indiquer clairement l'emplacement des poubelles.
- Surveillance scientifique : surveiller le niveau des microplastiques dans la source du Lez.

7. Conflits d'intérêts

L'auteur n'a aucun conflit d'intérêt à déclarer.

8. Remerciements

À EF qui m'a patiemment attendu pendant que je cherchais et ramassais des déchets pendant cette randonnée. À l'éditeur et au réviseur qui ont contribué à améliorer le manuscrit.

Références

- Allen, S., Allen, D., Baladima, F., Phoenix, V. R., Thomas, J. L., Le Roux, G., and Sonke, J. E. (2021). Evidence of free tropospheric and long-range transport of microplastic at Pic du Midi observatory. *Nat. Commun.*, 12(1), 1–10.
- Beaumont, N. J., Aanesen, M., Austen, M. C., Börger, T., Clark, J. R., Cole, M., Hooper, T., Lindeque, P. K., Pascoe, C., and Wyles, K. J. (2019). Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. *Mar. Pollut. Bull.*, 142, 189–195.

- Bertling, J., Bertling, R., and Hamann, L. (2018). *Kunststoffe in der Umwelt : Mikro- und Makroplastik*. Fraunhofer Institute for Environmental, Safety, and Energy Technology UMSICHT, Oberhausen.
- Black, J. E., Kopke, K., and O'Mahony, C. (2019). A trip upstream to mitigate marine plastic pollution—a perspective focused on the MSFD and WFD. *Front. Mar. Sci.*, 6, article no. 689.
- Blettler, M. C. M., Abrial, E., Khan, F. R., Sivri, N., and Espinola, L. A. (2018). Freshwater plastic pollution : recognizing research biases and identifying knowledge gaps. *Water Res.*, 143, 416–424.
- Blettler, M. C. M. and Wantzen, K. M. (2019). Threats underestimated in freshwater plastic pollution : mini-review. *Water Air Soil Pollut.*, 230, article no. 174.
- Borrelle, S. B., Ringma, J., Law, K. L., Monnahan, C. C., Lebreton, L., McGivern, A., Murphy, E., Jambeck, J., Leonard, G. H., Hilleary, M. A., Eriksen, M., Possingham, H. P., De Frond, H., Gerber, L. R., Polidoro, B., Tahir, A., Bernard, M., Mallos, N., Barnes, M., and Rochman, C. M. (2020). Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*, 369(6510), 1515–1518.
- Carbery, M., O'Connor, W., and Palanisami, T. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environ. Int.*, 115, 400–409.
- CCGPSL (2016, 2017, 2018). Annual Reports of the “*Communauté de Communes du Grand Pic Saint Loup*”. <https://grandpicsaintloup.fr/la-communaute-de-communes/publications/rapports-annuels/>.
- Charitou, A., Aga-Spyridopoulou, R. N., Mylona, Z., Beck, R., McLellan, F., and Addamo, A. M. (2021). Investigating the knowledge and attitude of the Greek public towards marine plastic pollution and the EU single-use plastics directive. *Mar. Pollut. Bull.*, 166, article no. 112182.
- Compa, M., March, D., and Deudero, S. (2019). Spatio-temporal monitoring of coastal floating marine debris in the Balearic Islands from sea-cleaning boats. *Mar. Pollut. Bull.*, 141, 205–214.
- da Costa Araújo, A. P., da Luz, T. M., de Oliveira Gonçalves, S., Rajagopal, R., Rahman, M. M., e Silva, D. D. M., and Malafaia, G. (2022). How can my shoes affect the amphibian health? A study of the toxicity of microplastics from shoe sole (polyvinyl chloride acetate) on physalaemus cuvieri tadpoles (Anura, Leptodactylidae). *J. Hazard. Mater.*, 440, article no. 129847.
- Dolman, M. R. and Marion, J. L. (2022). Invasive plant hitchhikers : Appalachian trail thru-hiker knowledge and attitudes of invasive plants and leave No trace practices. *J. Outdoor Recreat. Tour.*, 40, article no. 100581.
- Evju, M., Hagen, D., Jokerud, M., Olsen, S. L., Selvaag, S. K., and Vistad, O. I. (2021). Effects of mountain biking versus hiking on trails under different environmental conditions. *J. Environ. Manage.*, 278, article no. 111554.
- Fleury, P., Ladouche, B., Conroux, Y., Jourde, H., and Dörfliger, N. (2009). Modelling the hydrologic functions of a karst aquifer under active water management—the Lez spring. *J. Hydrol.*, 365(3–4), 235–243.
- Forster, N. A., Tighe, M. K., and Wilson, S. C. (2020). Microplastics in soils of wilderness areas : What is the significance of outdoor clothing and footwear? *Geoderma*, 378, article no. 114612.
- Fourneaux, J.-C., Couturier, B., and Sommeria, L. (1989). Analyse d'une opération de traçage dans la région du Pic Saint-Loup (Hérault-France). *Karstologia*, 13, 50–53.
- Frias, J. P. G. L. and Nash, R. (2019). Microplastics : finding a consensus on the definition. *Mar. Pollut. Bull.*, 138, 145–147.
- Galgani, L., Beiras, R., Galgani, F., Panti, C., and Borja, A. (2019). Editorial : impacts of marine litter. *Front. Mar. Sci.*, 6, article no. 208.
- Geyer, R. (2020). Production, use, and fate of synthetic polymers. In Letcher, T. M., editor, *Plastic Waste and Recycling : Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions*, pages 13–32. Academic Press, Cambridge, MA.
- Gigault, J., ter Halle, A., Baudrimont, M., Pascal, P.-Y., Gauffre, F., Phi, T.-L., El Hadri, H., Grassl, B., and Reynaud, S. (2018). Current opinion : what is a nanoplastic? *Environ. Pollut.*, 235, 1030–1034.
- Guerrini, E., Mari, L., and Casagrandi, R. (2019). Modeling plastics exposure for the marine biota : risk maps for fin whales in the Pelagos Sanctuary (North-Western Mediterranean). *Front. Mar. Sci.*, 6, article no. 299.
- Heller, M. C., Mazor, M. H., and Keoleian, G. A. (2020). Plastics in the US : toward a material flow characterization of production, markets and end of life. *Environ. Res. Lett.*, 15(9), article no. 094034.
- Herva, M., Álvarez, A., and Roca, E. (2011). Sustainable and safe design of footwear integrating ecological

- footprint and risk criteria. *J. Hazard. Mater.*, 192(3), 1876–1881.
- Hoellein, T. J. and Rochman, C. M. (2021). The “plastic cycle” : a watershed-scale model of plastic pools and fluxes. *Front. Ecol. Environ.*, 19(3), 176–183.
- Horton, A. A. (2022). Plastic pollution : when do we know enough? *J. Hazard. Mater.*, 422, article no. 126885.
- Ingre-Khans, E., Rudén, C., and Breitholtz, M. (2010). Chemical risks and consumer products : the toxicity of shoe soles. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 73(7), 1633–1640.
- IRP (International Resource Panel) (2019). Global resources outlook 2019 : natural resources for the future we want. In Oberle, B., Bringezu, S., Hatfield-Dodds, S., Hellweg, S., Schandl, H., Clement, J., Cabernard, L., Che, N., Chen, D., Droz-Georget, H., Ekins, P., Fischer-Kowalski, M., Flörke, M., Frank, S., Froemelt, A., Geschke, A., Haupt, M., Havlik, P., Hüfner, R., Lenzen, M., Lieber, M., Liu, B., Lu, Y., Lutter, S., Mehr, J., Miatto, A., Newth, D., Oberschelp, C., Obersteiner, M., Pfister, S., Piccoli, E., Schaldach, R., Schüngel, J., Sonderegger, T., Sudheshwar, A., Tanikawa, H., van der Voet, E., Walker, C., West, J., Wang, Z., and Zhu, B., editors, *A Report of the International Resource Panel*. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook>.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., and Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347, 768–771.
- Jorgensen, B., Krasny, M., and Baztan, J. (2020). Volunteer beach cleanups : civic environmental stewardship combating global plastic pollution. *Sustain. Sci.*, 16(1), 153–167.
- Kim, L., Kim, D., Kim, S. A., Kim, H., Lee, T. Y., and An, Y. J. (2022). Are your shoes safe for the environment?—Toxicity screening of leachates from microplastic fragments of shoe soles using freshwater organisms. *J. Hazard. Mater.*, 421, article no. 126779.
- Knight, L. J., Parker-Jurd, F. N., Al-Sid-Cheikh, M., and Thompson, R. C. (2020). Tyre wear particles : an abundant yet widely unreported microplastic? *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 27, 18345–18354.
- Kramm, J., Völker, C., and Wagner, M. (2018). Superficial or substantial : why care about microplastics in the Anthropocene? *Environ. Sci. Technol.*, 52, 3336–3337.
- Lassen, C., Hansen, S. F., Magnusson, K., Hartmann, N. B., Rehne Jensen, P., Nielsen, T. G., and Brinch, A. (2015). *Microplastics : Occurrence, Effects and Sources of Releases to the Environment in Denmark*. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen, https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/118180844/Lassen_et_al_2015.pdf.
- Lebreton, L. C. M., van der Zwet, J., Damsteeg, J.-W., Slat, B., Andrady, A., and Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world’s oceans. *Nat. Commun.*, 8, article no. 15611.
- Lee, T. Y., Kim, L., Kim, D., An, S. H., and An, Y. J. (2022). Microplastics from shoe sole fragments cause oxidative stress in a plant (*Vigna radiata*) and impair soil environment. *J. Hazard. Mater.*, 429, article no. 128306.
- Lewin, W.-C., Weltersbach, M. S., Denfeld, G., and Strehlow, H. V. (2020). Recreational anglers’ perceptions, attitudes and estimated contribution to angling related marine litter in the German Baltic Sea. *J. Environ. Manage.*, 272, article no. 111062.
- Malizia, A. and Monmany-Garzia, A. C. (2019). Terrestrial ecologists should stop ignoring plastic pollution in the Anthropocene time. *Sci. Total Environ.*, 668, 1025–1029.
- Meijer, L., van Emmerik, T., van der Ent, R., Schmidt, C., and Lebreton, L. (2021). More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Sci. Adv.*, 7, article no. eaaz5803.
- Muthu, S. S. and Li, Y. (2021). The environmental impact of footwear and footwear materials. In *Handbook of Footwear Design and Manufacture*, pages 305–320. Woodhead Publishing.
- Nelms, S. E., Coombes, C., Foster, L. C., Galloway, T. S., Godley, B. J., Lindeque, P. K., and Witt, M. J. (2017). Marine anthropogenic litter on British beaches : a 10-year nationwide assessment using citizen science data. *Sci. Total Environ.*, 579, 1399–1409.
- Ostle, C., Thompson, R. C., Broughton, D., Gregory, L., Wootton, M., and Johns, D. G. (2019). The rise in ocean plastics evidenced from a 60-year time series. *Nat. Commun.*, 10, article no. 1622.
- Owens, K. A. (2018). Using experiential marine debris education to make an impact : collecting debris, informing policy makers, and influencing students. *Mar. Pollut. Bull.*, 127, 804–810.

- Padha, S., Kumar, R., Dhar, A., and Sharma, P. (2022). Microplastic pollution in mountain terrains and foothills : a review on source, extraction, and distribution of microplastics in remote areas. *Environ. Res.*, 207, article no. 112232.
- Panno, S. V., Kelly, W. R., Scott, J., Zheng, W., McNeish, R. E., Holm, N., Hoellein, T. J., and Baranski, E. L. (2019). Microplastic contamination in karst groundwater systems. *Groundwater*, 57, 189–196.
- Persat, H., Beaudou, D., and Freyhof, J. (1996). The sculpin of the Lez spring (South France) *Cottus petiti* (Bacescu and Bacescu-Mester, 1964), one of the most threatened fish species in Europe. In *Conservation of Endangered Freshwater Fish in Europe*, pages 321–328. Birkhäuser, Basel.
- Pickering, C. (2022). Mountain bike riding and hiking can contribute to the dispersal of weed seeds. *J. Environ. Manage.*, 319, article no. 115693.
- Plastics Europe (2020). Plastics—the Facts 2020 : an analysis of European plastics production, demand and waste data. Association of Plastics Manufacturers. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>.
- Portman, M. E., Pasternak, G., Yotam, Y., Nusbaum, R., and Behar, D. (2019). Beachgoer participation in prevention of marine litter : using design for behavior change. *Mar. Pollut. Bull.*, 144, 1–10.
- Rayon-Viña, F., Miralles, L., Fernandez-Rodríguez, S., Dopico, E., and Garcia-Vazquez, E. (2019). Marine litter and public involvement in beach cleaning : disentangling perception and awareness among adults and children, Bay of Biscay, Spain. *Mar. Pollut. Bull.*, 141, 112–118.
- Rodrigues, M. O., Abrantes, N., Gonçalves, F. J. M., Nogueira, H., Marques, J. C., and Gonçalves, A. M. M. (2019). Impacts of plastic products used in daily life on the environment and human health : what is known? *Environ. Toxicol. Phar.*, 72, article no. 103239.
- Schernewski, G., Balciunas, A., Gräwe, D., Gräwe, U., Klesse, K., Schulz, M., Wesnigk, S., Fleet, D., Haseler, M., Möllman, N., and Werner, S. (2018). Beach macro-litter monitoring on southern Baltic beaches : results, experiences and recommendations. *J. Coast. Conserv.*, 22, 5–25.
- Schofield, J., Wyles, K. J., Doherty, S., Donnelly, A., Jones, J., and Porter, A. (2020). Object narratives as a methodology for mitigating marine plastic pollution : multidisciplinary investigations in Galápagos. *Antiquity*, 94(373), 228–244.
- Scott, L. C., Wilson, M. J., Esser, S. M., Lee, N. L., Wheeler, M. E., Aubee, A., and Aw, T. G. (2021). Assessing visitor use impact on antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes in soil and water environments of Rocky Mountain National Park. *Sci. Total Environ.*, 785, article no. 147122.
- Sonke, J. E., Koenig, A. M., Yakovenko, N., Hagelskjær, O., Margenat, H., Hansson, S. V., Francois De Vleeschouwer, F., Magand, O., Le Roux, G., and Thomas, J. L. (2022). A mass budget and box model of global plastics cycling, degradation and dispersal in the land-ocean-atmosphere system. *Microplast. Nanoplast.*, 2(1), 1–14.
- Stanton, T., Kay, P., Johnson, M., Chan, F. K. S., Gomes, R. L., Hughes, J., Meredith, W., Orr, H. G., Snape, C. E., Taylor, M., Weeks, J., Wood, H., and Xu, Y. (2021). It's the product not the polymer : rethinking plastic pollution. *WIREs Water*, 8, article no. e1490.
- Statista (2022). Quantity of footwear produced worldwide from 2015 to 2021. <https://www.statista.com/statistics/1044823/global-footwear-production-quantity/>.
- UNEP (2021). From Pollution to Solution : A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi, 148 p. <https://www.developmentaid.org/api/frontend/cms/file/2021/10/POLSOL.pdf>.
- Van Rensburg, M. L., Nkomo, S. L., and Mkhize, N. M. (2020). Life cycle and End-of-Life management options in the footwear industry : a review. *Waste Manag. Res.*, 38(6), 599–613.
- Viaroli, S., Lancia, M., and Re, V. (2022). Microplastics contamination of groundwater : current evidence and future perspectives. A review. *Sci. Total Environ.*, 824, article no. 153851.
- Vlachogianni, T., Skocir, M., Constantin, P., Labbe, C., Orthodoxou, D., Pesmatzoglou, I., Scannella, D., Spika, M., Zissimopoulos, V., and Scoullou, M. (2020). Plastic pollution on the Mediterranean coastline : generating fit-for purpose data to support decision-making via a participatory-science initiative. *Sci. Total Environ.*, 711, article no. 135058.
- Wyles, K. J., Pahl, S., Holland, M., and Thompson, R. C. (2016). Can beach cleans do more than clean-up litter?

- Comparing beach cleans to other coastal activities. *Environ. Behav.*, 49(5), 509–535.
- Yoon, A., Jeong, D., and Chon, J. (2021). The impact of the risk perception of ocean microplastics on tourists' pro-environmental behavior intention. *Sci. Total Environ.*, 774, article no. 144782.
- Zalasiewicz, J., Waters, C. N., Ivar do Sul, J. A., Corcoran, P. L., Barnosky, A. D., Cearreta, A., Edgeworth, M., Gałuszka, A., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J. R., Steffen, W., Summerhayes, C., Wapre, M., Williams, M., Wolfe, A. P., and Yonan, Y. (2016). The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. *Anthropocene*, 13, 4–17.