



HAL
open science

État des lieux du plastique

Etienne Grau, Philippe Reutenauer

► **To cite this version:**

Etienne Grau, Philippe Reutenauer. État des lieux du plastique. Annales des mines - Série Responsabilité et environnement, 2024, 116, pp.7-13. hal-04720181

HAL Id: hal-04720181

<https://hal.science/hal-04720181v1>

Submitted on 3 Oct 2024

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.

État des lieux du plastique

Par Étienne GRAU

CNRS, Bordeaux INP, LCPO, UMR5629, Université de Bordeaux et La Fresque du Plastique

Et Philippe REUTENAUER

Endless et La Fresque du Plastique

La conquête des plastiques par l'humanité a connu une accélération au cours du dernier siècle et demi. Elle a apporté une profonde modification de nos conditions de vie pour apporter un confort de vie à une partie toujours croissante de l'humanité. Cependant, au début du XXI^e siècle, il semble qu'un maximum ait été dépassé. Notre capacité à traiter nos déchets plastiques est insuffisante. Notre consommation excessive de plastique fait désormais courir un risque à nos écosystèmes et de plus en plus de signaux d'alerte sont donnés concernant son impact sur notre santé.

Notre société doit faire l'inventaire des dernières décennies d'utilisation du plastique pour décider comment construire un futur durable, en remettant en cause la manière dont nous consommons les objets en plastique.

Comme le disait Paul Elek en 1946, « tout le monde parle des plastiques, mais peu de gens savent de quoi il s'agit » (Leyson, 1946). Depuis, la production mondiale de plastique a été multipliée par 250 depuis la Seconde Guerre mondiale atteignant 459 millions de tonnes par an selon l'OCDE en 2019 (OECD, 2022). Ainsi grâce aux plastiques, nos voitures sont plus légères, nos habits plus confortables et pratiques, nos aliments se conservent plus longtemps dans leur emballage, les jouets de nos enfants sont plus résistants ! Malgré cette omniprésence du plastique, la phrase de Paul Elek pourrait même devenir : tout le monde parle des plastiques, mais personne ne sait de quoi il s'agit !

Si le nom « plastique » existe dans pratiquement l'ensemble des langues, il n'existe pas de définition universelle du plastique (CIEL, 2023). Le plastique est ainsi un objet insaisissable. Sa nature polyvalente et omniprésente le rend difficile à circonscrire. Un objet qui semble répondre parfaitement à la définition de plastique dans un contexte peut être exclu dans un autre. Que ce soit à cause de leurs compositions chimiques variées, de leurs nombreuses applications ou des perceptions culturelles et industrielles, les plastiques échappent constamment à toute tentative de classification rigide, encore plus à une définition simple et universelle.

Par définition, un polymère est une macromolécule constituée d'unités de répétition. Le polyéthylène, par exemple, est constitué d'unités (CH₂). Nous proposons de définir le plastique comme un matériau contenant des polymères, à l'exclusion des fibres naturelles comme le coton, la laine ou la soie, ces dernières n'étant pas identifiées comme telles par notre expérience quotidienne.

Un matériau peut contenir de pratiquement 100 % de polymères et très peu d'additifs (cas des bouteilles en PET) à uniquement quelques pourcents (le bitume de nos

routes contient environ 5 % de polymères, une peinture ou certains caoutchoucs vulcanisés de 20 à 30 %). Nous considérons cependant l'ensemble de ces objets comme étant en plastique.

COMMENT LES PLASTIQUES SONT APPARUS ?

Préhistoire

Les plastiques sont au cœur de plusieurs révolutions que les hommes et les femmes ont connus au cours de notre Histoire (Weinhart, 2023).

Un des premiers exemples de plastique est peut-être, d'après notre définition, la colle de poisson obtenue par hydrolyse partielle du collagène retrouvée sur des harpons datant de 200 000 av. J.-C. (Kozowyk *et al.*, 2017) ainsi que le tannage des peaux apparu 50 000 av. J.-C (Feldman, 2008). Ce sont parmi les plus anciennes utilisations par nos ancêtres des polymères présents dans la nature après modification chimique.



Figure 1 : Éléments de fossiles trouvés sur le site Mehrgarth dans la plaine de Kachi au Béloutchistan vieux de 5 300 ans (Photographie : Georg Helmes).

Néanmoins c'est la découverte de la vulcanisation du caoutchouc naturel en 1839 par Charles Goodyear et Tom Hancock qui est considérée comme la naissance des plastiques (Loadman, 2014). Elle permettra la production des pneumatiques en 1896, indissociables de la révolution automobile.

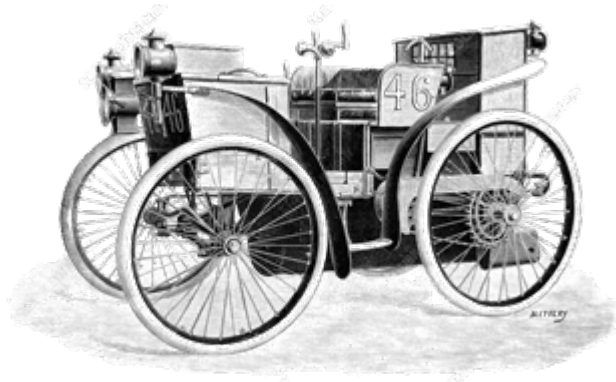


Figure 2 : Peugeot automobile Phaéton de 1894 (Source : Science Photo Library).

Obtenu à partir du polymère le plus abondant sur terre, le Celluloïd, inventé en 1868, a joué un rôle crucial comme support pour la photographie et les films, permettant la révolution de l'image (Friedel, 1983).

Le premier plastique entièrement synthétique est la bakélite, inventée en 1907 (Fenichell, 1996). Il marque le début de l'ère industrielle des plastiques. La bakélite possède de nombreuses propriétés inédites, en particulier des propriétés d'isolation électrique. Elle a joué un rôle majeur dans la révolution de la communication : sans bakélite, ni radio ni téléphone.



Figure 3 : Exemples d'une radio Ekco de 1934 (Source : Mayor Gallery, London / Bridgeman Images) et d'un téléphone Siemens de 1932 (Source : Museum of Design in Plastics) en bakélite.

Si cette résine phénolique thermodurcissable n'a pas des propriétés suffisantes pour toutes les applications, elle ouvre la voie à la production par synthèse de résines plastiques : l'entre-deux-guerres verra la découverte des PEBD, PS, PMMA, PVC, Nylon, ainsi que les techniques de production spécifique d'objets en plastique, préparant le terrain pour le boom *post* Seconde Guerre mondiale (Dubois, 1972).

Entrée dans l'histoire moderne

Après la Seconde Guerre mondiale, le monde sera reconstruit avec du plastique. Le PMMA, le PVC, le PEBD, le nylon, le téflon ont été indispensables à l'effort de guerre,

du fait de la limitation du commerce international des ressources traditionnelles comme le caoutchouc naturel, le bois ou l'acier. De plus, ils ont offert des avantages certains aux nations qui les ont développés. Comme le marché en temps de paix n'existe pas, les industriels le créeront. Un exemple de ce *marketing* se trouve dans le supplément de 50 pages de *House Beautiful* d'octobre 1947 : à chaque page les plastiques apparaissent indispensables à la vie de demain !



Figure 4 : Couverture de *House Beautiful* (Source : Personal Collection).

L'essor de l'automobile individuelle au lendemain de la Seconde Guerre nécessite de faire baisser le prix du carburant. C'est en particulier les travaux des Karl Ziegler et Giulio Natta qui découvrent l'utilisation d'un complexe de titane pour catalyser la polymérisation de l'éthylène et du propylène, deux sous-produits de la production de carburant qui vont permettre la production des PEHD, PEBD et PP qui ouvre la voie aux plastiques modernes (Sailors *et al.*, 1981).

L'ACCES A UN PLASTIQUE PAS CHER ET ABONDANT

La société de consommation

Le plastique devient LE MATÉRIAU de la société de consommation naissante grâce à son coût de production faible et sa facilité de mise en œuvre en grande série. Il permet à la fois une uniformisation (tous les ménages ont les mêmes tupperwares (Clarke, 2001), coquetiers (Rubin, 2009)) et des *designs* aux formes variées, rendant les objets plus esthétiques et fonctionnels, généralisant l'accès à des objets autrefois réservés à des classes aisées. Mais l'avantage principal du plastique dans la société de consommation est sa « jetabilité », permettant l'usage unique que le magazine *Life* a qualifié de "Throwaway Living" (vie jetable) : jeter sa cuillère plutôt que la laver ! Héritage de ces pratiques, aujourd'hui la majorité de nos objets en plastique actuels a une durée d'utilisation inférieure à 3 ans. Parfois même quelques minutes dans la restauration à emporter.



Figure 5 : Image du magazine

Life du 1^{er} août 1955.

Alors que les plastiques conquièrent petit à petit les différents domaines d'application, (Freinkel, 2011), ils révolutionnent complètement deux secteurs : le textile et les emballages.

Les qualités du plastique le rendent la matière prédominante dans l'emballage : légèreté, facilité de transformation idéale pour le *design*, soudabilité, propriétés barrières et bas prix. Dans le *marketing*, l'emballage devient un élément clé de la différenciation des produits autant qu'un support de la société de consommation. Le plastique a remodelé notre société facilitant un grand nombre d'actions quotidiennes permettant de gagner du temps dans l'entretien du foyer et notre vie en général (sol plus facile à nettoyer, additive de lessive et savon plus efficace, achat d'aliment préparé, déjà portionné, textiles ne nécessitant pas de repassage ...) en permettant aux deux adultes d'un foyer de travailler et d'avoir les passe-temps et donc consommer plus (de plastique).

Dans le domaine des textiles, les fibres naturelles sont supplantées par les fibres polyester apparues en 1940 (Thaore *et al.*, 2018). Si elles n'ont pas des propriétés physico-chimiques et sensorielles supérieures, elles se distinguent par leur prix avantageux.

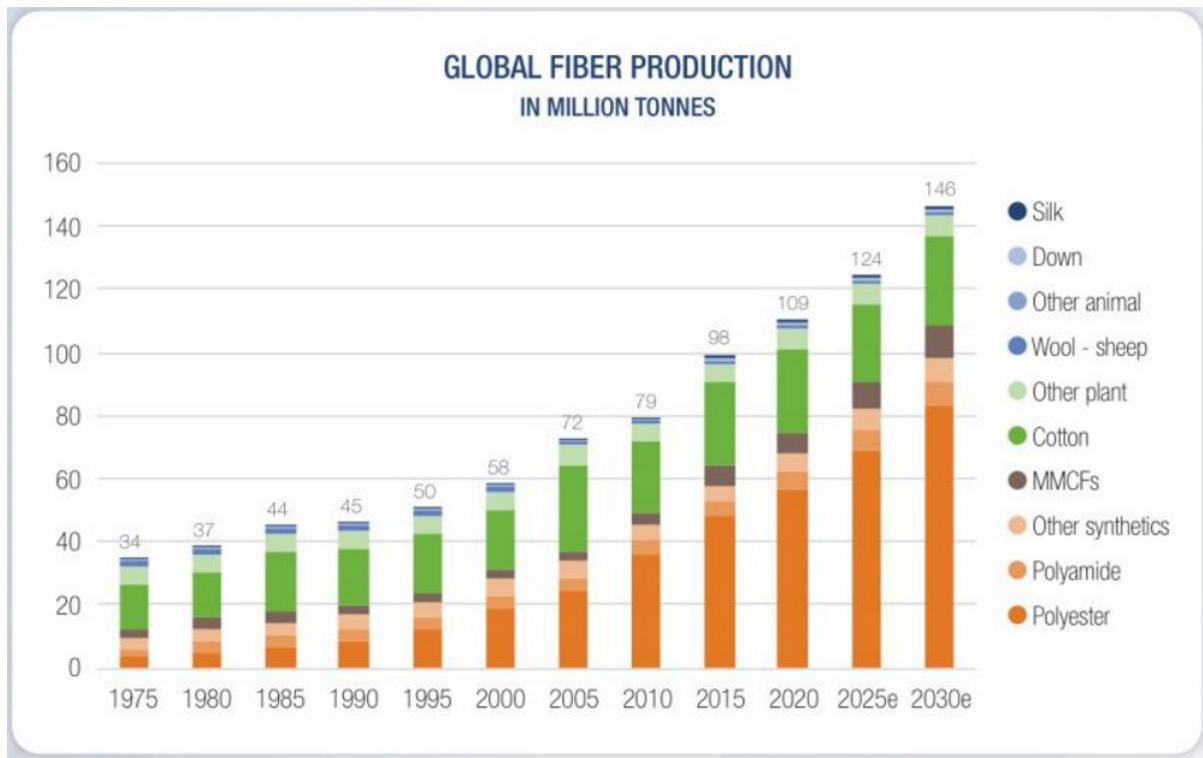


Figure 6 : Production mondiale de fibres naturelles et synthétiques, en millions de tonnes (Source : Thaore *et al.*, 2018).

La production des plastiques évolue vers des matières spécifiques pour l'usage unique qui deviennent des commodités, leur production croît exponentiellement avec les années.

Usages durables des plastiques

Les plastiques performant aussi dans des applications durables où ils apportent légèreté, facilité de mise en œuvre, polyvalence et capacité à produire des objets en grandes séries, et à moindre coût. Les secteurs de la construction, des transports sont des utilisateurs durables de ces résines pour des biens dont la durée de vie se compte en décennies.

FINS D'UTILISATION DES PLASTIQUES

Historiquement, à l'image des écuries d'Augias, la stratégie utilisée par les peuples a été de « donner » les déchets aux fleuves, à la mer ou dans des dépotoirs qui deviendront, au cours du XX^e siècle les décharges que nous connaissons. En 2019, ce sont 60 % des 353 millions de tonnes de nos déchets plastiques qui finissent dans ces décharges (OECD, 2022). L'incinération est apparue dans la deuxième moitié du XX^e siècle, lorsque des technologies de filtration-purification des fumées ont permis d'en limiter la pollution. Un quart des déchets plastiques mondiaux sont brûlés. 10 % des déchets plastiques sont recyclés à l'échelle mondiale.

Les 5 % restants se retrouvent dans l'environnement sous forme de pollution où ils se comportent différemment des autres déchets (verre, métaux, céramique ou alimentaires). Les plastiques sont légers et non dégradables, deux avantages lors de leur utilisation, mais deux défauts majeurs en fin de vie. Leur légèreté entraîne une diffusion du plastique par la moindre brise, pluie ou courant. Le plastique se retrouve des sommets de l'Himalaya (Vaidya et Hegde, 2024) jusqu'à la fosse des Mariannes (Morelle, 2019). Les anciens plastiques ne disparaissent pas, les nouveaux déchets plastiques s'accumulent année après année jusqu'à saturer les écosystèmes.

La prise de conscience

Si, entre son invention et la Seconde Guerre mondiale, le plastique avait une connotation positive, avec ses mille potentiels, le lendemain de la Seconde Guerre mondiale voit apparaître une connotation négative, celle d'un matériau faux et de mauvaise qualité par rapport aux matériaux nobles. L'introduction sans études réelles de leur propriétés des PEBD et PS dans la vaisselle ont posé énormément de problèmes de résistance à la température (Meikle, 1997). C'est la première vague de désaveu contre le plastique.

Le film *Le Lauréat* de 1967 en est un marqueur temporel. Ainsi, le célèbre dialogue entre le jeune diplômé Benjamin et le quinquagénaire M. McGuire montre bien l'écart de perception entre la génération qui voit le plastique comme un matériau révolutionnaire, et celle qui voit un matériau de mauvaise qualité.

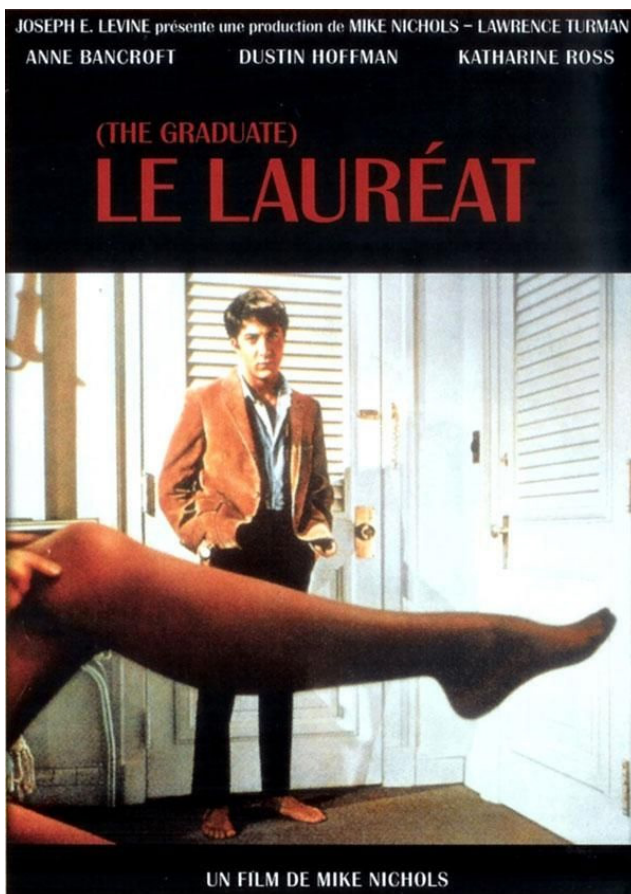


Figure 7 : Affiche du film *Le Lauréat* de Mike Nichols (Source : Les artistes associés).

La deuxième vague correspond à la fin des années 1960 et au début des années 1970 avec la structuration des mouvements écologistes et l'apparition des premières campagnes de nettoyage des déchets dans la nature (Freinkel, 2011).

La troisième vague, toujours plus importante, est la crise des décharges liée aux réglementations pour limiter les fuites dans l'environnement. Cela entraîne la crainte d'une saturation des décharges. Rappelons l'odyssée de la barge Mobro en 1986, qui n'arrive pas pendant plusieurs mois à trouver de port où décharger ses déchets (Dooley, 2017).



Figure 8 : Photo de la barge Mobro 4000 après l'action de Greenpeace (Source : Wikipedia).

Nous vivons actuellement la quatrième vague, commencée en 1997 avec la découverte du continent plastique par le capitaine Charles Moore (Dameron *et al.*, 2007). L'accumulation des déchets dans l'immensité de l'océan depuis un demi-siècle a rendu cette pollution visible. Elle n'est plus infiniment diluée mais bien réelle. La santé des animaux et leur survie sont mises en danger par l'omniprésence de nos déchets.

Les moyens

Que faire des 353 millions de tonnes de déchets plastiques produites annuellement ? Les défis sont la logistique pour les collecter et les envoyer vers leur « meilleure » fin de vie, et l'éducation pour former les gens à jeter dans la « bonne » poubelle.

En France et en Europe, nous utilisons des poubelles de tri à domicile, et de plus en plus au travail et dans certains lieux publics. Elles sont ramassées régulièrement par un « service public ». Mais ce n'est pas le cas partout. Dans les milieux favorisés de l'Asie, ce ramassage est majoritairement effectué par des ramasseurs de déchets, appelés Kabadiwalla en Inde. Ils viennent parfois pour collecter les déchets *via* des applications (Arnsteing, 2020). À Taïwan, les particuliers doivent apporter eux-mêmes leurs déchets au camion de collecte. Enfin, dans de nombreux pays, cette collecte n'existe pas.



Figure 9 : Exemple d'une Kabadiwalla allant d'immeuble en immeuble récoltant des déchets (Source : New Delhi Journal).

Après la collecte, un tri est nécessaire, effectué en deux étapes :

- Au moment du geste de tri : nous ne pouvons pas demander à tout le monde de trier leurs déchets plastiques par type de polymère, seulement de rassembler les objets contenant majoritairement du plastique. Le compromis pour obtenir le meilleur tri par le consommateur ou les industriels dépend encore une fois de la culture du pays.
- Dans des centres de tri : une séquence de procédés physiques est utilisée pour rassembler les objets par type de plastiques. Moins le tri demandé aux utilisateurs est poussé, plus le centre de tri doit être efficace. Dans les pays développés, le choix fait d'utiliser la technologie pour effectuer le tri invisibilise le sujet des plastiques non recyclés.

Ces étapes de tri, effectuées plus ou moins industriellement et dans des normes de sécurité plus ou moins précaires, selon les infrastructures, les lois et les pays, sont imparfaites. Une partie de la matière potentiellement recyclable est perdue alors que l'énergie nécessaire croît avec l'intensité du tri.

Tous les polymères ne sont pas recyclables ! Certains ont une forte tendance à se dégrader voire tout simplement ne sont pas reprocessables, et de nombreux sont simplement orphelins d'une filière de tri. Enfin, pour qu'un polymère soit recyclé, il faut que la matière régénérée trouve un marché.

Les freins et la triple impossibilité

Lors du recyclage des bouteilles en PET, la résine est débarrassée d'au moins une partie de ses contaminants et des nouvelles liaisons chimiques sont créées pour régénérer leurs propriétés. Ce n'est pas le cas des autres plastiques que nous recyclons, pour qui, en l'absence de création de nouvelles liaisons chimiques, le recyclage mécanique donne un mélange aux propriétés mal définies.

Disons-le :

- les plastiques que nous utilisons n'ont pas été créés pour être recyclables (un impensé au moment de leurs créations) ;
- les poubelles n'ont pas été créées pour valoriser ce qui y est mis ;
- la plupart des objets que nous utilisons ont été conçus sans bonnes pratiques de conception pour le recyclage.

C'est une triple impossibilité que doivent surmonter nos tentatives de recycler notre consommation pléthorique de plastique. De cette triple impossibilité naît une triple crise environnementale.

LA TRIPLE CRISE ENVIRONNEMENTALE ET LE PLASTIQUE

En 2019, 22 millions de tonnes de plastique ont été rejetées dans l'environnement. Cela entraîne une pollution considérable des sols et des eaux, estimée à 215 millions de tonnes et 139 millions de tonnes respectivement (OECD, 2022). S'y ajoutent environ 33 tonnes de micro- et nano-plastiques en suspension dans l'atmosphère. D'ici 2050, plus de 1 200 millions de tonnes supplémentaires viendront s'accumuler dans notre environnement. Qui peut prédire quelles seront les conséquences de cette omniprésence des déchets plastiques, visibles et invisibles ?

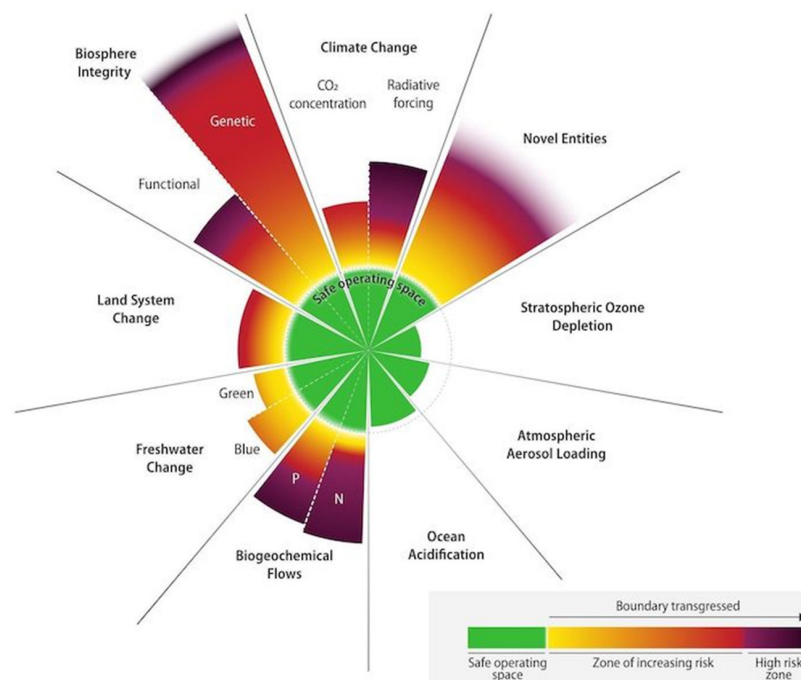


Figure 10 : Limite planétaire en 2023 (Source : Stockholm Resilience Center).

Impact sur la biodiversité

Aujourd'hui, la pollution plastique a envahi l'intégralité des biotopes. Toutes les espèces sont soumises à cette pollution dont les conséquences continueront à se révéler.

Impact sur la pollution

En France, on estime que nous ingérons 60 mg de plastique par jour et en respirons 30 mg par jour, soit presque 2,5 g par mois. Des microplastiques ont été trouvés dans tous les organes où ils ont été recherchés (Zhao et You, 2024).

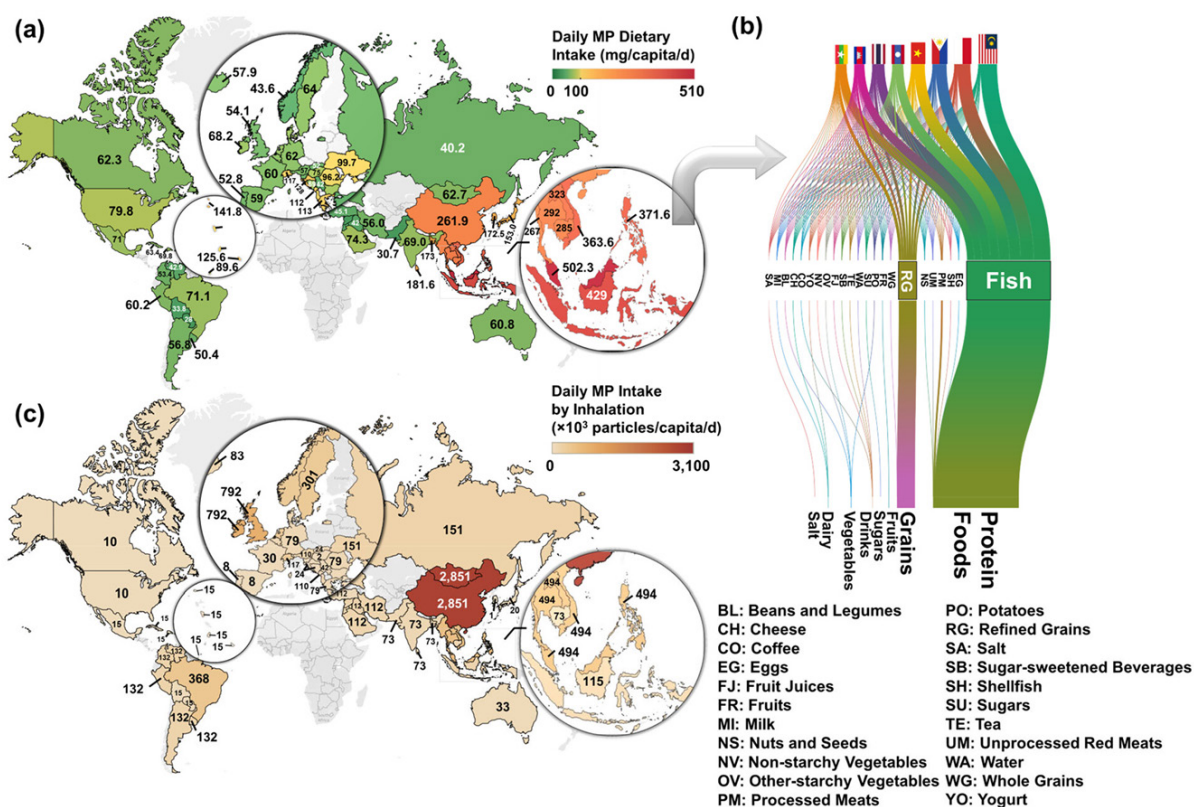


Figure 11 : Cartographie des quantités de micro- et nano-plastiques ingérés et inhalés dans le monde (Source : Zhao et You, 2024).

Impact climatique

Bien que ces matériaux aient, par unité de masse, une faible empreinte carbone par rapport à d'autres, notre surconsommation de plastique entraîne environ 5 % de l'empreinte carbone de l'humanité (Zheng et Suh, 2019). Pour respecter l'Accord de Paris sur le climat visant à limiter le changement climatique, l'optimisation des procédés de synthèse et de recyclage ne suffira pas ; notre consommation de plastique doit réduire, et massivement.

Impact sur la biophysique du système terrestre

La pollution de l'air, des sols et de l'eau impacte péjorativement la biophysique du système terrestre :

- la pollution des sols par des poussières plastiques entraîne un changement de l'albédo des glaces et neiges, facilitant leur fonte ;
- la pollution des sols et de l'eau entraîne également une baisse potentielle de la photosynthèse, limitant ainsi l'absorption de CO₂ par ce phénomène biochimique.

Résultats

Si les générations d'humains actuellement sur la planète ont tiré un grand bénéfice pour leur qualité de vie de la production et la consommation d'objets en plastique, il se révèle indiscutable que le plastique est en train de devenir un réel risque pour la qualité de vie, la capacité à jouir d'un environnement propre et sain et de vivre une vie en bonne santé pour les générations futures ET les générations actuelles. Est-ce là le progrès ? Il apparaît inéluctable que le consensus sociétal changera pour s'opposer à un tel saccage de nos conditions de vie à mesure des découvertes de l'impact des plastiques sur notre santé, les rapport risques/bénéfices de notre consommation de plastiques, bannissant les usages non nécessaires, remplaçables ou problématiques (UAPs), comme la loi AGECL a commencé à le faire.

Mais à l'heure actuelle, si les plastiques sont remis en cause, les usages le sont encore très peu. Or c'est l'inverse qui serait le bienvenu ! Réduire nos usages pour réduire notre exposition et celle de notre environnement.

BESOIN DE REMETTRE LE PLASTIQUE AU CŒUR DU DEBAT SOCIÉTAL ET POLITIQUE !

La chimie a fait des plastiques des matières qui ont conquis brillamment leur écosystème : celui de la société de consommation, devenant les marqueurs géologiques de notre temps : le plasticocène. Mais ils débordent amplement l'anthroposphère, se répandent dans la biosphère, mettent à mal l'avenir de nos sociétés. Nier que nous avons un souci avec le plastique est aujourd'hui aussi impossible que de dire que nous pouvons nous en passer du jour au lendemain.

Nous sommes frappés par la place dérisoire que prend ce sujet dans nos débats sociétaux et politiques. Comment construire un futur désirable, où l'accessibilité à un niveau de vie moderne aujourd'hui ne soit pas antinomique d'une qualité de vie future ? Notre société doit réfléchir à l'héritage de ces décennies d'utilisation du plastique, en faire le bilan et répondre aux aspirations légitimes de la société d'un avenir durable.

Les plastiques peuvent mettre à mal notre civilisation. Rappelons qu'ils ont déjà par le passé apporté des solutions à nos problèmes.

BIBLIOGRAPHIE

- LEYSON B.W. (1946), *Plastics in the world of tomorrow*, London, P. Elek Pub (éd.).
- OECD (2022), "Global plastics outlook: Economic drivers, environmental impacts and policy options", Paris, OECD Publishing.
- CIEL (2023), "Compilation of key terms relevant for the negotiation of a treaty to end plastic pollution", CIEL Publishing.
- WEINHART M. (2023), *Plastic World*, Hatje Cantz (éd.), 256 pages.
- KOZOWYK P.R.B., SORESSI M., POMSTRA D. & LANGEJANS G.H.J. (2017), "Experimental methods for the Palaeolithic dry distillation of birch bark: implications for the origin and development of Neandertal adhesive technology", *Sci Rep*, 7, 8033.
- FELDMAN D. (2008), "Polymer History", *Designed Monomers and Polymers*, 11(1), pp. 1-15.
- LOADMAN J. (2014), *Tears of the tree: The story of rubber - A modern marvel*, Oxford University Press (éd.).
- FRIEDEL R.D. (1983), *Pioneer plastic: The making and selling of celluloid*, University of Wisconsin Press (éd.).
- FENICHELL S. (1996), *Plastic: The making of a synthetic century*, Harper Business (éd.), 368 pages.
- DUBOIS J. H. (1972), *Plastics history USA*, Cahners Books (éd.).
- SAILORS H. R. & HOGAN J. P. (1981), "History of Polyolefins", *Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry*, 15(7), pp. 1377-1402.
- CLARKE A.J. (2001), *Tupperware: The promise of plastic in 1950's America*, Smithsonian Books (éd.).
- RUBIN E. (2009), *Synthetic socialism: Plastics and dictatorship in the German Democratic Republic*, The University of North Carolina Press (éd.).
- THAORE V., CHADWICK D. & SHAH N. (2018), "Sustainable production of chemical intermediates for nylon manufacture: A techno-economic analysis for renewable production of caprolactone", *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 135, pp. 140-152.
- FREINKEL S. (2011), *Plastic: A toxic love story hardcover*, Mariner Books (éd.).
- VAIDYA A. & HEGDE V. (2024), "Mountains of plastic are choking the Himalayan States", *The Hindu*.
- MORELLE R. (2019), "Mariana Trench: Deepest-ever sub dive finds plastic bag", *BBC News*.

MEIKLE J. (1997), *American plastic: a cultural history*, Rutgers University Press.

DOOLEY E. (2017), "Long Island's infamous garbage barge of 1987 still influences laws", *Newsday*.

DAMERON O. J., MICHAEL PARKE M., MARK A. ALBINS M. A. & BRAINARD R. (2007), "Marine debris accumulation in the Northwestern Hawaiian Islands: An examination of rates and processes", *Marine Pollution Bulletin*, 54(4), pp. 423-433.

ARNSTEIN T. (2020), "This Smart Recycling App Helps You Sort Your Trash", *The Beijinger*.

ZHAO X. & YOU F. (2024), "Microplastic human dietary uptake from 1990 to 2018 grew across 109 major developing and industrialized countries but can be halved by plastic debris removal", *Environ. Sci. Technol.*, 58(20), pp. 8709-8723.

ZHENG J. & SUH S. (2019), "Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics", *Nature Climate Change*, Vol. 9, pp. 374-378.