

N° 1274
ASSEMBLÉE NATIONALE
CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958
SEIZIÈME LÉGISLATURE

Enregistré à la présidence de l'Assemblée nationale

le 25 mai 2023

N° 641
SÉNAT

SESSION ORDINAIRE 2022 - 2023

Enregistré à la présidence du Sénat

le 25 mai 2023

RAPPORT

au nom de

**L'OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES**

sur

**Les enjeux scientifiques du traité international
visant à mettre un terme à la pollution plastique**

Fichier annexe n° 1

Audition publique du 11 mai 2023 – Présentations des intervenants

par M. Philippe Bolo, député,
et Mme Angèle Prévile, sénatrice

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale
par M. Pierre HENRIET,
Président de l'Office

Déposé sur le Bureau du Sénat
par M. Gérard LONGUET
Premier vice-président de l'Office

Audition publique

Les enjeux scientifiques liés au traité international pour mettre fin à la pollution plastique

En décembre 2020, le rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) sur la pollution plastique préconisait la négociation d'un traité mondial en vue de réduire la pollution plastique. En mars 2022, l'Assemblée des Nations unies pour l'environnement, réunie dans le cadre du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), adopte une résolution historique 5/14 prévoyant l'élaboration d'un instrument international juridiquement contraignant pour mettre fin à la pollution plastique. Cinq réunions du comité international de négociation sont programmées d'ici fin 2024 et la France accueille la deuxième réunion en mai 2023.

À cette occasion, l'Office souhaite poursuivre et actualiser ses travaux en organisant une audition publique, sous forme de deux tables rondes, sur les enjeux scientifiques liés au traité international destiné à mettre fin à la pollution plastique. La première table ronde traitera des raisons scientifiques qui poussent à l'élaboration de ce traité, la seconde s'intéressera aux enjeux scientifiques des propositions en discussion.

organisée par



Angèle Prévile
Sénatrice,
Vice-Présidente de l'Office



Philippe Bolo
Député

Jeudi 11 mai à 9 h 30

Salle 245, Sénat

15 rue de Vaugirard – Paris 6e

Cette audition sera diffusée [en direct](#) sur le site internet du Sénat puis disponible [en vidéo à la demande](#). Les internautes pourront soumettre leurs questions en ligne en se connectant sur [la plateforme de gestion des questions](#) à partir d'un ordinateur ou d'un téléphone portable. Certaines questions pourront ainsi être posées aux participants.

Audition publique sur les enjeux scientifiques liés au traité international visant à mettre un terme à la pollution plastique

organisée par Angèle Prévile, sénatrice, vice-présidente de l'Office et Philippe Bolo, député

PROGRAMME

9h30 – Ouverture par Pierre Henriët, député, président de l'Office, et Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office

9h40 – Les justifications scientifiques d'un traité visant à mettre un terme à la pollution plastique

Présidence : Angèle Prévile, sénatrice

- **Andrés Del Castillo**, avocat senior, Centre pour le droit international de l'environnement (CIEL)
- **Hervé Corvellec**, professeur à l'université de Lund (Suède)
- **Jeroen Sönke**, directeur de recherche au CNRS, spécialisé en géochimie de l'environnement
- **Xavier Cousin**, chercheur à l'INRAE affecté à l'UMR MARBEC (MARine Biodiversity, Exploitation and Conservation)
- **Muriel Mercier-Bonin**, directrice de recherche à l'INRAE dans l'UMR Toxalim (Centre de recherche en toxicologie alimentaire)

Débat et questions des internautes

11h00 – Les enjeux scientifiques des propositions en discussion dans le cadre du traité international pour mettre fin à la pollution plastique

Présidence : Philippe Bolo, député

- **Hugo-Maria Schally**, conseiller pour les négociations internationales, direction générale de l'environnement, Commission européenne
- **Véronique Gayraud**, professeur de physiologie à l'École nationale vétérinaire de Toulouse, membre de l'UMR Toxalim
- **Nathalie Gontard**, directrice de recherche à l'INRAE
- **Olivier Gabut**, professeur associé en service temporaire à Centrale Lille Institut, en charge des matières écoresponsables pour le groupe Legrand
- **Valérie Guillard**, professeur à l'université Paris-Dauphine

Débat et questions des internautes

12h15 – Conclusions

**Présentation de M. Andrés Del Castillo,
avocat senior,
Centre pour le droit international de l'environnement (CIEL)**



Traité sur les plastiques

Audition publique:
Les enjeux scientifiques liés au traité international pour mettre fin à la pollution plastique - OPECST - Sénat

Plastiques et les limites planétaires:

L'échelle de notre solitude

Andrés Del Castillo

Avocat senior

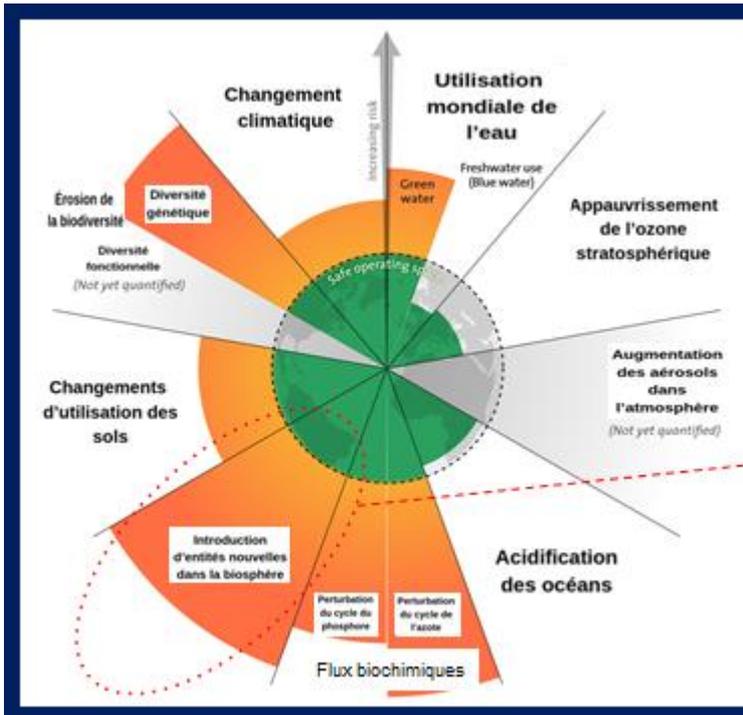
CIEL

Paris, 11 mai, 2023



Qu'est-ce que la pollution plastique ?

« De manière générale, toutes les émissions et tous les risques résultant de la production, de l'utilisation, de la gestion des déchets et des fuites de matières plastiques » OCDE, 2022

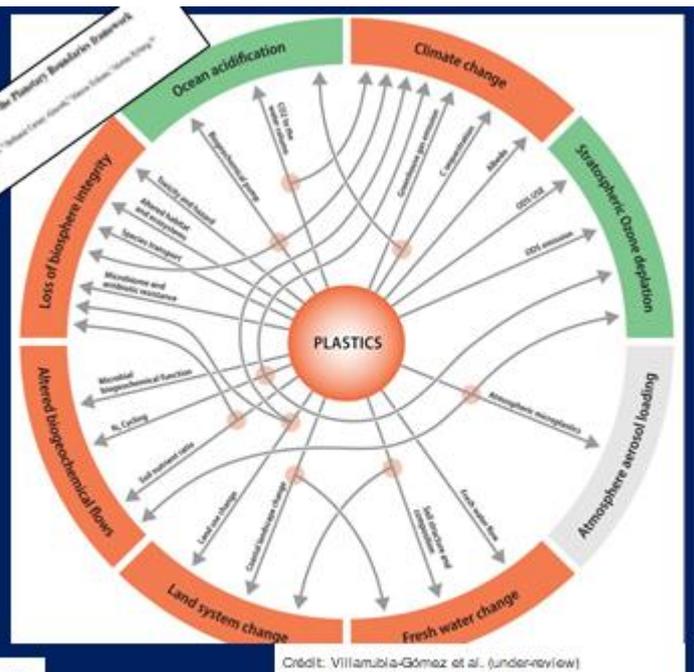


Les limites planétaires

Entités nouvelles: La tête de Méduse

- Nouvelles substances, nouvelles formes de substances existantes et formes de vie modifiées
- Produits chimiques et autres nouveaux types de matériaux ou d'organismes manufacturés inconnus auparavant du système terrestre
- Éléments naturels (par exemple, métaux lourds) mobilisés par des activités anthropiques

Plastics Pollution and the Planetary Boundaries Framework
 Peter Villarrubia-Gómez, Bethanie Carney Almroth, Maria W. Ryberg, and Michael Zesch



Credit: Villarrubia-Gómez et al. (under-review)

ENVIRONMENTAL Science & Technology

Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities

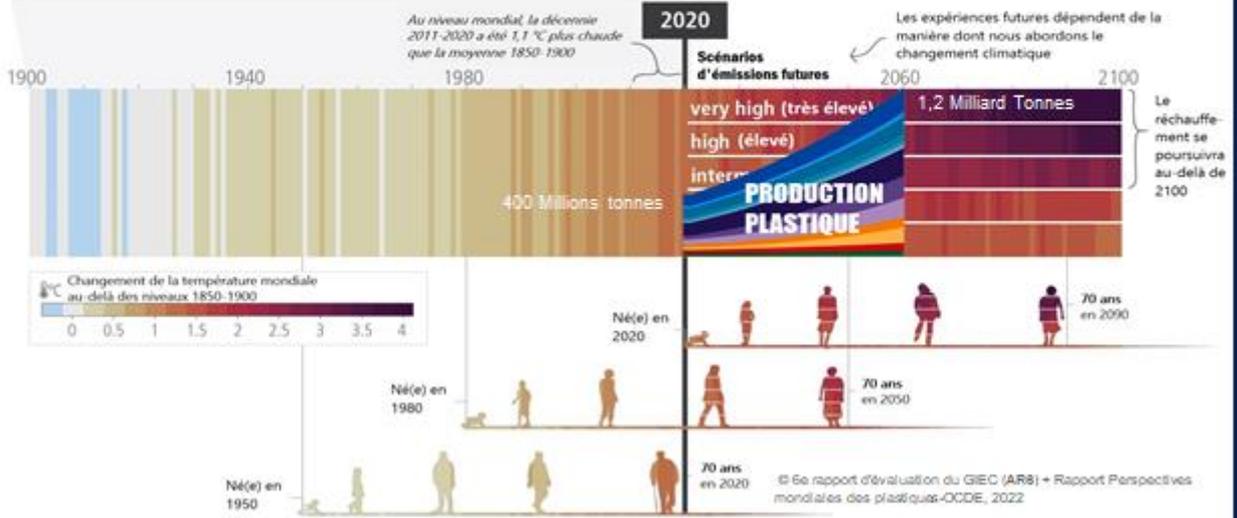
Leon Ferrero,* Bethanie M. Carney Almroth, Christopher D. Collins, Sarah Cornell, Cynthia A. de Wit,* Miriam E. Diamond, Peter Fankel, Maria Hasselöv, Matthew MacLeod, Maria W. Ryberg, Peter Seppälä, Johannes Villarrubia-Gómez, Zhanyu Wang, and Michael Zesch Henschel



Bethanie Carney Almroth bethanie_carney@bioenv.gu.se
 Patricia Villarrubia Gomez patricia.villarrubia@su.se

« Telle est, mes amis, l'ampleur de notre solitude »
Gabriel García Márquez

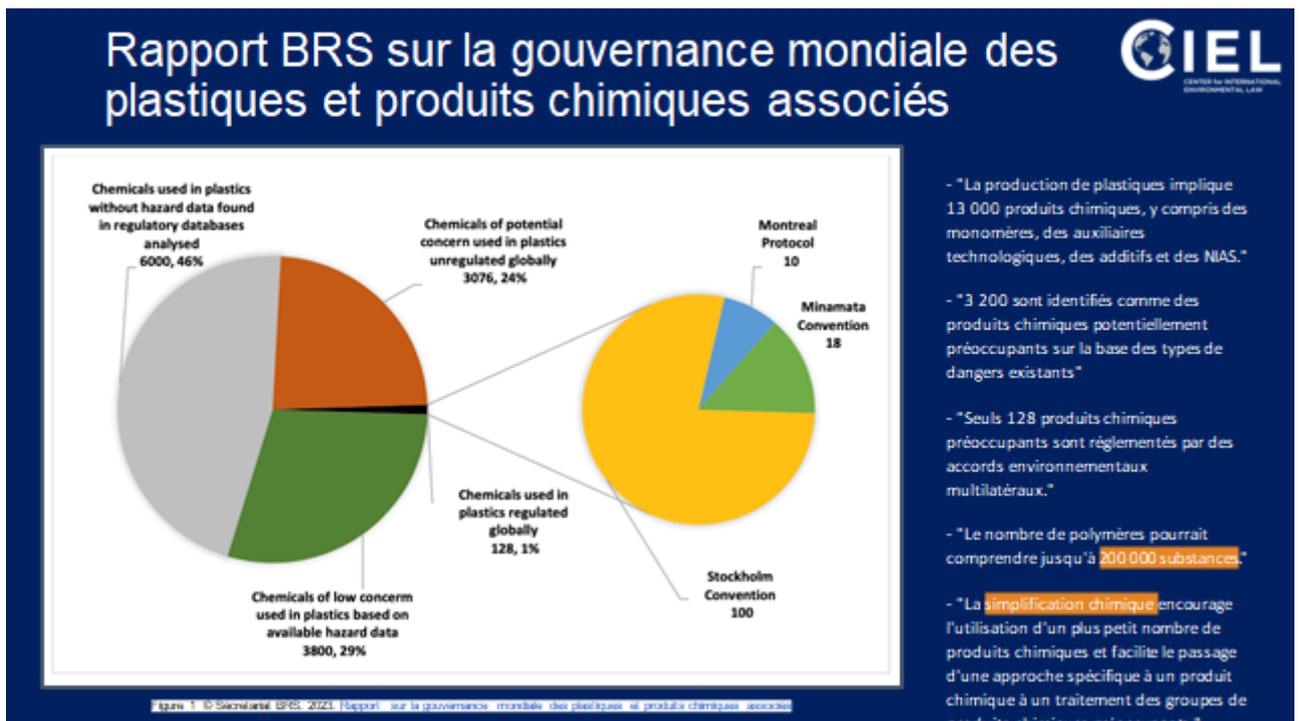
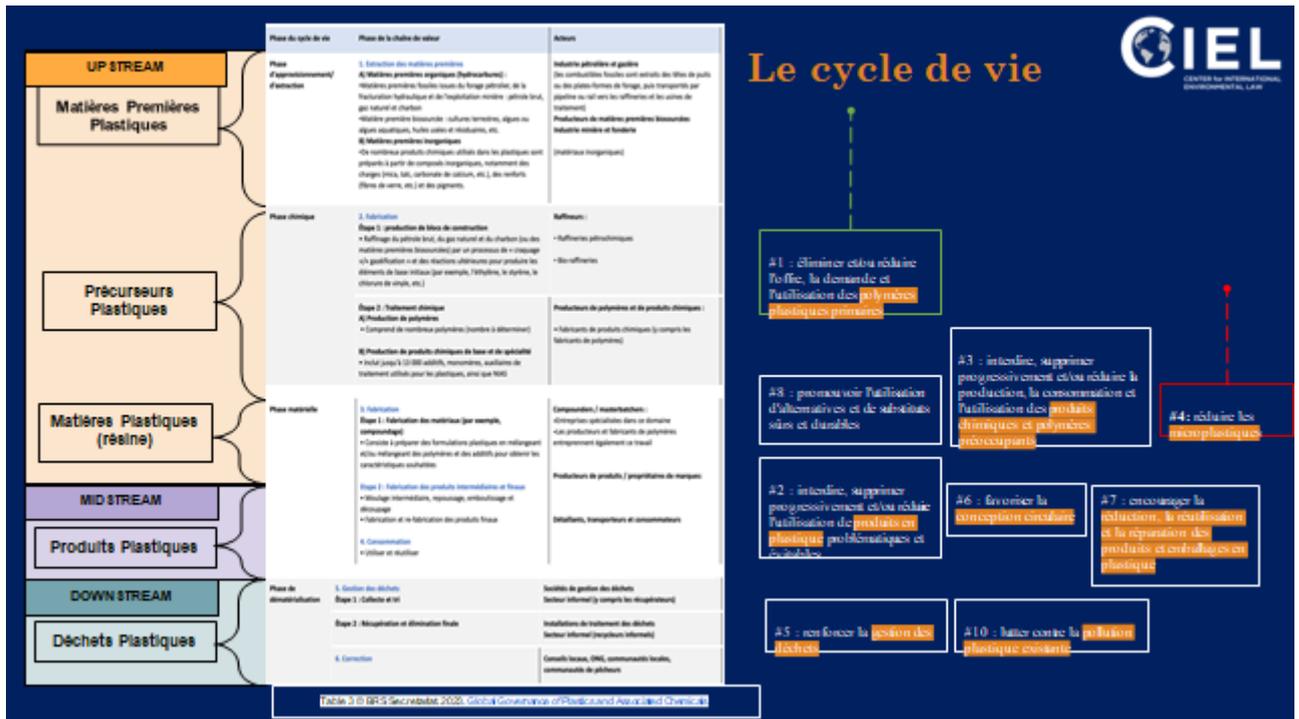
c) La mesure dans laquelle les générations actuelles et futures connaîtront un monde plus chaud et différent dépend des choix actuels et à court terme



D'ici 2050, les émissions de gaz à effet de serre provenant du plastique pourraient atteindre plus de 56 gigatonnes, ce qui représente 10 à 13 % de l'ensemble du budget carbone restant

Rapport du CIEL sur le climat et les plastiques

"(...) pour s'approcher du budget carbone, au lieu d'augmenter de 4 % par an, la demande de matières plastiques devrait diminuer de 3 % par an, ce qui permettrait de réduire de moitié la consommation annuelle d'ici à 2050, soit une réduction de la consommation par habitant d'environ 75 %" EUNOMIA / ZWE 2022 [EUNOMIA / ZWE 2022](#)





The dirty 10 :

1) Bisphenols

2) Composés halogénés et composés organophosphorés

3) Phthalates

4) PFAS

5) Filtres UV

6) Toxics métal(loid)s

7) Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

8) Nonylphenols (NPs)

9) Biocides

10) Substances ajoutées non intentionnellement (NIAS)

Réduire le volume puis la complexité

1) Plafonner la production de plastique vierge

1) Simplification Chimique

- Limitant les nombre de substances
- Regroupant l'évaluation et le contrôle des produits chimiques utilisés dans les matières plastiques

A global plastic treaty must cap production

In March, the UN Environment Assembly adopted a resolution to combat plastic pollution with a global and legally binding plastics treaty by 2024 (1). In his News In Depth story "United Nations to tackle global plastics pollution" (25 February, p. 80), E. Stokstad discusses many of the ambitious provisions that were included, such as a consideration of the whole plastic life cycle and binding targets. However, it is unclear whether the treaty will include a cap on production or cover plastic chemicals. Despite interventions by the industry (2) and objections from the United States and other delegations, reducing plastics at the source by curbing production is critical.

The current mass of plastic production is at about 450 million tons annually and set to double by 2045 (3). The immense quantity and diversity of both plastics and plastic chemicals, the total weight of which exceeds the overall mass of all land and marine animals (4), already poses enormous challenges.

CIEL
CENTRE FOR INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL LAW

**'Most significant environmental deal since Paris':
UN agrees on landmark plastic pollution treaty**

Le Monde
Pollution plastique : l'ONU fait un pas de plus vers un texte « juridiquement contraignant »
Le mandat de négociations couvre un très large spectre de sujets, de la production du plastique à son utilisation « durable » en passant par la gestion des déchets.

LE FIGARO

l'ONU adopte le principe d'un traité contre la pollution plastique

DAILY NEWS
GLOBAL PLASTICS TREATY URGES COUNTRIES TO RECOGNIZE WASTE PICKERS

REUTERS® **'Biggest green deal since Paris':
UN to approve plastic treaty roadmap**

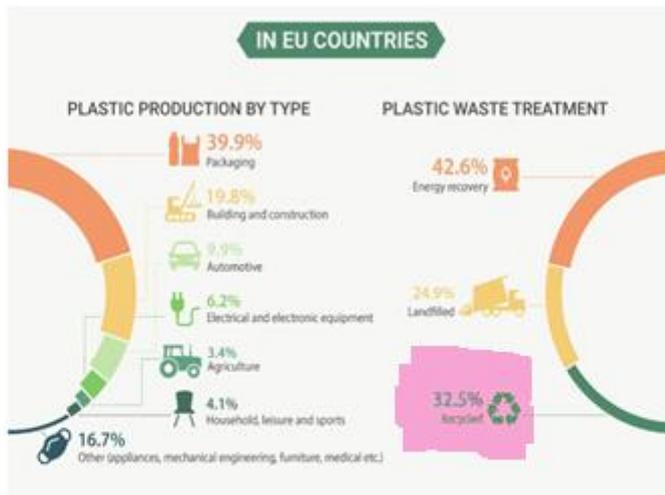


**Présentation de M. Hervé Corvellec,
professeur à l'université de Lund (Suède)**

Pourquoi tant de déchets plastiques ?

Hervé Corvellec
Université de Lund

Audition publique sur les enjeux scientifiques liés au traité international pour mettre fin à la pollution plastique
Sénat – Paris (en visioconférence)
11 mai 2023



European Parliament: Plastic waste and recycling in the EU: facts and figures



Un paradoxe de la consommation de plastiques:

**Omniprésents
les plastiques sont pourtant
rarement activement choisis
par les consommateurs**



1. Un accompagnateur discret



Source: www.sofiaerixson.se



La part des plastiques: 30 % du poids des véhicules en 2018 contre 17 % en 2011

Source: www.plasticomnium.com



Quelques exceptions



Source: fraise-et-bois.fr



Source: homenergie.
maison-travaux.fr



Source: poupina.fr

Un choix de producteurs et de distributeurs



Source: H. Corvellec



2. Passeur de qualités



” Life in plastic, it's fantastic”*

- **Barrière: eau, air, acides, bases...**
- **Plasticité / Souplesse / Rigidité**
- **Durabilité**
- **Couleurs**
- **Faible coût**
- **Faible poids**

*Chanson: "Barbie Girl", Aqua, 1997



Abondance et commodité



Source: arapack.fr

**La distribution
a horreur du vide**



Source: worldbranddesign.com

Individualisation des choix

Mobilité et sécurité



Source: The Guardian

**Consommer en
mouvements**



Source: Ouest-France

**Se protéger (mais pas des
risques des plastiques)**

3. Une qualité essentielle : la jetabilité

Plus de 1,3 milliard de bouteilles sont jetées chaque jour. Un amas de déchets plastiques qui monterait à la moitié de la Tour Eiffel.

<https://waste-management-world.com/at-the-scale-of-plastic-bottle-waste-vs-global-landmarks>



Normalité du déchet

Combinant technologie, gestion, santé, communication, politique, et plus encore pour faire de la bouteille en plastique à usage unique une chose normale.



MIT Press (2015).



Le recyclage contribue à la normalisation du déchet

Par exemple, Plastic Europe est un supporter actif du recyclage des plastiques, en particulier le recyclage chimique, conçu comme un élément clef du passage à une économie circulaire.



Source: <https://plasticseurope.org/sustainability/circularity/recycling/zero-plastic-to-landfill/>

4. Inversions du plastique au déchet plastique

Maléable => Omniprésent

Durale et résistant => Même comme déchet

Peu cher et léger => Collecte difficilement rentable

Compatible avec additifs => Complexes à recycler

Prevention du risque => Risque majeur



5. Un cas d'urgence

La cigarette électronique à usage unique un défi inutile à la collecte et au traitement des déchets (et à la santé publique)



Source: www.lema.net



6. Une condition de possibilité

- Le plastique est intimement lié à la modernité.
- Demander aux seuls consommateurs de faire un effort est insuffisant
- Sans actions en amont sur les rationalités qui conditionnent les usages de plastiques, le traitement des déchets ne pourra contenir les débordements du plastique.
- Une question d'éthique



PLASTIC CAPITALISM
CONTEMPORARY ART AND THE DRIVE TO WASTE ARANDA BOTZKES

Quelques références

Boetzkes, Amanda. *Plastic Capitalism: Contemporary Art and the Drive to Waste*. Cambridge, MA: MIT Press, 2019.

Hawkins, Gay, Emily Potter, and Kane Race. *Plastic Water: The Social and Material Life of Bottled Water*. Cambridge (MA): The MIT Press, 2015.

Hawkins, G. 2013. Made to be wasted In J. H. Gabrys, Gay, & M. Michael (Eds.), *Accumulation : the material politics of plastic*: 1-18. London: Routledge.

Svingstedt, A., Corvellec, H., & Samsioe, E. (2020). The Normality of Industrial and Commercial Waste: Economic, Technical and Organisational Barriers to Waste Prevention. *Detritus*, 3(13), 3-11.



Merci de votre attention

Herve.Corvellec@ses.lu.se



**Présentation de M. Jeroen Sönke,
directeur de recherche au CNRS, spécialisé en géochimie de l'environnement**

Les justifications scientifiques d'un traité visant à mettre un terme à la pollution plastique Cycle de vie du plastique et des microplastiques

Dr Jeroen Sonke – Directeur de Recherche CNRS
Observatoire Midi-Pyrénées
Laboratoire Géosciences Environnement
Toulouse



jeroen.sonke@cirs.fr
[@JeroenSonke](https://twitter.com/JeroenSonke)



Video: [The Ocean Cleanup](#)

Rio Las Vacas, Guatemala



Images: [The Ocean Cleanup](#)

Global plastics production

Plastic production refers to the annual production of polymer resin and fibers.



Production annuelle

400 million tonnes

450 Mt/an

World

300 million tonnes

Production de pétrole en
2021: 3,650 Mt

200 million tonnes

$450/3,650 = 12\%$

100 million tonnes

0 tonnes

1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2019

Source: Our World in Data based on Geyer et al. (2017) and the OECD Global Plastics Outlook

OurWorldInData.org/plastic-pollution • CC BY



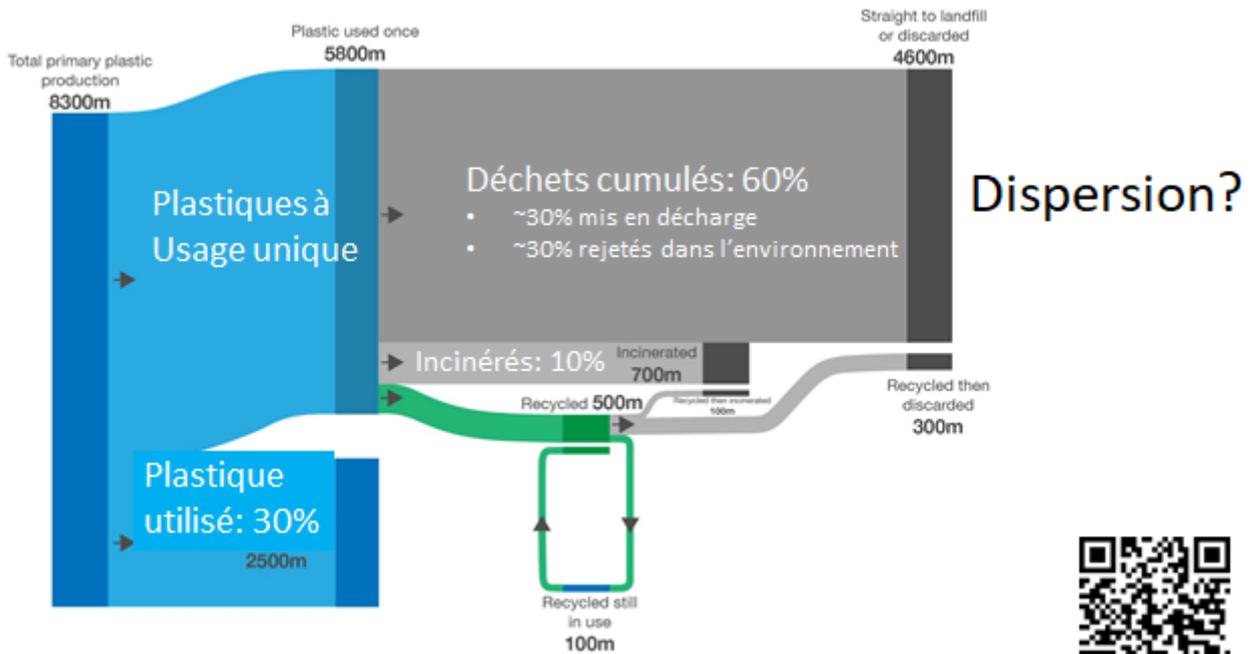
8300 Mt de plastiques depuis 1950

=

Couche de 50 cm sur la France

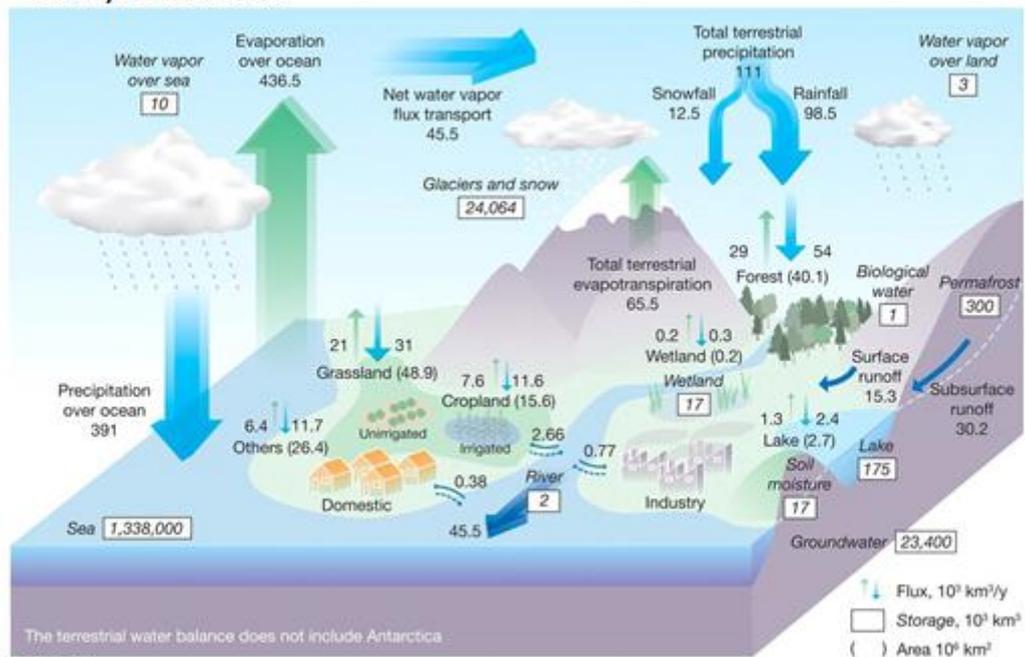
Couche de 0.5 mm sur la Terre





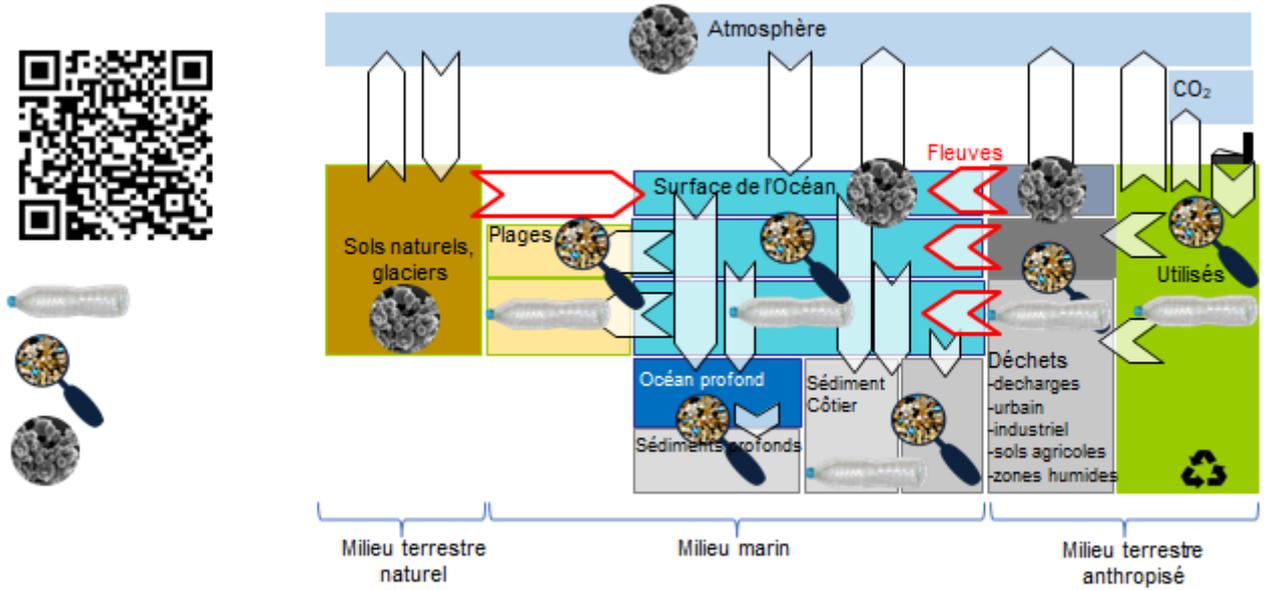
Source: based on Geyer et al. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. This is a visualization from OurWorldInData.org, where you find data and research on how the world is changing. Licensed under CC-BY-SA by Hannah Ritchie and Max Roser (2018).

Le cycle de l'eau



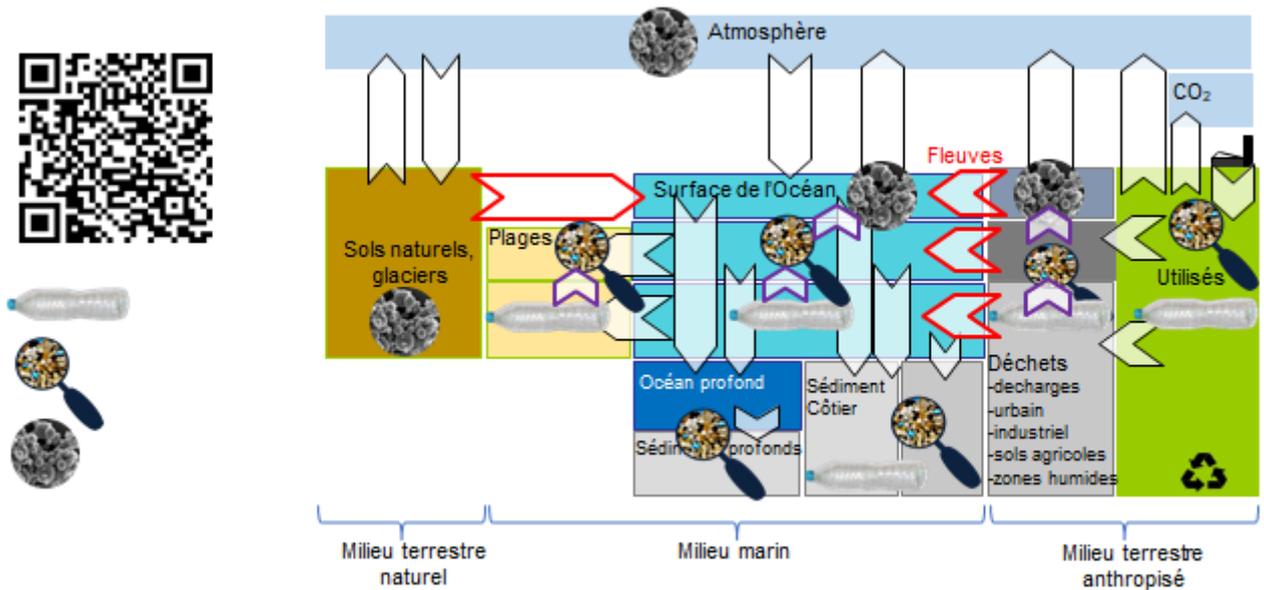
Source: internet

Cycle de vie des macroplastiques (>5mm) et microplastiques (0.001 à 5mm)



Source: Sonke et al., 2022 MP&NP

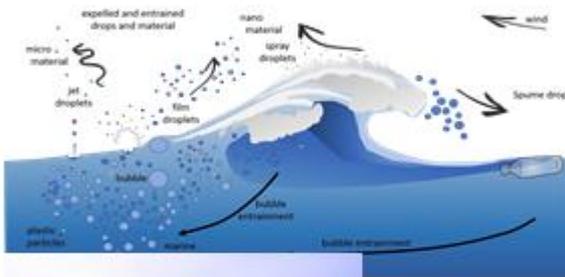
Cycle de vie des macroplastiques (>5mm) et microplastiques (0.001 à 5mm)



Source: Sonke et al., 2022 MP&NP

Examination of the ocean as a source for atmospheric microplastics

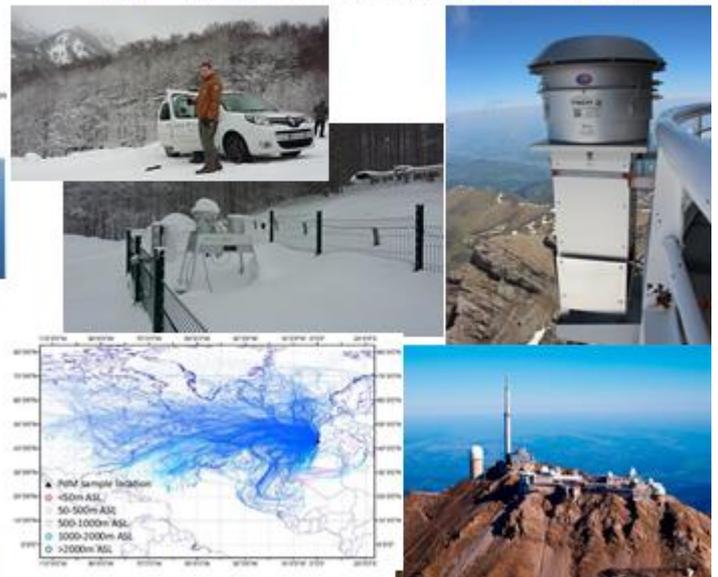
Steve Allen^{1,2*}, Deonie Allen^{1,2}, Kerry Moss³, Gaël Le Roux², Vernon R. Phoenix¹, Jeroen E. Sonke⁴



[Le Roux et al., 2019 Nature Geoscience](#)
[Allen et al., 2020 PLOS-One](#)
[Allen et al., 2021 Nature Communications](#)

Evidence of free tropospheric and long-range transport of microplastic at Pic du Midi Observatory

S. Allen^{1,2,3,4,5}, D. Allen^{1,2,6}, F. Baladima⁴, V. R. Phoenix¹, J. L. Thomas⁴, G. Le Roux² & J. E. Sonke⁵

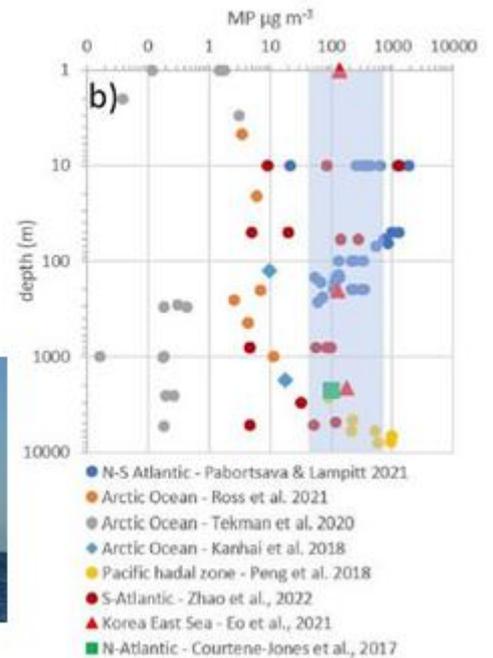


Observations des microplastiques (MP) dans l'océan profond

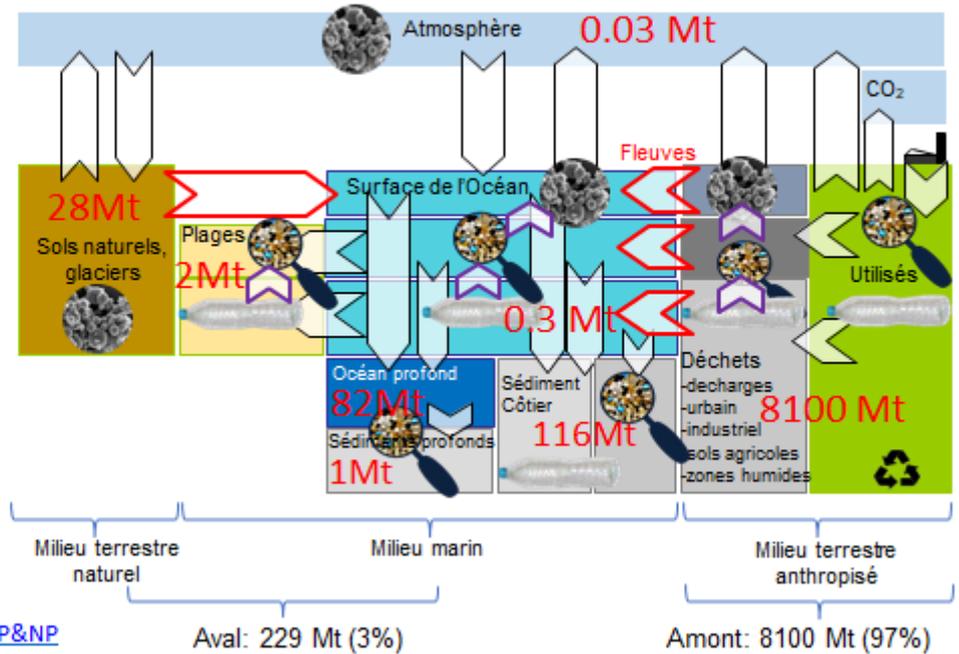


Source: [Sonke et al., 2022 MP&NP](#)

Subsurface and deep Ocean MP



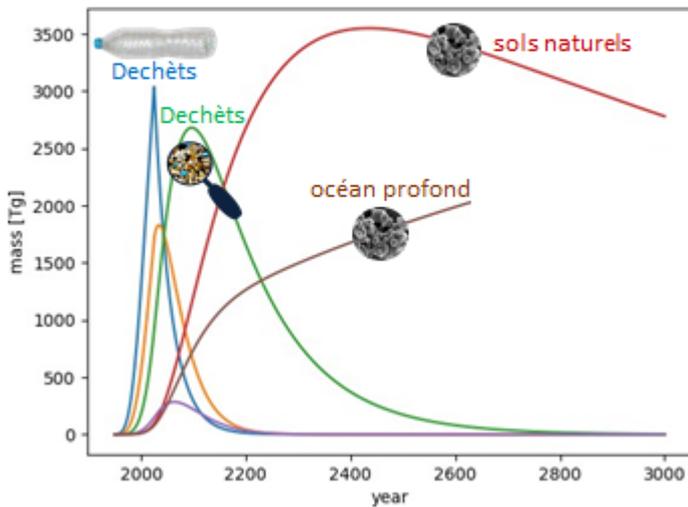
Cycle (de vie) global des plastiques et microplastiques



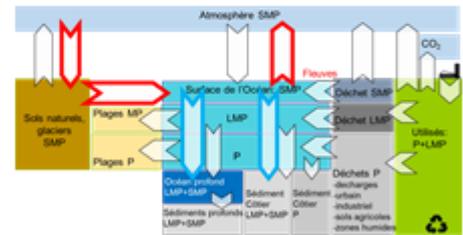
Source: Sonke et al., 2022 MP&NP

Modélisation de la dispersion et fragmentation des (micro-)plastiques

Vitesse de fragmentation: 3% par an
 Scenario d'arrêt de production en 2040



Source: Sonke et al., 2022 MP&NP



Les justifications scientifiques d'un traité visant à mettre un terme à la pollution plastique



A retenir:

- Aujourd'hui: 12% du pétrole → polymères
- 3% des plastiques produits ont été mobilisés vers le milieu marin et sols naturels
- 97% des plastiques et MP se trouvent en milieux anthropisés terrestres
- La fragmentation lente des plastiques en MP peut aggraver leur impact pendant des millénaires.

Afin de limiter la dispersion/fragmentation:

- Limiter la production
- Améliorer la gestion des déchets
- Assainir les déchets (97%) terrestres

Questions?

Dr Jeroen Sonke – Directeur de Recherche CNRS
Observatoire Midi-Pyrénées
Laboratoire Geosciences Environnement Toulouse

jeroen.sonke@cnrs.fr



@JeroenSonke



**Présentation de M. Xavier Cousin,
chercheur à l'INRAE affecté à l'UMR MARBEC
(MARine Biodiversity, Exploitation and Conservation)**



Impact des plastiques sur la faune aquatique

- Tous les organismes ingèrent des microplastiques
- Développement d'une toxicité chronique



Problématique macroplastiques



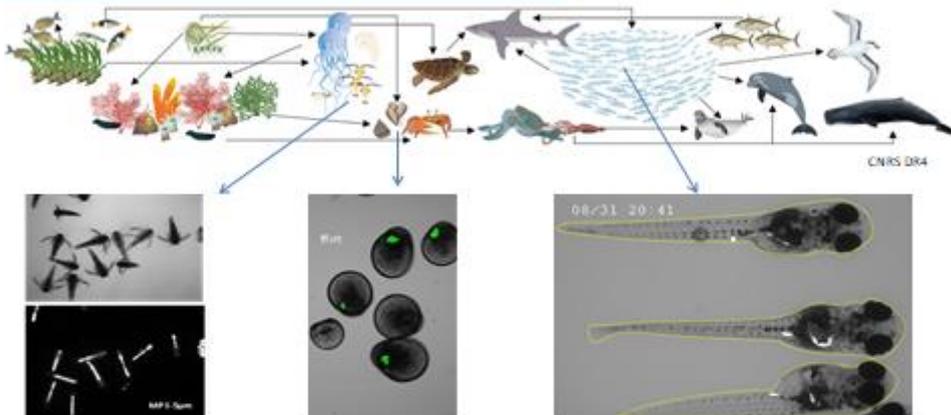
Une grande diversité de microplastiques



- Les microplastiques sont divers en termes de
 - Taille
 - Forme (particules, billes, fibres...)
 - Polymères (HDPE, LDPE, PVC, PS...) + biodégradables
 - Additifs (retardateur de flamme, plastifiant, colorant...)



Ingestion des microplastiques



- Démonstré pour tous les organismes
- Notion de taille
- Pas d'accumulation, pas de translocation
- Flux continu

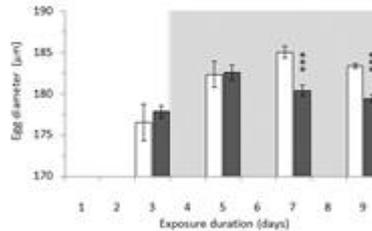
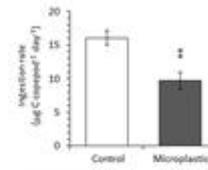


Impact sur le plancton



Table 1
Toxicity testing conditions and results obtained with non-spiked polyethylene microparticles (PE-MP).

Test spp	MP size	MP loads tested (mg L ⁻¹)	NOEC/LOEC (mg L ⁻¹)	Stirring method
<i>B. plicatilis</i>	1-4 µm	0, 0.01, 0.1, 1, 10	LOEC = 1 ^a LOEC = 0.01 ^b	Horizontal shaker
	4-6 µm	0, 0.01, 0.1, 1, 10	LOEC > 10 ^c	Horizontal shaker
<i>T. fulvus</i>	1-4 µm	0, 0.01, 0.1, 1, 10	LOEC = 1	Rotatory wheel
	4-6 µm	0, 0.01, 0.1, 1, 10	LOEC > 10	Rotatory wheel
<i>A. clausi</i>	4-6 µm	0, 1, 3, 10, 30	LOEC > 30	Rotatory wheel
	1-4 µm	0, 20, 50, 100	LOEC > 100	Rotatory wheel
<i>M. gallop.</i>	4-6 µm	0, 20, 50, 100	LOEC > 100	Rotatory wheel
	6-8.5 µm	0, 20, 50, 100	LOEC > 100	Rotatory wheel
	11-13 µm	0, 20, 50, 100	LOEC > 100	Rotatory wheel
	< 63 µm	0, 20, 50, 100	LOEC > 100	Rotatory wheel
	4-6 µm	0, 1, 3, 10, 30, 100	NOEC = 30 LOEC = 100	Rotatory wheel
<i>P. bidus</i>	11-13 µm	0, 1, 3, 10, 30, 100	LOEC > 100	Rotatory wheel
	11-15 µm	0, 1, 3, 10, 30, 100	NOEC = 30 LOEC = 100	Rotatory wheel
	< 40 µm	0, 1, 3, 10, 30, 100	LOEC > 100	Rotatory wheel
	< 40 µm	0, 1, 3, 10, 30, 100	LOEC > 100	Rotatory wheel



→ Pour le zooplancton pas de toxicité avec des expositions courtes mais celle-ci apparaît pour des expositions longues

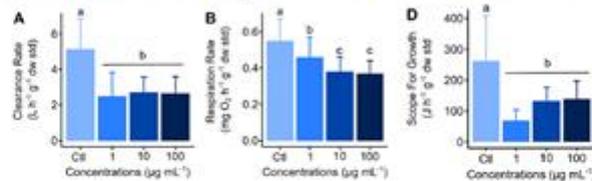
Batais et al., (2018) *J Hazard Mat* **360**, 452-460.
Cole et al., (2015) *Environ Sci Technol* **49**, 2.

Impact sur les mollusques



→ Echelle individuelle

Filtration et assimilation nourriture perturbées: effet sur le métabolisme énergétique



Malformations coquillères / Qualité perles



→ Toxicité liée à l'ingestion des microplastiques ou aux chimiques qu'ils contiennent (relargage)

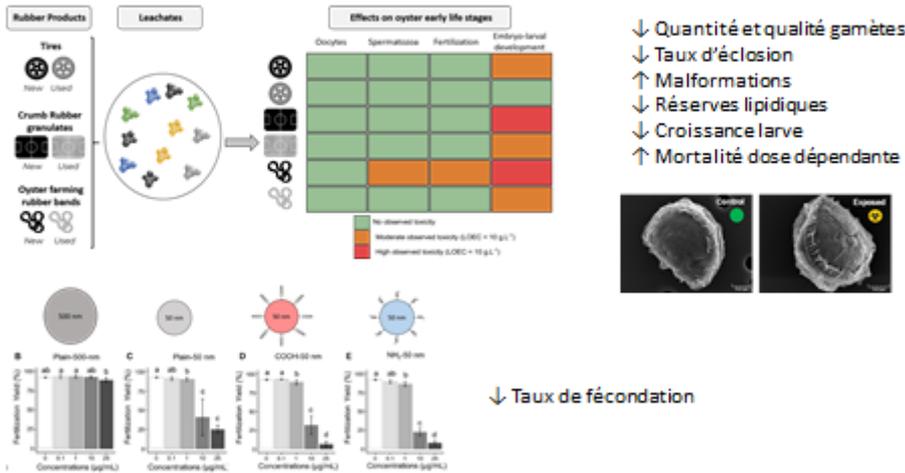
Touzeau LEMAR: Huîtres creuses / huîtres plates / huîtres perlières (perles + broyat)
Taffar et al. (2022); Gardon et al. (2020)



Impact sur les mollusques



→ Echelle Populationnelle: impacts forts sur la reproduction



- La toxicité dépend de l'âge des matériaux
- La toxicité dépend de la taille des particules NP >> MP

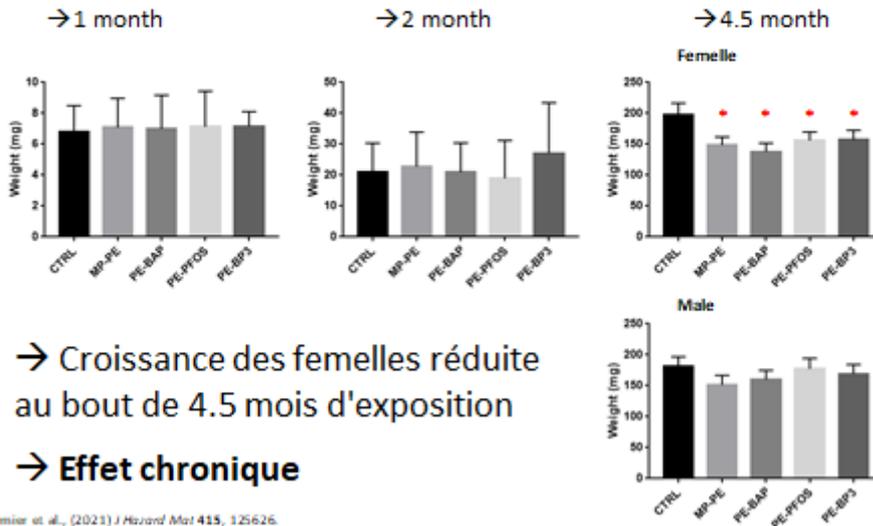
Taliec et al. 2018, 2021, 2022



Impact sur les poissons

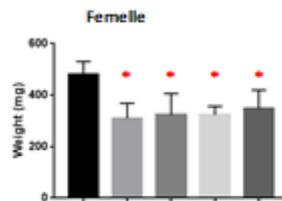
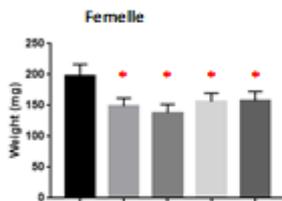


→ Deux espèces, quatre plastiques et trois chimiques



Comier et al., (2021) J Hazard Mat 415, 125626.

Impact sur les poissons

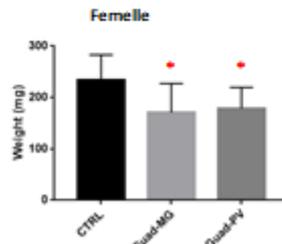
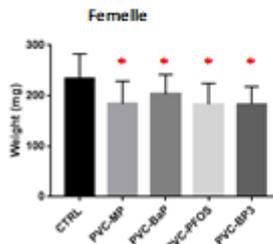


L'effet observé chez les femelles est :
→ Indépendant de l'espèce

→ Indépendant du polymère

→ Identique pour des MP collectés ou natifs

→ Effet générique



Comisar et al., (2021) *J Hazard Mat* **415**, 125626.

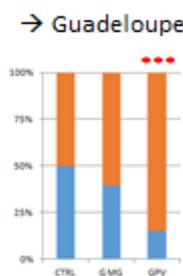
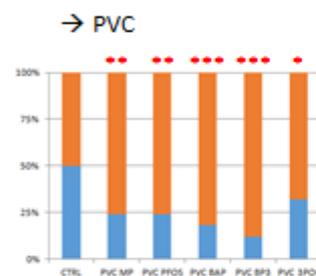
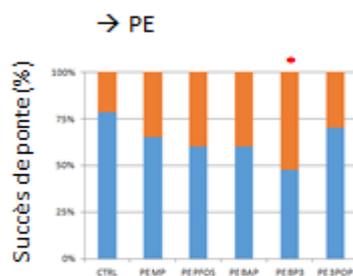
Comisar et al., (2022) *Environmental Pollution* **308**, 119721.



Impact sur les poissons



■ succès ■ échec



→ Diminution significative du succès de ponte

→ Différences selon les polymères et les chimiques

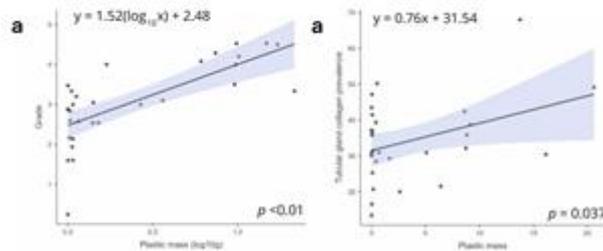
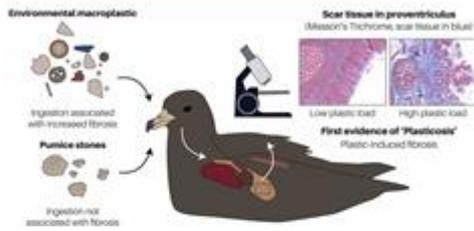
→ Chez les deux espèces

Comisar et al., (2021) *J Hazard Mat* **415**, 125626.

Comisar et al., (2022) *Environmental Pollution* **308**, 119721.



Impact sur les oiseaux



32 ± 53 MP [0–202] par individu
 3.00 ± 5.49 g [0.0–20.6 g]

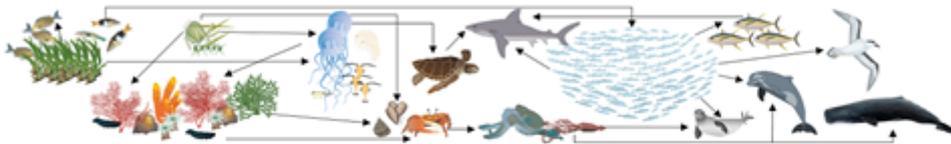
Corrélation entre nombre et/ou masse de plastique et :

- Présence de fibrose (+)
- Sévérité de la fibrose (+)
- Masse corporelle (-)

Chelton-Howard et al. (2023) *J Hazard Mat* 450, 131010.

Conclusions & pistes à explorer

- Une exposition chronique → effets à long-terme
 - Perturbation notamment de la croissance et de la reproduction
 - Touche tous les niveaux de la chaîne trophique



- La toxicité dépend de la durée d'exposition, de la nature et de l'âge des matériaux, de leur taille

- Mécanismes mal connus
 - Effets physique (e.g. abrasion, fibrose variable selon espèce)
 - Effets chimiques (e.g. polymères, additifs)
 - Perturbation de l'équilibre énergétique
 - Rôle du microbiote



Conclusions & pistes à explorer

- Perspectives de recherche
 - Evaluation des effets à l'échelle des écosystèmes
 - Validation perturbation de l'équilibre énergétique
 - Lien avec le microbiote

- Evaluation d'autres types de microplastiques
 - e.g. fibres, polymères notamment les biodégradables
- Evaluation de la toxicité au cours de la vie des matériaux
- Evaluation pour les plus petits microplastiques
 - Évaluation de la translocation
 - Difficultés techniques

- Interaction avec communautés microbiennes et pathogènes
 - Perturbation des communautés microbiennes (transport)
 - Rôle dans la transmission de pathologie



Remerciements

Projet PLASTIC-Seine 2016-2020 / Caroline Vignet, Pauline Pannetier, Messika Revel, Fabienne Lagarde, Catherine Mouneyrac, Jérôme Cachot, Xavier Cousin, Marie-Laure Bégout

Projet JPI Oceans Ephemare 2015-2019 + Projet JPI Oceans Response 2020-2023 / Mathieu Cabar, Loic Gaumez, Jean-Claude Crebassa, Clémence Blais, Bettie Cormier, Florane Le Bihanic, Fabienne Lagarde, Jérôme Cachot, Steffen Keiter Marie-Laure Bégout, Xavier Cousin

Projet MICROLAG (DRM Polynésie française), INTERREG "Preventing Plastic Pollution", ANR-Nanoplastics / Ika Paul-Pont, Arnaud Huvet



université
BORDEAUX



JPI
OCEANS

INRAE



Le Mans
Université



ANR
GIP Seine-Aval



cnrs
GDR Groupement
de recherche
Polymères & Océans

Interreg
France (Channel) England

**Présentation de Mme Muriel Mercier-Bonin,
directrice de recherche à l'INRAE dans l'UMR Toxalim
(Centre de recherche en toxicologie alimentaire)**

Audition publique sur la pollution plastique

INRAE



Micro- (MP) et nano-plastiques (NPL) dans l'environnement digestif humain : un exemple de recherche interdisciplinaire

Muriel MERCIER-BONIN

Muriel.Mercier-Bonin@inrae.fr

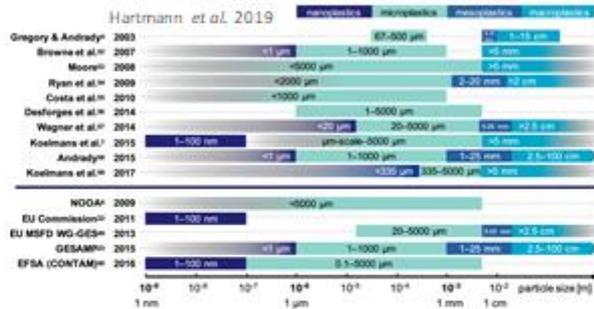
Sénat - 11 mai 2023



> MP et NPL : quelques notions de base

"Nanoplastics are neither microplastics nor engineered nanoparticles" (Gigault et al. 2021)

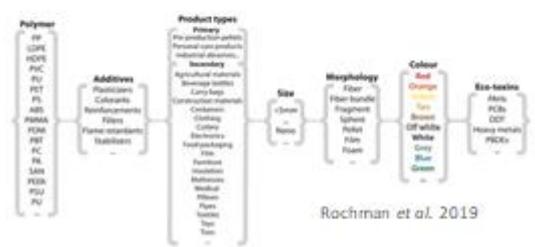
Une question de taille



1 µm < MP < 5 mm

NPL < 1 µm
Gigault et al. 2018

Et pas uniquement...



Rochman et al. 2019



➤ MP et NPL en santé humaine : une thématique émergente mais active

Eurobarometer 2019 : sécurité sanitaire des aliments dans l'Union Européenne

A partir d'une liste de 15 objets d'étude : additifs utilisés dans les aliments ou les boissons ; intoxications alimentaires dues à des bactéries ; résidus de pesticides dans les aliments ; résidus d'antibiotiques, d'hormones ou de stéroïdes dans la viande ; polluants environnementaux ; traces de matériaux entrant en contact avec les aliments, (ex. plastique ou aluminium dans les emballages) ; nanoparticules présentes dans les aliments, etc.

Source: Eurobarometer 2019. Food Safety in the EU. European Food Safety Authority (EFSA).

Thématique en lien avec les enjeux politiques, économiques et sociétaux autour de la pollution plastique

Politiques publiques

- France Union Européenne & Monde**
- ANUE**: mettre fin à la pollution plastique ; vers un instrument international juridiquement contraignant* (175 Etats)
- Négociations pour futur traité international (2024)**
- Report CEDE**
- Plastique 100% recyclés /machines à laver (2025)**
- Zéro déchet plastique jetable (2040)**
- FREC et loi anti-gaspillage** : interdiction accélérée des SUP, Convention citoyenne sur le climat, Plastique, emballages, déchets, Plan France Relance, Rapport OPECST, nouvelles lois : AGEC & Climat et résilience
- Micro/nano-plastiques dans l'alimentation & les produits de la mer (EFSA)**
- Stratégie européenne pour les plastiques dans une économie circulaire (UE)**
- Micro-plastiques dans la nature et la société (CAFEA)**
- Proposition de restriction pour les micro-plastiques ajoutés (CHAI)**
- Risques environnement/santé des micro-plastiques (SAM)**
- Sécurité sanitaire (EFSA) Directive SUP (UE)**
- Pacte Vert (UE)**

Etat des connaissances scientifiques sur les impacts en santé digestive

Source : NCB, février 2023

➤ MP/NPL et évaluation du risque en santé humaine : des verrous à lever

Microplastics and human health
Knowledge gaps remain to be addressed to assess the health risks of microplastics
Science (ev. 2021)

Assessment of Human Health Risks Posed by Nano- and Microplastics Is Currently Not Feasible

Andreas Brauchner^{1,4}, Deepina Fragouli^{2,6}, Iola E. Duarte^{3,6}, Patricia M. A. Farias^{4,5}, Sofia Drenth^{6,7}, Manoj Ghosh^{8,9}, Ivan Barja¹⁰, Daniela Zdzienicka^{6,7}, Jeroen Van der Beek⁵, Philipp Schwab¹¹ and Winfried Neuhaus^{1,2}

Micro- and nano-plastics in our environment: Understanding exposures and impacts on human health
TOPIC ID: 10119101363000

5 projets (2020) : AURORA, Imptox, PLASTICHEAL, PlasticsFate, POLYRISK

2019 : '5 g par semaine'
Impact médiatique fort

2021
Concrétisation scientifique

2019
4,1 µg/semaine
(3,28 × 10⁻⁷ - 17 mg/jour)
Population coréenne
140-310 µg/semaine
0,02-0,044 mg/jour

poissons, mollusques, crustacés, eau du robinet, eau en bouteille, bière, lait, sel et air (Nor et al. 2021)

90 produits : sel, sauces, fruits de mer, algues, miel, bière, boissons (Pham et al. 2023)

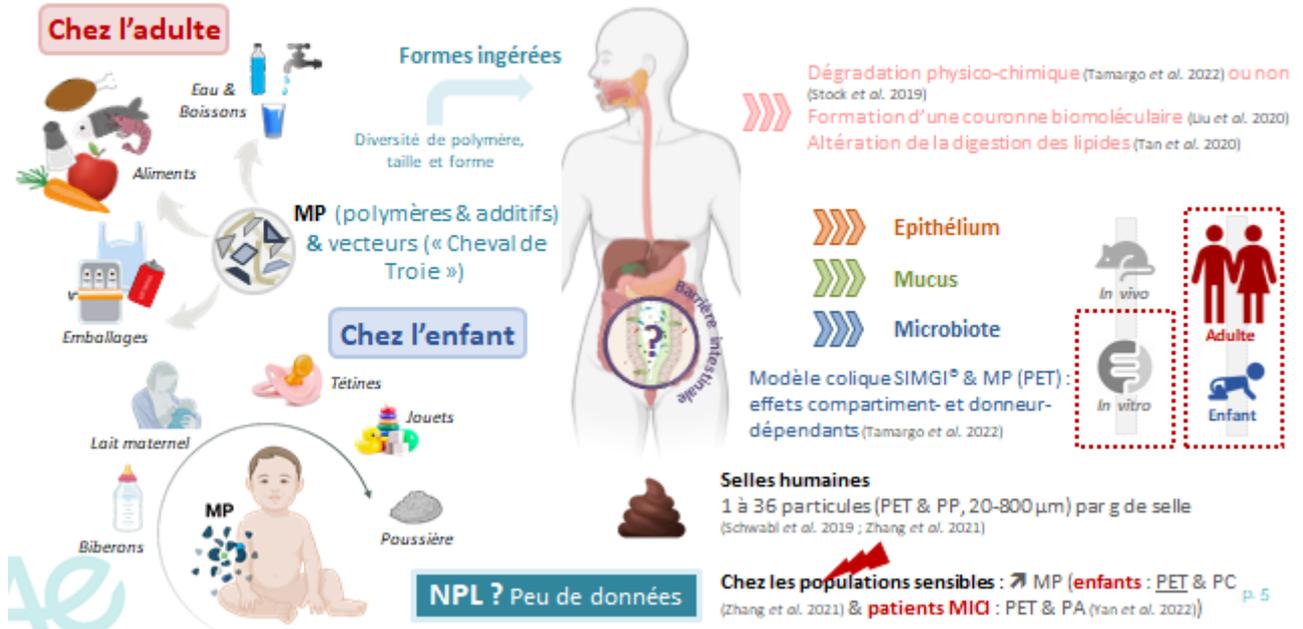
2021
0,1-5 g/semaine (14-714 mg/jour)
Estimation of the mass of microplastics ingested - A global first step towards human health risk assessment
Edu. Invernizzi¹, Anne-Jonckheere², Annelie Wagner³, Malinon Gohery⁴, Anne Wilson⁵, Marie Perleberg⁶

Ingested microplastics: Do humans eat our credit card per week?
Plutôt 23000 ans...

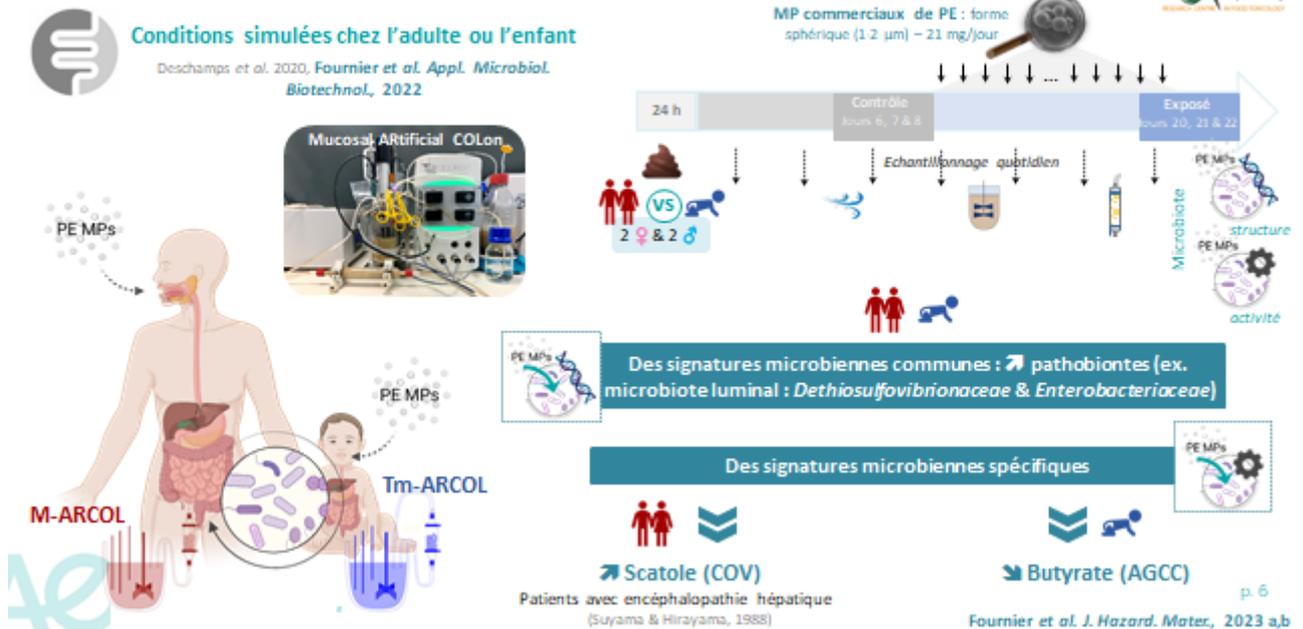
Des chiffres récemment discutés^{1, 4}

➔ Incertitudes (sources de données, méthodes d'estimation...)

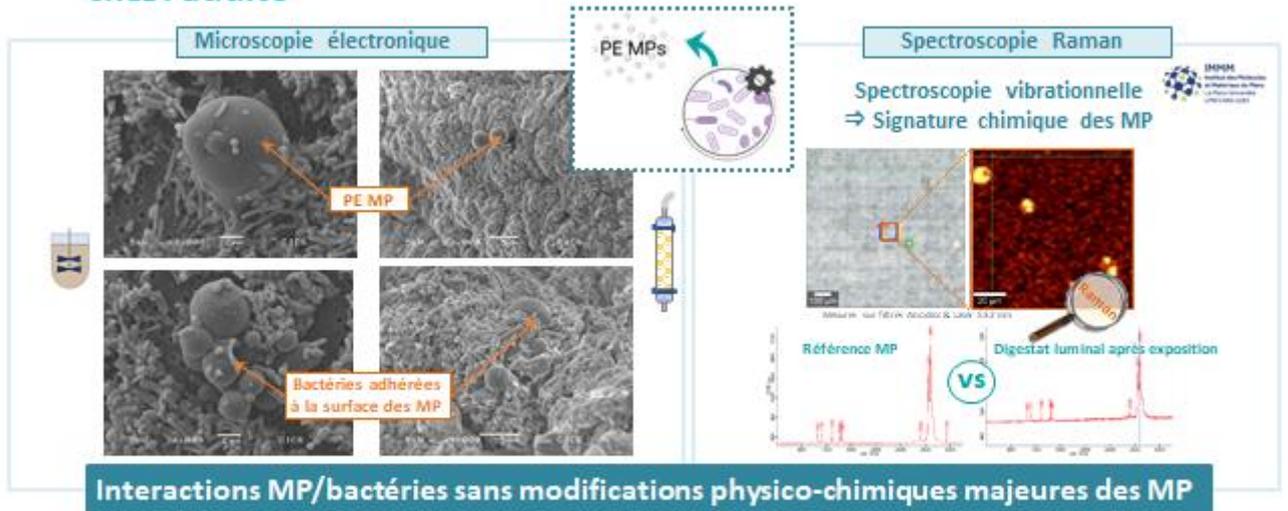
➤ Exposition orale et impact des MP sur le tractus gastro-intestinal (TGI)



➤ MP et écosystème digestif humain : exemple de nos travaux



➤ Impact du microbiote intestinal sur les caractéristiques des MP : exemple chez l'adulte



Interactions MP/bactéries sans modifications physico-chimiques majeures des MP

Digestat luminal (surnageant)



Co-culture Caco-2/HT29-MTX

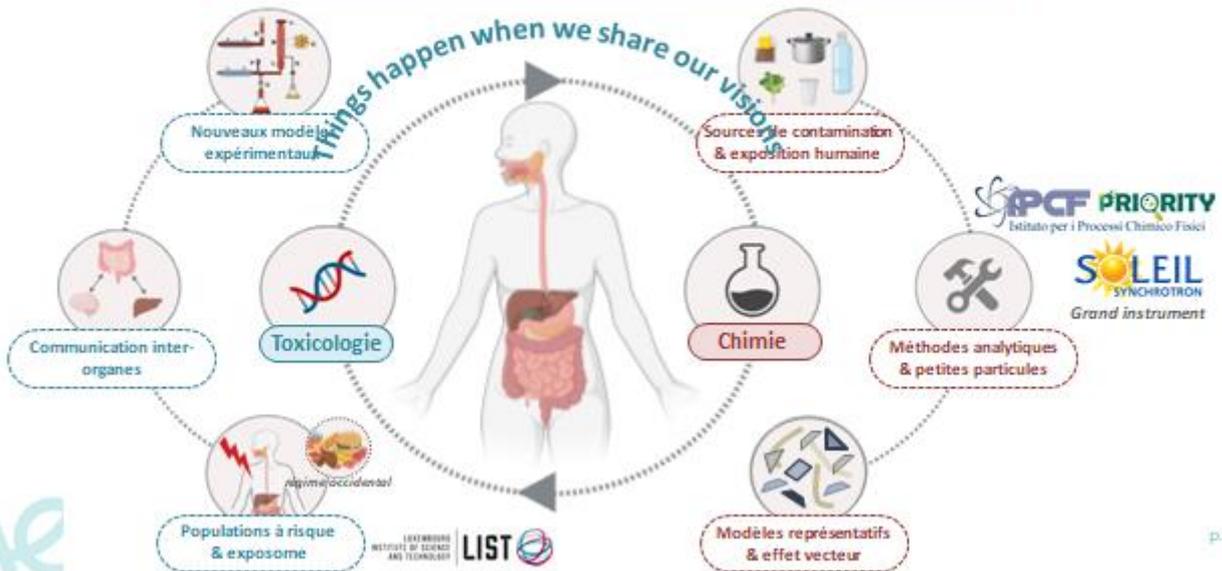
Effets mineurs et donneur-dépendants sur l'épithélium et le mucus

p. 7

Fournier et al., J. Hazard. Mat., 2023a

➤ Conclusions et pistes futures de recherche

MP/NPL & santé digestive : un challenge interdisciplinaire



p. 8

Merci de votre attention !

Remerciements



RESEARCH CENTRE IN FOOD TOXICOLOGY
Cathy Beaufrand
Valérie Bézirard
Eric Gaultier
Hélène Eutamène
Eric Houdeau
Bruno Lamas
Chloé Liebgott
Mathilde Lévêque
Hervé Robert
Vassilia Théodorou
Et toute l'équipe NGN



MEDIS
Microbiologie, Environnement, Digestif et Santé

Elora Fournier
Sandrine Chalancon
Claude Durif
Philippe Ruiz
Lucie Etienne-Mesmin
Stéphanie Blanquet-Diot
Et toute l'équipe MEDIS



Christelle Blavignac
Jérémy Ratel
Erwan Engel



SOLEIL
SYNCHROTRON
Nawel Belkessa
Frédéric Jamme
Matthieu Réfrégiers
Camille Rivard
Et les membres des lignes DISCO et LUCIA



IMMM
Institut des Molécules et Matériaux du Mans
Le Mans Université
UMR CNRS 6283



IPCF
Istituto per i Processi Chimico Fisici



Genotoxic
GeT
biopuces
Etienne Rifa
Marie-Ange Teste

anr Montage de Réseaux Scientifiques Européens ou Internationaux (MRSEI) - **HuPlastiX**

INRAE AlimH/MICA/TRANSFORM projet PlasToX & AlimH AP Next-PlasToX

Contrat doctoral C. Liebgott Contrat doctoral E. Fournier  UNIVERSITÉ Clermont Auvergne

Audition publique sur la pollution plastique



Micro- (MP) et nano-plastiques (NPL) dans l'environnement digestif humain : un exemple de recherche interdisciplinaire

Ingestion



Inhalation



Contact par la peau

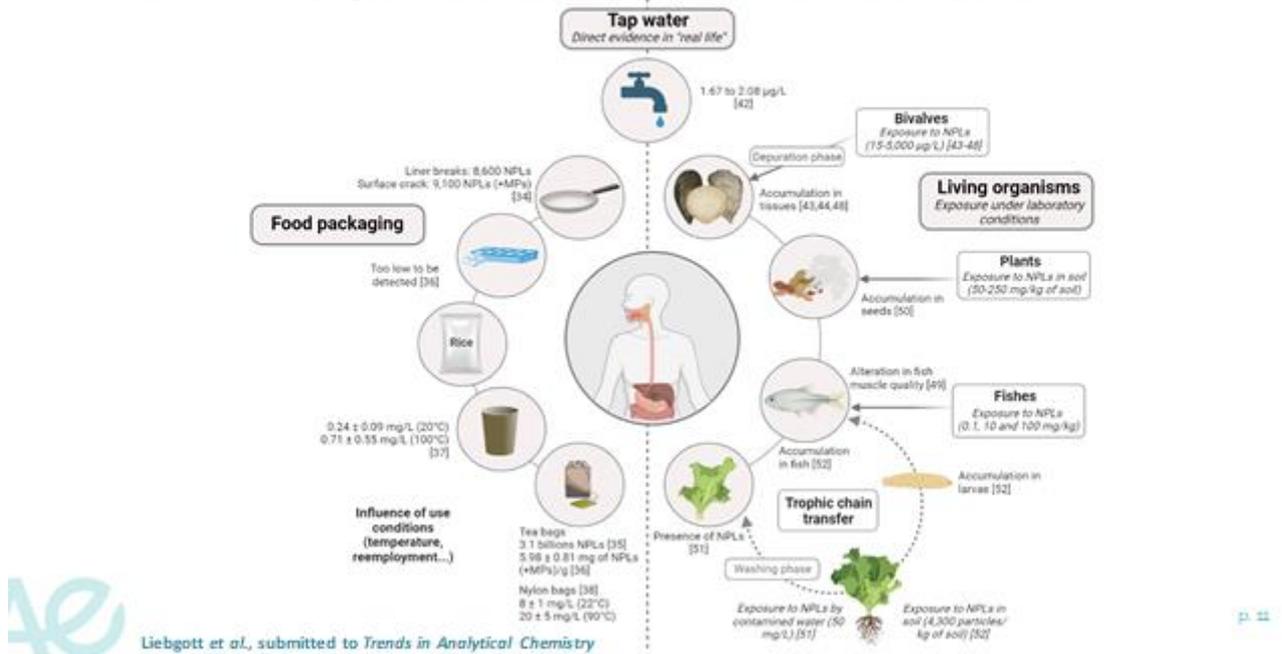


Muriel MERCIER-BONIN
Muriel.Mercier-Bonin@inrae.fr

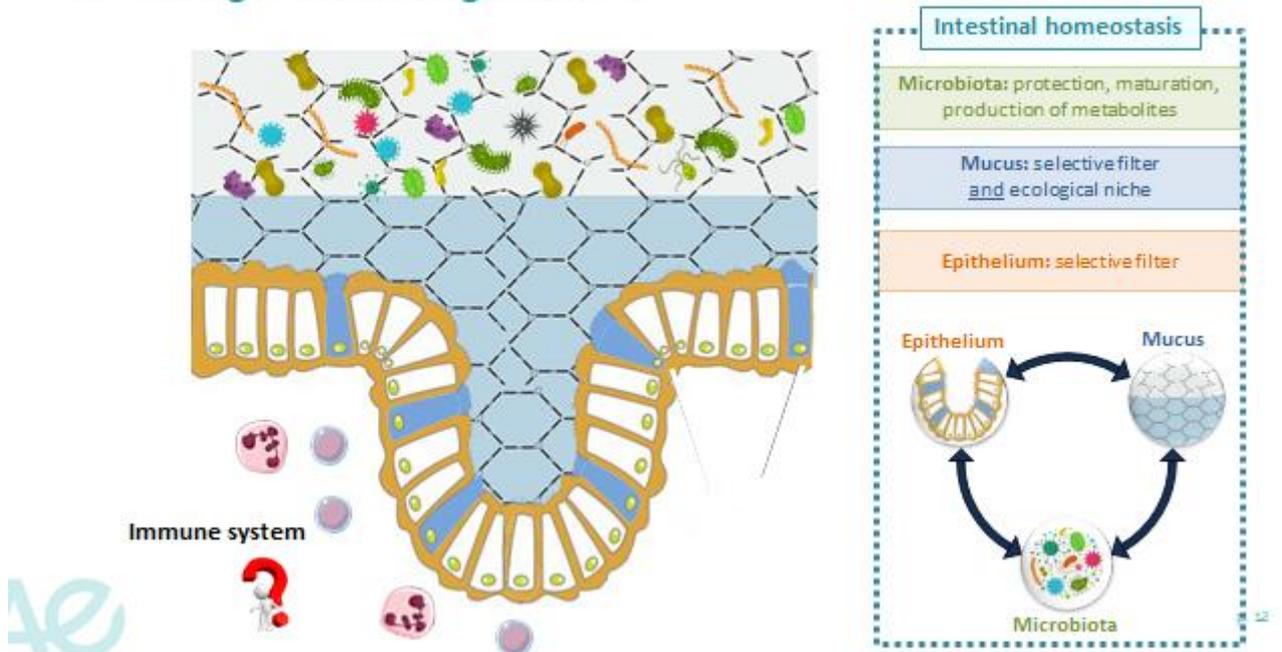
Sénat - 11 mai 2023



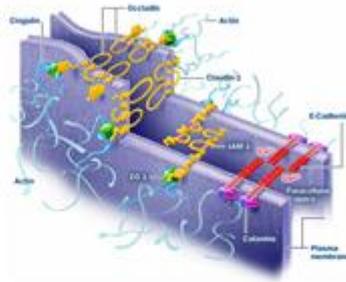
> Human oral exposure to NPLs: main sources identified to date



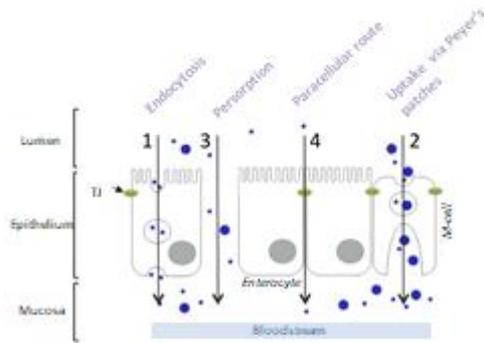
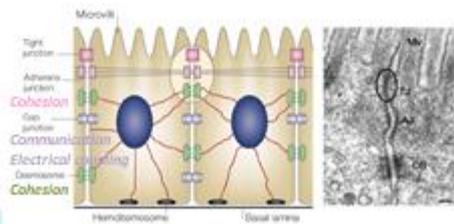
> Protagonists of the gut barrier



> Intestinal epithelium: tight junctions and permeability

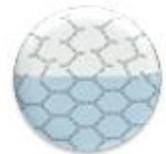


Four types of trans membrane proteins (occludin, claudins, junctional adhesion molecule JAM and tricellulin)
 Intracellular adapter proteins (Zonula Occludens ZO)
 Signalling complexes for regulation of bonds with cytoskeleton proteins (filaments of actin)



p. 13

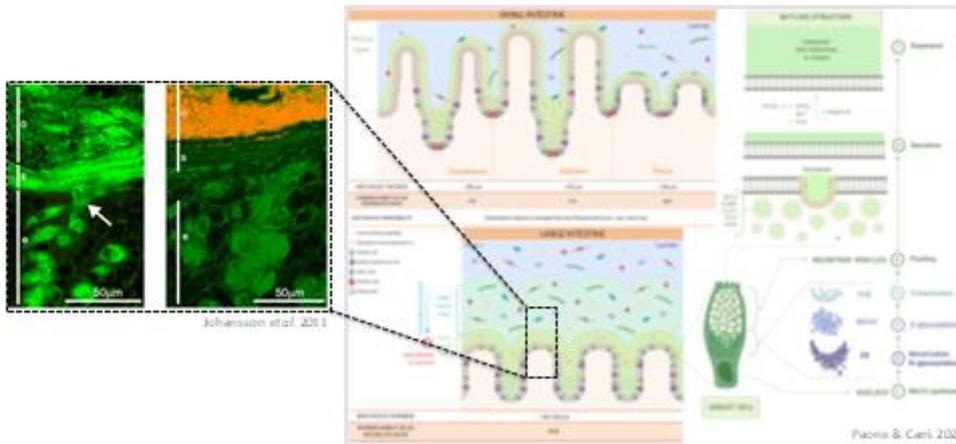
> Intestinal mucus: structure and functions



Mucus: protective barrier and ecological niche for the gut microbiota

Highly hydrated gel: 95% water

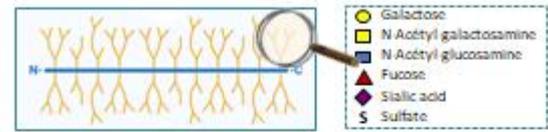
Other constituents: electrolytes, fatty acids, phospholipids, cholesterol, proteins, IgA, nucleic acids, mucins



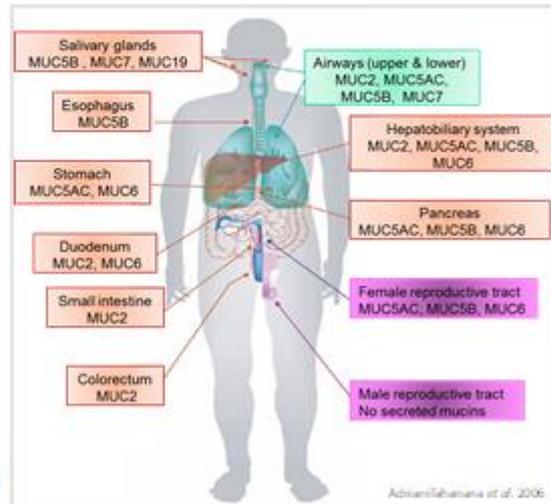
p. 14

> Mucins: structure and expression

- Major glycoproteins of mucus
- High molecular weight (0.5-20 MDa)
- Sugars: 60-80% total weight



O-glycans (Adapted from Paone & Carli 2020)



Secreted mucins

MUC2, MUC5AC, MUC5B, MUC6, MUC19, MUC7

- * Solely produced by goblet cells
- * Formation of the complex tridimensional network
- * Involved in the gel properties of mucus
- * Diffusion barrier
- * Source of nutrients and attachment sites for the gut microbiota

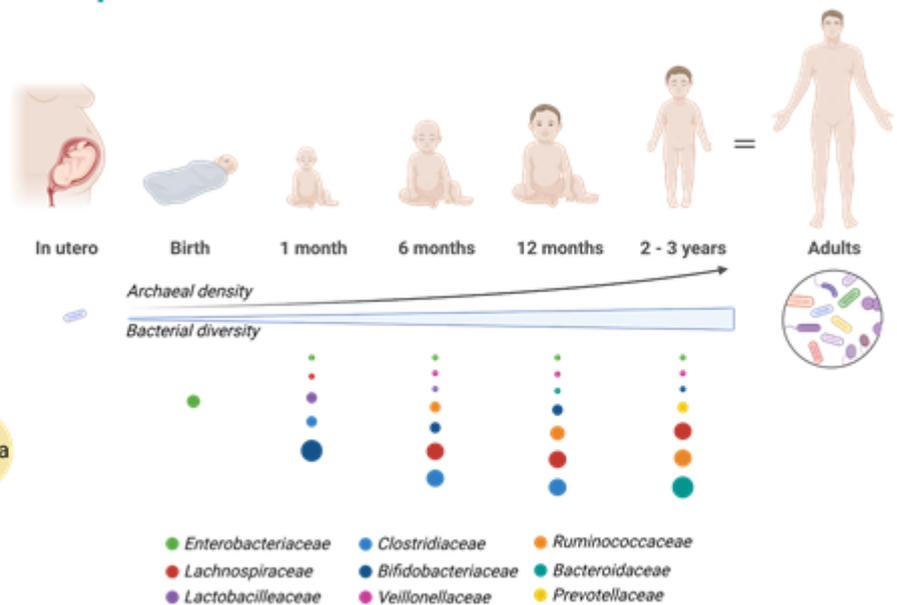
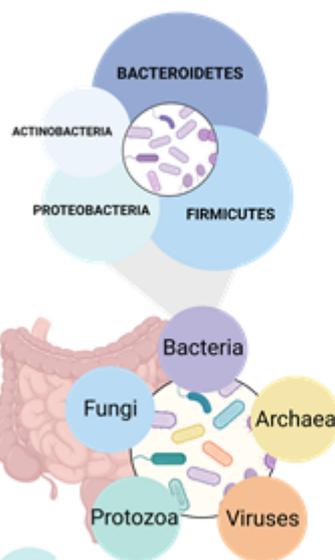
Transmembrane mucins

MUC1, MUC3A/B, MUC4, MUC12, MUC13, MUC15, MUC16, MUC17, MUC20, MUC21

- * Present at the surface of epithelial cells (formation of glycocalyx, network of transmembrane glycoproteins and glycolipids), cell protection
- * Intracellular signal transduction
- * Sensors for the luminal milieu

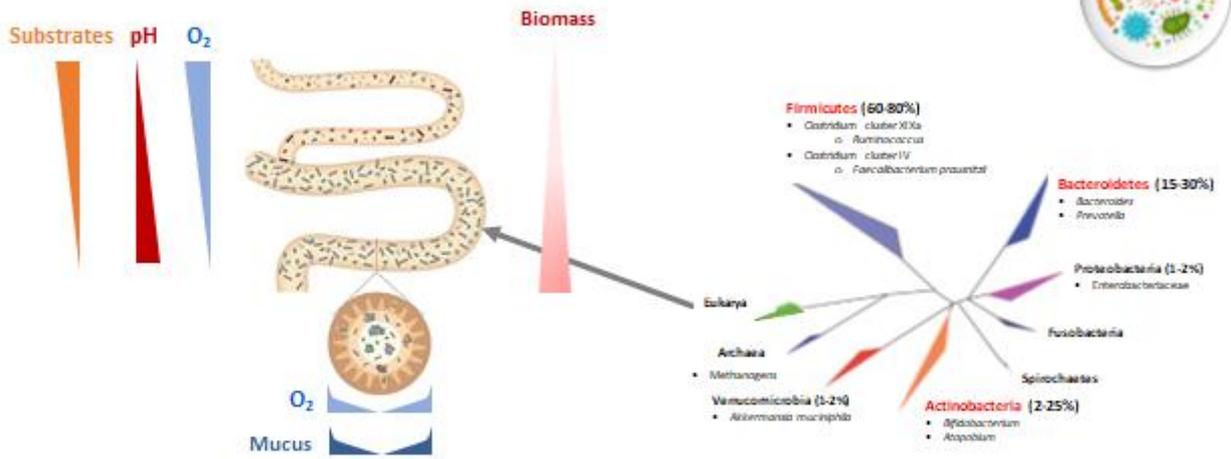
p. 45

> Gut microbiota: composition and functions in the GIT



p. 45

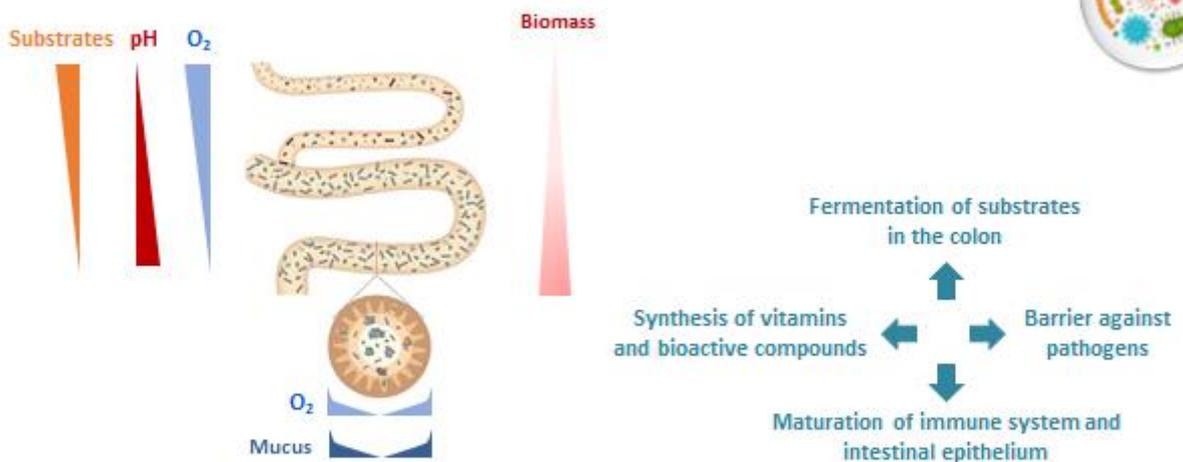
> Gut microbiota: composition and functions in the GIT



> Longitudinal & transversal gradients

p. 17
Pevsna and Berry 2017; De Weertd & Van de Wiele 2015; Eckburg et al. 2005

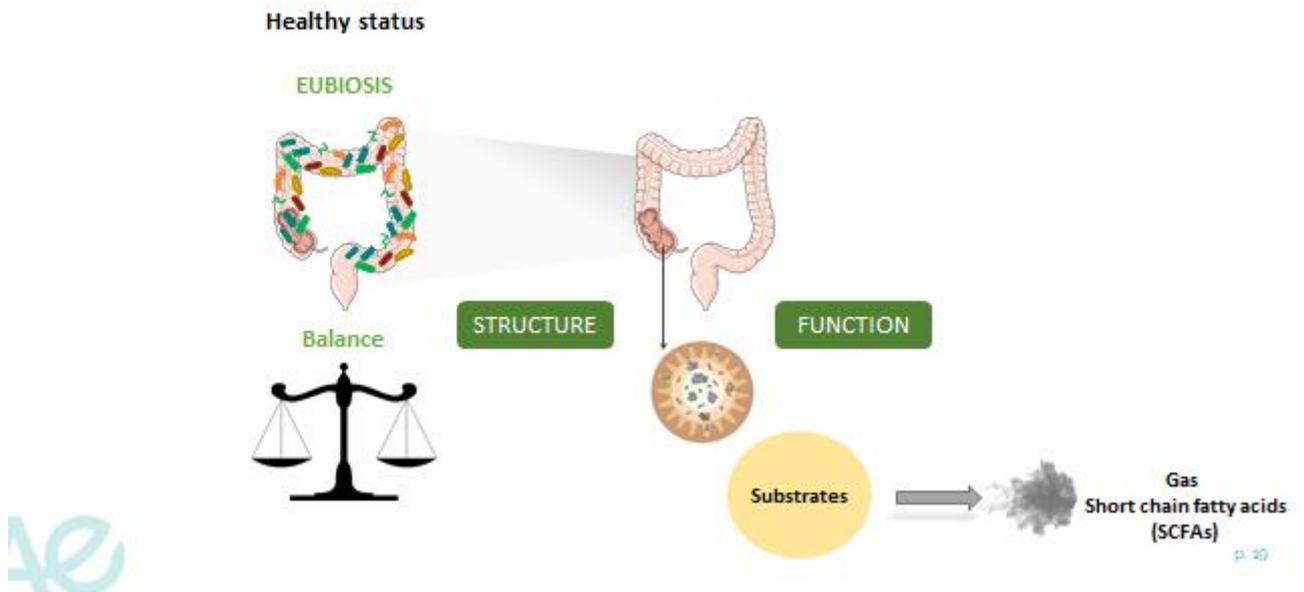
> Gut microbiota: composition and functions in the GIT



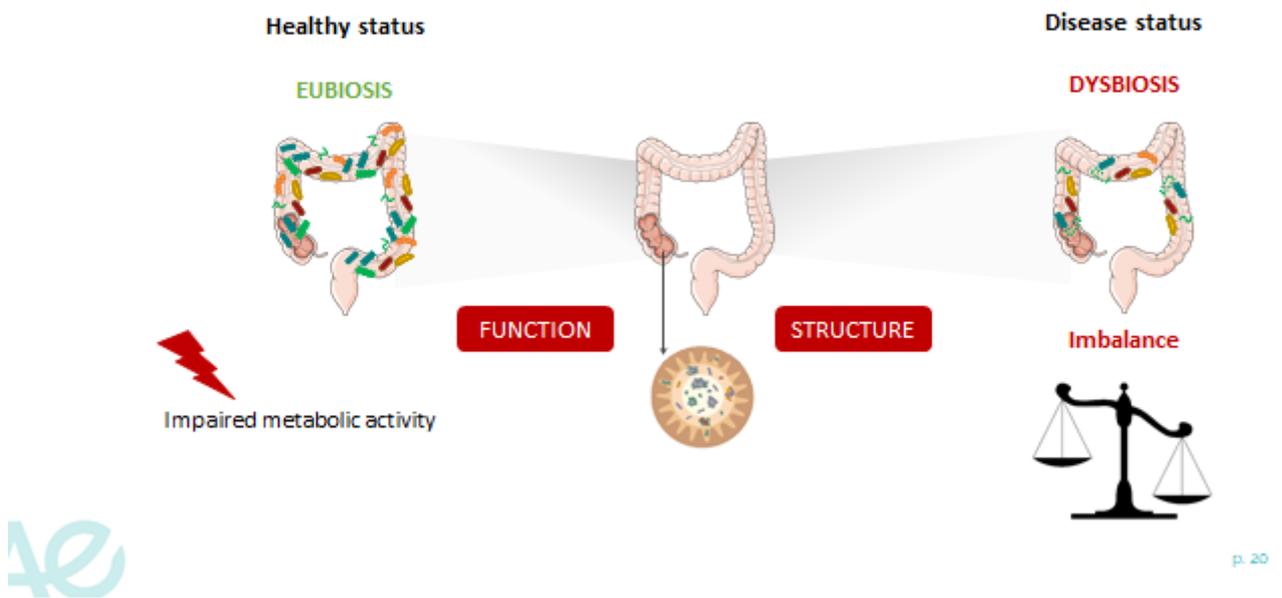
> Longitudinal & transversal gradients

p. 18
Pevsna & Berry 2017; De Weertd & Van de Wiele 2015; Eckburg et al. 2005

> Eubiosis and dysbiosis: the two sides of the gut microbiota

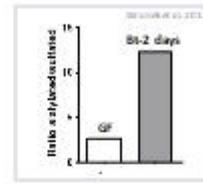
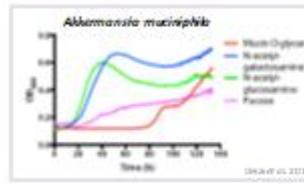
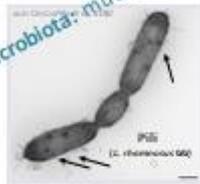


> Eubiosis and dysbiosis: the two sides of the gut microbiota

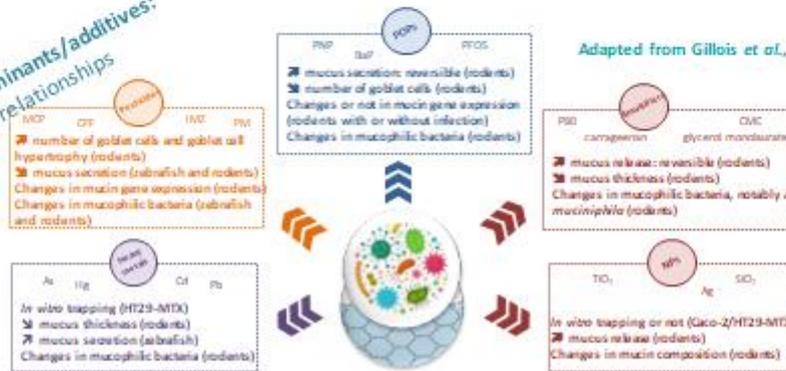


➤ Gut microbiota, mucus and food chemicals: an interplay

Mucus & microbiota: muco-affinity



Mucus & food contaminants/additives: bidirectional relationships

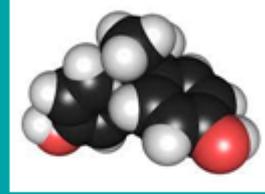


**Présentation de Mme Véronique Gayrard,
professeur de physiologie à l'École nationale vétérinaire de Toulouse,
membre de l'UMR Toxalim**

Audition publique sur la pollution plastique

INRAE

Bisphénol A



> Plastiques et santé La réglementation européenne est-elle suffisante?

Véronique GAYRARD

Veronique.gaynard@envt.fr

Sénat - 11 mai 2023



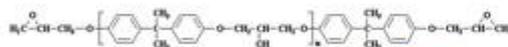
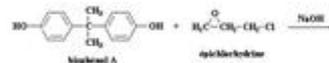
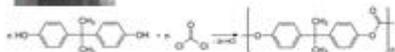
> Utilisation du bisphénol A



Production de polymères

Polycarbonates (70-80%)

Résines époxy-phénoliques (15-30%)



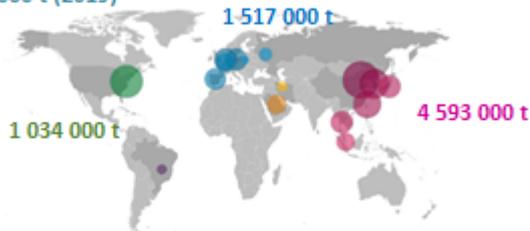
Additif
Production d'autres
produits chimiques
(<5%)



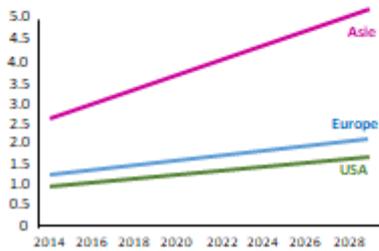
Polymérisation incomplète et libération progressive
et de façon plus importante en présence de
détergents ou de chauffage

➤ Production de Bisphénol A

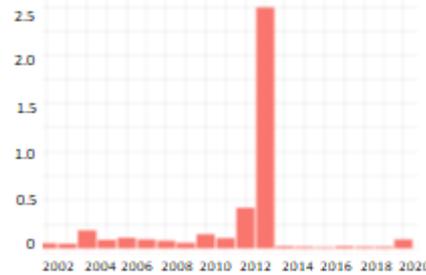
7 439 000 t (2019)



Prédiction de l'évolution des besoins en bisphénol A (millions de tonnes)



Concentration moyenne en bisphénol A ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux de surface européennes



Le bisphénol A est constamment émis. Même si la contribution de chaque utilisation individuelle est faible, la totalité de toutes les utilisations conduit à cette situation jugée inacceptable par l'ECHA (2022)



➤ Exposition humaine au bisphénol A

Exposition alimentaire

Le BPA est rapidement éliminé dans les urines



Quantité de BPA urinaire

= Quantité de BPA qui entre dans l'organisme



Quantité moyenne de BPA absorbée = $0.005 \mu\text{g}$ par kg et par jour
 >> DJA ($0.00004 \mu\text{g/kg/j}$, EFSA 2022)



Cohorte Esteban 2014-2016
 900 adultes
 500 enfants

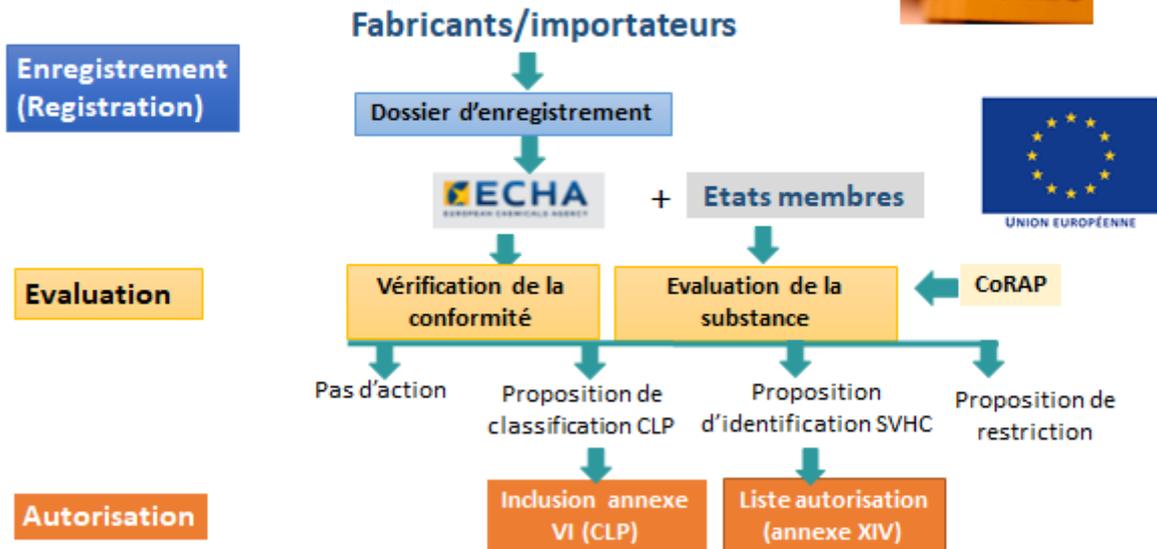


BPA dans 100% des échantillons d'urine

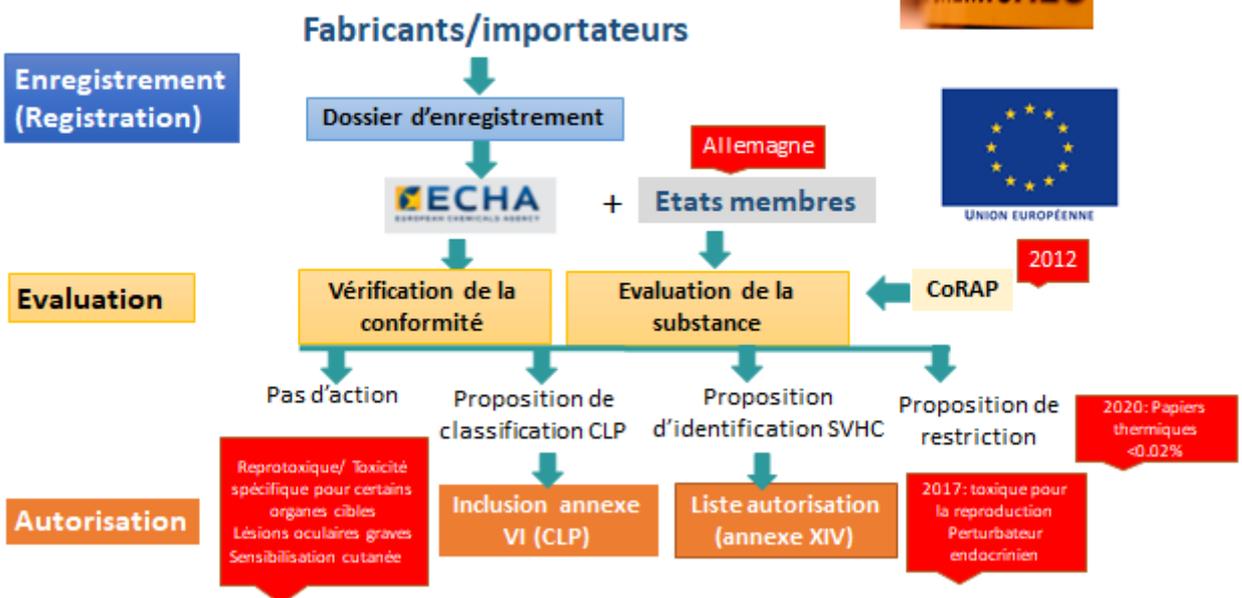
Exposition quotidienne



➤ Règlement REACH (2007)



➤ Evaluation du bisphénol A



➤ Limites de la réglementation

- **Les polymères** sont exemptés de l'enregistrement et de l'évaluation dans le cadre du règlement REACH
- **Les substances utilisées comme monomères** dans les réactions de polymérisation sont par définition des intermédiaires et ne peuvent donc pas être soumises à autorisation sous REACH



➤ Limites de la réglementation

- Règlement (UE) n°10/2011 du 14 janvier 2011

En tant que monomère des plastiques, le bisphénol A peut être utilisé dans les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires

- Liste de substances autorisées pour la fabrication des matériaux
- Le bisphénol A est autorisé à être utilisé comme polymère avec une **limite de migration spécifique (LMS) de 0.05 mg par kg d'aliment (mg/kg)**.



► Limites de la réglementation

- Autorisation: **remplacement des SVHC** par d'autres substances ou technologies moins dangereuses



**Bisphénol S identifié SVHC
(décembre 2022)**

Remplacement du bisphénol A par le bisphénol S= substitution regrettable



► Limites de la réglementation

- Réglementation : évaluation d'un seul composé à la fois
- Evaluation des composés individuels
- Nous sommes exposés à de multiples composés
- Combinées, même à faible dose, certaines molécules voient leurs effets nocifs se renforcer, s'amplifier.

Évaluation des risques associés aux effets cocktail= enjeu scientifique et de santé publique

**« Unhappy Hour » :
l'effet cocktail**



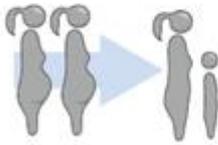


PLANÈTE · SANTÉ-ENVIRONNEMENT

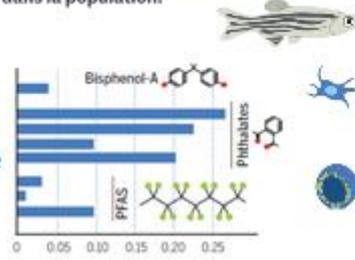
Des polluants du quotidien délétères pour la construction du cerveau des jeunes enfants

Une étude établit pour la première fois l'impact sur le neurodéveloppement des enfants d'un mélange de perturbateurs endocriniens très répandus dans la population.

2 000 femmes enceintes
cohorte SELMA



Identification du cocktail de substances associé à un retard de langage chez l'enfant de 2 ans



Les enfants nés des 10 % de femmes les plus exposées ont un risque triplé de retard de langage, par rapport à ceux nés des 10 % de femmes les moins exposées

**Présentation de Mme Nathalie Gontard,
directrice de recherche à l'INRAE**

Nathalie Gontard
DR INRAE Montpellier
nathalie.gontard@inrae.fr



Empreinte plastique
Décyclage et économie tire-bouchon
Prévention à la source = fermer le robinet



eco-efficient **p**olymeric & **O**rganic **p**ackaging

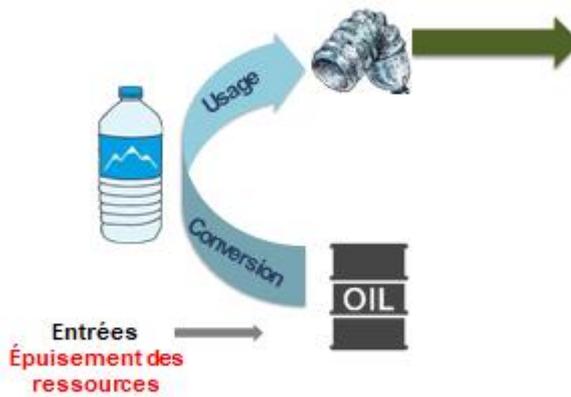
Emballages Polymères Naturels Eco-Performants

Ingénierie des Agropolymères & Technologies Emergentes



Plastique = économie linéaire

Temps de régénération des ressources >>> temps de vie humaine = accumulation



1. **Accumulation** dans tous les compartiments de notre environnement
2. **Fragmentation** en micro et nano-plastiques et **sorption de polluants**
3. **Diffusion** dans notre écosystème et **translocation** dans les organes des êtres vivants



Contest, et al. 2022. Recognising the long-term impacts of plastic particles for preventing distortion in decision-making. *Nat. Sustain.*

4 grandes étapes dans la vie des plastiques



1 - ELABORATION
Ressources - Procédés

2 - USAGE = Moteur
Productivité, réduction pertes alimentaires, Traçabilité, Praticité, Sécurité..

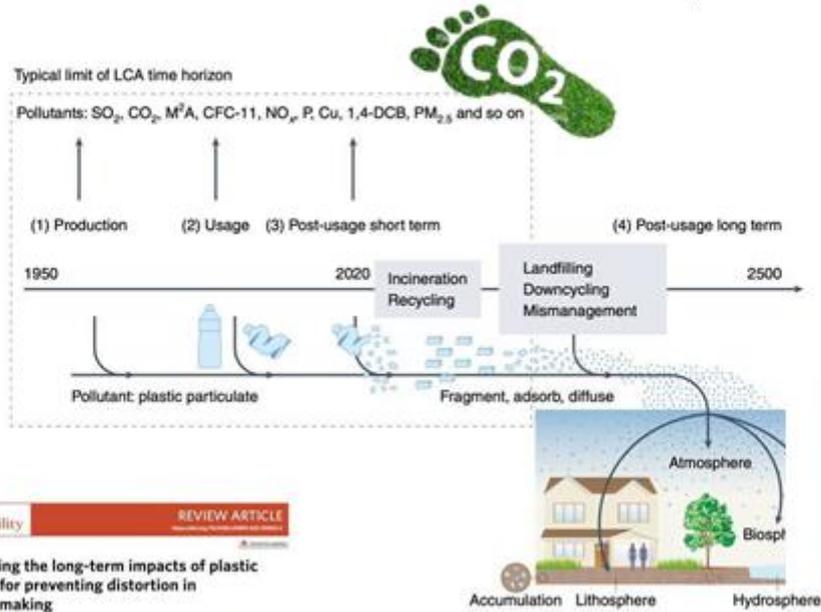
3 - POST-USAGE
Gestion des Déchets
Recyclage

4 - FIN DE VIE
Vieillesissement sur le long-terme = Micro-/nano-plastiques



A BALANCE
Bénéfices - Coûts

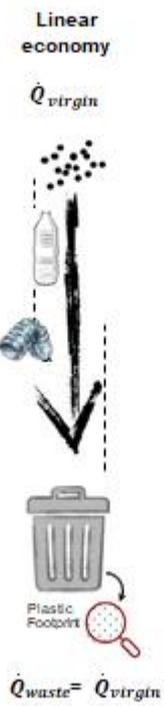
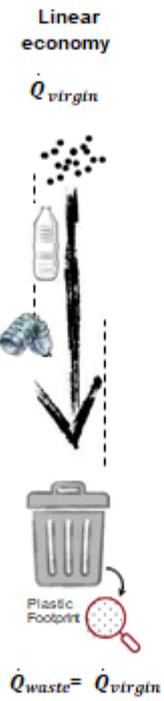
Les limites de nos connaissances, ACV et Empreinte Plastique

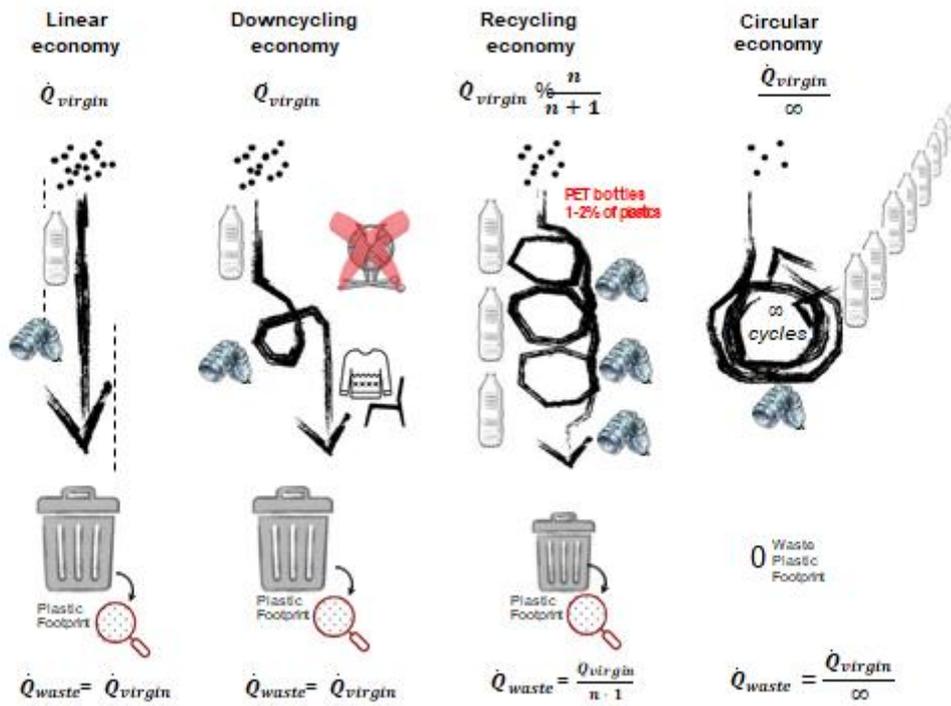
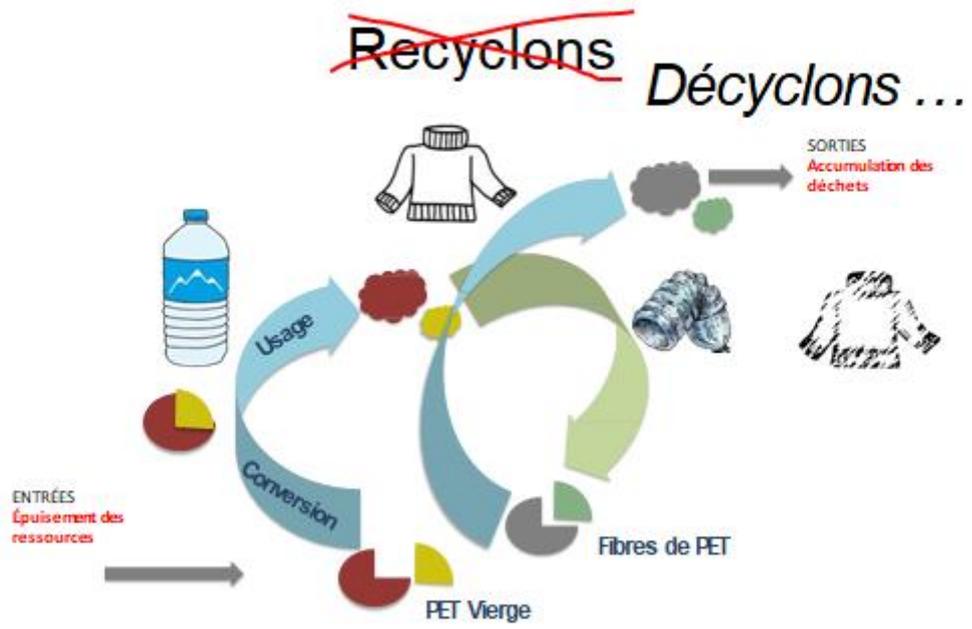


systems sustainability REVIEW ARTICLE

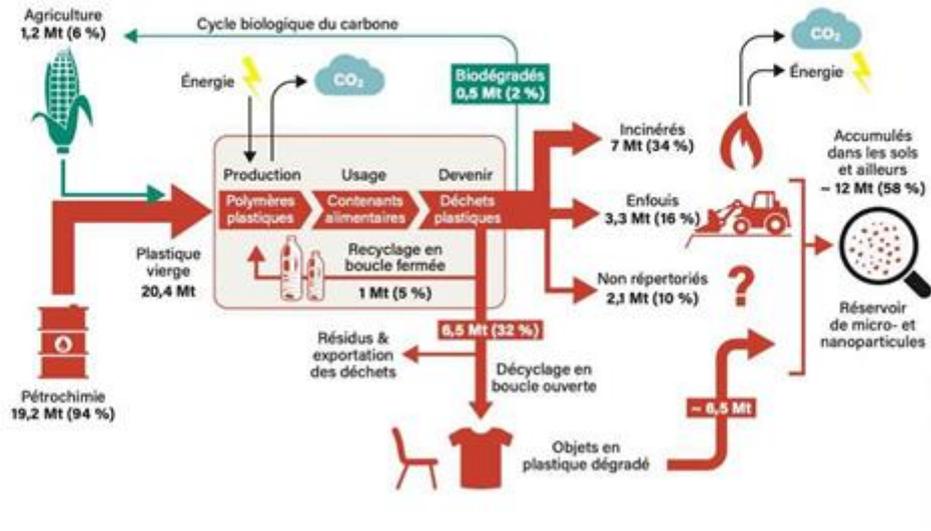
Recognizing the long-term impacts of plastic particles for preventing distortion in decision-making

Nathalie Gombard^{1,2*}, Grégoire Desbê^{1,2*}, Alice Guilbert^{1,2,3} and Joshua Sobue^{1,2,4}

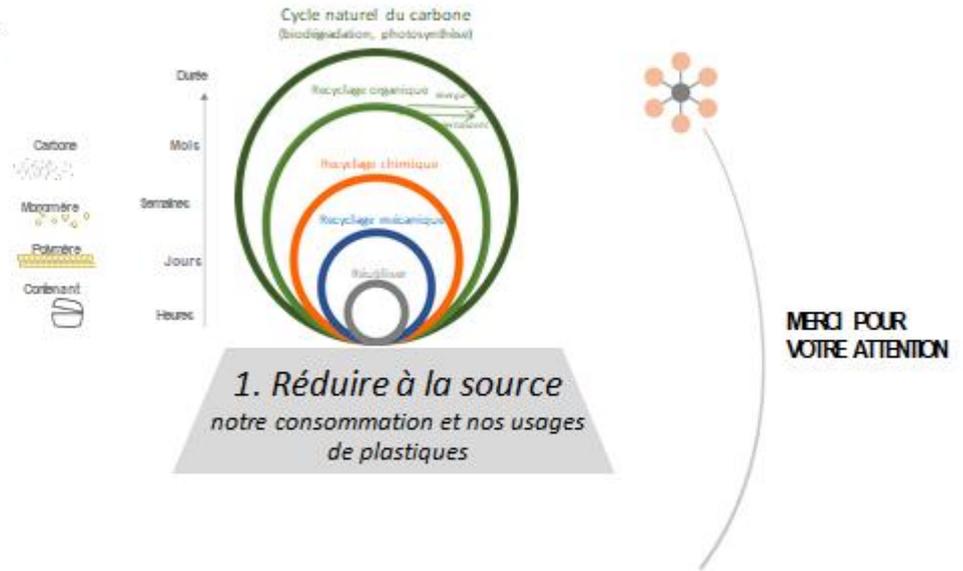




Réservoir de plastiques particulières et empreinte plastique :
où en sommes nous ?



Nathalie Gontard
DR INRAE Montpellier
nathalie.gontard@inrae.fr



1. Réduire à la source
notre consommation et nos usages
de plastiques

**Présentation de M. Olivier Gabut,
professeur associé en service temporaire à Centrale Lille Institut,
en charge des matières écoresponsables pour le groupe Legrand**

L'Eco-conception au service du recyclage des matières plastiques ?

Olivier GABUT
olivier.gabut@centralelille.fr
olivier.gabut@legrand.com

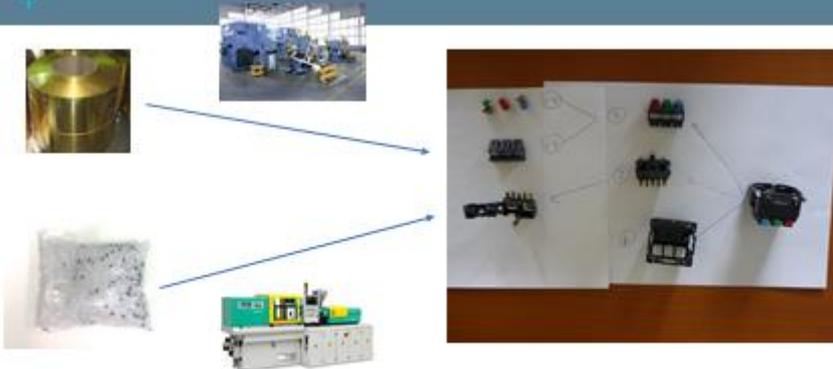


legrand

2021 figures:

- 36000 people
- Sales: 7 Bn €
- Head Quarter: Limoges France

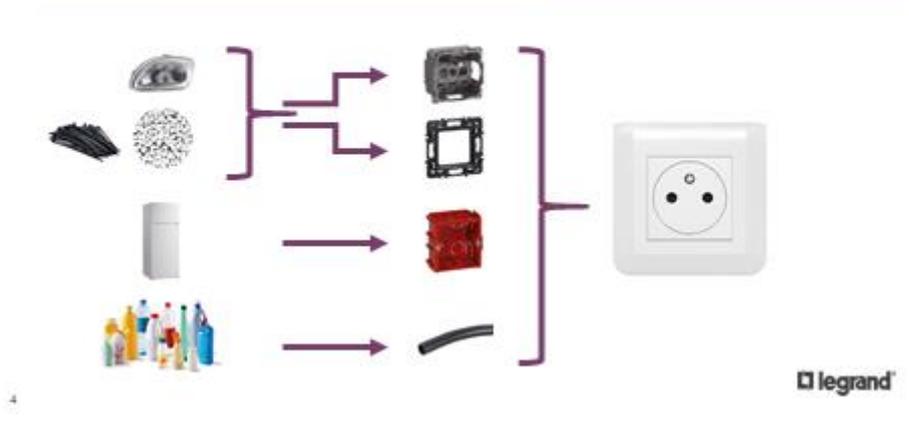




L'activité industrielle de Legrand: transformation de matériaux bruts (métaux et plastiques) en produits EEE



Exemples d'applications de matières plastiques recyclées chez LEGRAND



+ L'Eco-conception, c'est quoi? 5

- Démarche qui consiste à intégrer la protection de l'environnement dès la conception des biens et/ou des services
- Elle passe par une approche d'Analyse de Cycle de Vie (ACV)
 - Une approche du « berceau à la tombe » (de la naissance à la fin de vie)
 - La vie d'un produit ou d'un service est découpée en étapes

Matériaux brut	Fabrication	distribution	utilisation	Fin de vie
----------------	-------------	--------------	-------------	------------
 - Et on s'appuie sur des indicateurs d'impact environnementaux.



+ Exemples d'indicateurs environnementaux 6

RMD	Raw Material Depletion
ED	Energy Depletion
WD	Water Depletion
GW	Global Warming
OD	Ozone Depletion
AT	Air Toxicity
POC	Photochemical Ozone Creation
AA	Air Acidification
WT	Water Toxicity
WE	Water Eutrophication
HWP	Hazardous Waste Production



+ Analyse de Cycle de vie 7

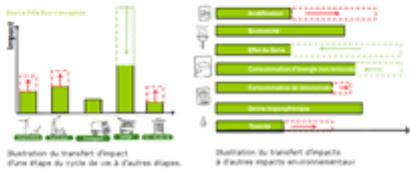


	Matériaux	Fabrication	Distribution	Utilisation	Fin de vie	Total
Raw Material Depletion (Y-1)						
Energy depletion (MJ)						
Water depletion (m3)						
Global warming (Kg Eq CO2)						
Ozone depletion (Kg eq CFC)						
etc....						

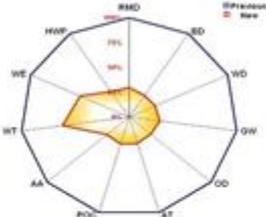


+ Un produit éco conçu selon l'ACV

- Un produit est reconnu éco-conçu si son impact environnemental est inférieur à celui du produit de référence, c'est-à-dire pour une même unité fonctionnelle, au moins un des indicateurs d'impacts environnementaux est plus faible (ceci sans transfert de pollutions sur les autres indicateurs).



+ Eco-concevoir revient donc à améliorer l'ACV d'un produit ou d'un service 9



- Mais attention, des facteurs sont très difficiles à « quantifier » : impact toxicologique sur l'humain, impact sur la biodiversité, empreinte plastique, etc...
- Donc pas totalement pris en compte dans la démarche d'éco-conception



Est-ce que l'utilisation de MPR contribue à une meilleure éco-conception? 10



- Pour l'établir, il faut disposer de l'ACV de la matière recyclée
=> RMD proche de zéro, mais ED, WD? Transferts de pollution?
- Fonction des indicateurs et des types de produits, la phase matériaux n'est pas toujours la plus impactante



11

Fonction	Connecter/déconnecter pendant 20 ans la fiche d'une charge consommant 1g à maximum à un point du réseau sous tension 250 V en protégeant l'utilisateur des contacts directs avec les parties sous tension.			
Produit de Référence				
	Ref. 0 431 11	Ref. 0 802 51	Ref. 0 444 31	Ref. 0 481 11
	Prise 2P+T Surface - Bornes auto - Site Français - Blanc	Support	Plaque 1 poste - Blanc	Enjoliveur - Blanc



SÉLECTION D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

	Total cycle de vie		Matière première et fabrication	Distribution	Installation	Utilisation	Fin de vie
Contribution au réchauffement climatique	2,28E+05 kgCO ₂ eq.	5,19E-01	22%	3,42E-03 +1%	4,24E-03 +1%	1,74E-00 77%	1,75E-03 +1%
Appauvrissement de la couche d'ozone	3,01E-04 kgCFC-11 eq.	5,27E-07	17%	4,93E-12 +1%	2,50E-11 +1%	2,48E-04 82%	1,63E-10 +1%
Acidification des sols et de l'eau	5,62E-03 kgSO ₂ eq.	1,09E-03	14%	1,54E-05 +1%	1,93E-05 +1%	4,44E-03 85%	3,03E-05 +1%
Eutrophication de l'eau	1,57E-03 kgPO ₄ ³⁻ eq.	9,32E-04	59%	3,53E-04 +1%	1,74E-05 +1%	5,01E-04 27%	3,87E-05 2%
Formation d'ozone photochimique	4,84E-04 kgC ₂ H ₄ eq.	1,07E-04	22%	1,09E-04 +1%	1,38E-04 +1%	3,74E-04 77%	2,34E-04 +1%
Appauvrissement des ressources abiotiques - éléments	2,17E-05 kgSi eq.	2,08E-05	94%	1,37E-10 +1%	1,83E-10 +1%	8,48E-07 4%	4,58E-10 +1%
Total d'énergie primaire utilisée	1,71E+02 MJ	1,23E-01	7%	4,84E-03 +1%	5,83E-03 +1%	1,09E-02 93%	4,75E-02 +1%
Volumet net d'eau douce consommée	4,12E+01 m ³	3,97E-02	+1%	3,04E-07 +1%	1,07E-04 +1%	4,12E+01 100%	1,48E-04 +1%
Appauvrissement des ressources abiotiques - énergies fossiles	2,54E+01 MJ	5,43E-00	21%	4,81E-03 +1%	5,48E-03 +1%	2,00E+01 78%	6,00E-02 +1%
Pollution de l'eau	2,21E+02 m ³	1,31E-02	59%	5,43E-03 +1%	4,43E-03 +1%	8,80E-01 40%	9,30E-01 +1%
Pollution de l'air	1,53E+02 m ³	9,40E-01	47%	1,40E-01 +1%	3,20E-01 +1%	5,79E+01 38%	8,05E-01 +1%

Pour un indicateur donné, si la part matériaux (matière première) est faible, l'utilisation de matières plastiques recyclées n'aura que peu d'effets sur l'ACV. Dans ce cas, l'ACV et l'écoconception ne sont pas les bons vecteurs.

Est-ce que l'Eco Conception permet de mieux recycler une matière plastique d'un produit en fin de vie? 13



- Importance de la durée de vie du produit
 - Durée de vie courte => on peut anticiper ce qui va se passer dès la conception et la matière plastique ne sera pas dégradée => levier fort
 - Durée de vie longue (plusieurs dizaines d'années)
 - => matière le plus souvent dégradée / vieillie lorsqu'elle est récupérée => difficile à recycler mécaniquement quelle que soit la conception
 - => perspective: ouverture vers les formes de recyclage chimique, plus ou moins simples, fonction des matières plastiques (PS, PA, PET, PBT...)
 - Avec des compromis à accepter: émissions environnementales vs valorisation des déchets



En résumé 14

- Produit ou service éco-conçu = produit ou service dont l'ACV a été améliorée par rapport à un scénario de référence
- L'ACV n'embarque pas tous les impact environnementaux
- La valorisation d'une matière plastique recyclée au travers de l'éco-conception nécessite de disposer de son ACV.
- Pour certains types de produits, l'utilisation de matières plastiques recyclées n'améliore que peu l'ACV (= > autres vecteurs de valorisation).
- L'écoconception permet d'appréhender facilement la fin de vie (avec des scénarios de recyclabilité) pour un produit à durée de vie courte.
- Pour les produits à durée de vie longue, il est nécessaire d'envisager des scénarios de valorisation complémentaires au recyclage mécanique.

