

Pollution des eaux par les plastiques :

Problématiques, enjeux et solutions

Prof. Stéphane BRUZAUD

E-mail : stephane.bruzaud@univ-ubs.fr

Page Web : www.irdl.fr/annuaire/stephane-bruzaud

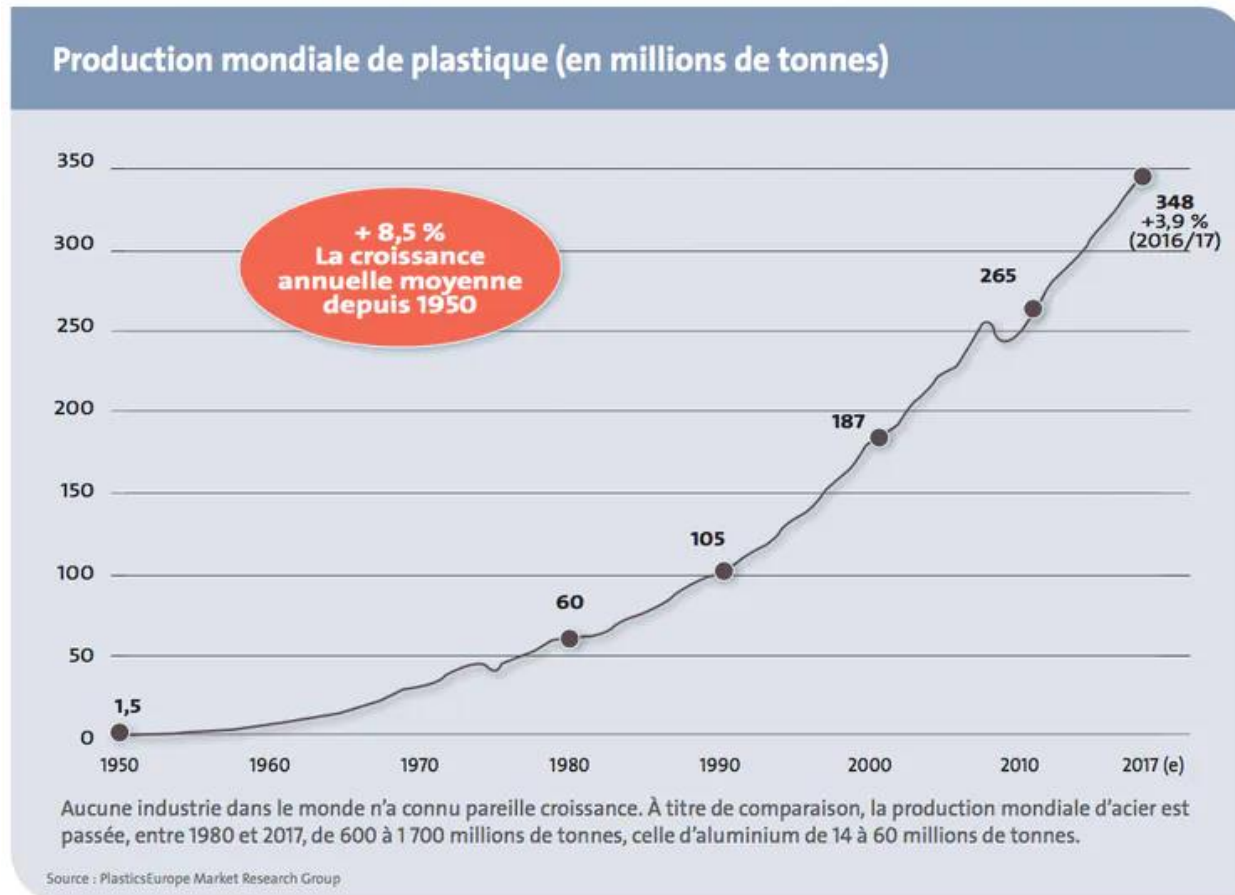


Historique

- ❑ **1838** : Extraction de la **cellulose à partir du bois** (A. F. M. C. C.)
 - ❖ La Cellophane (J. Brandenberger 1908) avec un brevet en 1915
- ❑ **1839** : Vulcanisation du **caoutchouc naturel** à partir de latex (Ch. Goodyear)
 - ❖ 1^{er} pneu vélo (J. Dunlop 1888) et 1^{er} pneu auto (Goodyear 1895)
- ❑ **A partir des années 1920** : Développement des **poly** (H. Staudinger (prix Nobel en 1953) et K. Ziegler/G. Natta)
 - 1930 : PS
 - 1938 : PA 6,6 (Nylon[®] 6,6)
 - 1955 : PEHD
 - 1957 : PP
- ❑ **2020** : Production mondiale de plastiques **367 millions de tonnes**



Évolution de la production des plastiques



Sur les 40 dernières années :

- ❑ Acier : + 40%
- ❑ Aluminium : + 140%
- ❑ Plastiques : + 600% !!!

$$d_{\text{plastiques}} \sim 1$$

$$d_{\text{aluminium}} \sim 3$$

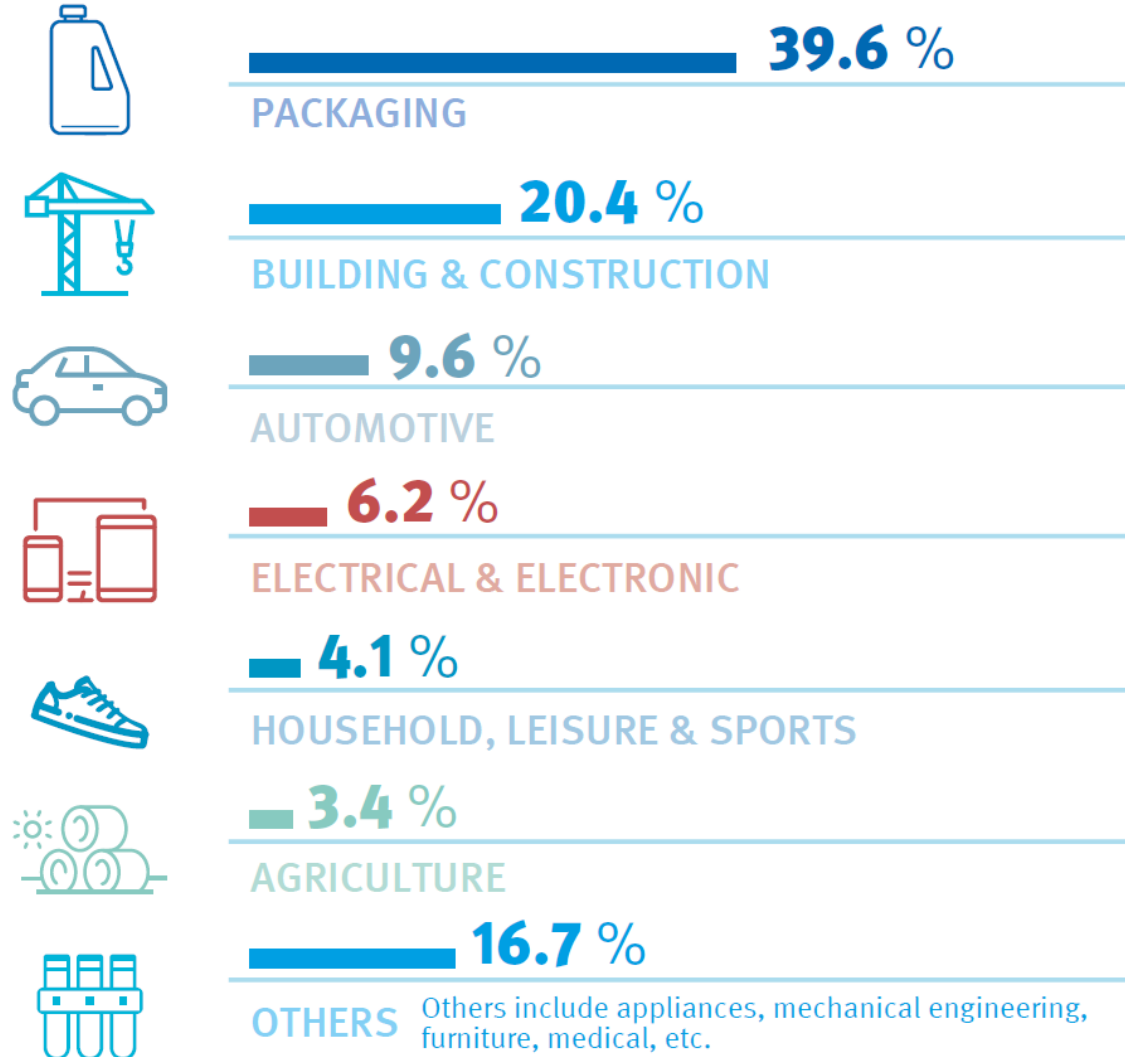
$$d_{\text{acier}} \sim 6 \text{ à } 8$$



368 millions de tonnes (2019)
367 millions de tonnes (2020)

Légèreté mais volume de déchets important

Quels usages et quelles caractéristiques des plastiques ?



Adaptables

Isolants

Légers

Inertie chimique et biologique

Polyvalents en propriétés

Pas chers

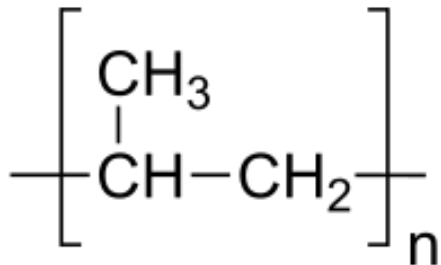
Stabilité des propriétés
Durée d'utilisation vs durée de vie

Polymères vs plastiques



Macromolécule

(Masse molaire de qq milliers à qq centaines de milliers de $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)



- Charges
- Plastifiants
- Stabilisants
- Colorants
- Ignifugeants
- Etc.



Cocktail d'adjuvants

Pollution par les plastiques : quelques chiffres

8 à 15 millions de tonnes de plastiques arrivent en mer chaque année

5250 milliards de microplastiques flottent en mer

9 milliards de tonnes de plastiques produits depuis 1960

1 camion poubelle déversé en mer chaque minute

2 à 4 millions de tonnes de plastiques transportés par les fleuves

32% des plastiques produits finissent dans l'environnement chaque année

Pollution des eaux par les plastiques : quels sont les apports ?

- ❑ **Sources terrestres** : fleuves et rivières, effluents de traitement des eaux, activités littorales, décharges illégales littorales ou proches des fleuves et ruissèlement
 - ❖ 80% des déchets marins proviennent de la terre (65 % sont issus de 20 fleuves).
- ❑ **En mer** : trafic maritime (pertes volontaires ou accidentelles (conteneurs, ballasts, cargaisons...)), à l'exploration et l'exploitation pétrolière et minière et aux secteurs professionnels de la pêche et de l'aquaculture.
 - ❖ Dans certaines zones, 100% des déchets sont issus de la pêche, incluant les pertes d'engins de capture (cordages, filets, casiers, etc.), pouvant aller jusqu'à 600 000 tonnes par an.
- ❑ **Évènements extrêmes** : catastrophes naturelles (crues, inondations, tsunamis, cyclones), etc.
 - ❖ Lors du tsunami au Japon en 2011, les quantités apportées étaient d'environ 5 millions de tonnes, induisant l'introduction de 280 nouvelles espèces sur les côtes américaines.

Bibliographie

Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques

1. Importance du plastique en mer	BIO 9 300 - 2
2. Devenir du plastique en mer	— 3
3. Dégradation du plastique en mer	— 4
4. Impacts des plastiques	— 7
5. Quelles solutions	— 10
6. Conclusion	— 13
7. Glossaire	— 14
Pour en savoir plus	Doc. BIO 9 300



TECHNIQUES
DE L'INGÉNIEUR

Date de publication :
10 janv. 2020

Réf. : **BIO9300**

par **François GALGANI**

Responsable de projet, IFREMER/ LER/PAC (Bastia)

Stéphane BRUZAUD

Professeur, Université de Bretagne-Sud, IRDL, UMR CNRS 6027 (Lorient)

Guillaume DUFLOS

Responsable d'unité, Laboratoire de sécurité des aliments, ANSES (Boulogne-sur-Mer)

Pascale FABRE

Directrice de recherche, Laboratoire Charles Coulomb (L2C), UMR 5221 du CNRS-Université de Montpellier (Montpellier)

Emmanuelle GASTALDI

Maître de conférences, Université de Montpellier/UMR 1208 IATE (Montpellier)

Jeff GHIGLIONE

Directeur de recherches, Laboratoire LOMIC, UMR 7621 (Banyuls-sur-Mer)

Régis GRIMAUD

Professeur, PREM UMR5254 – UPPA/CNRS (Pau)

Matthieu GEORGE

Maître de conférences, Laboratoire Charles Coulomb (L2C), UMR 5221 du CNRS-Université de Montpellier (Montpellier)

Arnaud HUVET

Chargé de recherche, IFREMER LEMAR UMR CNRS 6539 (Brest)

Fabienne LAGARDE

Maître de conférences, Le Mans Université, IMMM UMR 6283 (Le Mans)

Ika PAUL-PONT

Chargée de recherche, CNRS, Université de Brest, IRD, IFREMER LEMAR (Plouzané)

et **Alexandra TER HALLE**

Chargée de recherche, IMRCP, CNRS UMR 5623 (Toulouse)

C'est quoi un microplastique (MP) ?

0,1 mm < taille < 5 mm

- ❑ **MP primaires** : fibres textiles, résidus de pneus, poussières urbaines, résidus de peintures routière et marine...
- ❑ **MP secondaires** : issus de la dégradation de macroplastiques



Fondation
tara océan
explore and share

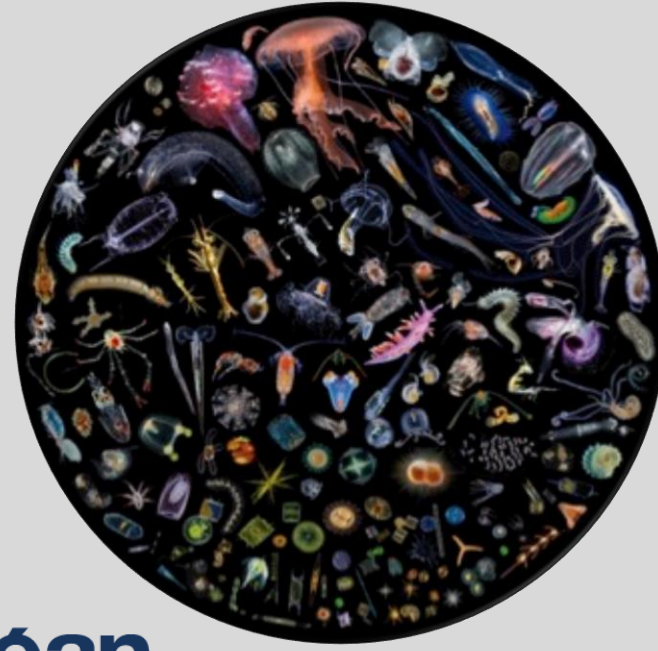
L'origine et les dangers des microplastiques

- Ils sont in...
- Colonisés
- Fragmenta

micro



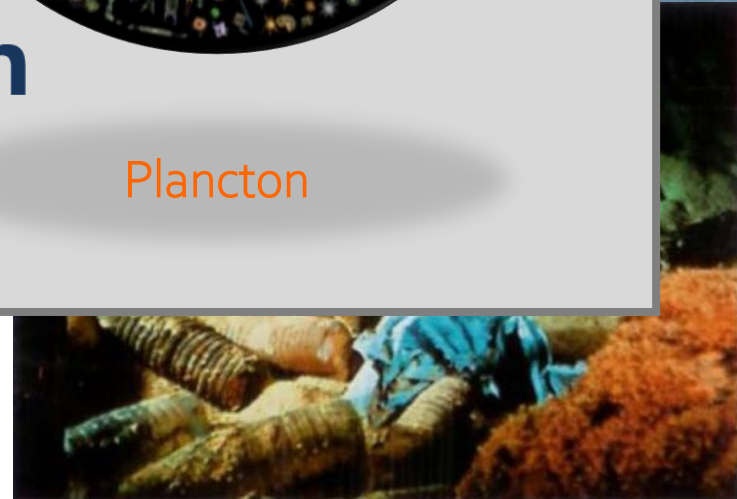
Microplastiques



Plancton

Fondation
tara océan
explore and share

*Le plancton
de la chaîne alimentaire en milieu marin*



Quelles conséquences environnementales et sanitaires ?

- ❑ Les plastiques entraînent la mort chaque année de **plus de 100 000 mammifères marins** et **plus de 1 million d'oiseaux de mer** (UNESCO 2019).
 - ❖ Étouffement, strangulation, épuisement, etc.



- ❑ Aujourd'hui, on peut dire que **la chaîne alimentaire humaine dans sa totalité est infiltrée**.
 - ❖ Eaux, bière, sel de table, miel, huîtres, moules, crustacés, poissons, etc.
 - ❖ Selles humaines (10 fois plus de MP dans les selles des bébés !!!)

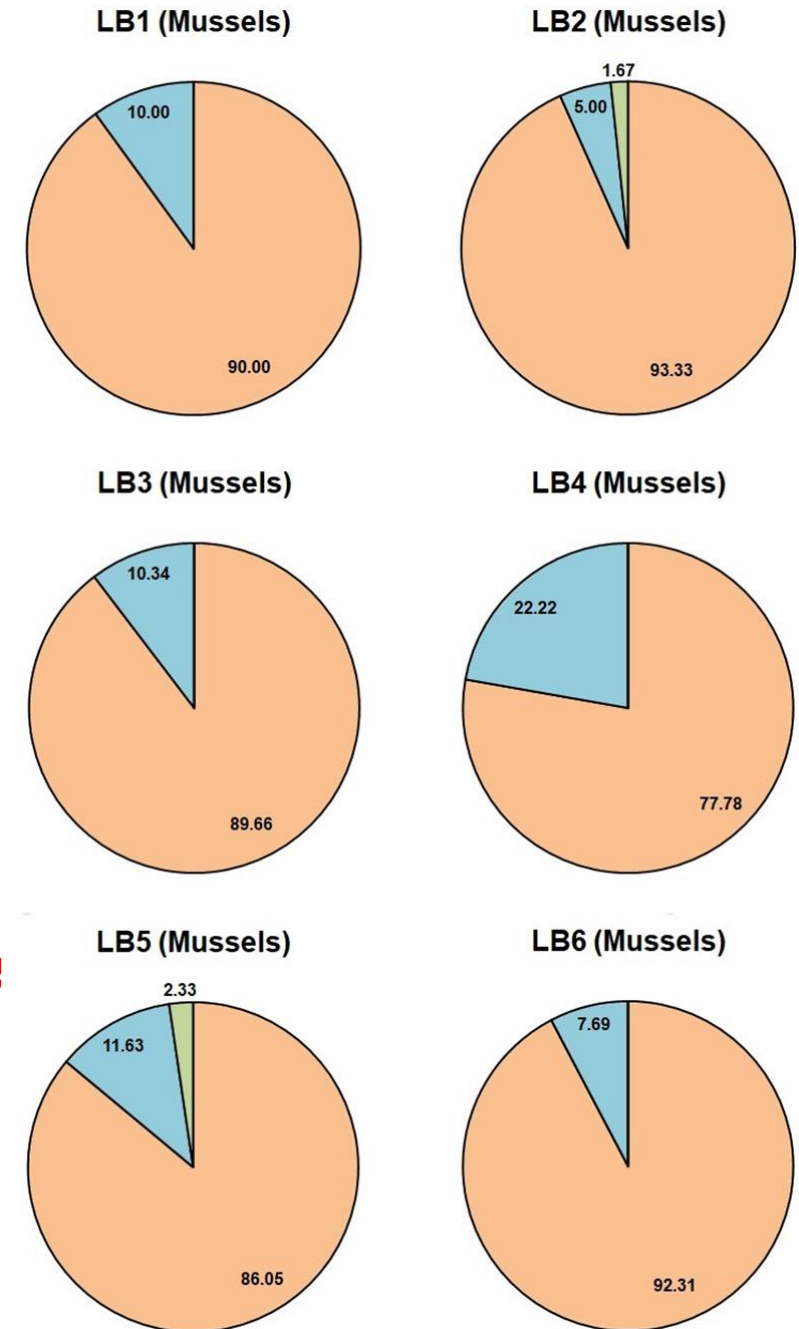
On trouve des (micro)plastiques partout où l'on cherche !!!

Contamination des moules par les MP



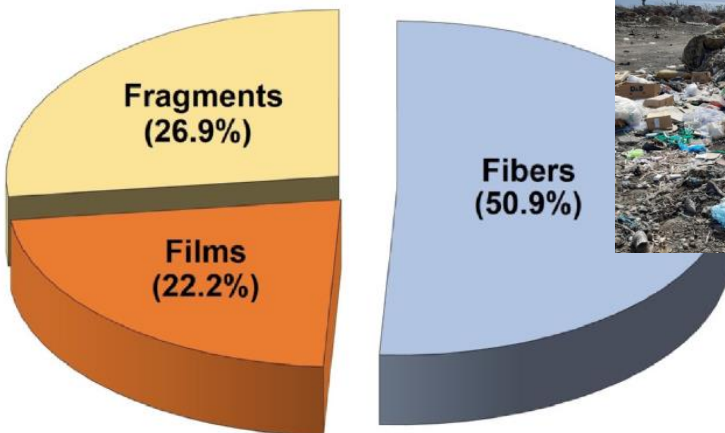
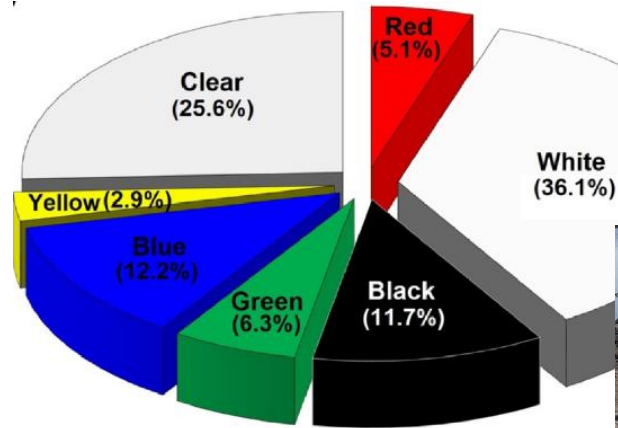
■ Polyethylene
■ Polypropylene
■ Cellophane

T. Wakkaf et al., *Mar. Pollut. Bull.* **2020** (a)
 T. Wakkaf et al., *Mar. Pollut. Bull.* **2020** (b)



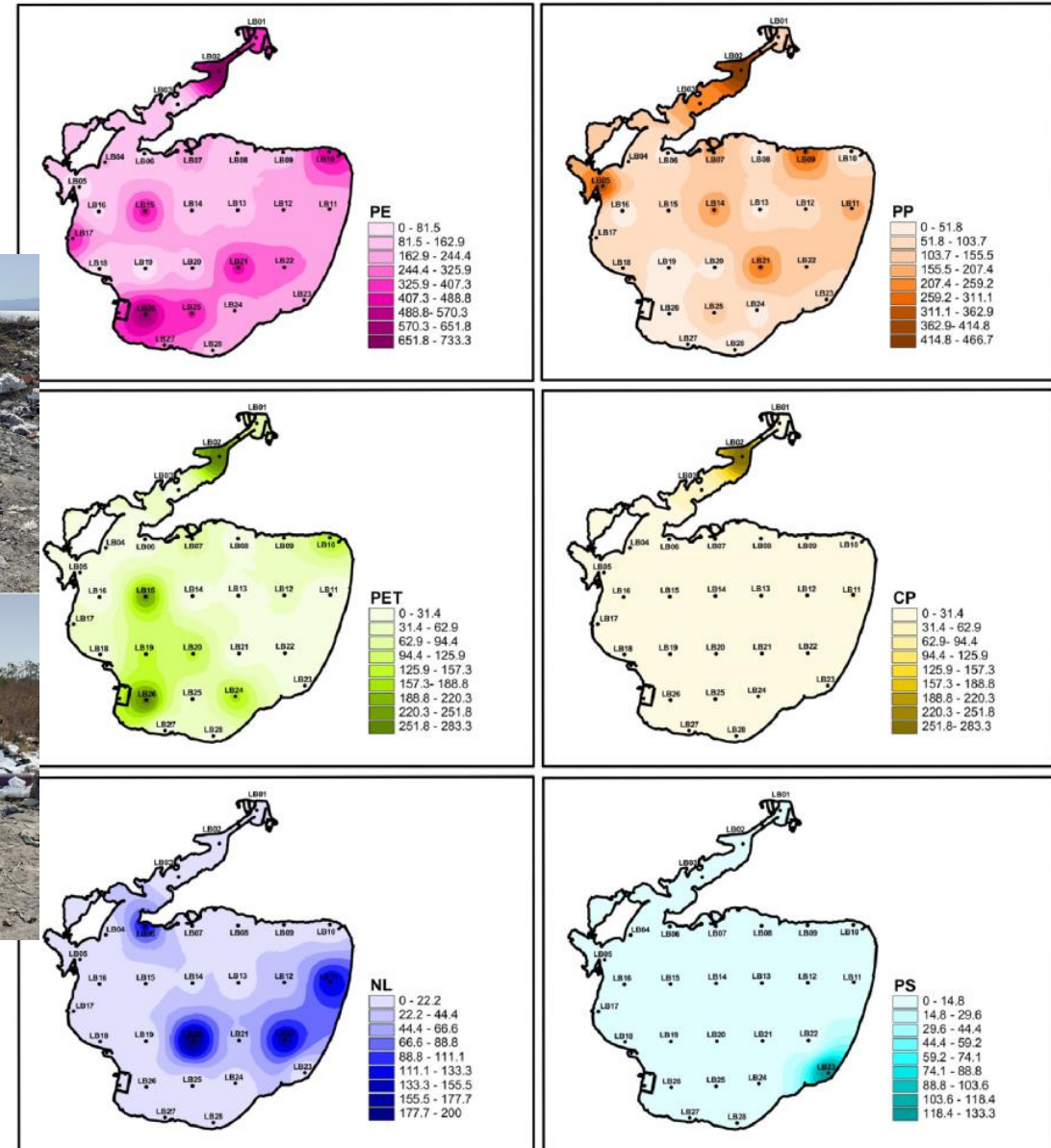
Region (country)	Mussel species	Average concentration of MPs in mussels (number of items g ⁻¹ ww)	Average concentrations of microplastics in seawater (number of items L ⁻¹)
Bizerte lagoon (Tunisia)	<i>M. galloprovincialis</i>	2.1 ± 1.0 (range: 0.7 ± 0.5–3.5 ± 0.3)	0.4 ± 0.2 (range: 0.2 ± 0.1–0.7 ± 0.2)
Bizerte lagoon (Tunisia)	<i>M. galloprovincialis</i>	~0.8	NA
China	<i>M. edulis</i>	2.4 (2.1–10.5)	NA
China	<i>M. edulis</i>	2.2	NA
North Sea (Belgium, Netherlands and France)	<i>M. edulis</i>	0.2 ± 0.3	NA
Belgium	<i>M. edulis</i>	0.26–0.51	NA
Germany	<i>M. edulis</i>	0.36 ± 0.07	NA
New Zealand	<i>Perna canaliculus</i>	0–0.48	NA
	<i>M. edulis</i>	0.7–2.9	3.5 ± 2.0 (range: 1.5–6.7)

Pollution de la lagune de Bizerte par les MP



T. Wakkaf et al., *Mar. Pollut. Bull.* 2020 (a)

T. Wakkaf et al., *Mar. Pollut. Bull.* 2020 (b)



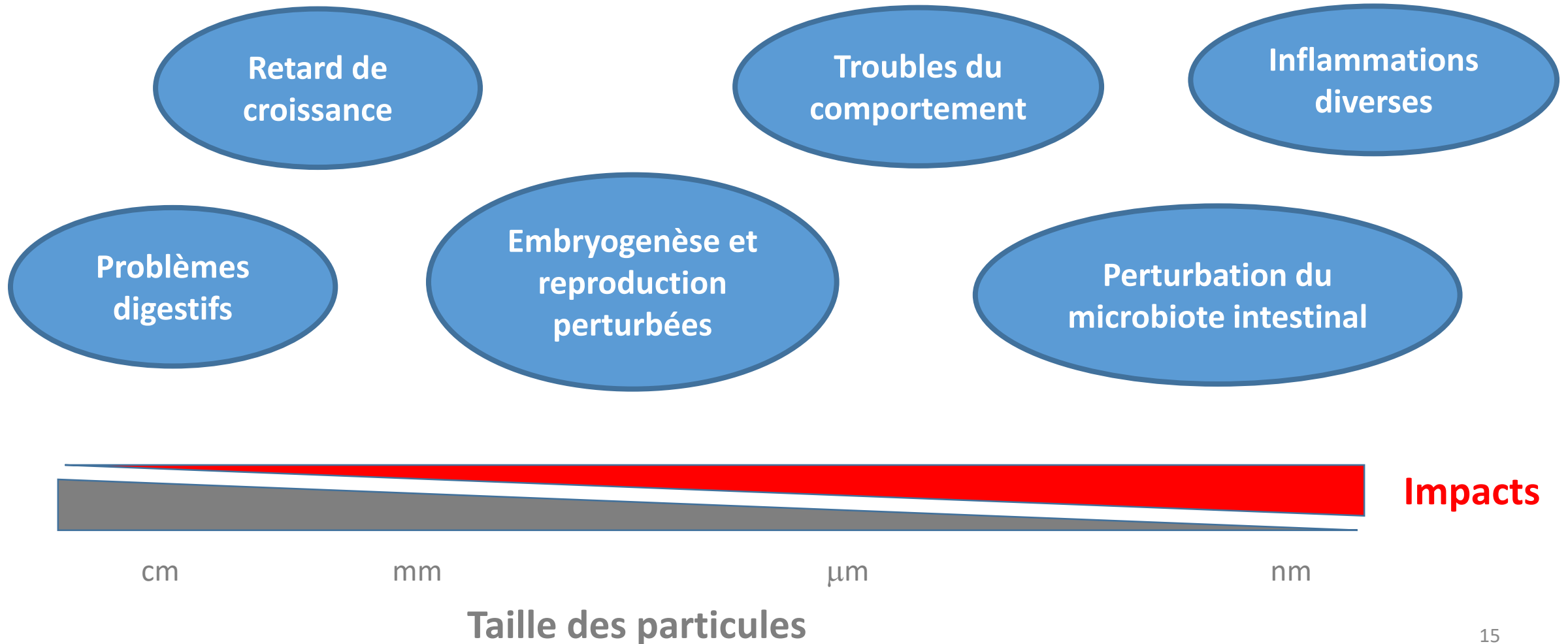
Quelles conséquences environnementales et sanitaires ?

- ❑ Transport de contaminants chimiques et biologiques grâce aux propriétés d'adsorption des microplastiques : notion de **plastisphère**
 - ❖ Fixation de polluants à la surface des MP grâce à leurs propriétés hydrophobes
 - POP (PCB, HAP...), métaux lourds (Hg, Pb, Cd...), pesticides, etc.
 - ❖ Fixation de contaminants biologiques
 - Colonisation par des bactéries pathogènes pour l'Homme (genre *vibrio*)
- ❑ Relargage des additifs des plastiques par lixiviation
 - ❖ Phtalates, bisphénol A, retardateurs de flamme bromés, etc.
- ❑ Entrée possible des **nanoplastiques** dans certains organes

Nombreuses recherches à mener encore !

Quels impacts sur les organismes ?

- Nombreux essais sur des huitres, des moules, des souris, des poissons, etc.



Quelles conséquences socio-économiques ?

Secteur économique	Types d'impacts	Coûts significatifs
Gestionnaires (municipalités, pouvoirs locaux)	Blessures sur les plages Impact esthétique Publicité négative Labélisation	Nettoyage et traitement

Coûts estimés à **260 millions d'euros** par an pour les seules eaux européennes

Coûts estimés à **12 milliards d'euros** par an pour l'ensemble des mers et océans

Report of the 47th session of GESAMP 2020 : <http://www.gesamp.org/publications>

Navigation	Opération des secours Réparation Dragage des ports Obligations légales	Dommmages/réparation
Pêche	Dommmage aux engins de pêche Réparation/remplacements Temps de pêche Nettoyage, altération des stocks	Nettoyage et réparation des engins
Aquaculture	Nettoyage des filets Maintenance	Coûts minimales
Services écosystémiques	Biodiversité Coûts de la dégradation	Coûts mal évalués

Quelles solutions envisageables ?

❑ Nettoyer les mers et les océans

- ❖ Surface trop importante : comment faire et que fait-on des déchets ?
- ❖ Coût du nettoyage : qui paie ?

❑ Éduquer, sensibiliser et responsabiliser

- ❖ Ne pas jeter sauvagement, collecter, trier, adopter des comportements vertueux...
- ❖ Règle des nR : Refuser, Réduire, Réemployer, Réutiliser, Recycler, Revaloriser, Rendre à la terre, Repenser, Réinventer...
- ❖ Impliquer l'ensemble des acteurs de la société

❑ Innover en gérant mieux la conception et la fin de vie des plastiques

- ❖ Mettre en place des filières vertueuses et éco-responsables
- ❖ Développer des plastiques plus respectueux de l'environnement
- ❖ Inventer les plastiques du 21^{ème} siècle





MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Liberté
Égalité
Fraternité

Fin progressive de TOUS les emballages en plastique à usage unique d'ici 2040

Exemples : bouteilles en plastique, tubes de dentifrice, bidons de lessive, sachets de salade...

2020



Publication de la loi anti-gaspillage pour une économie circulaire, qui prévoit notamment la fin de la mise sur le marché des emballages en plastique à usage unique d'ici 2040.

2021



Publication du premier décret « 3R » quinquennal fixant les objectifs de réduction, de réemploi et de recyclage des emballages en plastique à usage unique pour la période 2021-2025.



Au 1^{er} janvier, interdiction des pailles, couverts jetables, touillettes, couvercles des gobelets à emporter, boîtes en polystyrène expansé (type boîtes à kebab), piques à steak, tiges pour ballons, confettis en plastique et tous les objets en plastique oxodégradable.



Déploiement de dispositifs de vrac, obligeant les vendeurs à accepter les contenants apportés par le consommateur.



Limitation du suremballage plastique grâce à un bonus-malus.



Interdiction de distribuer gratuitement des bouteilles en plastique dans les entreprises.

2022



Au 1^{er} janvier, interdiction des suremballages en plastique pour les fruits et légumes de moins de 1,5 kg, des sachets de thé en plastique et des jouets en plastique distribués gratuitement dans les fast food.



Obligation d'avoir des fontaines à eau dans les établissements recevant du public.



Création dans les éco-organismes de fonds dédiés au financement du réemploi.

2023

Au 1^{er} janvier, interdiction de la vaisselle jetable dans les fast food pour les repas servis sur place.

2024

Au 1^{er} janvier, interdiction de vendre des dispositifs médicaux contenant des microplastiques.

2025

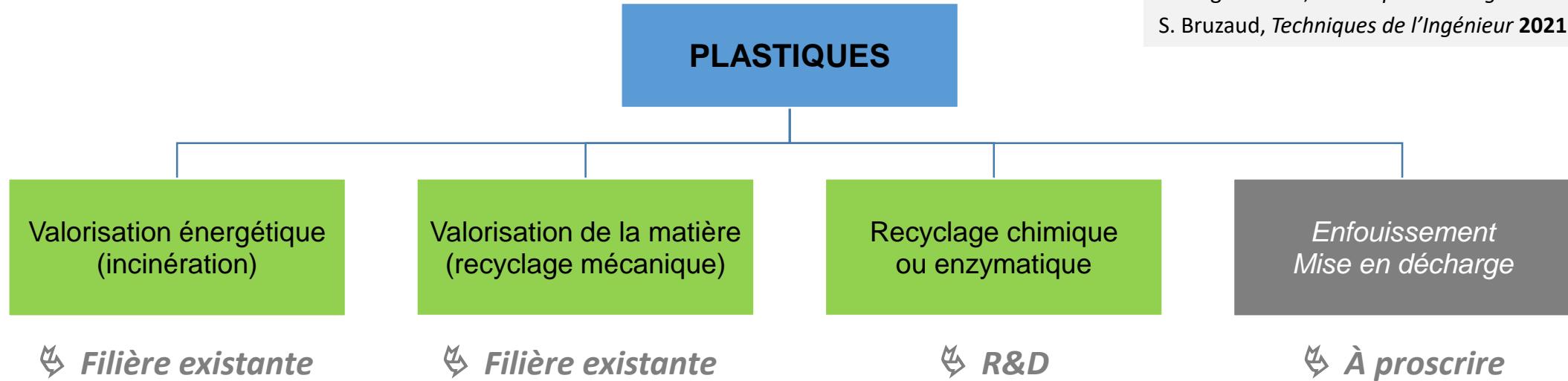
Au 1^{er} janvier, les lave-linge neufs sont dotés d'un dispositif pour retenir les microfibres plastiques.

2026

Au 1^{er} janvier, interdiction de vendre des produits cosmétiques rincés contenant des microplastiques (autres que les cosmétiques exfoliants ou gommages qui sont déjà interdits depuis le 1^{er} janvier 2018) comme les shampooings, produits de coloration, gels douche, démaquillants.

Quelles valorisations des plastiques ?

M. Kedzierski et al., *L'Actualité Chimique* 2020
F. Galgani et al., *Techniques de l'Ingénieur* 2020
S. Bruzaud, *Techniques de l'Ingénieur* 2021



- ❑ Les trois premières voies de valorisation sont **complémentaires**.
- ❑ **MAIS** le succès de ces stratégies dépend de nombreux facteurs...

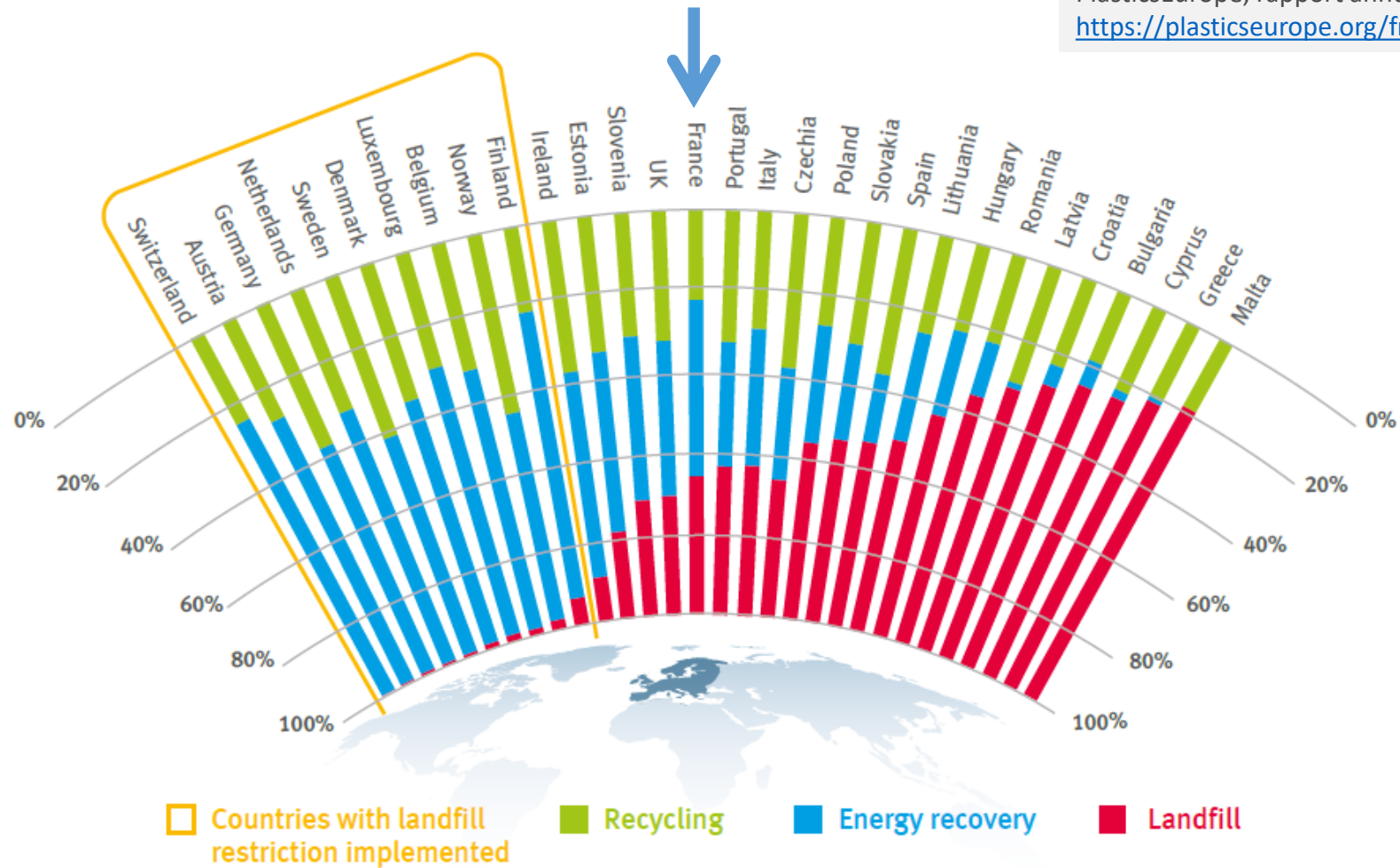
...Et de nombreux déchets plastiques échappent à ces circuits...

Polymères/plastiques biodégradables (ou compostables)

👉 *Filière émergente*

Quelles valorisations des plastiques ?

PlasticsEurope, rapport annuel « Plastics: the facts 2020 » :
<https://plasticseurope.org/fr>



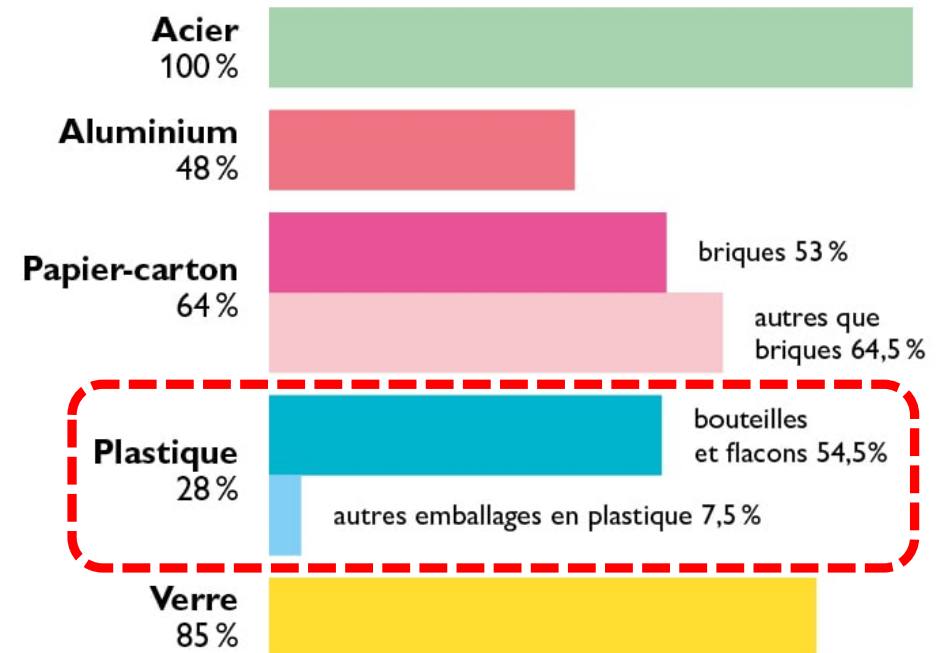
Valorisation des déchets plastiques en 2019
(EU28 + Norvège + Suisse)

Les atouts et les limites du recyclage

- ❑ Recyclage pertinent pour **plastiques rigides ou semi-rigides**
 - ↳ A condition qu'ils soient collectés !
 - ↳ Problème du décyclage > Il reste toujours un déchet !
- ❑ Recyclage possible pour **films** mais problème de modèle économique
- ❑ Problème de tri pour les **plastiques de couleur noire**
- ❑ Recyclage impossible pour les **multi-matériaux**

CITEO

Taux de recyclage par matériau (%)
2020



Concevoir des polymères à (bio)dégradation programmée

Pour des objets : ① qui peuvent être collectés pour être compostés
② ne pouvant pas être collectés et/ou présentant un risque élevé de se retrouver (accidentellement, volontairement ou inéluctablement) dans l'environnement

- ❑ Secteur de l'emballage : emballages ne pouvant être ni recyclés, ni réutilisés
- ❑ Secteur de l'agriculture et de l'horticulture : films de paillage, pots, barquettes, clips, fils, enrobage/encapsulation, etc.
- ❑ Secteur de la pêche et de la conchyliculture : fils et filets de pêche, cordages, poches, casiers, récifs artificiels, habitats sous-marins, etc.
- ❑ Secteur du textile : microfibres
- ❑ Secteur de la formulation (sous forme dispersible ou soluble) : cosmétiques, peintures, détergents, revêtements, etc.
- ❑ Secteur pharmaceutique ou du biomédical : biocompatibilité + dégradabilité contrôlée

**Innover en inventant
des nouveaux modèles**

PHApack

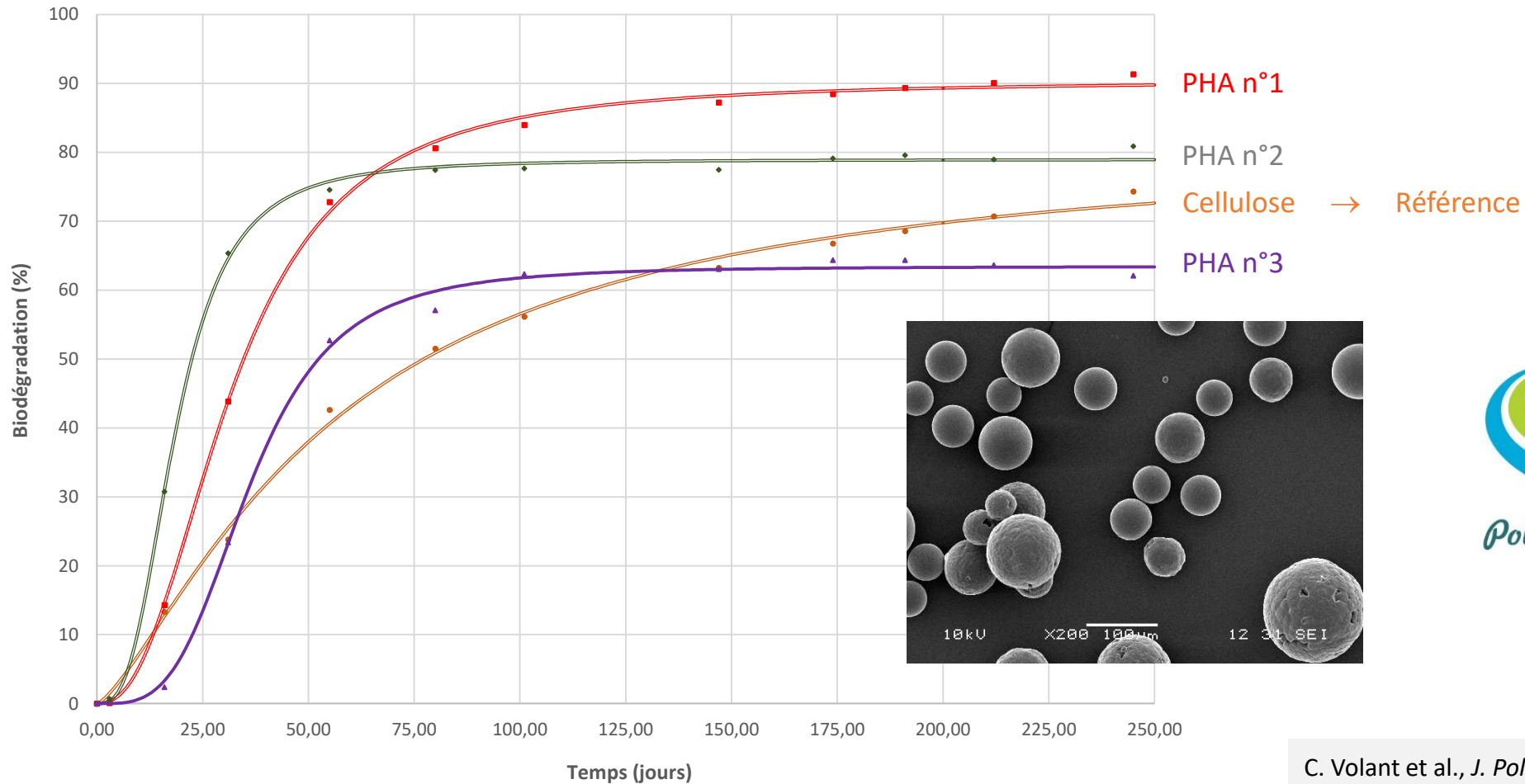
BluEco**PHA**

nenu**PHAR**

**Prendre en compte
les législations
actuelles et à venir**

Biodégradation des PHA en milieu marin

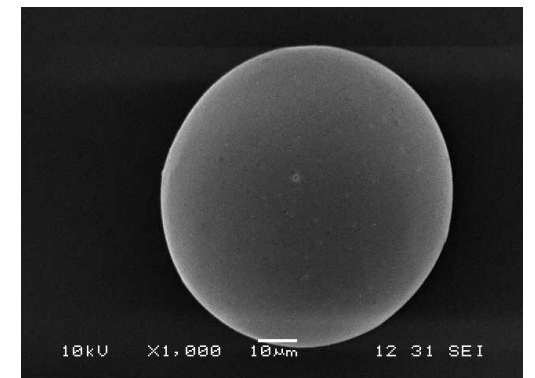
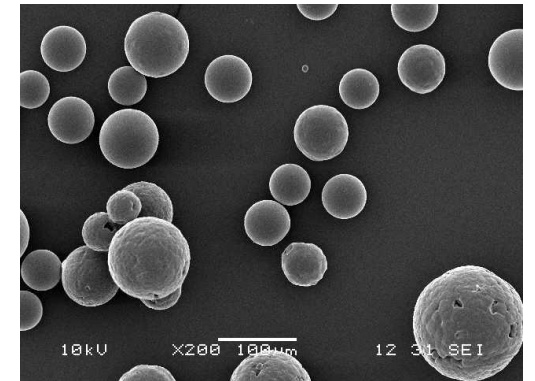
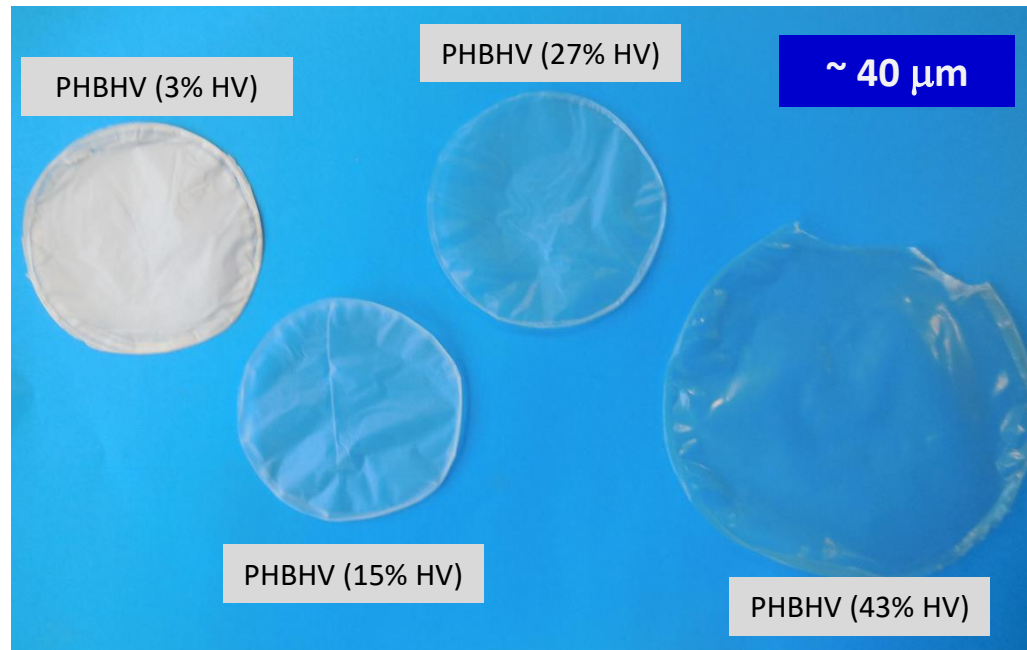
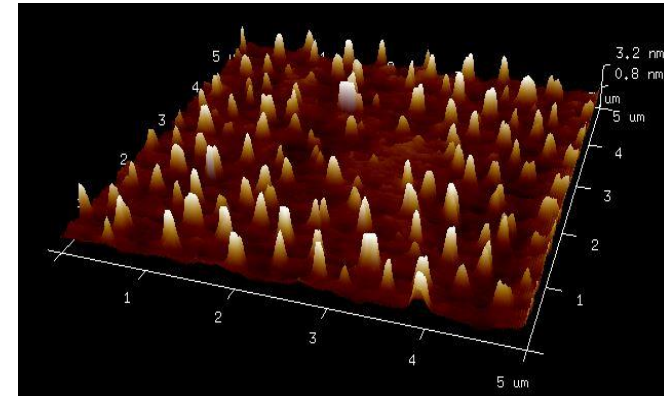
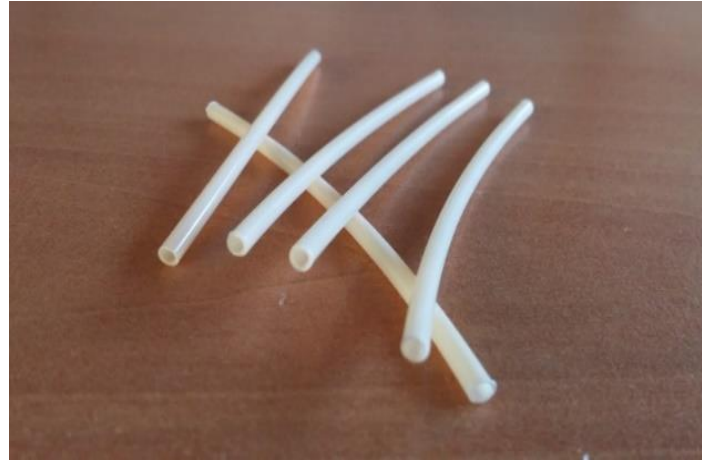
☐ Eau de mer + sédiments marins à 25°C (norme NF EN ISO 19679)



BIOBILLES




Les polyhydroxyalcanoates (PHA)



Quid des microplastiques dans les sols ?

- ❑ Présents dans tous les sols, des zones les plus densément peuplées aux zones les plus reculées

Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment

Steve Allen, Deonie Allen , Vernon R. Phoenix, Gaël Le Roux, Pilar Duránte Jimémez, Anaëlle Simonneau, Stéphane Binet & Didier Galop

Nature Geoscience 12, 339–344 (2019) | [Cite this article](#)






Plastic litter is an ever-increasing global issue and one of this generation's key environmental challenges. Microplastics have reached oceans via river transport on a global scale. With the exception of two megacities, Paris (France) and Donghai (China), there is a lack of information on atmospheric microplastic deposition or transport. Here we present the observations of atmospheric microplastic deposition in a remote mountain catchment (French Pyrenees). We analysed samples, taken over five years, to represent atmospheric wet and dry deposition and identified fibres up to 700 µm and fragments ≤ 300 µm as microplastics. We document relative daily counts of 73 films and 44 fibres per square metre that deposited on the catchment. An air trajectory analysis shows microplastic transport through the atmosphere of up to 95 km. We suggest that microplastics can reach and affect remote, sparsely inhabited areas through atmospheric transport.

M. Kedzierski et al., *L'Actualité Chimique* 2020

SCIENTIFIC REPORTS

Article | Published: 18 December 2018

Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland

Sarah Piehl ¹, Anna Leibner ¹, Martin G. J. Löder ¹, Rachid Dris ¹, Christina Bogner ² & Christian Laforsch ¹

Contamination of aquatic ecosystems is a high priority research topic, whereas the issue of plastic pollution in terrestrial ecosystems has been widely neglected. At the same time, terrestrial ecosystems under pressure, such as agroecosystems, are likely to be contaminated by plastic debris. However, the extent of contamination has not been determined at present. Via Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, we identified and quantified macro- and microplastics on an agricultural farmland in Germany. We found 206 macroplastic pieces per hectare and 0.34 ± 0.36 mg per kilogram dry weight of soil. In general, polyethylene was the most common plastic, followed by polystyrene and polypropylene. Films and fragments were the dominating microplastics, whereas predominantly films were found for macroplastics. Since this is the first study site where microplastic-containing fertilizers and agricultural plastic mulch were used, our findings report on plastic contamination on a site which only receives agricultural treatment. However, the contamination is probably higher in areas where plastic applications, like greenhouses, mulch, or silage films, or plastic-containing fertilizers (e.g. biowaste composts) are applied. Hence, further research on the extent of this contamination is needed with special regard to different cultivation practices.

Science 12 June 2020

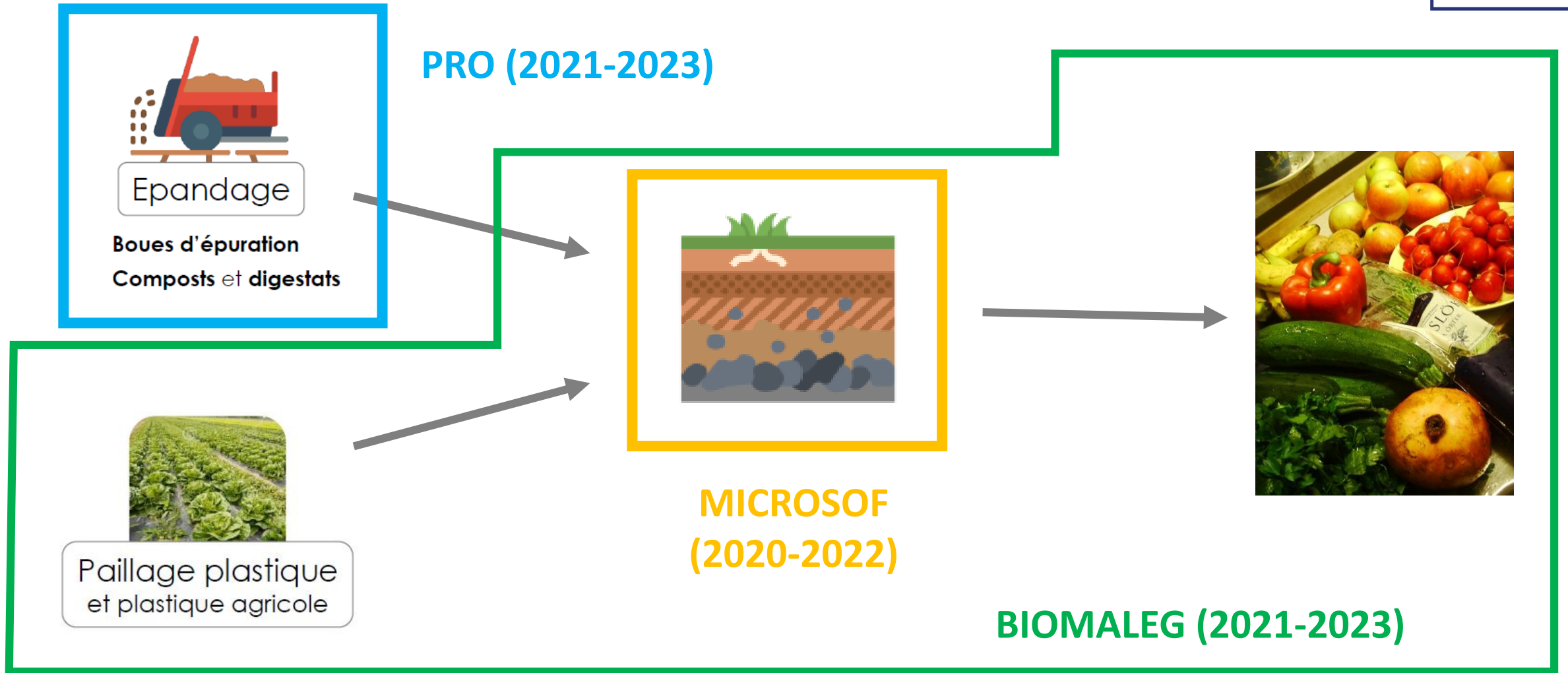
PLASTIC POLLUTION

Plastic rain in protected areas of the United States

Janice Brahney^{1*}, Margaret Hallerud¹, Eric Heim¹, Maura Hahnenberger², Suja Sukumaran³

Eleven billion metric tons of plastic are projected to accumulate in the environment by 2025. Because plastics are persistent, they fragment into pieces that are susceptible to wind entrainment. Using high-resolution spatial and temporal data, we tested whether plastics deposited in wet versus dry conditions have distinct atmospheric life histories. Further, we report on the rates and sources of deposition to remote U.S. conservation areas. We show that urban centers and resuspension from soils or water are principal sources for wet-deposited plastics. By contrast, plastics deposited under dry conditions were smaller in size, and the rates of deposition were related to indices that suggest longer-range or global transport. Deposition rates averaged 132 plastics per square meter per day, which amounts to >1000 metric tons of plastic deposition to western U.S. protected lands annually.

Microplastiques & sols : 3 projets en cours à l'IRD



Groupement de Recherche « Polymères & Océans »



- ❑ 250 chercheuses/chercheurs
- ❑ 56 équipes
- ❑ 5 instituts CNRS : INP, INC, INSU, INEE et INSIS
- ❑ 2 partenaires : IFREMER et ANSES



<https://www.gdr-po.cnrs.fr>



3^{ème} rencontre GDR Polymères et Océans

27 juin au 1^{er} juillet 2022 - BREST

Plastiques,
Changement de cap !

Les rencontres nationales, BREST 2022

Jeudi 30 juin et vendredi 1er juillet 2022

