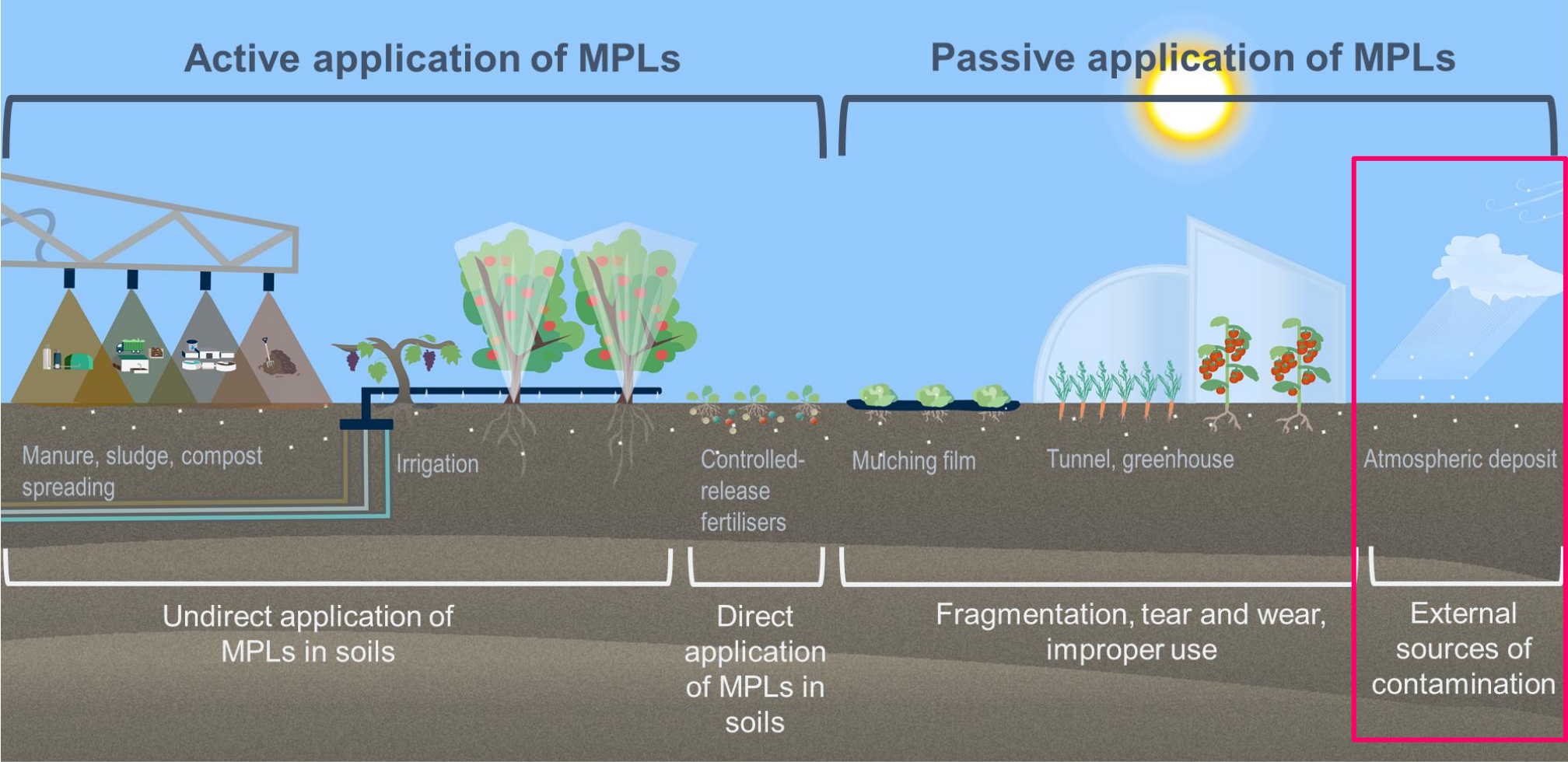




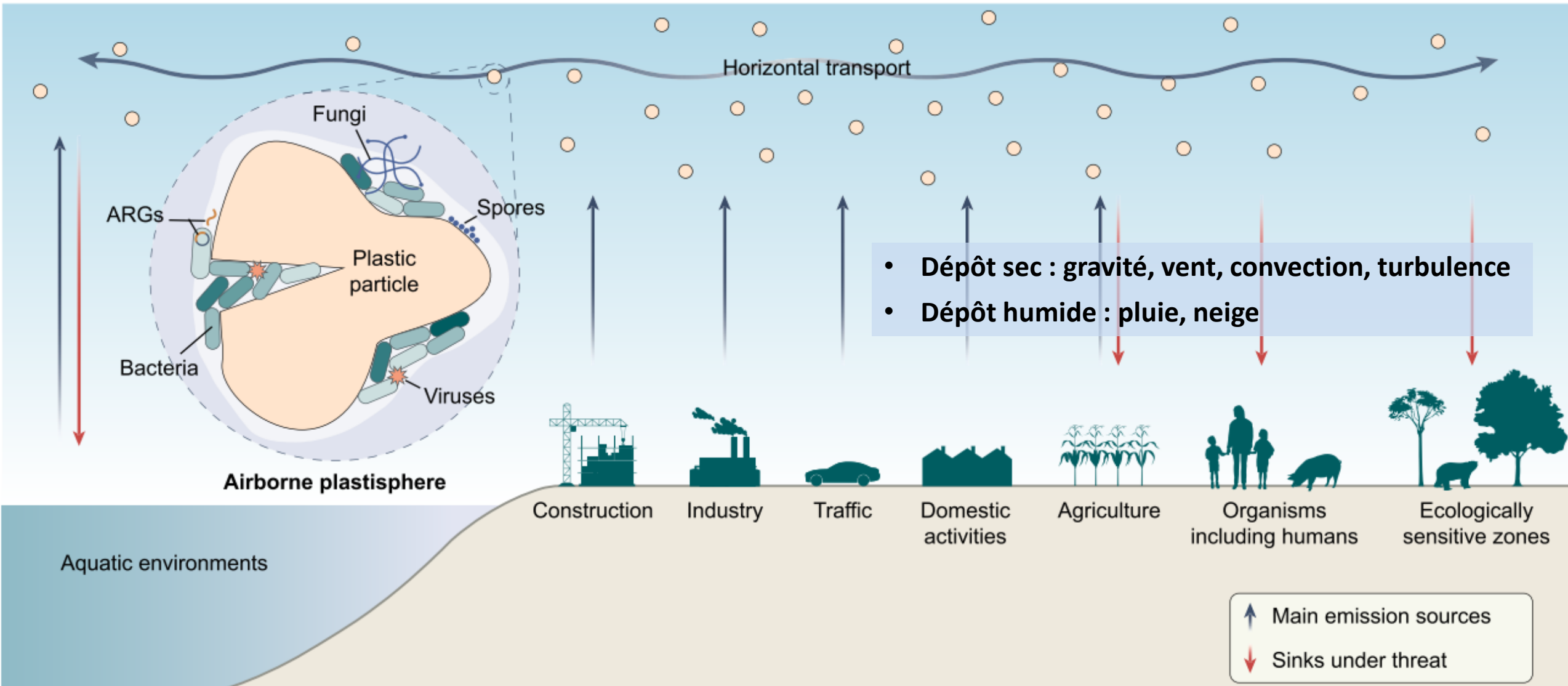
Migration des microplastiques vers les sols : le cas des dépôts atmosphériques

Yves Brunet

De quoi parle-t-on ?



Le cycle atmosphérique des microplastiques



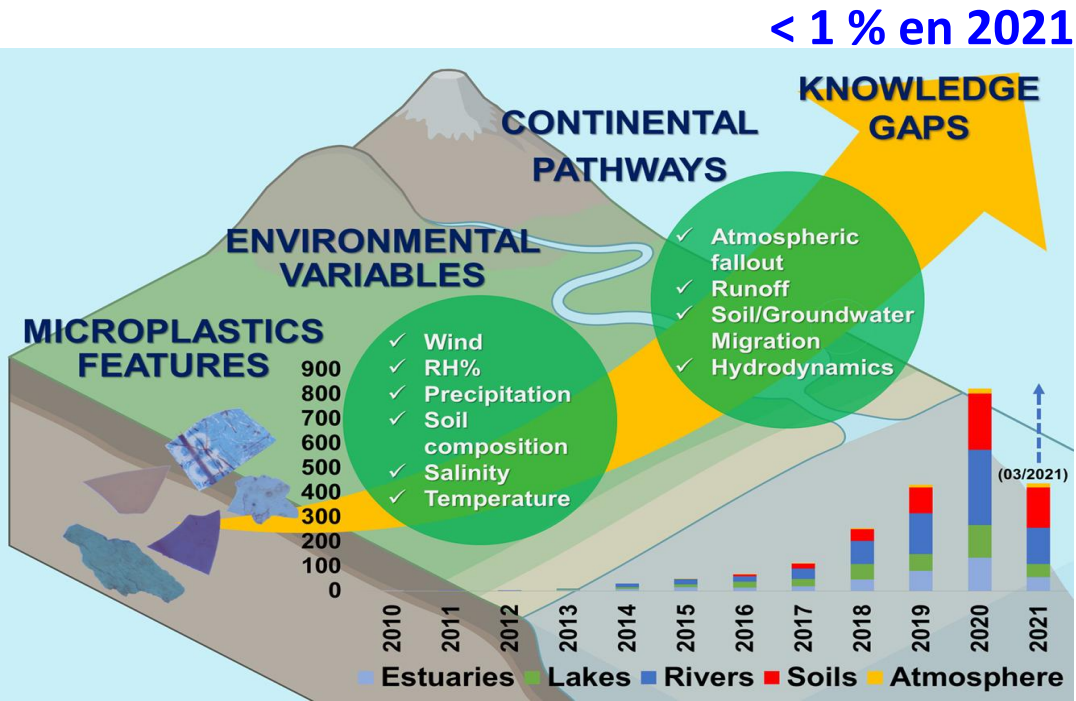
Un compartiment important, mais oublié ?

B. Tassin - CSA Extended Report

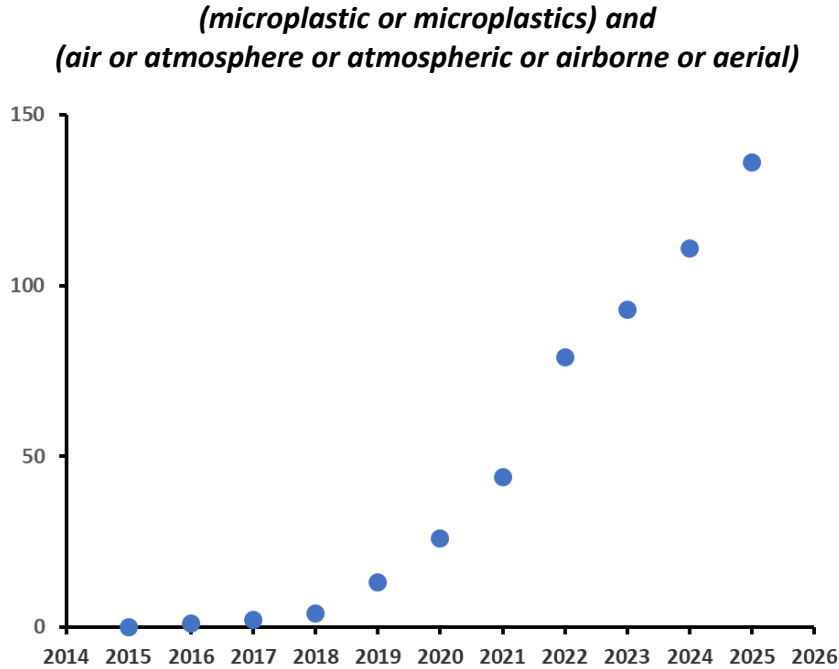
Origin of contamination	Order of magnitude of contamination (MPLs·ha ⁻¹ ·yr ⁻¹)	
	Minimum	Maximum
Irrigation (wastewater)	millions	thousands of millions
Atmospheric deposits	hundreds of millions	thousands of millions
Sludge application	tens of millions	hundreds of millions
Manure application	millions	tens of millions

Based on the sources most frequently cited in the literature

Expertise collective :
1 page sur 1500

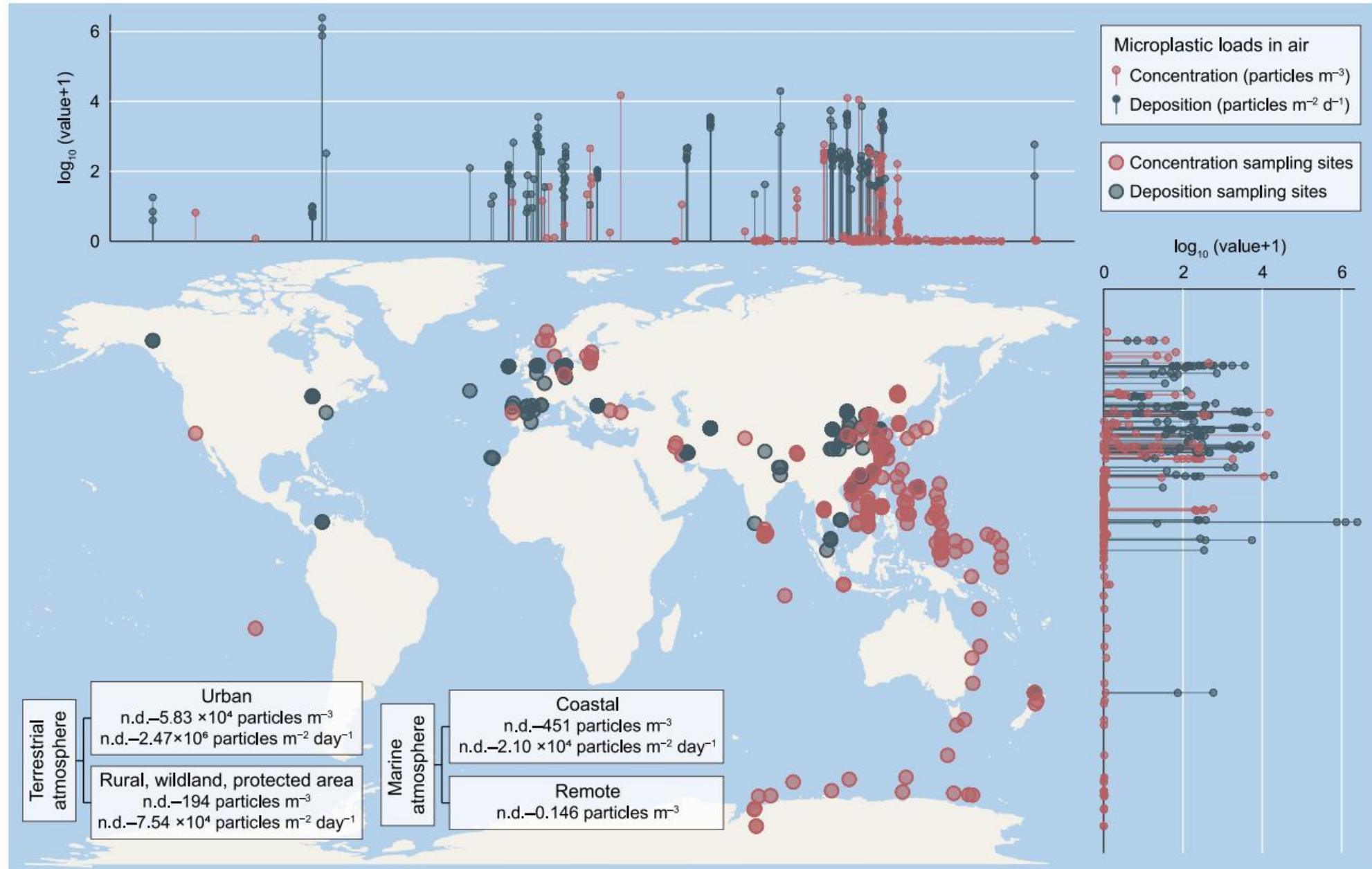


Alfonso et al. (2021)



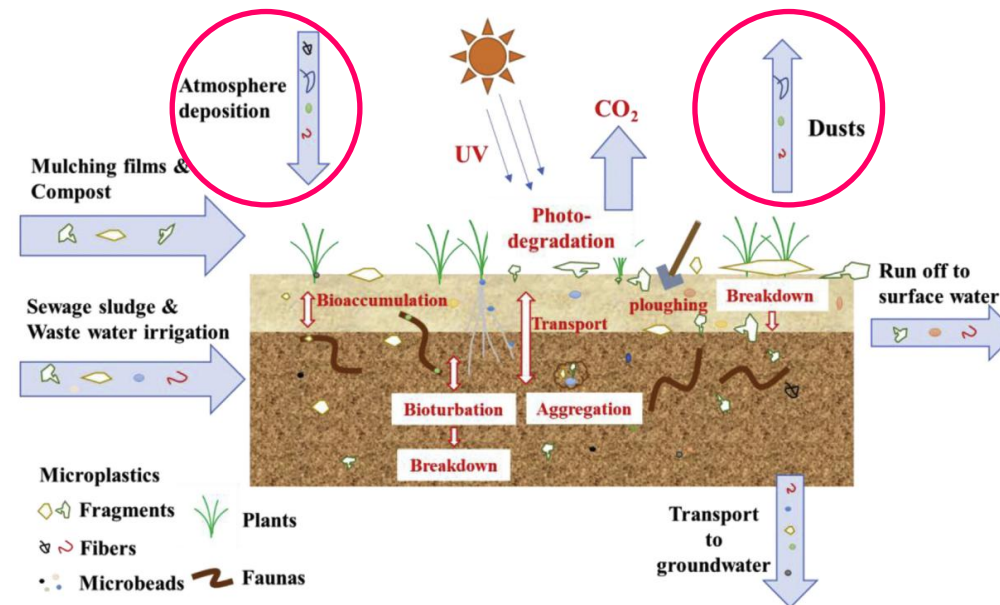
≈ 500
↓
≈ 100

Études récentes



Des études disparates

- Urbain
 - Air intérieur
 - Océan
 - Zones éloignées
 - Agriculture
- **Santé humaine** (contaminants émergents, inhalation, alvéoles pulmonaires...
> 13 % des $PM_{2,5}$ à Shanghai = MP, > 10^4 PM m^{-3})
 - **Préoccupation environnementale de longue date** (1970s)
 - **Pollution terrestre** (déserts, arctique/antarctique, glaciers...)
 - **Dépôts, émissions** (attention portée sur les plastiques d'origine agricole)
 - **Idée que le dépôt est préférentiellement urbain**



Tian et al. (2022)

- **Protocoles hétérogènes**

- Sites (urbain >> rural, paysages très différents...)
- Durées de suivi souvent courtes
- Rôle de la saison, météo...
- Transport proche/lointain

- **Comparaisons difficiles**

- Technique de collecte (seuil de coupure)
- Flux (émission, dépôt : $\text{MP/m}^2/\text{j}$) vs. Concentration aérienne (MP/m^3)

- **Des parties du cycle**

- Dépôt >> émission
- Transport ou non (reconstitution du trajet des masses d'air par modélisation)

Que trouve-t-on dans l'air ?

- **Types de MP**

- Fibres (rapport L/l > 3)
- Films (2D, faible épaisseur)
- Fragments
- (mousse, perles, granulés)

- **Origine**

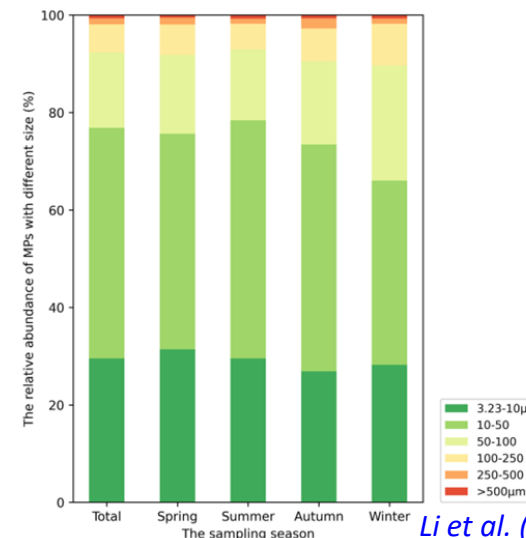
- En majorité industrie du textile synthétique (Chine)
- Décharges, incinération de déchets plastiques
- Peintures, adhésifs, électronique...
- Frottement pneus/route
- Usages agricoles (films mulch, tunnels...)
- Resuspension

- **Nature chimique**

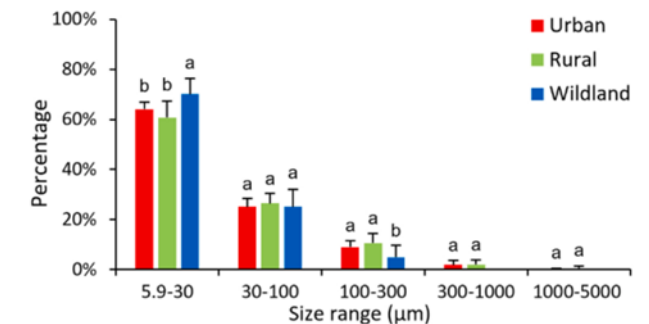
- PE, PET, PA, PS, PP, PU, PAC, PVC...
- Rural : PET (films agricoles...)
- Urbain : PE (sacs plastiques, isolation...) et EVOH (trafic, industrie...)

- **Taille**

- Prédominance des petites fractions

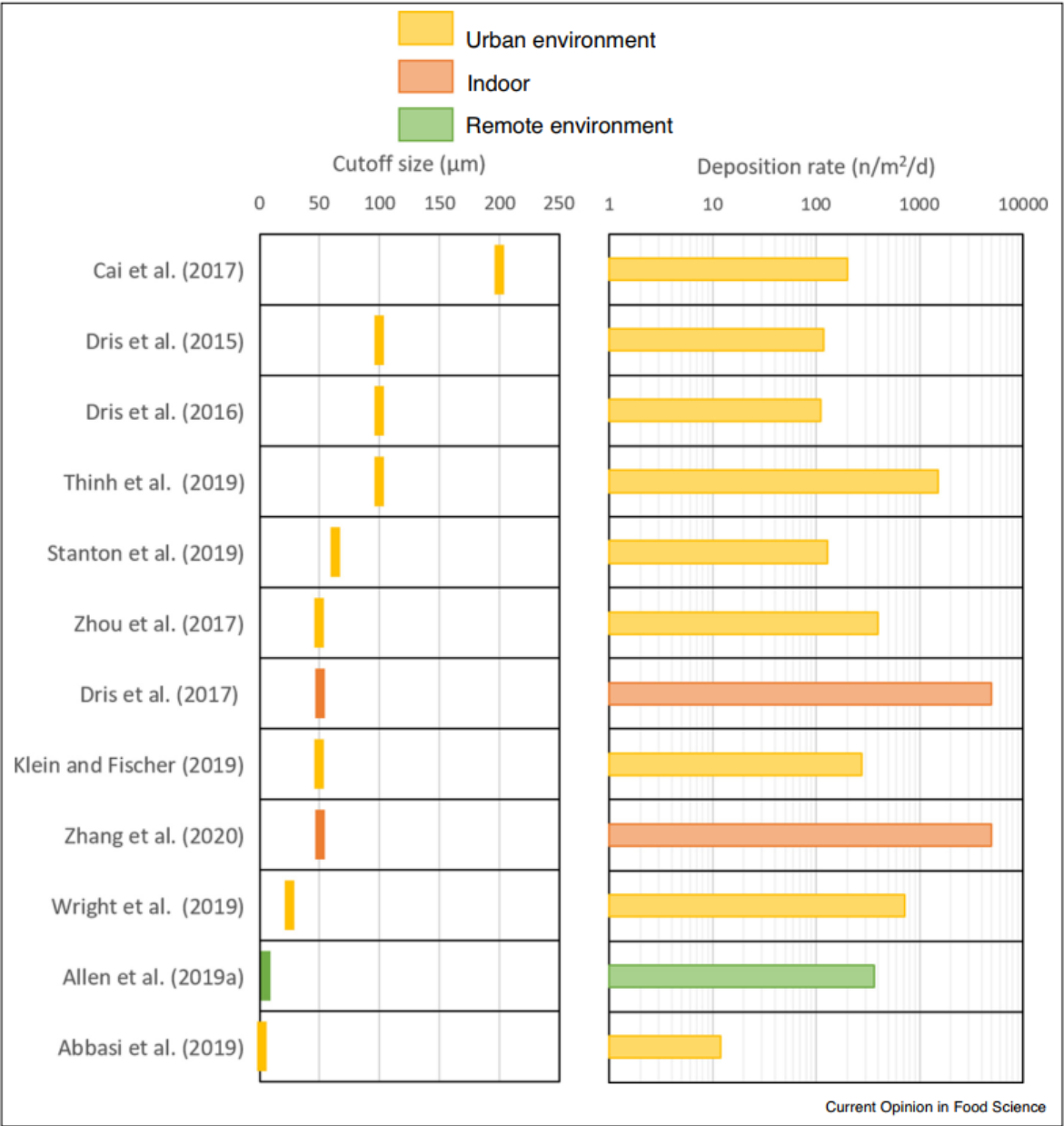
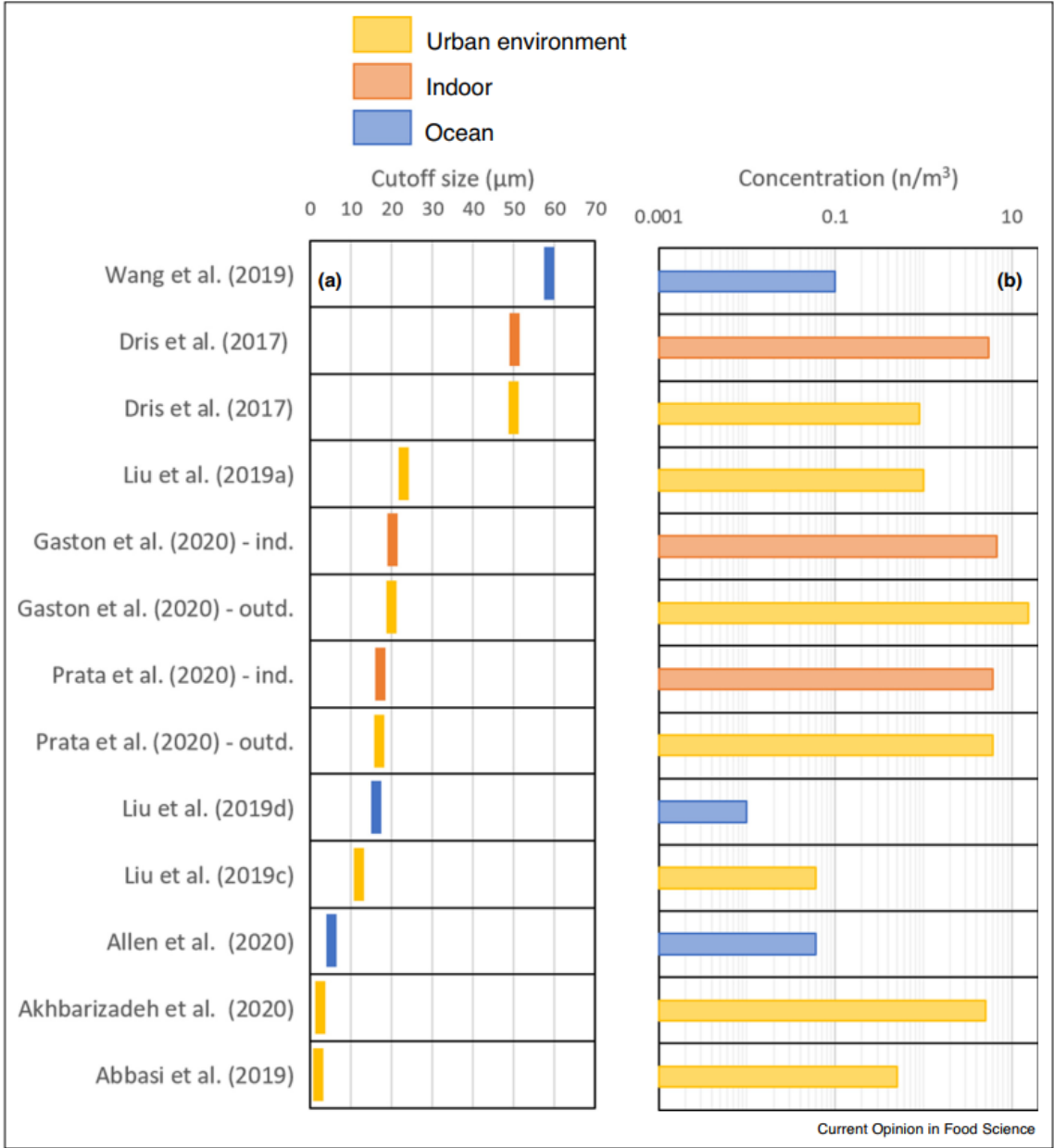


Li et al. (2023)



Luo et al. (2024)

Concentration aérienne et dépôt



Lieu	MP m ⁻² j ⁻¹	MP m ⁻² j ⁻¹	Sites	Référence
Paris (FR)	29-280	110	Ville, banlieue, forêt	Dris et al. (2015)
Hamburg (D)	136-512	275	Ville, banlieue, rural	Klein , Fischer (2019)
Beijing (CHN)	67-461	236	Ville, rural, forêt	Zhang et al. (2023)
Oxford (UK)	12-500	118, 71, 91	Gradient urbain-rural	Adediran et al. (2026)
Guilin wetlands (CHN)	33-218	99	Zone humide, ville	Zhang et al. (2025)
Thulamela (ZA)	90-355	212	Ville, rural, forêt	Mutshevkwa et al. (2025)
Auckland (NZ)	73-19500	4885	Centre, parc	Fan et al. (2022)
London (UK)	575-1008	771	Centre ville	Wright et al. (2020)
Quzhou county (CHN)	86-75421	-	Zone rurale	Li et al. (2023)
Pyrénées (FR)	-	365	Bassin versant 1425 m	Allen et al. (2019)

B. Tassin - CSA Extended Report

Origin of contamination	Order of magnitude of contamination (MPLs·ha ⁻¹ ·yr ⁻¹)	
	Minimum	Maximum
Irrigation (wastewater)	millions	thousands of millions
Atmospheric deposits	hundreds of millions	thousands of millions
Sludge application	tens of millions	hundreds of millions
Manure application	millions	tens of millions

Based on the sources most frequently cited in the literature

$300 \text{ MP m}^{-2} \text{ j}^{-1}$
 $\approx 1,1 \cdot 10^9 \text{ MP ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$

Exemple 1 : Luo et al. (2024)

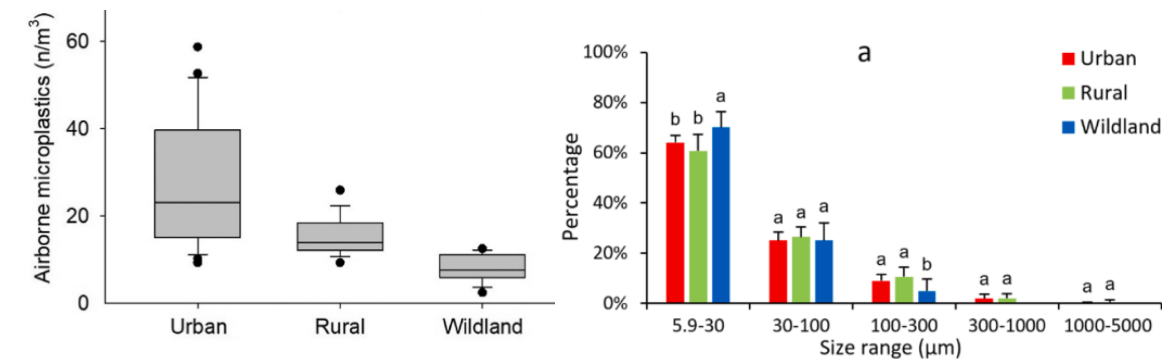


• Plateau tibétain

- 24 sites (9 urbains, 7 ruraux, 8 naturels)
- Seuil de coupure : $5,9 \mu\text{m}$
- Calcul de rétro-trajectoires
- 3 x quelques jours (août-octobre)
- Aucune pluie, vent faible ($< 2 \text{ m/s}$)
- Seulement concentration (MP/m^3)

• Résultats

- MP dans les 54 échantillons ($2.5\text{-}58,8 \text{ MP/m}^3$)
- Urbain $>$ rural $>$ naturel
- Forte variabilité intra- et inter-groupes
- 89 % $< 100 \mu\text{m}$, 65 % $< 30 \mu\text{m}$
- Surtout fragments
- Surtout PET, PE, PA, PS
- Hausse avec population, baisse avec l'altitude
- Origine préférentielle : qq dizaines de km



Exemple 2 : Allen et al. (2019) [*le plus cité*]

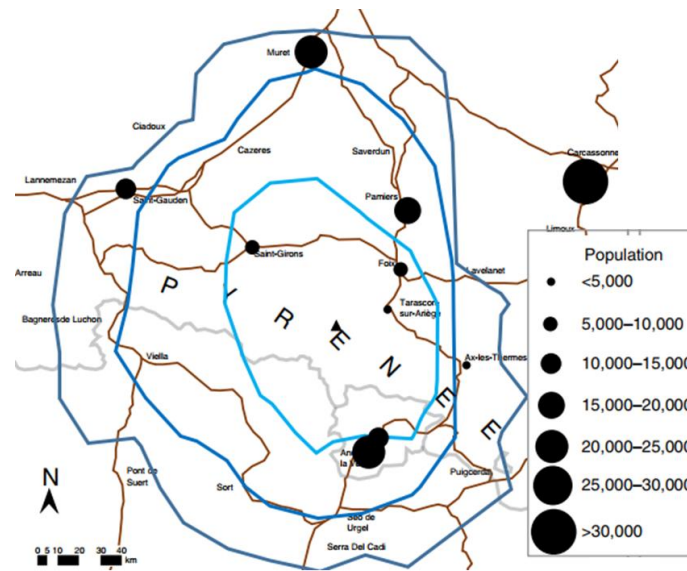
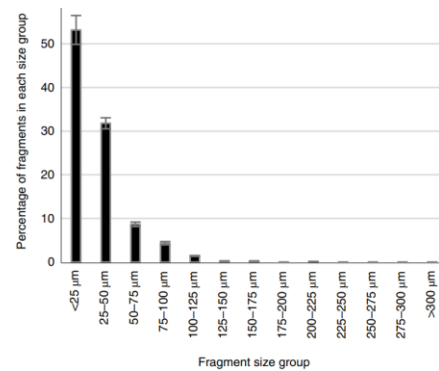
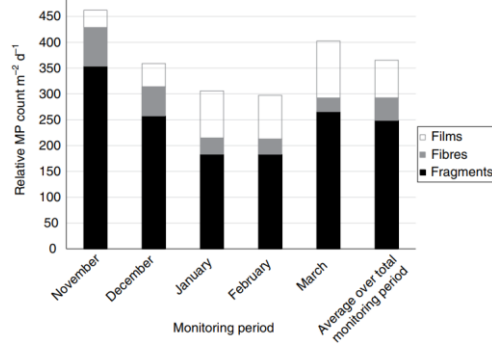


- **Bassin versant pyrénéen**

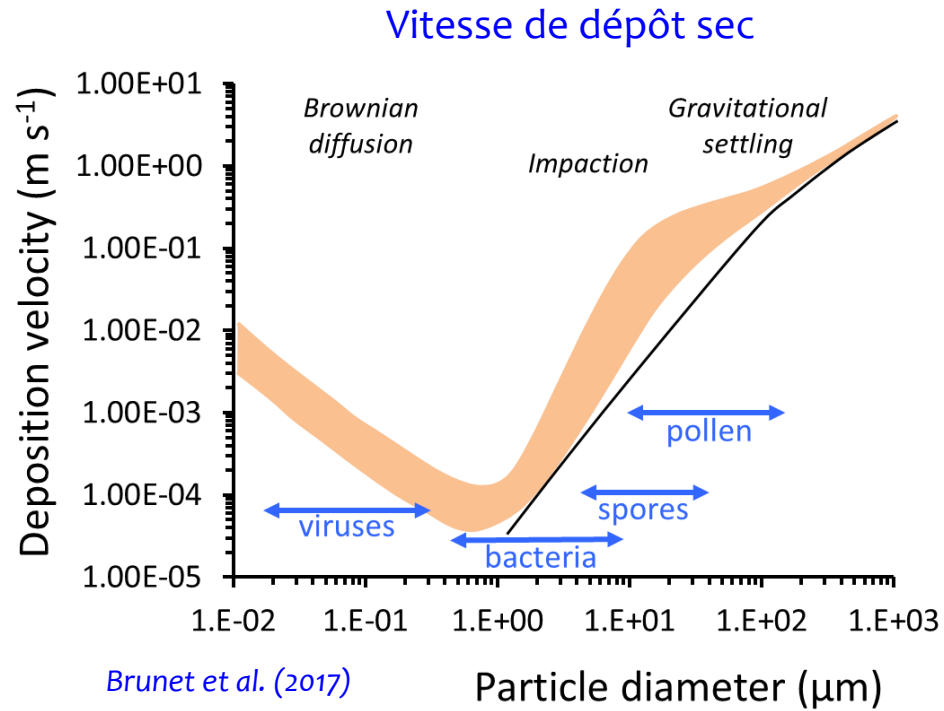
- 1 site de montagne isolé (1425 m)
- 5 mois de mesures, bonne variabilité météo
- Seuil de coupure $\approx 5 \mu\text{m}$
- Mesures de dépôts
- Calcul de rétro-trajectoires
- Pas de distinction dépôt sec/humide

- **Résultats**

- Dépôt moyen : $365 \text{ MP m}^{-2} \text{ j}^{-1} (\pm 69)$
- Corrélation > 0 avec pluie et neige (intensité)
- Corrélation > 0 avec vitesse et direction du vent
- MP : surtout des fragments de petite taille
- PS, PE, PP
- Pas de preuve de transport à longue distance, mais $> 100 \text{ km}$



Transport et dépôt des microplastiques

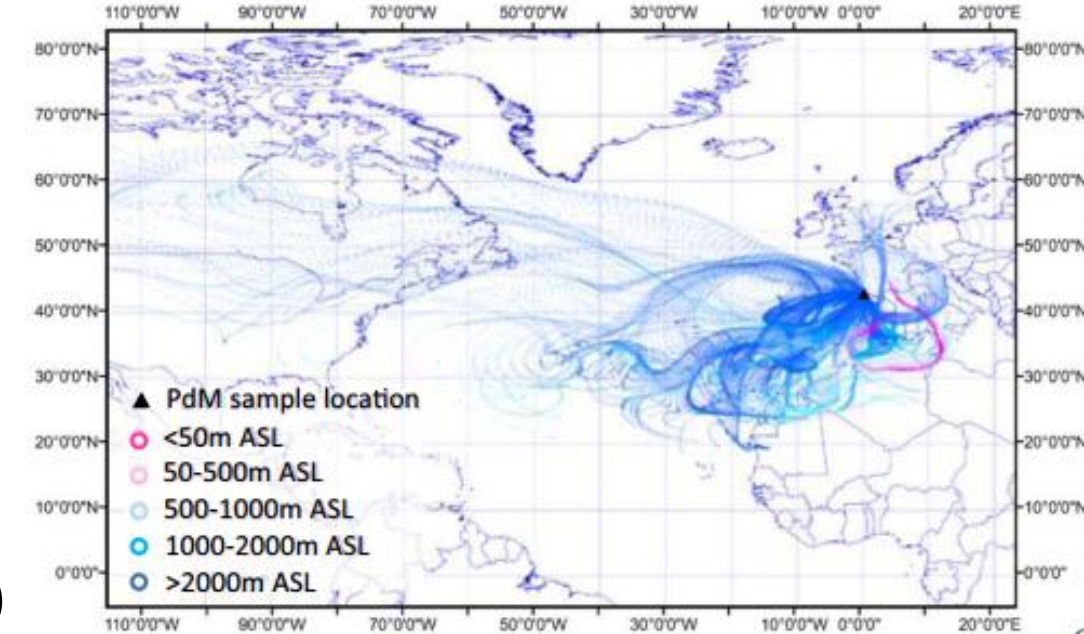


Influence de la densité : pour une même taille, la densité augmente la vitesse de dépôt

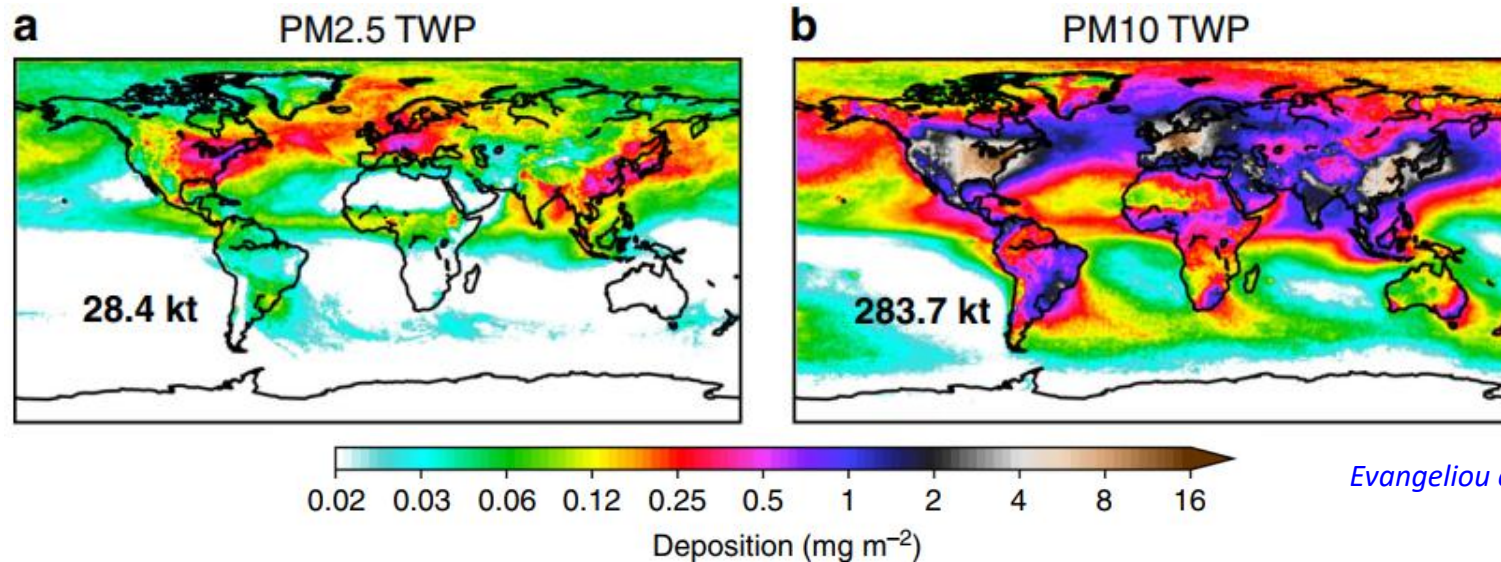
- PP, PE $< 1 \text{ g/cm}^3$
- PET $\approx 1,37 \text{ g/cm}^3$
- Poussières : $2,65 \text{ g/cm}^3$

Transport et dépôt des microplastiques

- La vitesse de dépôt : poids, densité, forme
- Petites tailles : temps de suspension le plus long, transport possible à très longue distance (dispersion ubiquiste, globale : glaces arctiques, haute montagne, océans...)
- Exemple de mesures au Pic du Midi de Bigorre (2877 m, dans la troposphère libre) : une partie des MP collectés résultent de transport intercontinental et transocéanique.
- Calculs globaux de dépôt des MP issus du trafic (pneus, freins)



Allen et al. (2021)



Evangelidou et al. (2020)

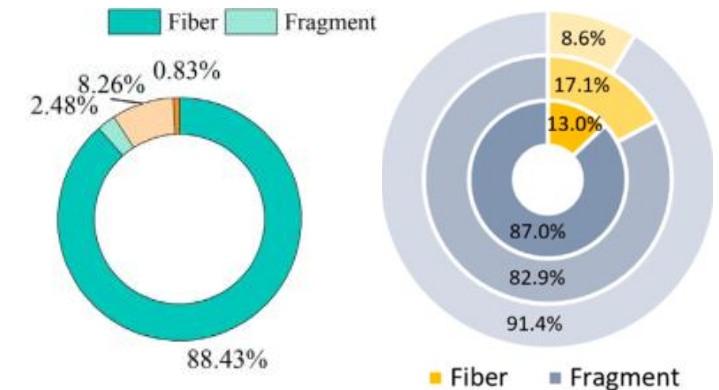
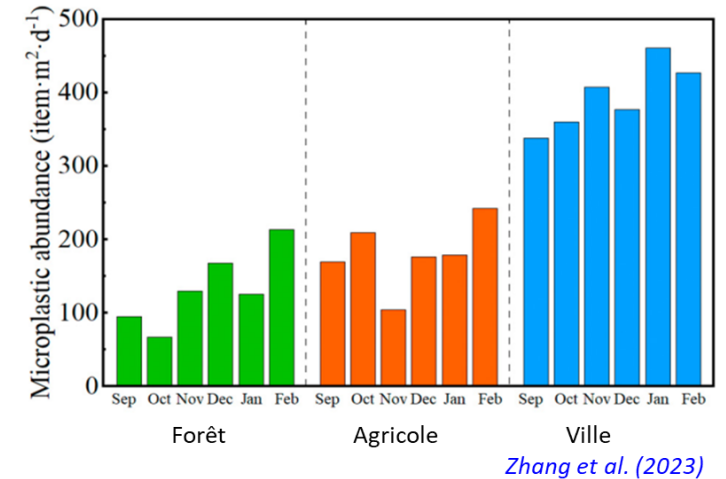
Facteurs de variation

- **Globalement**

- Corrélations avec densité de population, saison, conditions météo (pluie, direction et vitesse du vent)

- **Localisation**

- Souvent : **urbain** > **rural** (Dris et al 2016, Luo et al 2024, Zhang et al 2023, Zhang et al 2025)
- Parfois : **rural** > **urbain** (Klein & Fisher 2019, Adediran et al 2026). Transport depuis la ville, effets locaux du vent et de la direction, effet des arbres, présence d'une autoroute...
- Rural : diminution avec la distance aux zones urbaines denses et avec l'altitude (Capozzi et al 2023, Luo et al 2024)
- Combinaison de la répartition des émissions (sources très variables) et des voies de transport → grande variabilité
- Villes denses : forte proportion de fibres (vêtements), ailleurs : forte proportion de fragments (dégradation, usure, taille plus petite...)



Facteurs de variation

- **Vent**

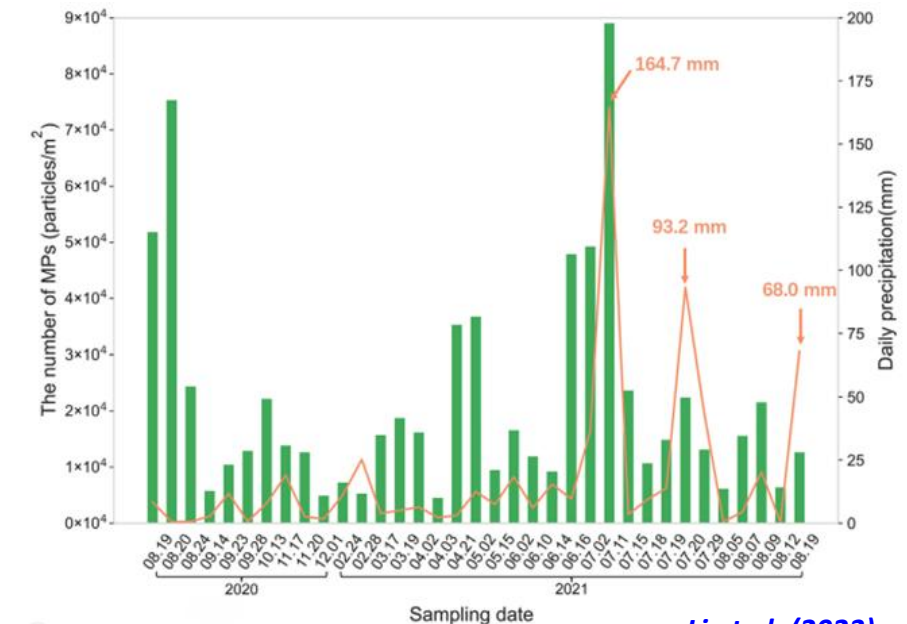
- Augmentation du dépôt avec vitesse de vent forte, certaines directions (sources régionales)
- Mais parfois baisse du dépôt avec vitesse de vent forte (resuspension, Zhang et al 2013)

- **Humidité**

- Une forte humidité peut entraîner une agrégation des MP

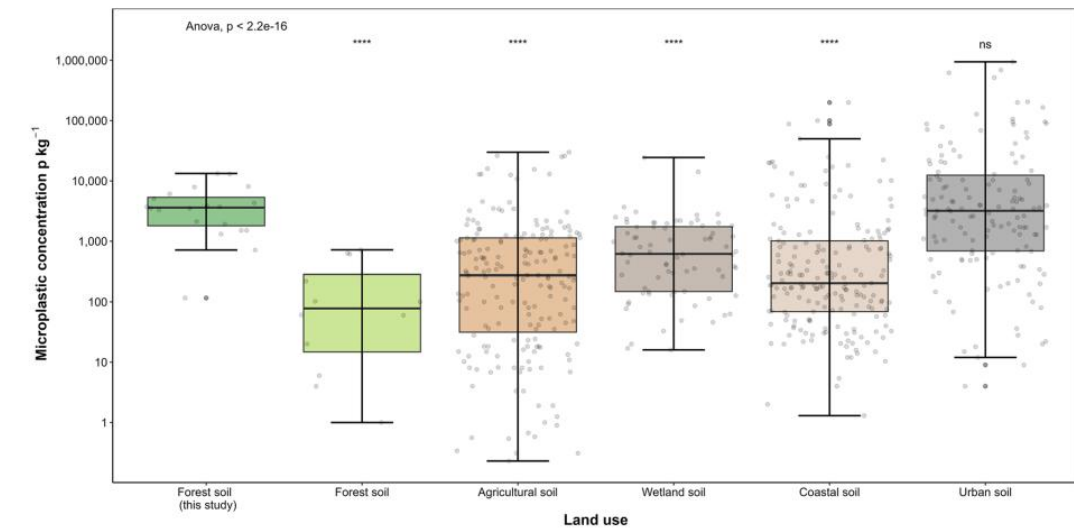
- **Précipitations**

- Pas de corrélation (Zhang et al 2023)
- Corrélation avec intensité et durée (Zhang et al 2025)
- Impact d'une forte précipitation, la durée ne joue guère (Dong et al 2021, Huang et al 2022)
- Parfois : baisse du dépôt avec précipitation (élimination ailleurs)



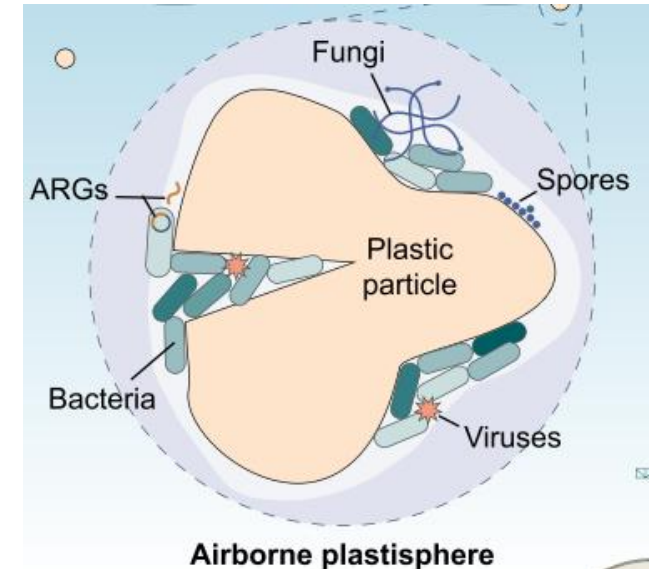
Et les sols forestiers ?

- Forêts : un puits relativement peu étudié
- Apport atmosphérique essentiel (peu de sources directes : manchons plastiques pour jeunes plants, décharges, activités de plein air)
- Forêts : bons attracteurs
 - Turbulence plus active, dépôts plus importants pour une même concentration atmosphérique
 - Effet de filtre par les feuilles, donc dépôt direct au sol + interception par feuillage avec lessivage ultérieur
- Forêt : plus de dépôts que sols agricoles (même ordg que sols urbains), mais dépend de leur éloignement



Weber, Bilgake (2025)

- **Inhalation** directe
- MP : habitat spécifique pour les **microorganismes**
 - la « plastisphère » aérienne :
plastique + bactéries, virus, spores, gènes AR... + micro-environnement
 - écologie microbienne de la plastisphère
 - temps de résidence longs (jours, semaines)
 - possibilité de dispersion à (très) longue distance



Changchao et al. (2025)

Recommandations : de nombreux besoins

- **Standardisation des mesures** (limites de détection, séparation des dépôts secs et humides...)
- **Suivis à long terme** : réseaux de capteurs, biomonitoring (mousses)
- Mesures en **zones agricoles**
- Liens avec les **conditions météorologiques** et autres facteurs
- Quel est le poids réel des dépôts atmosphériques sur la teneur des sols en MP, par rapport aux autres sources ?

