



Microplastique dans les STEP

Adriano Joss, Ralf Kägi
Process Engineering Department

5. Octobre 2023, grese, Lausanne

Le plastique a changé notre vie ...

Production de masse de plastiques dès les années 1950

2018: production globale de 360 millionen tonnes

Une production énorme

Le plastique a changé nos vies parce qu'il est bon marché, polyvalent et durable

5 billions de particules de plastique dans les océans du monde entier

5 - 13 millions de tonnes par an rejetées dans les océans du monde entier

Des émissions énormes

Le plastique change l'environnement parce qu'il est bon marché, polyvalent et durable

Eriksen, M., et al. 2014. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. Plos One, 9(12): e111913.

Plastic Europe – the Facts 2019. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2019

Jambeck, J. R., et al. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, 347(6223): 768–771.

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances, 3(7): e1700782.

Qu'est-ce que les STEP éliminent ?

Review

Between source and sea: The role of wastewater treatment in reducing marine microplastics

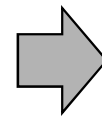
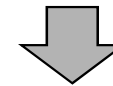
Shirra Freeman^{a,b}, Andy M. Booth^{c,*}, Isam Sabbah^{d,e}, Rachel Tiller^c, Jan Dierking^f, Katja Klun^g, Ana Rotter^g, Eric Ben-David^d, Jamileh Javidpour^h, Dror L. Angel^{i,a}

Wastewater treatment plants (WWTPs) are a focal point for the removal of microplastic (MP) particles before they are discharged into aquatic environments. WWTPs are capable of removing substantial quantities of larger MP particles but are inefficient in removing particles with any one dimension of less than 100 µm, with influents and effluents tending to have similar quantities of these smaller particles. As a single WWTP may release >100

Plastics are well known to occur in WWTPs that serve to collect and treat municipal sewage and trade wastes.^{3,60,63,76}

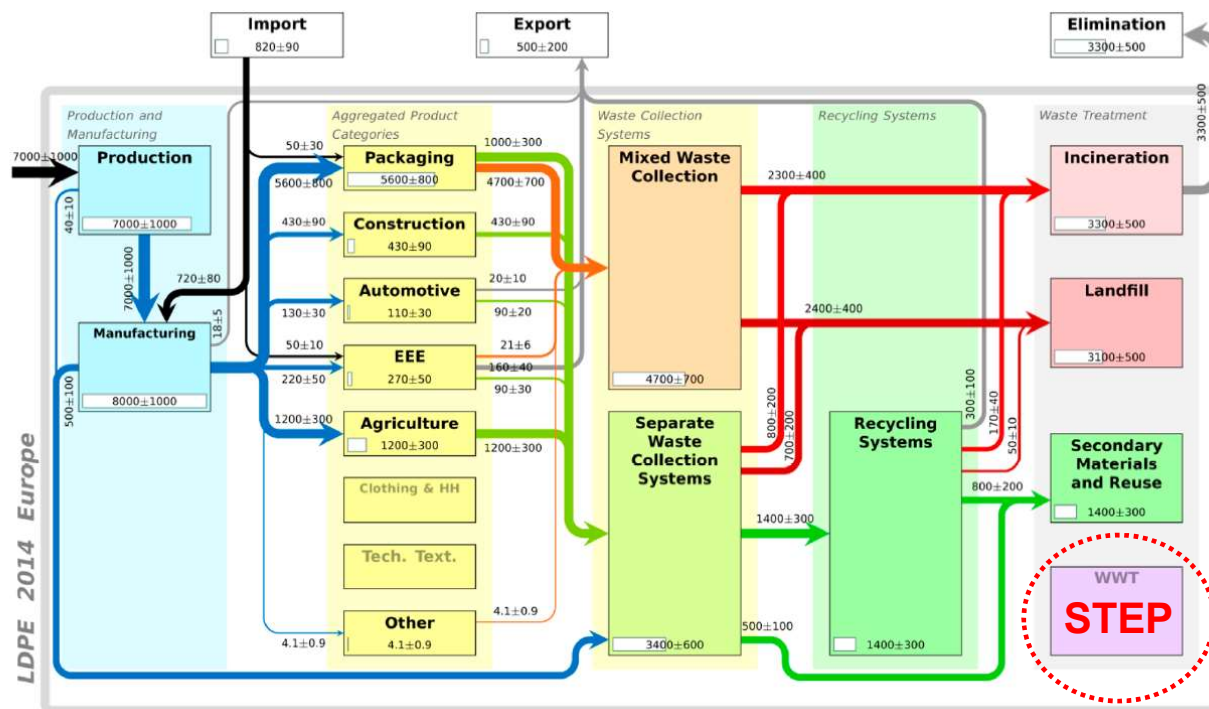
However, conventional and advanced wastewater treatment processes are ineffective at removing plastics^{63,77} and, as a result, environmental plastic pollution occurs through the constant discharge of treated wastewater into waterbodies (5%) as well as the re-use of biosolids (95%) (treated sewage sludge).⁶³ The analyzed bioplastics, particularly PLA, have

Okoffo, E. D., Chan, C. M., Rauert, C., Kaserzon, S., & Thomas, K. V. 2022. Identification and Quantification of Micro-Bioplastics in Environmental Samples by Pyrolysis–Gas Chromatography–Mass Spectrometry. *Environmental Science & Technology*.



« Les STEP ne sont pas conçues pour les microplastiques »
est-ce vrai ?

Où va le plastique ?



Production élevée

Le microplastique est mal éliminé par les STEP

Quantités négligeables dans les eaux usées



Qu'est-ce qui est vrai maintenant ?

... Presque pas de plastique dans les eaux usées...

Contenu

Quantités en circulation

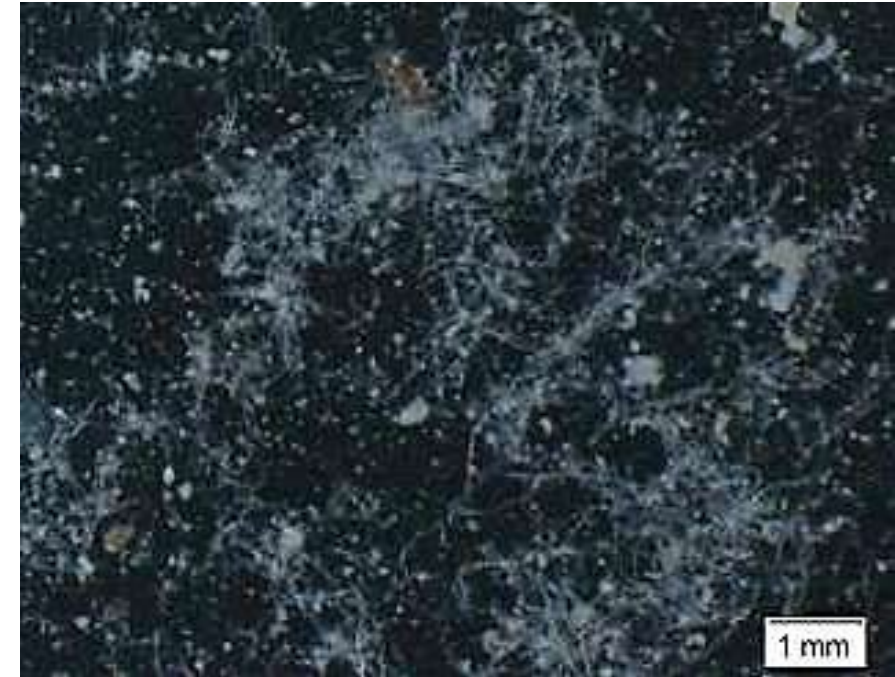
Definition: nanoplastique, microplastique, macroplastique

Elimination des STEP

Autres sources de microplastiques

Microplastique: preuve de la toxicité ?

Conclusion



Quantités de plastique

Production mondiale de plastique : $360 \cdot 10^6$ tonnes/a = 360'000'000 t/a

~50 kg/personne/an

3e matériau le plus abondant fabriqué par l'homme (après l'acier et le béton)

Au niveau mondial : 60% de la production émise dans l'environnement

Moyenne mondiale des déchets plastiques : 0,4 g/m²/an

Mais les déchets plastiques ne sont **pas répartis uniformément**

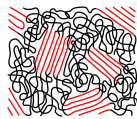
**Localement:
la pollution plastique est un problème
Plastocène = notre époque?**



Définition de nano-, micro- et macroplastique

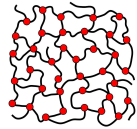
Matières plastiques : par caractéristique

Thermoplastiques :



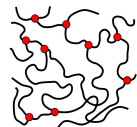
Polyéthylène
Polypropylène
Polystyrène
Polychlorure de
vinyle (PVC)

Duroplastiques :



Résines:
- Polyuréthane
- Époxydes

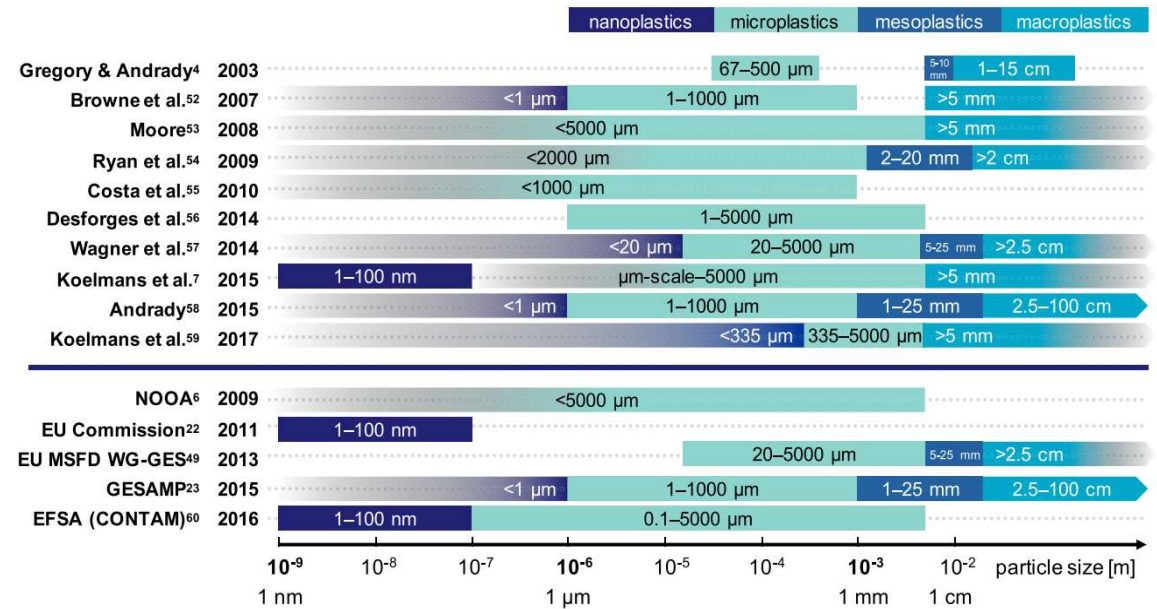
Élastomères :



Caoutchouc:
- Pneus (60%)
- Gants
- Néoprène

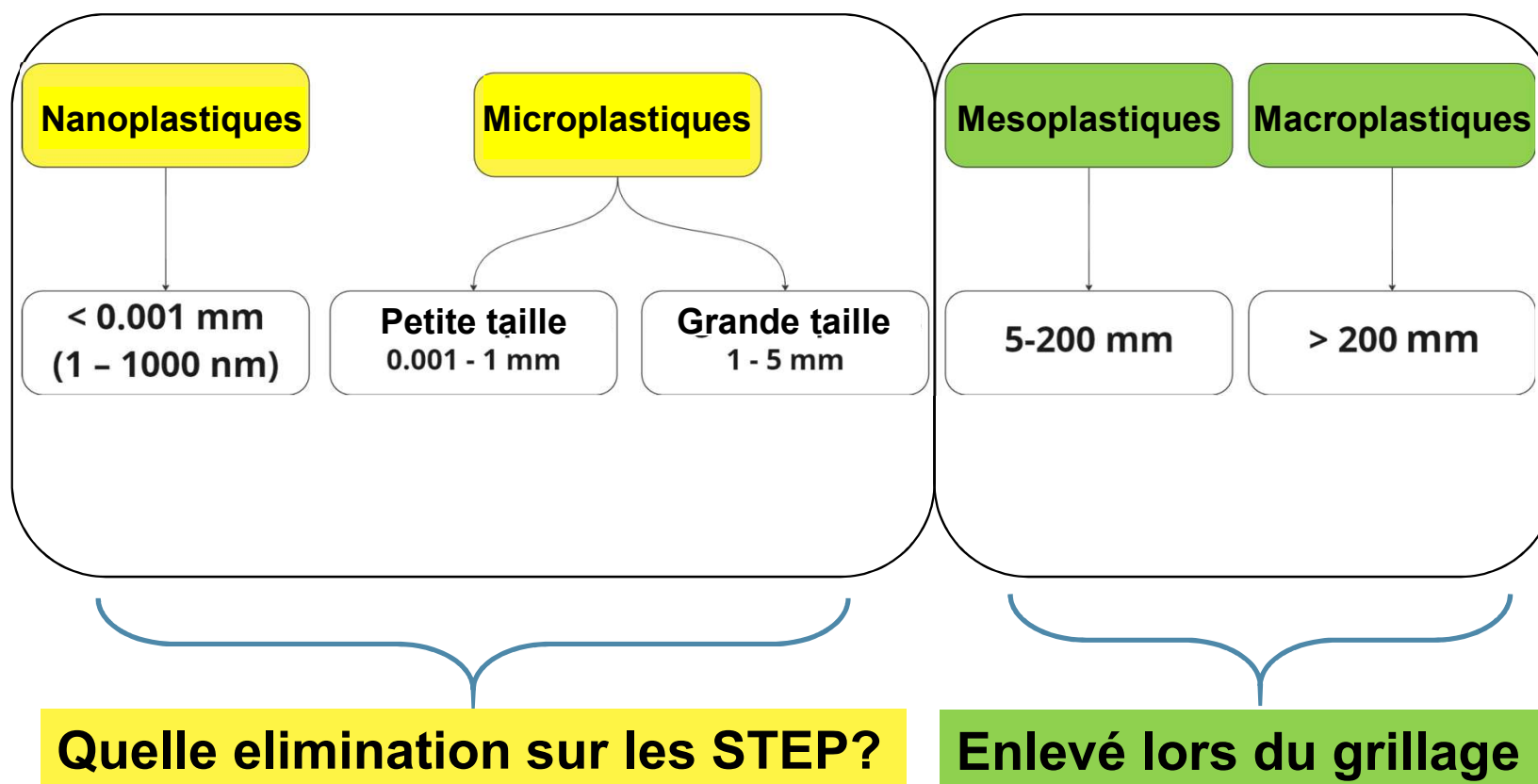
Von Roland.chem - Eigenes Werk, CC0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=37866505>

Particules de plastiques : par taille

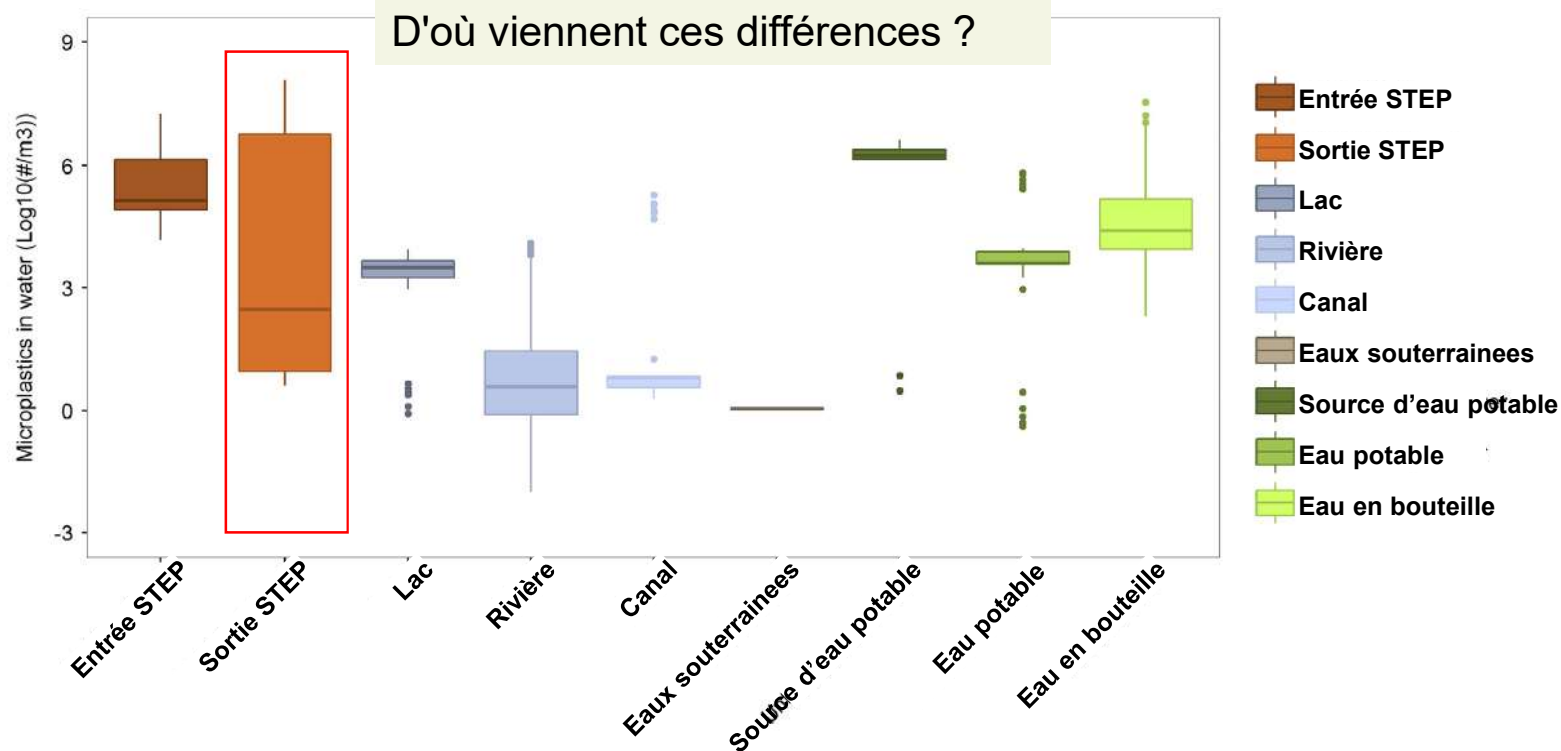


Hartmann, et al., Environ. Sci. Technol. 2019, 53, 1039.

Définition de nano-, micro- et macroplastique



Comparabilité des études

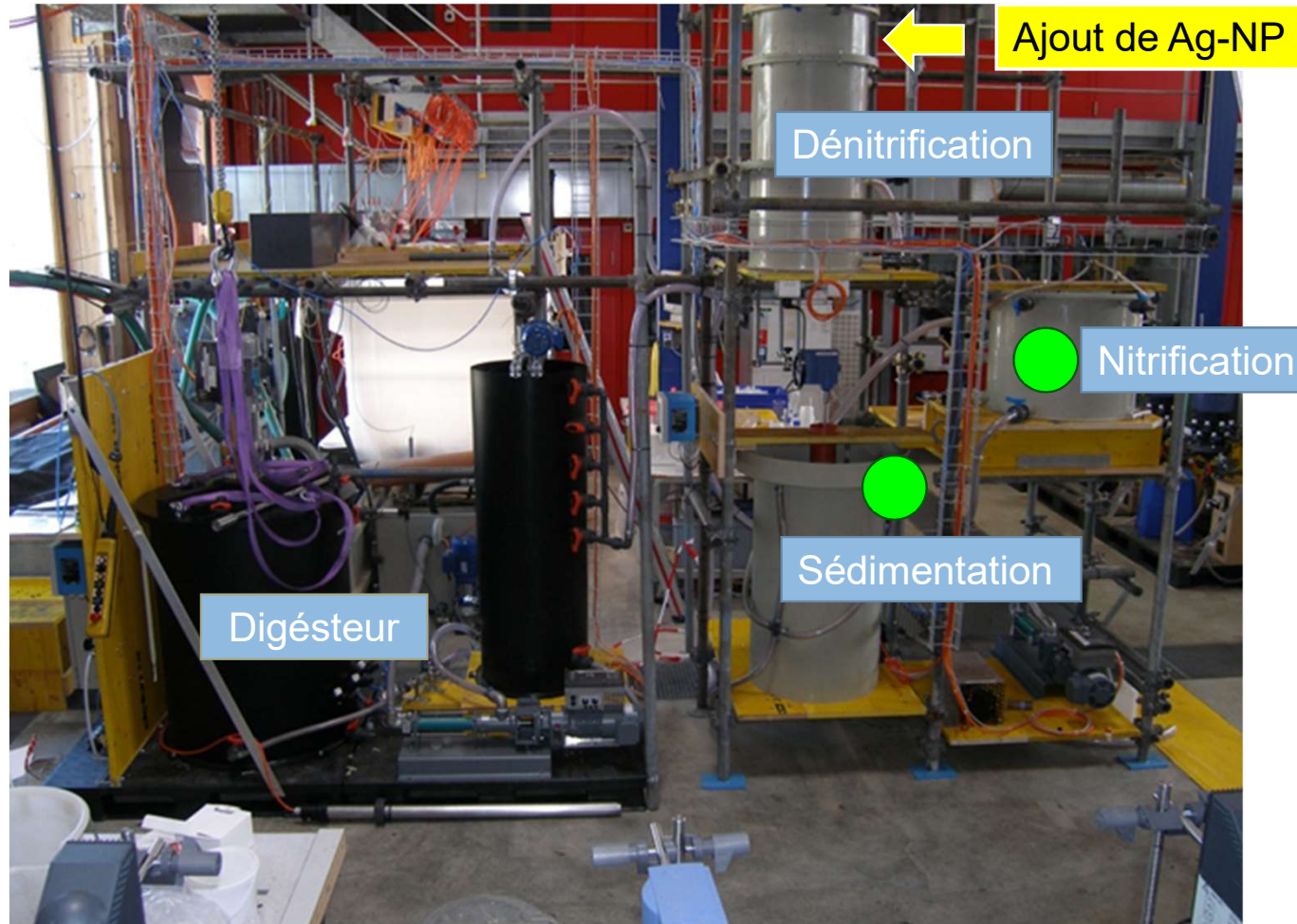


Six ordres de grandeur : est-ce plausible ?
Est-ce dû aux méthodes analytiques ?

Le problème : grande imprécision des analyses des NP dans des échantillons complexes (par exemple, les boues d'épuration).

Solution : Essais au long terme avec ajout de NP à l'échelle pilote pour limiter la consommation de NP

Etude sur l'élimination des nanoparticules d'argent (Ag-NP) **eawag** aquatic research ooo



● Site d'échantillonnage

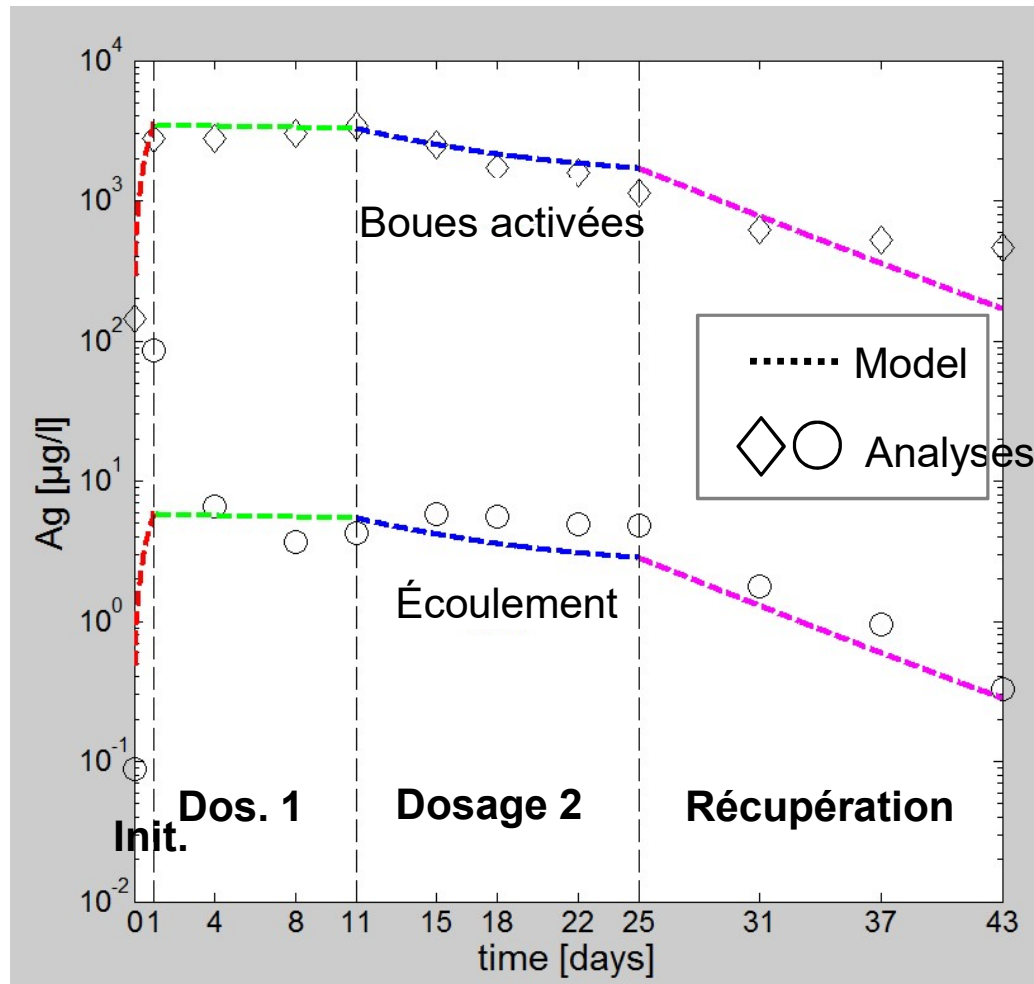
Etude sur l'élimination des nanoparticules d'argent (Ag-NP) **eawag** aquatic research

Dosage initial
(1 jour, 2400 µg/l)

Dosage 1
10 jours, 130 µg/l, 1 m³/d

Dosage 2
10 jours, 130 µg/l, 2.2 m³/d

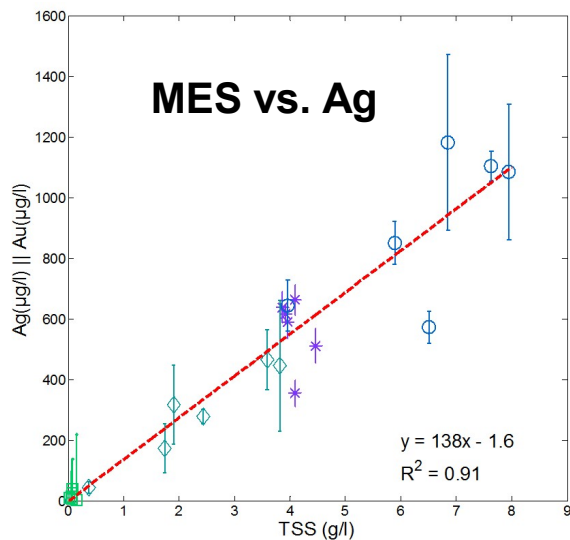
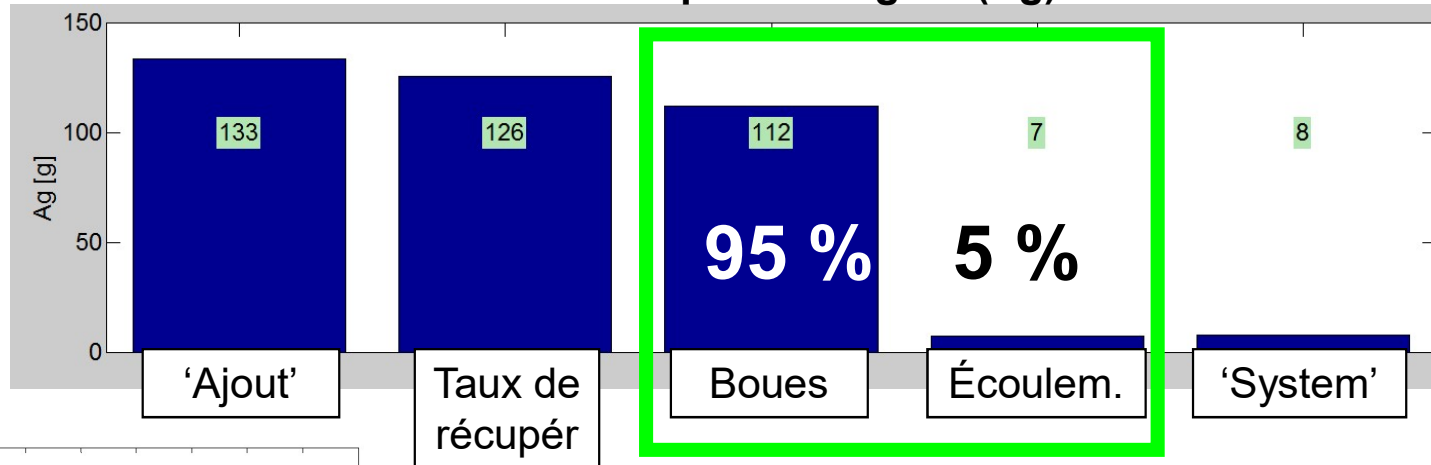
Récupération
24 jours, pas de Ag ajouté



Kaegi, R., et al. 2011. *Environmental Science and Technology*, 45(9): 3902–3908.

Etude sur l'élimination des nanoparticules d'argent (Ag-NP) **eawag** aquatic research

Bilan massique de l'argent (Ag)

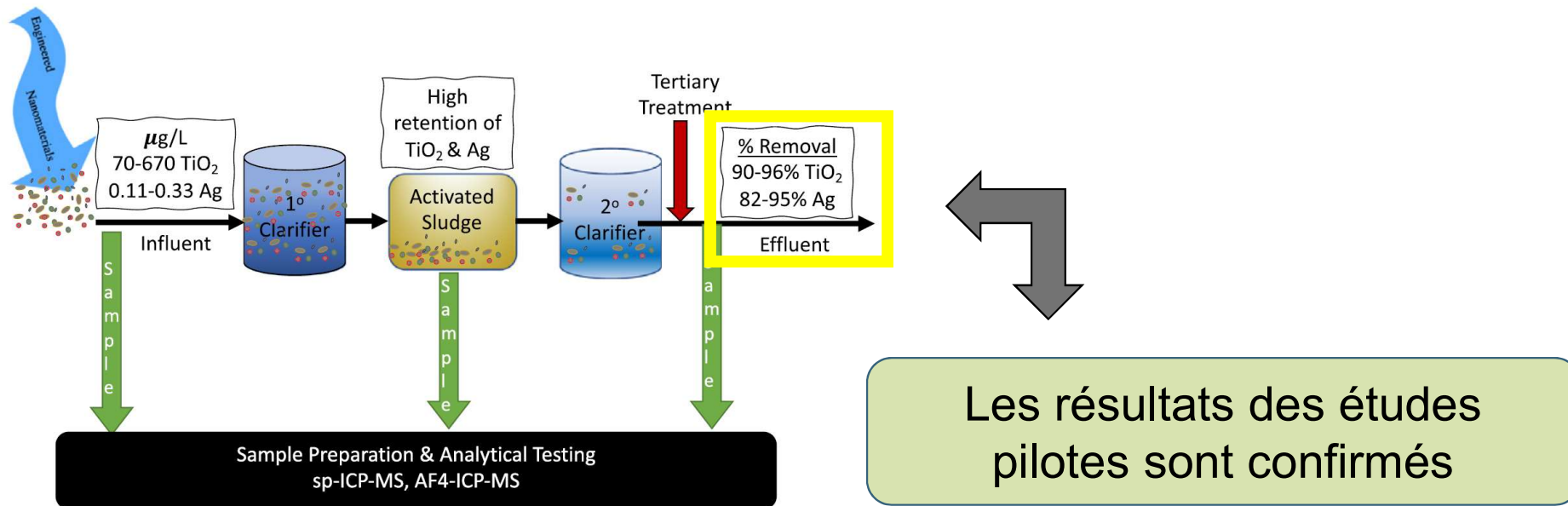


- **Sédiments**
- ◇ **Intermédiaire**
- **Phase liquide**
- ✱ **Boues**

Dosage Ag : 150µg/g(MS)

Les Ag-NP adhèrent aux boues
→ Taux d'élimination comparable des MES et Ag-NP

Confirmation à l'échelle réelle : Ag et TiO₂ se comportent de la même manière

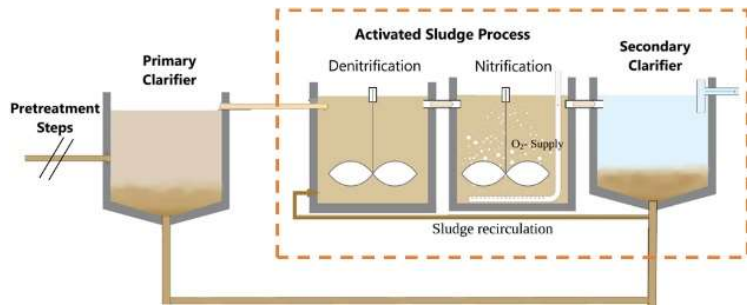


Nabi, M. M., Wang, J., Meyer, M., Croteau, M.-N., Ismail, N., et al. 2021. Concentrations and size distribution of TiO₂ and Ag engineered particles in five wastewater treatment plants in the United States. *Science of The Total Environment*, 753: 142017.

Nanoplastiques : Même démarche

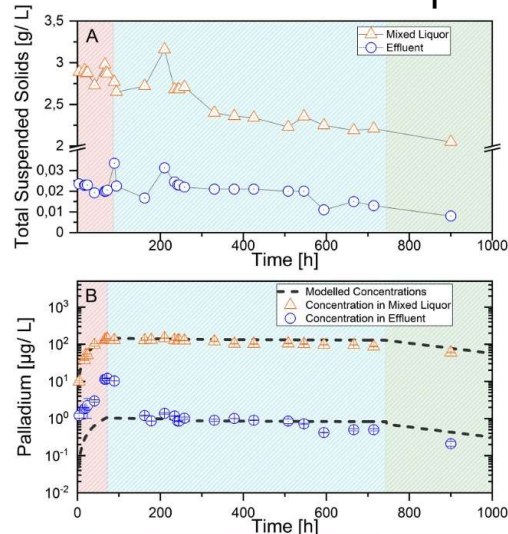
eawag ooo

Nanoplastique
marqué au Pd

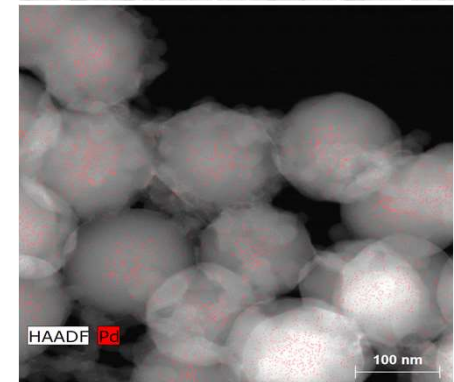
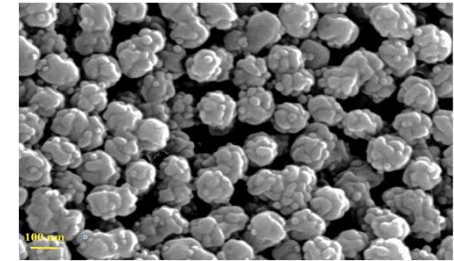
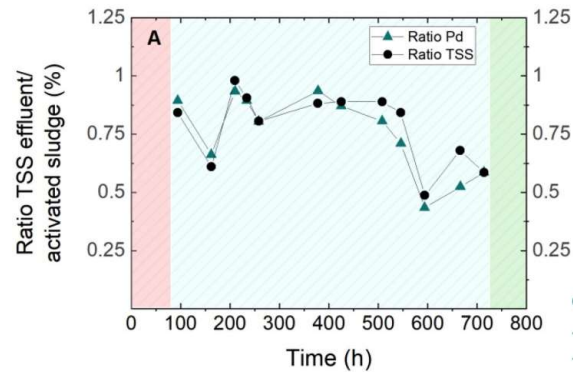


Parameter	Value (average)	Unit
Pilot Scale WWTP Physical Set-up		
Non-aerated tank	92	L
Aerated tank	147	L
Secondary clarifier	150	L
Wastewater inflow	23.5	L/h
Excess sludge removal	17.5	L/d
Hydraulic retention time	16.9	h
Sludge age	15.8	d

MES et Pd vs durée experim.



Corrélation des MES avec Pd

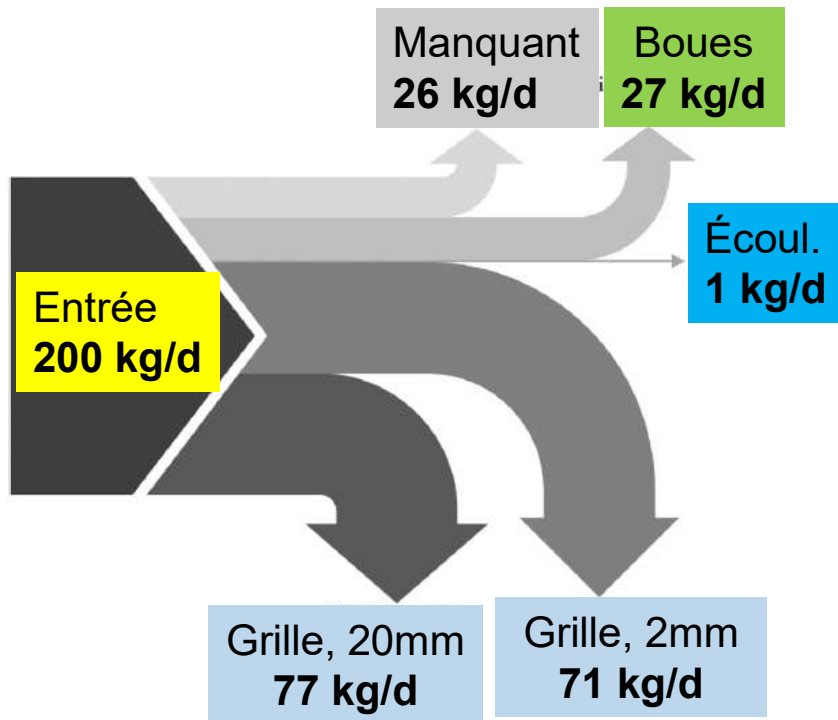


Mitrano, D. M.; et al.,
Nature Nanotechnology
2019, 14, 362-368.

Frehland, S., Kaegi, R., Hufenus, R., & Mitrano, D. 2020.
WATER RESEARCH, 182.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115860>.

→ élimination Pd suit les boues...
...donc aussi les nanoplastiques

Confirmation : étude de microplastiques sur STEP **eawag** aquatic research



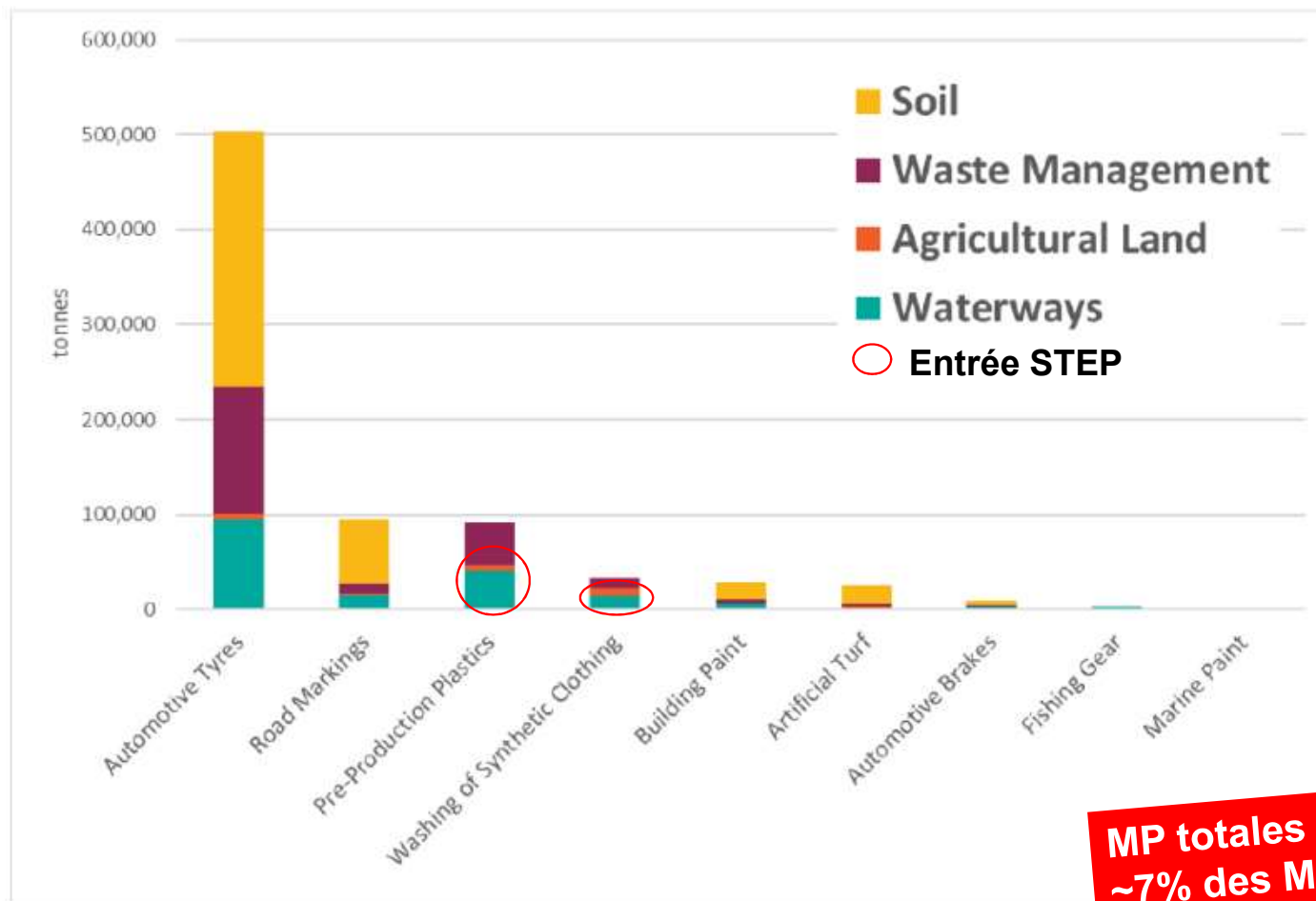
Sample	Concentration [average (\pm SD)]			Flow [average (\pm SD)]	
	10-500 μ m	>500 μ m			
Influent wastewater	63.41 (\pm 28.60)	93.33 (\pm 161.66)	μ g L ⁻¹	3.60 (\pm 0.51)	m ³ s ⁻¹
Effluent	0.88 (\pm 0.55)	1.51 (\pm 0.35)	μ g L ⁻¹	3.49 (\pm 0.08)	m ³ s ⁻¹
Digested sludge	305.34 (\pm 166.85)	264.32 (\pm 304.72)	μ g g ⁻¹ DW	7.97 (\pm 1.11)*	ton DW h ⁻¹
20 mm bar screen	25.26 (\pm 34.39)	n/a	mg g ⁻¹	90 (\pm 70)	kg h ⁻¹
2 mm bar screen	26.47 (\pm 26.60)	0.96 (\pm 1.29)	mg g ⁻¹	81 (\pm 54)	kg h ⁻¹

> 99% élimination

~ 1 μ g/L dans l'écoulement

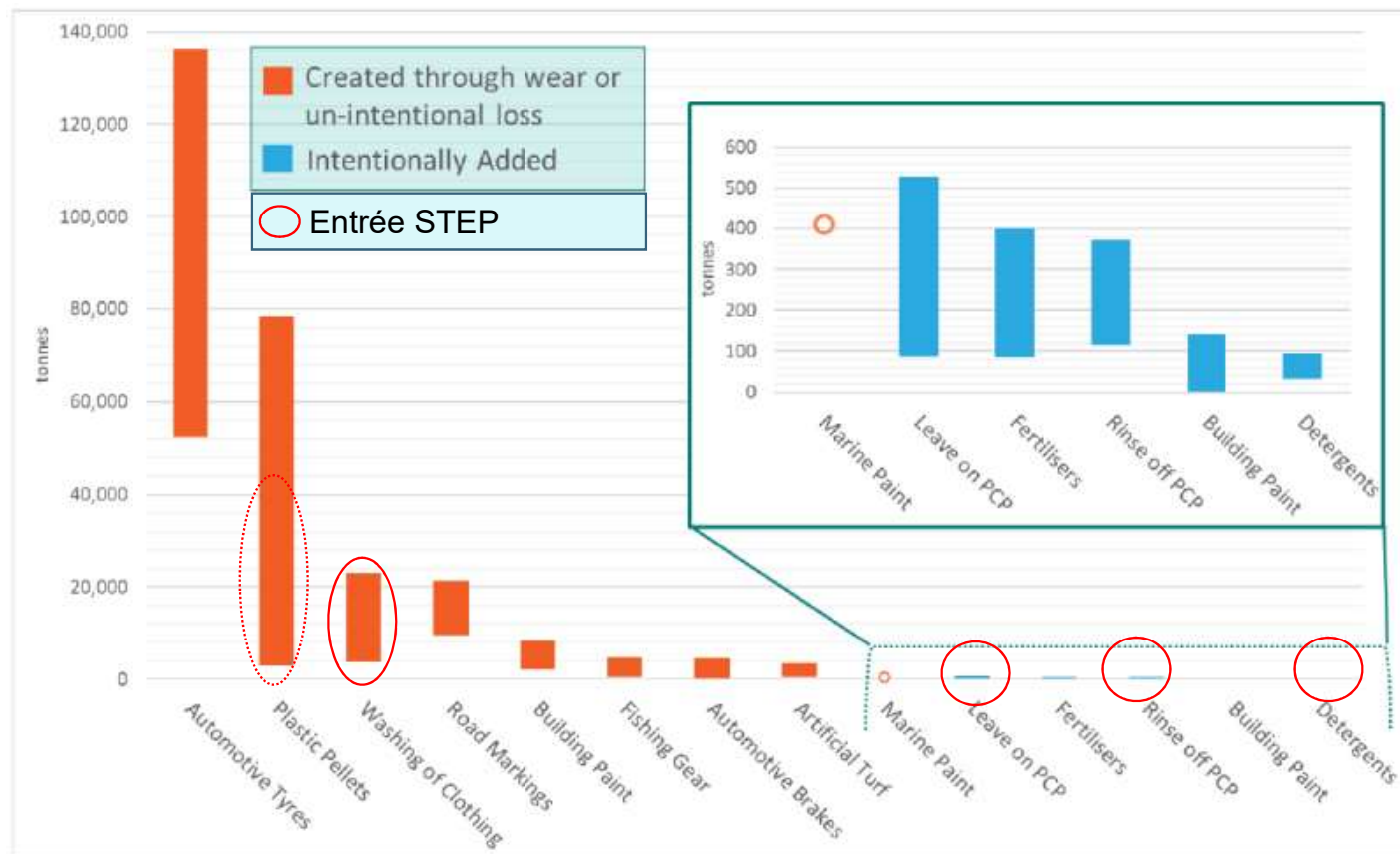
~ 0.5g/kg dans les boues

Source de microplastiques (MP)



**MP totales émises: 1 kg/personne/an
~7% des MP entrée STEP (≈70 g/P/a)**

Source de microplastiques (MP)



Production de MP: <math><0.05\%</math> des plastiques rejetés dans l'environnement
 ➤ **La principale source de MP est la désintégration des macroplastiques**

Mécanismes de toxicité discutés des MP ?

1. Toxicité directe des MP ?

Les MP ne représentent généralement qu'une très faible proportion des particules et des colloïdes.

En laboratoire : effets toxiques uniquement à des concentrations >1000 fois plus élevées.

Le plastique est généralement une substance inerte et non toxique, pourquoi cela devrait-il changer pour les PM ?

2. Les plastifiants et les additifs sont toxiques ?

Les additifs ont fait l'objet de tests de toxicité. Si ceux-ci sont toxiques, ils doivent être remplacés (mesure à la source).

3. Substances dissoutes s'adsorbent sur les MP et sont absorbées avec les MP ?

Même en tant que microparticules, le plastique n'est généralement pas un très bon sorbant.

Évaluation toxicologique manquante : l'exposition aux MP est-elle suffisante pour augmenter de manière significative le transport de substances dissoutes dans les organismes ?

Je ne m'attendrais à des effets toxiques que là où les MP sont très fortement enrichies.

Conclusion

- **De grandes quantités de plastique** sont **déversées dans l'environnement** chaque année.
 - Les problèmes sont attendus là où ils s'accumulent.
- **Dans les STEP, les NP et les MP sont largement absorbées par les boues.**
 - C'est pourquoi la rétention des MES et des MP est corrélée.
 - Elimination MP sans filtre é sable: 95%, avec filtre é sable $\geq 99\%$
- **L'usure des pneus** et la **décomposition des macroplastiques** émettent > 100 x plus de MP que les STEP
- Jusqu'à présent, on ne sait pas clairement **où et comment les MP des STEP causent des dommages**
 - Micropolluants et microplastiques: ordre de grandeur $\mu\text{g/L}$ en sortie STEP
 - La toxicité des micropolluants est considérée comme beaucoup plus élevée à des concentrations comparables.
- **Données de la littérature: quantités et élimination des MP varient sur plusieurs ordres de grandeur**
 - Une raison: des méthodes d'analyse inappropriées.

Merci!



Publications complémentaires

- Cabernard L, Durisch-Kaiser E, Vogel J-C, Rensch D, Niederhauser P, 2016, Mikroplastik in Abwasser und Gewässer, Aqua&Gas 7/8
- Conley K, Clum A, Deepe J, Lane H, Beckingham B, 2019: Wastewater treatment plants as a source of microplastics to an urban estuary: Removal efficiencies and loading per capita over one year, Wat. Res. X(3)
- Eunomia, Hann S, Sherrington C, Jamieson O, Hickman M, Kershaw P, Bapasola A, Cole G, 2018, Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionally added in) products, DG Environment of the European Commission
- Europ. Commission SAM, 2019: Environmental and Health Risks of Microplastic Pollution, ISBN 978-92-76-02423-1
- Hu Y, Gong M, Wang J, Bass A., 2019, Current research trends on microplastic pollution from wastewater systems: a critical review, Rev Environ Sci Biotechnol 18:207–230
- Metcalf & Eddy, Tchobanoglous G, Stensel HD, Tsuchihashi R, Burton F, 2014, Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery, 5th ed. Mc Graw Hill
- Prata JC, 2018, Microplastics in wastewater: State of the knowledge on sources, fate and solutions, Marine Pollution Bulletin 129: 262-265