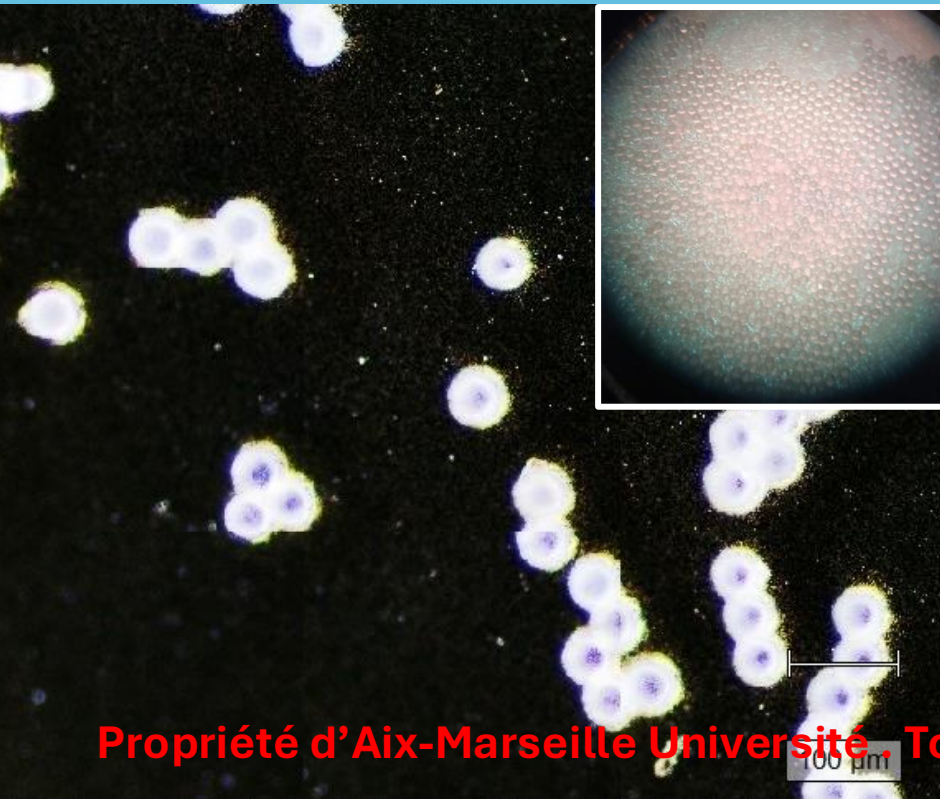


Rétention des microplastiques dans les eaux et les effluents par les procédés membranaires

Jiaqi Yang, Mathias Monnot, Philippe Moulin

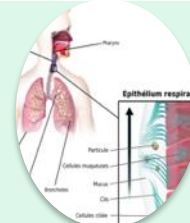


**Journée d'automne du Club d'Expertise Chimique
de Méditerranée
9 octobre 2026, Vallauris**

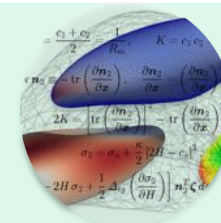
Propriété d'Aix-Marseille Université. Toute reproduction même partielle interdite.



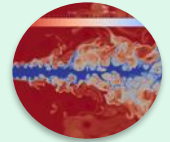
- 2 sites : Marseille et Aix-en-Provence
- 50 doctorants et post-doctorants pour 50 permanents
- Plusieurs thématiques de recherche en
 - **Mécanique des fluides**
 - **Génie des Procédés**
- Autour de 3 axes / 6 équipes
 - **Axe Energie et Mobilités durables**
 - **Axe Ingénierie Environnementale**
 - **Axe Ingénierie Biomédicale**



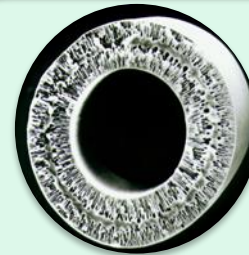
ITC -
Instabilités
Turbulence et
Contrôle



PROMETHEE -
Procédés et
mécanique aux
petites échelles



TONIC –
Thermodynami-
que, Ondes,
Numérique,
Interface et
Combustion



EPM – Equipe
Procédés
Membranaires



FSC – Fluides
Supercritiques



TED –
Traitement des
Eaux et
Déchets

L'Équipe Procédés Membranaires

Domaine

Procédés membranaires



Démarche scientifique

Améliorer l'efficacité des procédés membranaires limitée par le colmatage et améliorer la conduite de procédés

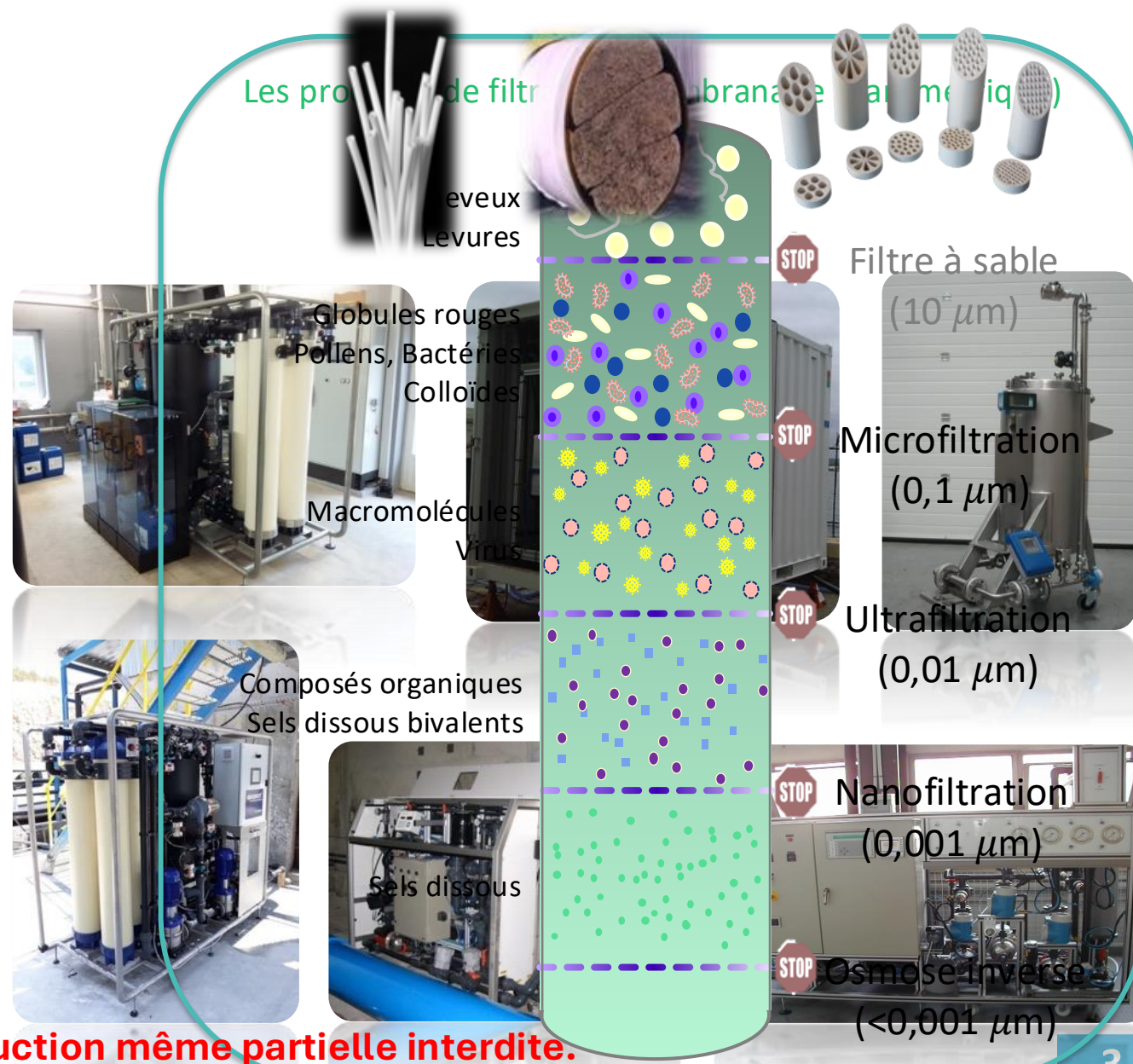
Champs de compétences

De la conception de nouvelles membranes et modules jusqu'au développement de nouveaux procédés membranaires industriels et/ou pour de nouvelles applications

Enjeux

Compréhension des mécanismes de transfert
Changement d'échelle (scale-up)
Enjeux environnementaux, sociétaux et industriels

Propriété d'Aix-Marseille Université . Toute reproduction même partielle interdite.



Philippe MOULIN - Pr

Industrialisation de procédés



Benoît MARROT - Pr

Bioréacteur à Membranes



Emilie CARRETIER – Pr

Intégration des procédés,
Traitement des effluents



Yvan WYART - MCF

Caractérisation des membranes,
Eau potable



Jean-Philippe BONNET – MCF-HDR

Propriétés de transport et métrologie



Clémence CORDIER MCF

Milieux marins et aquaculture



Mathias MONNOT- MCF-HDR

Intensification de procédés



Non permanents (oct 2026)

G. Deruy - Doctorant

Cifre - Séché
Traitement des PFAS



L. Simonan - Doctorant

Cifre - Sanofi
Régénération de catalyseur



J. Le Beux - Doctorante

Cifre – Eau de Paris
Optimisation énergétique



J. Magro - Doctorante

Cifre – Oril industrie
Bio/pharma



F. Lo - Doctorante

Europe - Arkéma
Pervaporation et chimie



C. Canalis - Doctorante

Industriel – Gilbert
Traitement eau de mer



E. Myotte - Doctorante

Industriel - Timab
Procédé hybride



A. Isabelle- Doctorante

Bourse Ministère
BRM microplastiques



K. Schröder - Doctorante

Bourse Ministère
Impression 3D - numérique



M.N. Pham - Doctorante

ANR
Micro et nanoplastiques



R. Lolo - Doctorante

ANR
Microalgues



L. Pii - Doctorante

ANR
Pervaporation



M. Morancais - Apprentie

ANR
Technicienne



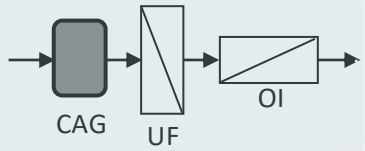
Post doctorant / porte ouvert

Propriété d'Aix-Marseille Université . Toute reproduction même partielle interdite.

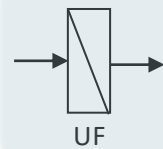
+ Stagiaires

Traitement des eaux et des effluents par procédés membranaires

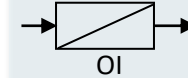
Dessalement d'eau de mer



Traitement des eaux usées urbaines pour la réutilisation

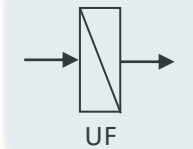


Production d'eau potable par osmose inverse basse pression

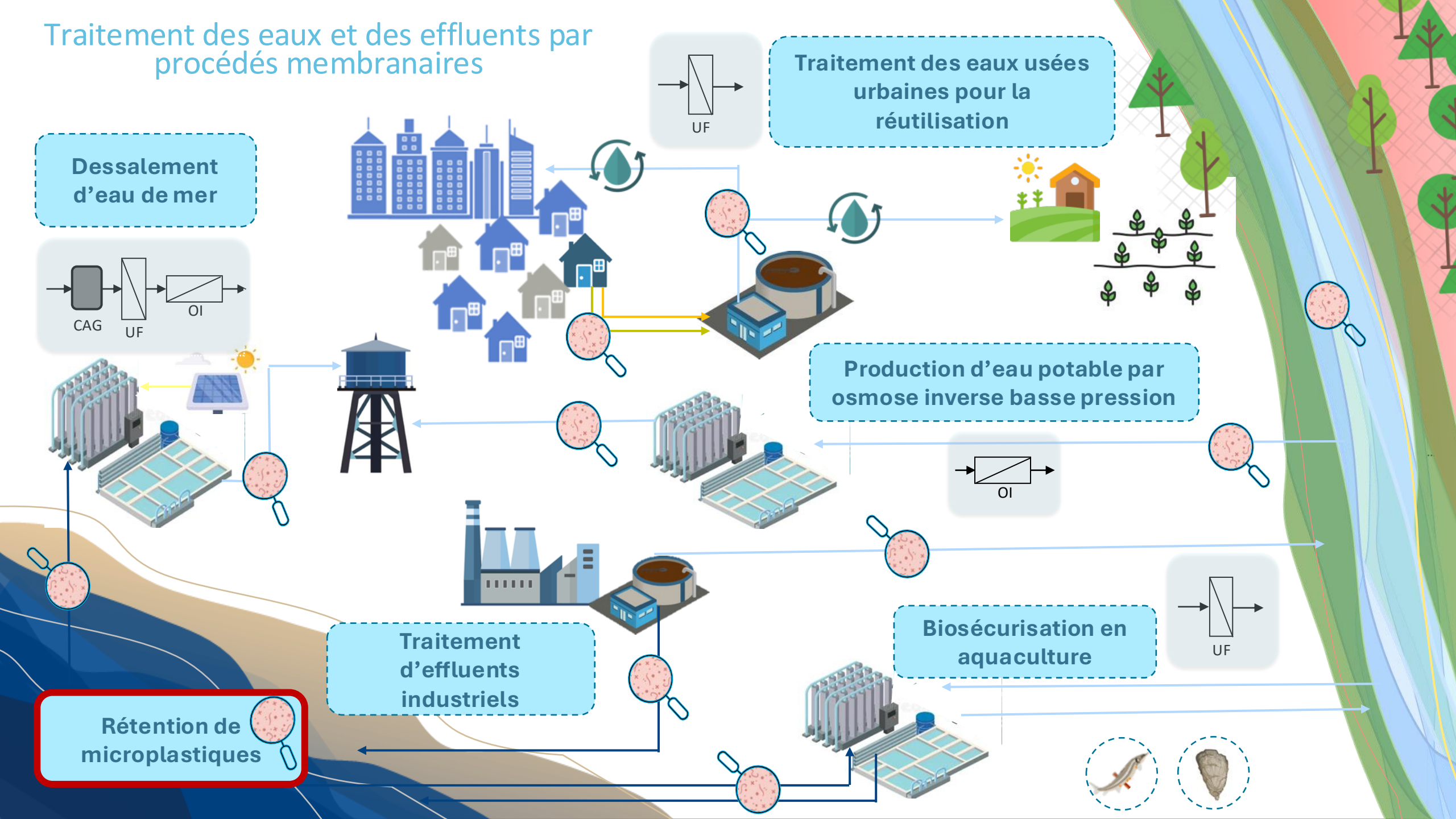


Traitement d'effluents industriels

Biosécurisation en aquaculture

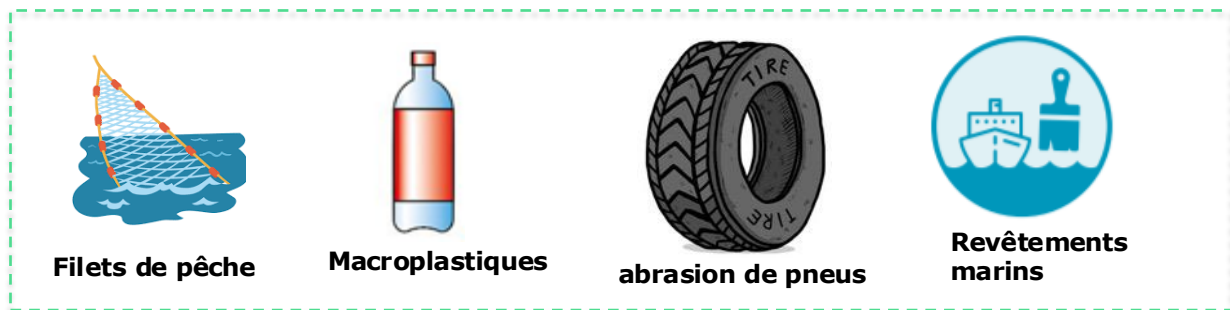


Rétention de microplastiques

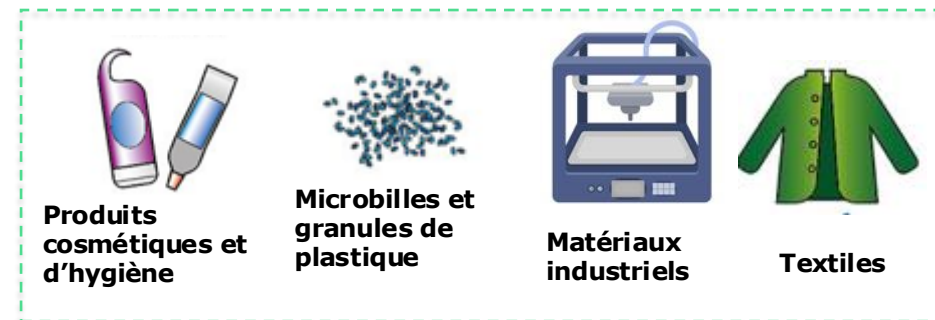


Origines des microplastiques (MPs) et voies de transfert

Sources secondaires



Sources primaires



Eau, air, sol : tous les compartiments de l'environnement contaminés

La vente de produits contenant des microplastiques est-elle maintenant interdite en Europe ?

Oui

Non

Depuis le 25 septembre 2023 ! Mais mise en application jusqu'à 2035...
Modification de la réglementation de l'UE sur les produits chimiques (REACH)

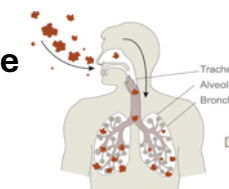
Pollution aux microplastiques et menaces pour la santé

Contact direct ou indirect par ingestion, inhalation et voie cutanée

- Effets physiologiques potentiels (liés à leurs propriétés physiques et chimiques)
- Impact sur la santé humaine ? Marfella et al. 2024 : Le risque de crise cardiaque et d'accident vasculaire cérébral chez des patients est au moins doublé comparé à des sujets humains « non pollués ».



Procédés de traitement pour limiter l'exposition ?



Etude de la rétention des microplastiques par procédés membranaires

Etudiant(e)s (2020-2021)



Jiaqi Yang (PhD)

Yu Sun (M1)

Jason Block (IUT)



1. Identification précise du nombre, la taille et le type de microplastiques dans différents types d'eau ?

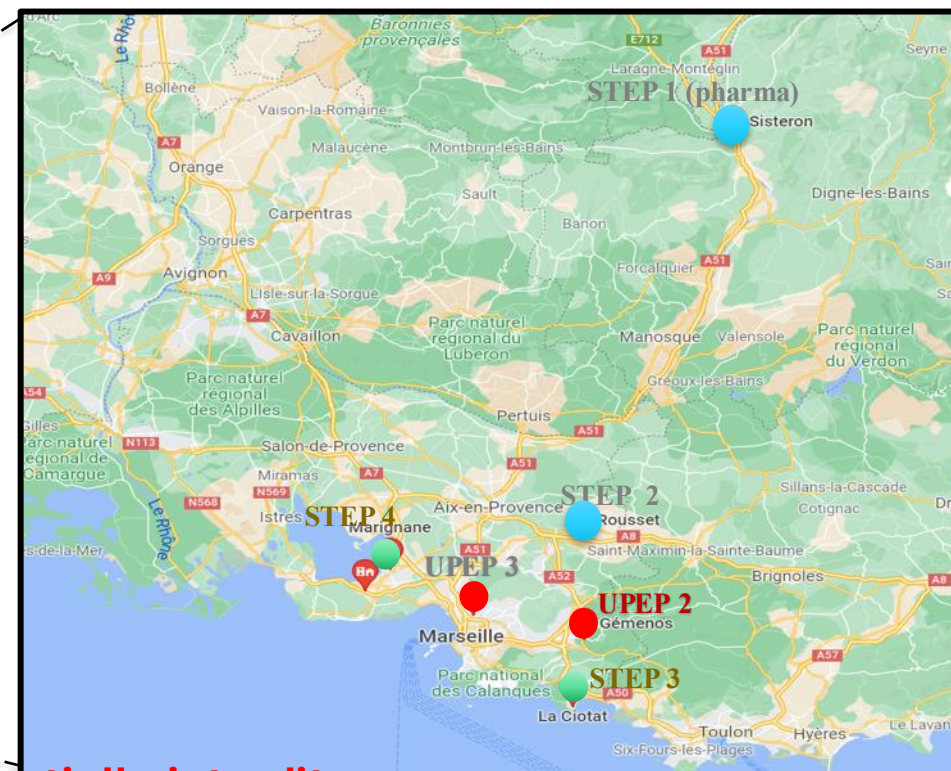
Microscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IR-TF)



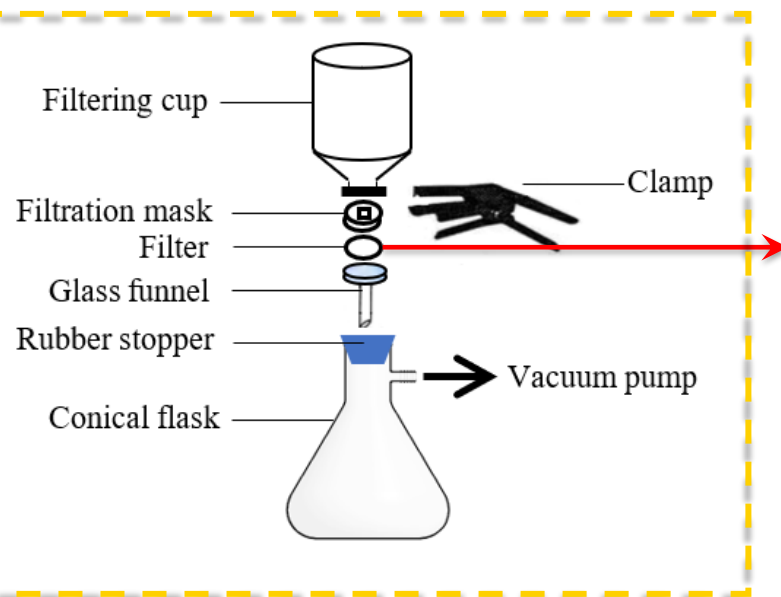
2. Efficacité des procédés membranaires pour la rétention des microplastiques dans les eaux/effluents ?

Ultrafiltration comparée à des filières de traitement incluant d'autres procédés
Propriété d'Aix-Marseille Université . Toute reproduction même partielle interdite.

- Eaux potables
- Eaux usées urbaines
- Eaux usées industrielles
- Eaux de mer



Prétraitement éventuel des échantillons puis filtration pour analyse



filtre inox 15 ou 25 μm

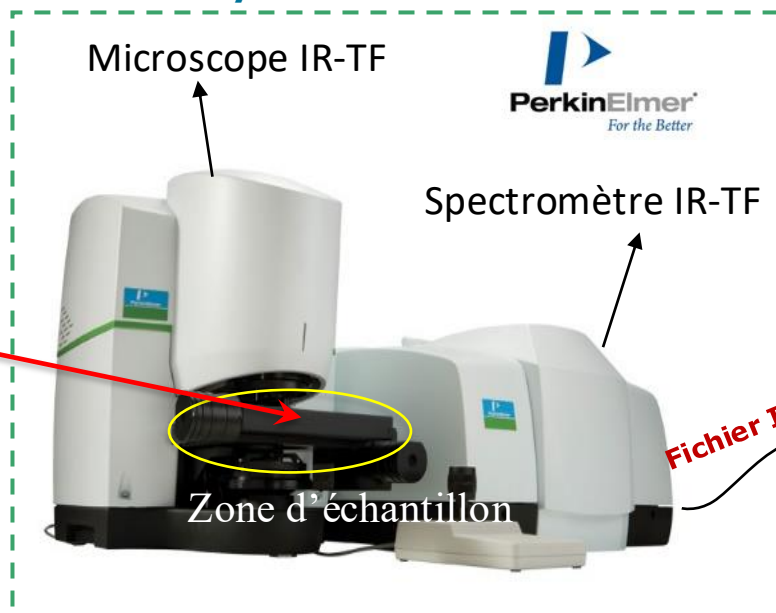


+

filtre en or 5 μm

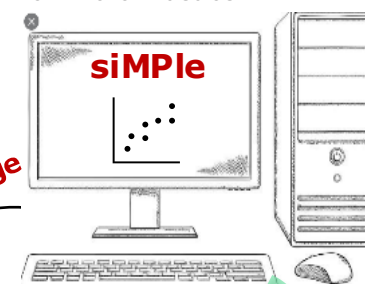


Analyse du filtre



Aalborg University, Denmark & Alfred Wegener Institute, Germany

Systematic Identification of MicroPLastics



Spectroscopie micro-IR-TF avec détecteur MCT

+ quantification des MP dans l'air, l'eau et l'éthanol de rinçage ...

Detection mode	Spectral resolution	Imaging resolution	IR spectral range	Scanning speed
Imaging/ reflectance	16 cm^{-1}	6.25 μm (5 μm filter) 25 μm (25 μm filter)	4000 – 690 cm^{-1}	1.0 $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 2.2 $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$

23 matériaux identifiés :

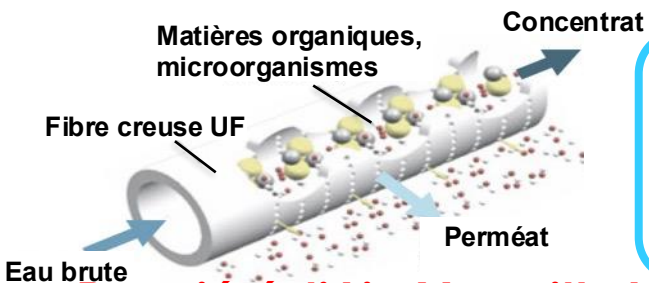
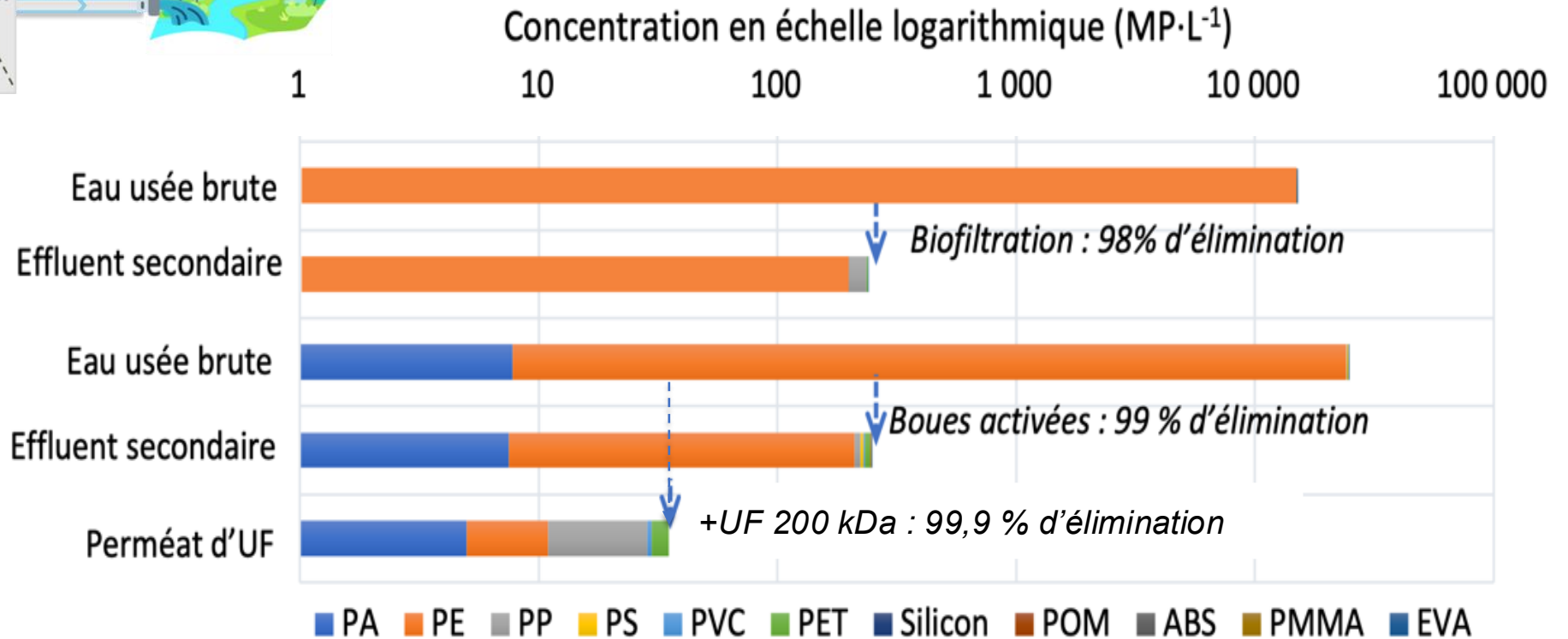
- 15 polymères plastiques (PE, PP, ...)
- 8 autres matériaux (protéines, cellulose, CaCO_3 ...)

Quantification et rétention des microplastiques : cas des eaux usées urbaines



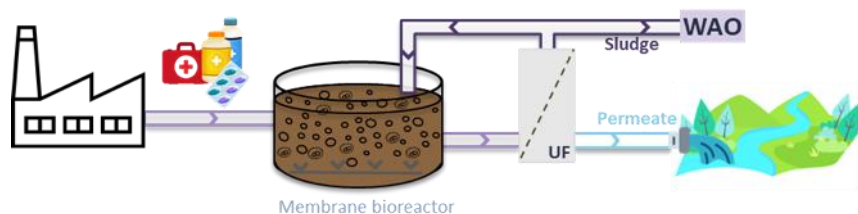
STEP 95 000 EH avec physico-chimie + biofiltration (STEP 3)

STEP 16 000 EH avec boues activées + decantation (STEP 4)



- La concentration en MP dans les eaux usées peut être élevée
- Les STEPs conventionnelles permettent de bons abattements en MPs
- L'UF en tant que traitement tertiaire augmente le taux de rétention d'1 log

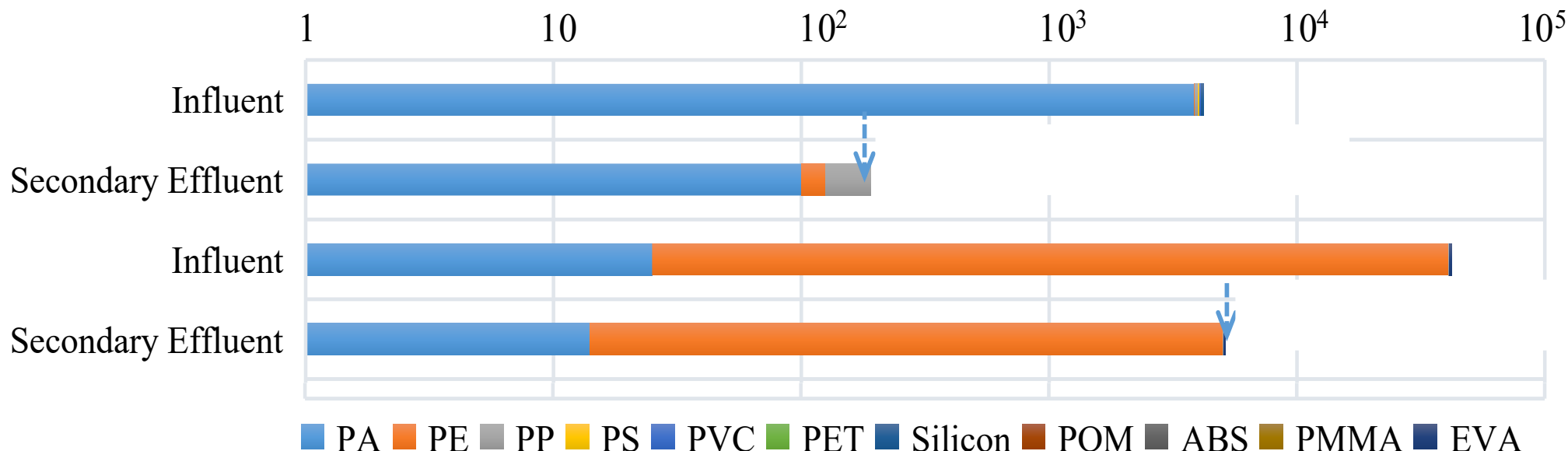
Quantification et rétention par bioréacteurs à membrane (eaux usées urbaines et industrielles)



Concentration in log scale ($\text{MP} \cdot \text{L}^{-1}$)

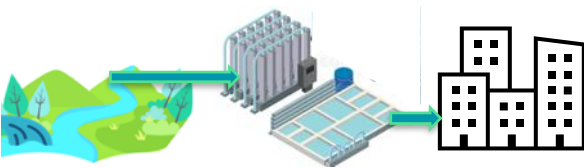
Pharmaceutical
WWTP1 –
MBR $0.02 \mu\text{m}$ UF

12 000 PE Urban
WWTP2
MBR $0.1 \mu\text{m}$ MF



- L'effluent urbain contient plus de MPs que l'effluent industriel étudié
- Le BRM présente des taux de rétention élevés dans les 2 cas (88 - 95%)

Quantification et rétention des microplastiques : cas des eaux potables



UPEP eaux souterraines (UPEP 1)

UPEP eaux de surface (UPEP 2)



Concentration en échelle logarithmique (MP·L⁻¹)

1 10 100 1 000 10 000 100 000

Eau brute souterraine

Après tamisage

Perméat d'UF

Eau brute de surface

Perméat d'UF

Tamis : 54% d'élimination

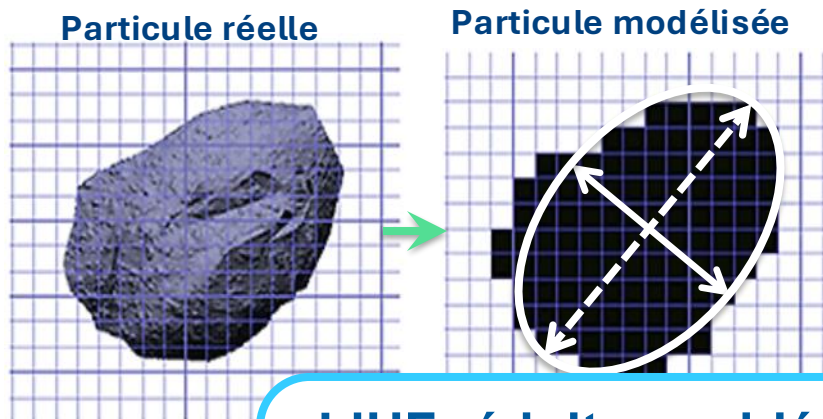
200 kDa UF : 86% d'élimination

200 kDa UF : 82 % d'élimination

■ PA ■ PE ■ PP ■ PS ■ PVC ■ PET ■ Silicon ■ POM ■ ABS ■ PMMA ■ EVA

- Relativement peu de MP dans les ressources à potabiliser
- L'UF permet plus de 80% de rétention de MPs en quantité
- La majorité des MPs restants sont des PP et PE

Taille des MPs avant et après UF (UPEP 2)

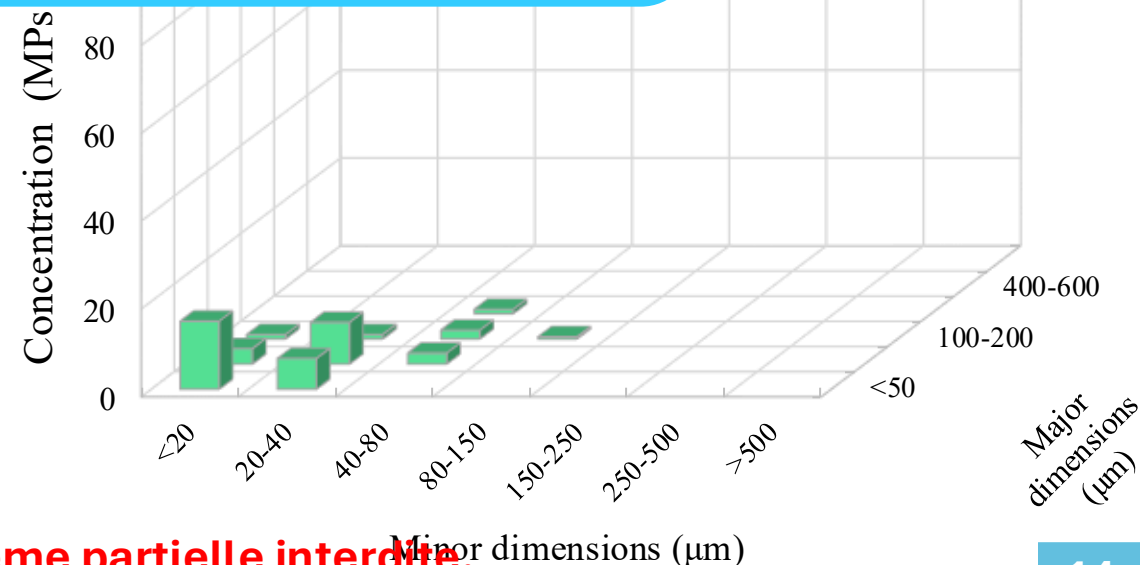


- ❖ Dimension majeure : la plus longue distance entre deux pixels d'une même particule
- ❖ Dimension mineure : axe mineur d'une ellipse en faisant l'hypothèse que la particule est une ellipse

L'UF réduit considérablement la gamme de taille et les quantités dans chaque groupe de tailles

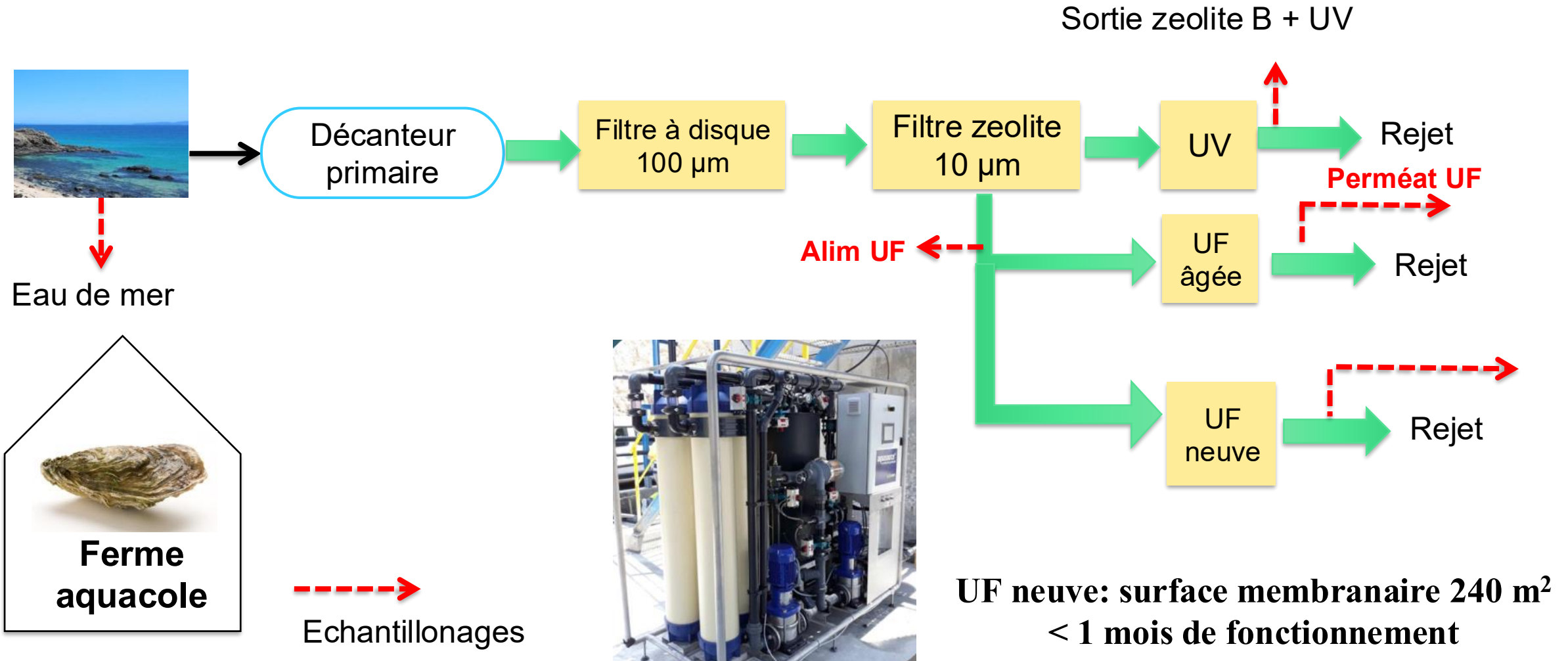
Taille de MPs dans le perméat > taille des pores !

Contamination extérieure ? Confirmé par l'analyse des blancs



44 MP·L⁻¹

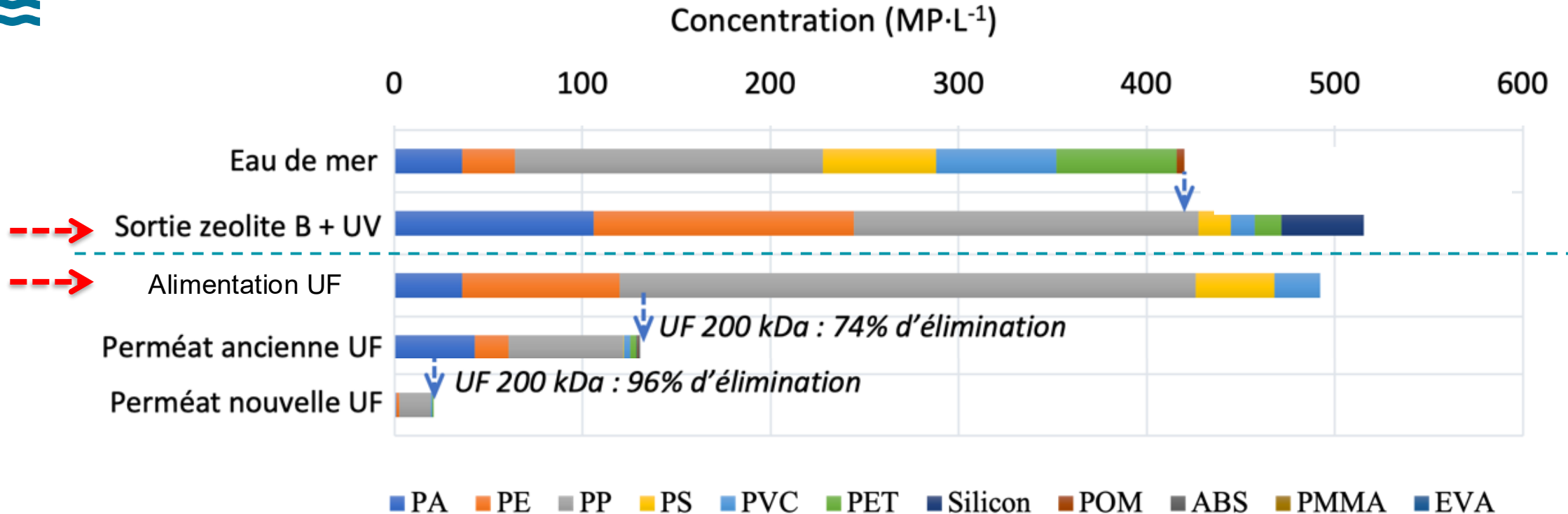
Quantification et rétention des microplastiques : cas des eaux de mer



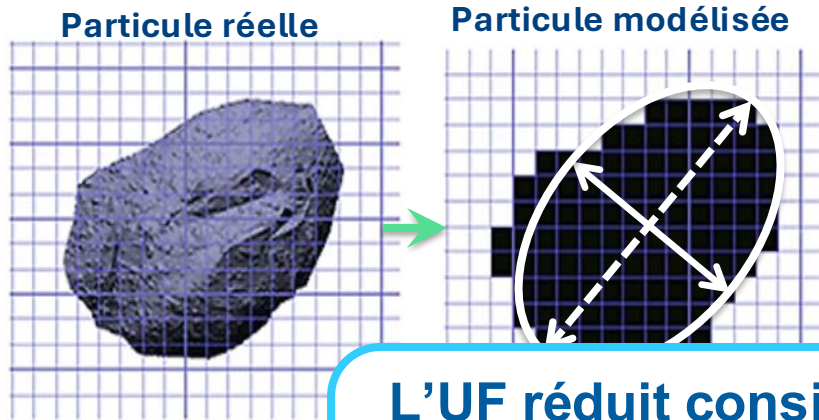
Quantification et rétention des microplastiques : cas des eaux de mer



Même échantillon mais à différents moments et à travers différents matériaux



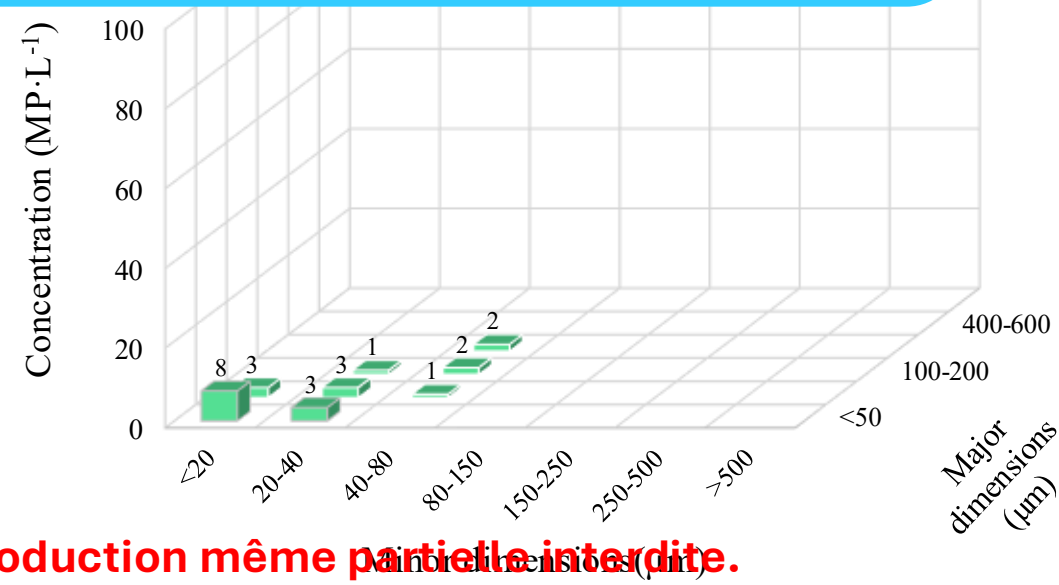
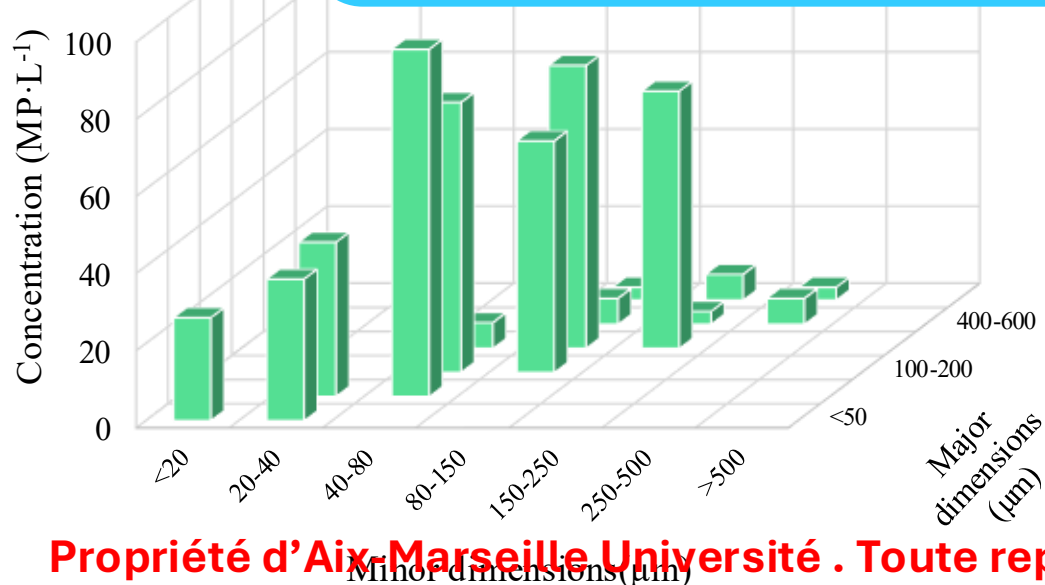
- Conduites et procédés peuvent avoir un impact sur les types et le nombre de MPs
- Bonne élimination par UF mais impact du vieillissement du pilote et des membranes ?



- ❖ Dimension majeure : la plus longue distance entre deux pixels d'une même particule
- ❖ Dimension mineure : axe mineur d'une ellipse en faisant l'hypothèse que la particule est une ellipse

L'UF réduit considérablement la gamme de taille et les quantités dans chaque groupe de tailles

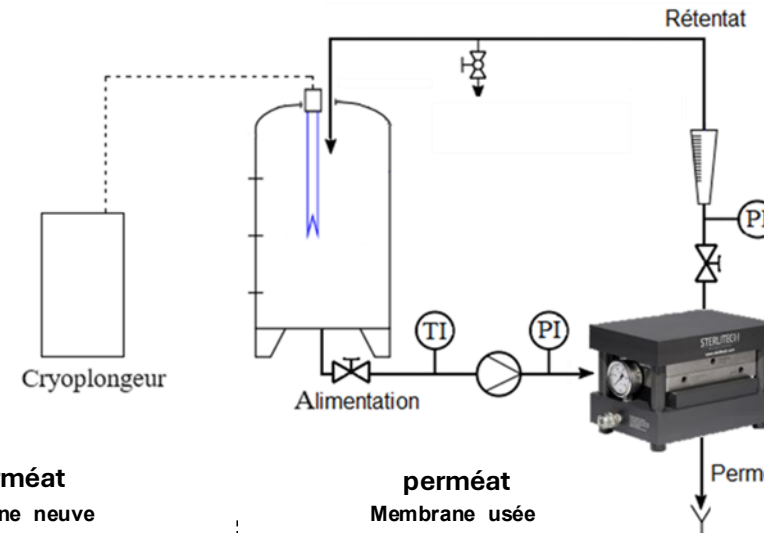
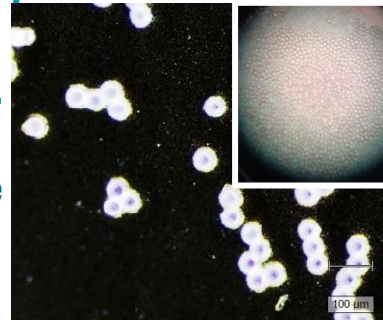
**Taille de MPs dans le perméat > taille des pores !
Contamination extérieure ? Confirmé par l'analyse des blancs**



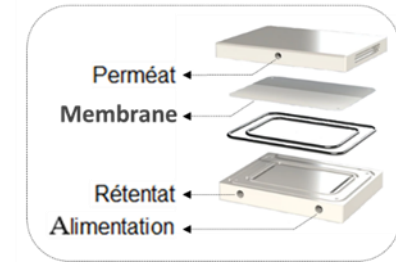
Comportement à travers une membrane dense d'osmose inverse ?

Etudiants (2023-2024)
Hugo Taligrot (PhD)
Vivian Dam Quang (IUT)

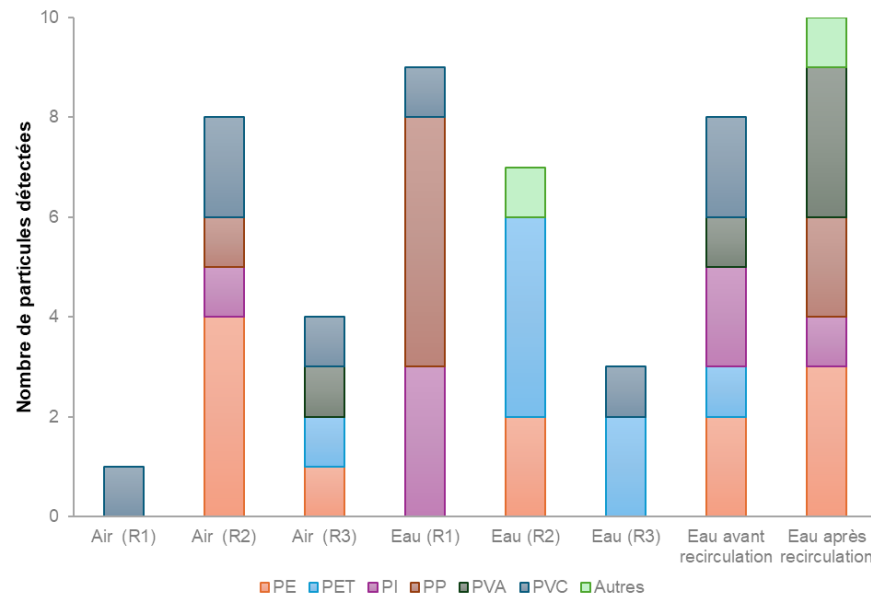
eau
de Paris



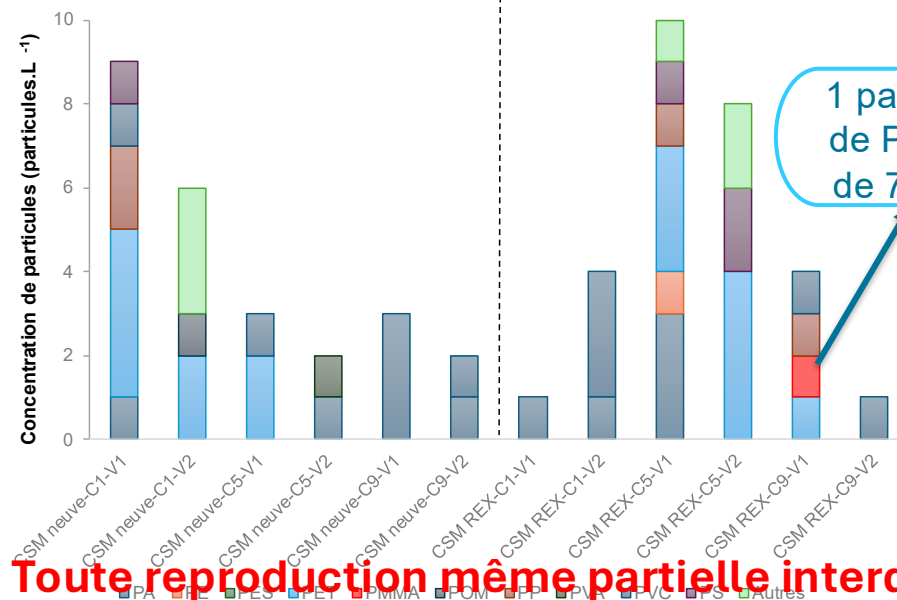
Membranes neuves et usagées



2 x 1L



perméat
Membrane neuve



1 particule
de PMMA
de 78 μm

- 100% d'abattement par osmose inverse même avec membrane usagée
- Des MPs dans le perméat = contamination extérieure et ... ?

Analyse des microplastiques par micro IR-TF : nombre, taille et type de microplastiques dans différents types d'eaux ou d'effluents

→ Quantification en masse à développer

Yang et al. (2023b)



Bonnes efficacités de rétention par différents procédés

→ L'UF est particulièrement performante mais des MPs dans le perméat en conditions industrielles

→ Contamination extérieure confirmée

→ Analyse de blancs indispensable



Résultats comparables entre différents types d'eau car même protocole

→ Besoin en analyses normalisées pour tout type d'eau (travaux en cours)
(norme AFNOR janvier 2024 pour EDCH et eaux souterraines brutes)

Les microplastiques sont partout
→ Relargage de micro et nanoplastiques par les membranes polymériques ?

A vérifier

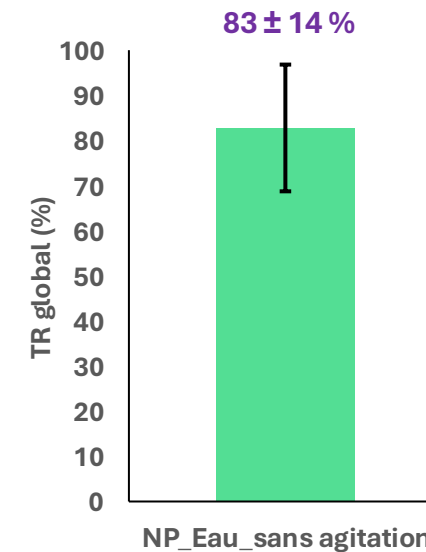
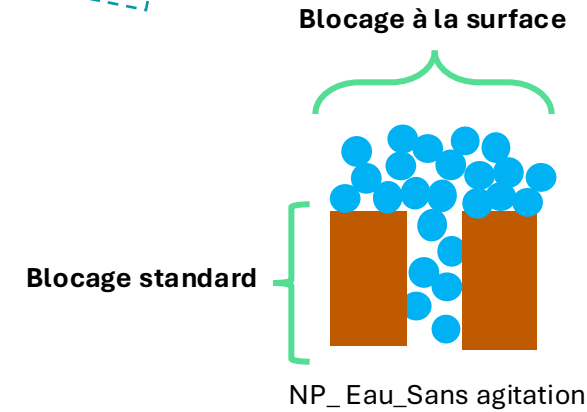
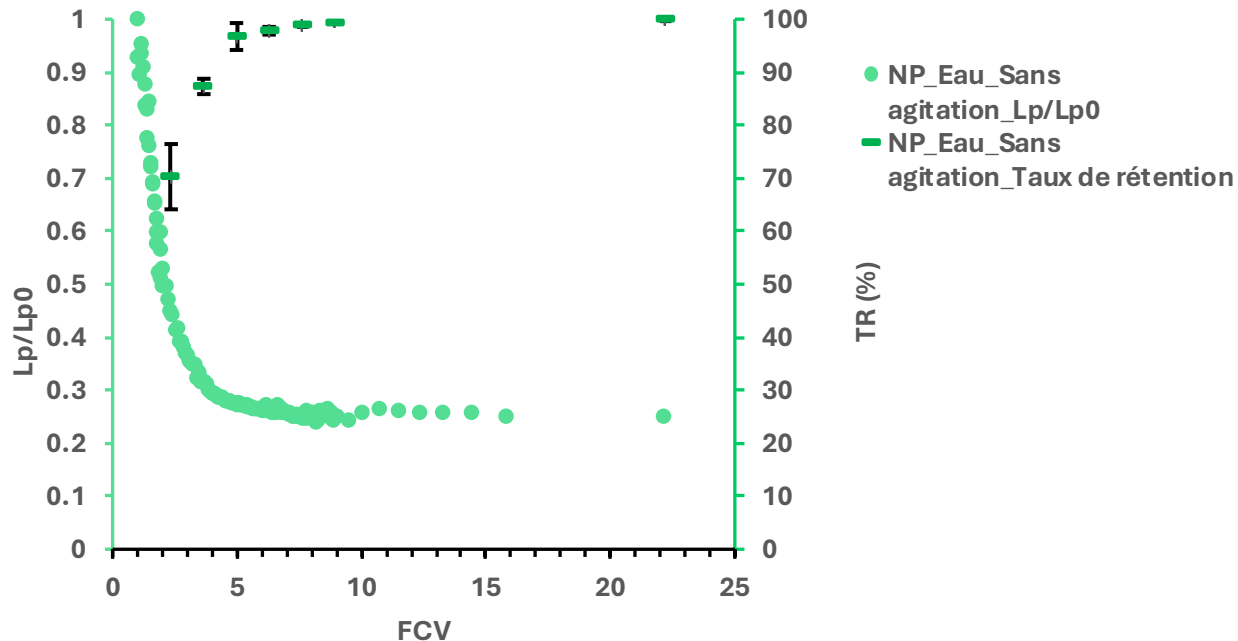
→ Quid des nanoplastiques ?

2024-2027 projet ANR : thèse Man Nghi Pham

Résultats préliminaires sur la rétention des nanoplastiques de PMMA (53 nm) par microfiltration (0,1 μm) à l'échelle laboratoire

Analyse par Py-GC/MS

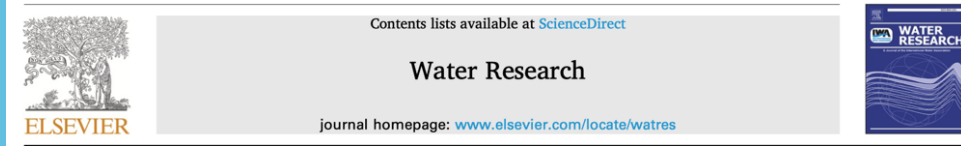
Lp/Lp₀ et taux de rétention instantanées v.s FCV de la filtration des NP_Eau_Sans agitation



⇒ Augmentation du taux de rétention instantané pendant la filtration grâce au colmatage

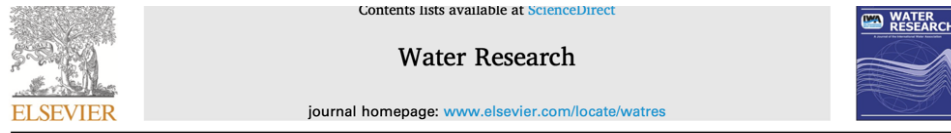
⇒ Rétention partielle de NP par MF

Pour plus d'informations...



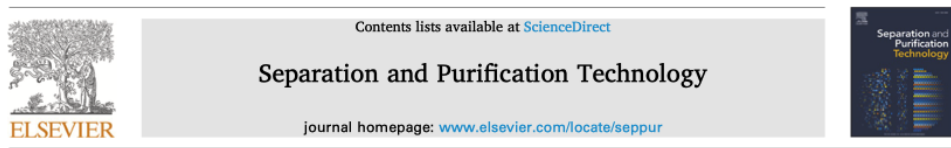
Microplastics in different water samples (seawater, freshwater, and wastewater): Methodology approach for characterization using micro-FTIR spectroscopy

J. Yang^{a,1}, M. Monnot^a, Y. Sun^a, L. Asia^b, P. Wong-Wah-Chung^b, P. Doumenq^b, P. Moulin^{a,*}



Microplastics in different water *samples* (seawater, freshwater, and wastewater): Removal efficiency of membrane treatment processes

J. Yang^{a,c}, M. Monnot^a, Y. Sun^a, L. Asia^b, P. Wong-Wah-Chung^b, P. Doumenq^b, P. Moulin^{a,*}



Investigating the impact of low-pressure reverse osmosis membrane aging and heterogeneity on performance: A study of virus and microplastic retention[☆]

Hugo Taligrot^a, Vivian Dam Quang^a, Sébastien Wurtzer^b, Mathias Monnot^a, Damien Chaudanson^c, Laurent Moulin^b, Philippe Moulin^{a,*}

Remerciements :

Etudiant(e)s stagiaires
et doctorant(e)s



Jiaqi Yang



Yu Sun

Jason Block

Hugo Taligrot

Vivian Dam Quang

Hoang Man Nghi Pham



Collègues chercheurs

Philippe Moulin, M2P2

Clémence Cordier, M2P2

Pierre Doumenq, LCE

Pascal Wong, LCE

Laurence Asia, LCE

Tout le personnel technique
et administratif

Financements



Partenaires

