

Académie Nationale de Pharmacie
Paris le 31 janvier 2024



Académie nationale
de Pharmacie

Les effets écotoxicologiques des microplastiques – la face cachée des plastiques

Jérôme Cachot, Université de Bordeaux

Laboratoire Environnements Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux, UMR 5805,
Univ. Bordeaux, CNRS et Bordeaux INP



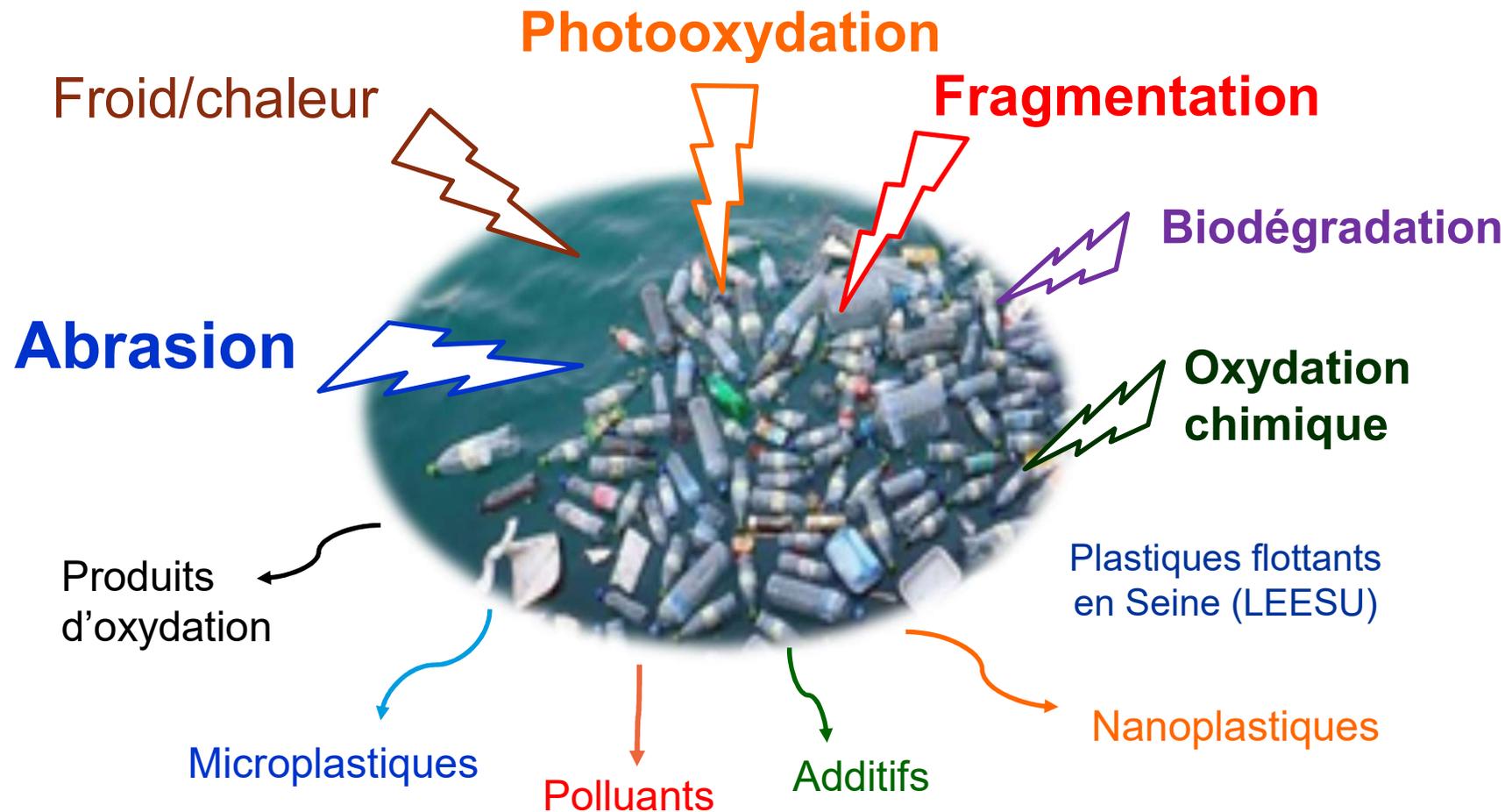
Carte d'identité des microplastiques (MP)



Different types de MP (Dusacre, Tara Microplastiques 2019)

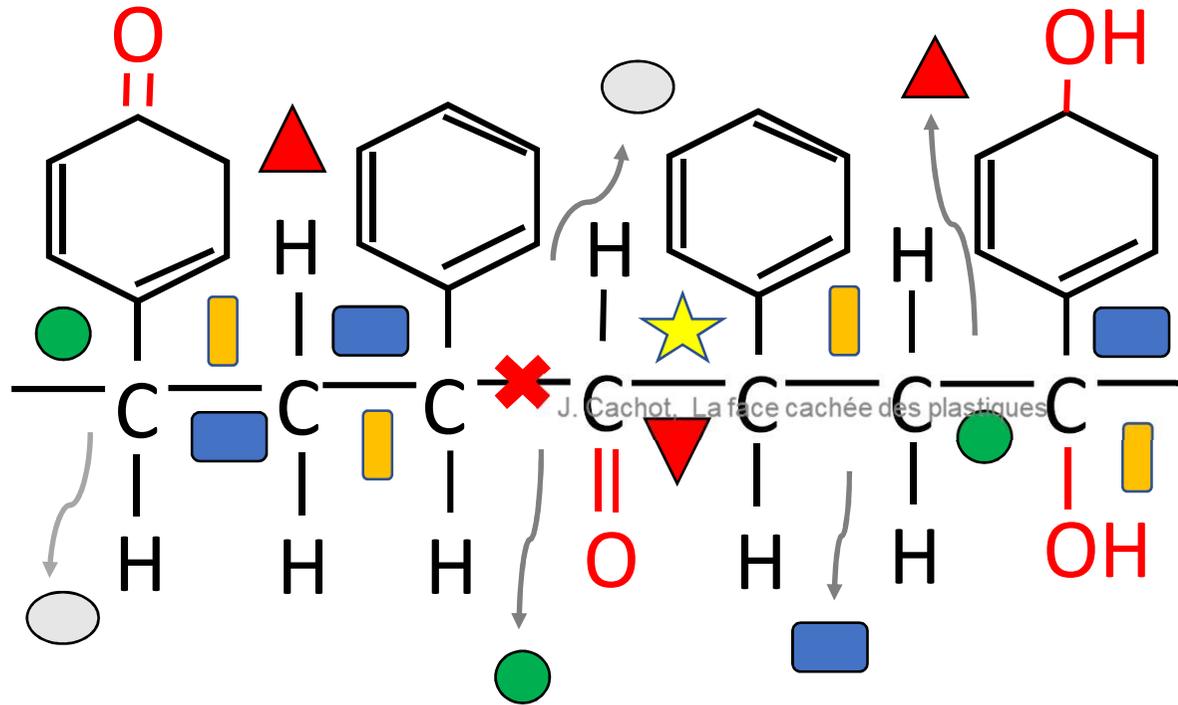
- ✓ Particules de 1 à 5000 μm
- ✓ Deux origines: primaire ou secondaire
- ✓ Polymères variés : PE, PP, PET, PVC, polyamide, PLA, PHA, etc.
- ✓ Formes variées: fragment, fibre, film, microbille, etc.
- ✓ Composition très variable et complexe : polymère + additifs + substances non intentionnelles
- ✓ Nombreux additifs toxiques (Wieisinger et al., 2021)
- ✓ Vecteurs de nombreux polluants organiques et métalliques (Yu et al., 2019; Camacho et al., 2019) et de pathogènes (Virsek et al., 2017; Wu et al., 2019)

Vieillessement des plastiques dans l'environnement



- ✓ La dégradation des plastiques est un processus très long qui implique des processus physiques, chimiques et biologiques et génère de nombreux produits de dégradation.

Processus de vieillissement du plastique

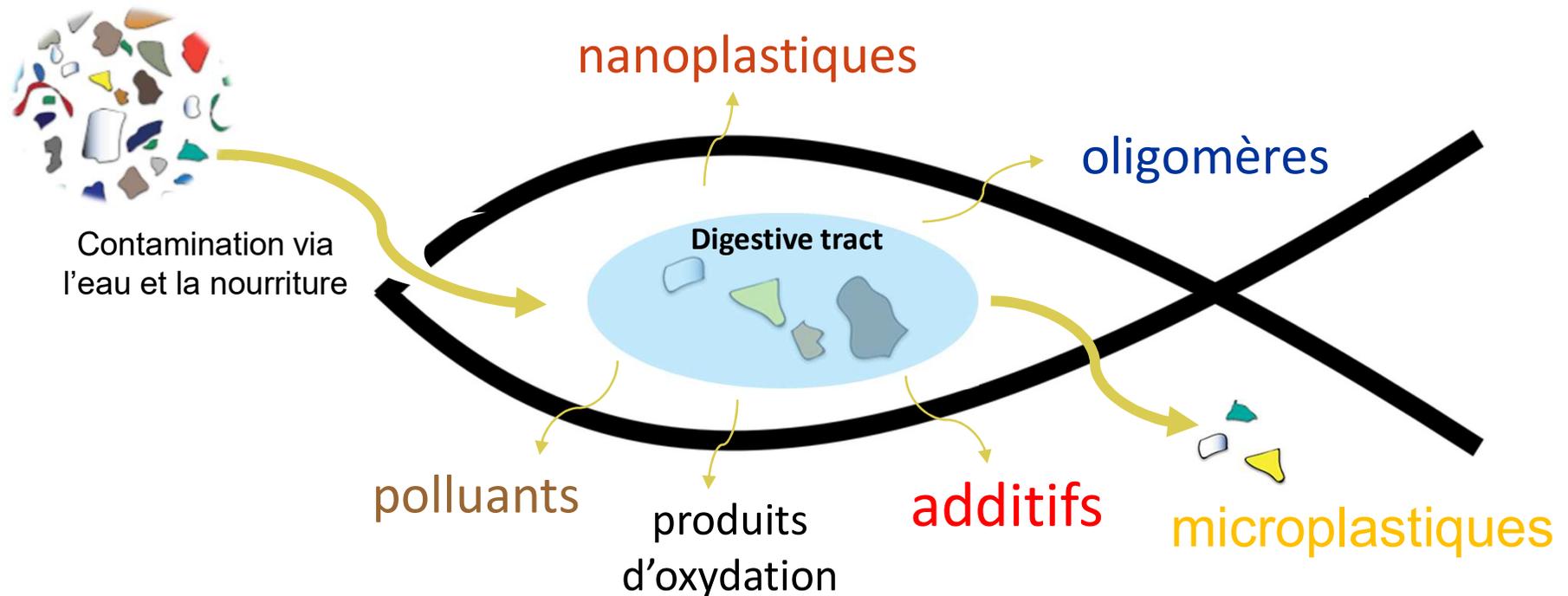


- ✓ Oxydation du polymères
- ✓ Migration et fuite des additifs
- ✓ Adsorption de polluants
- ✓ Colonisation de la surface par un biofilm
- ✓ Cassures et fragmentation du polymère

➤ Oxydation du polymère et le relargage des additifs sont les deux premières étapes de la dégradation des plastiques.

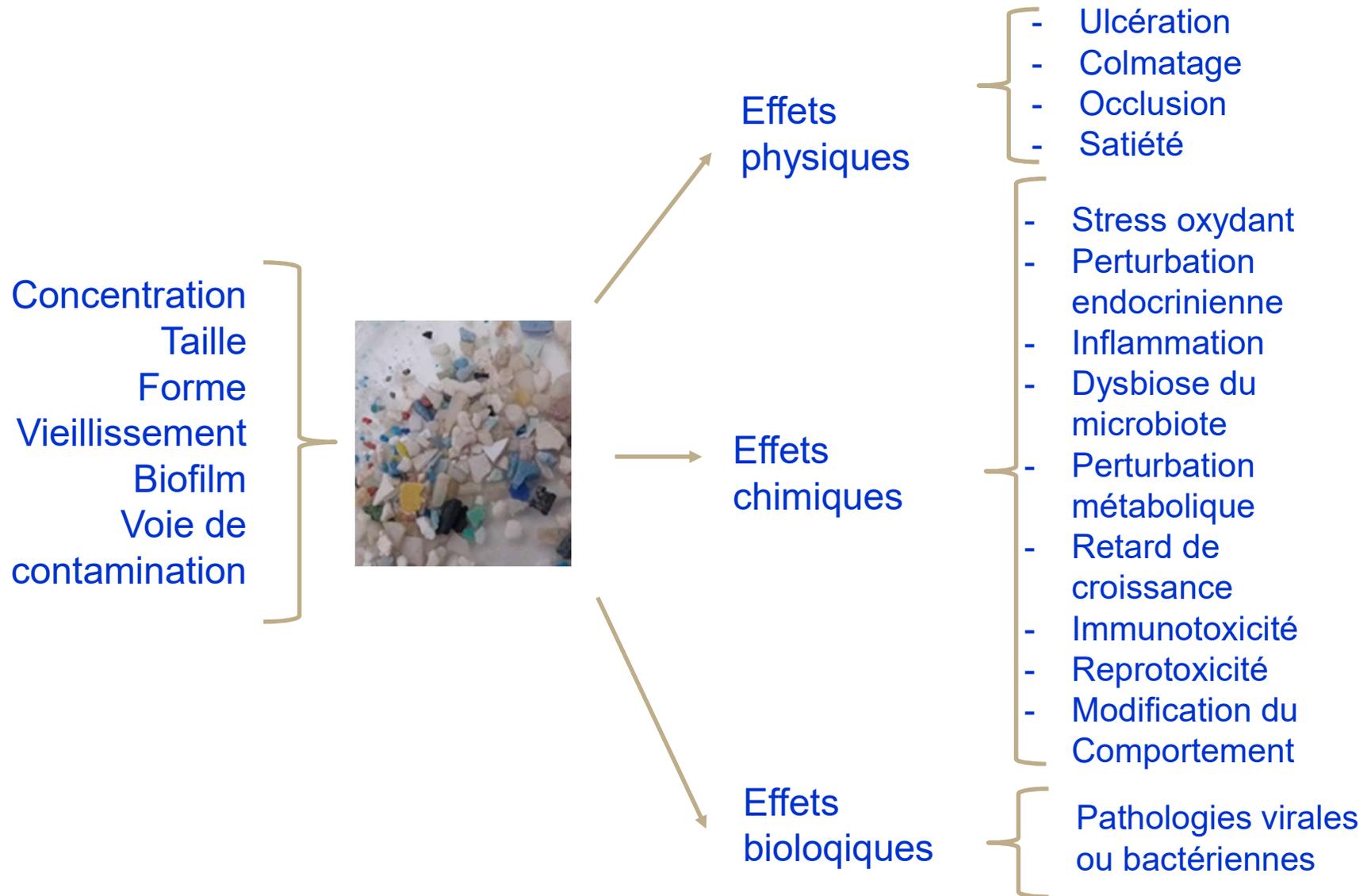
Vieillissement du plastique dans les organismes

Microparticules



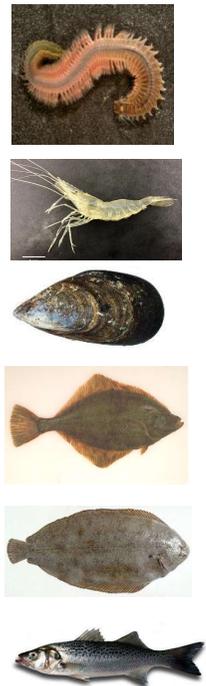
- ✓ Ingestion ou inhalation des MP
- ✓ Dégradation des MP dans le tractus digestif (brassage mécanique, sucs digestifs, acidité, microbiote)
- ✓ La majorité des MP est éliminée par voie naturelle

Impacts des microplastiques sur le biote



La contamination des espèces aquatiques par les microplastiques

Contamination du réseau trophique en estuaire de Seine (Plastic-Seine)

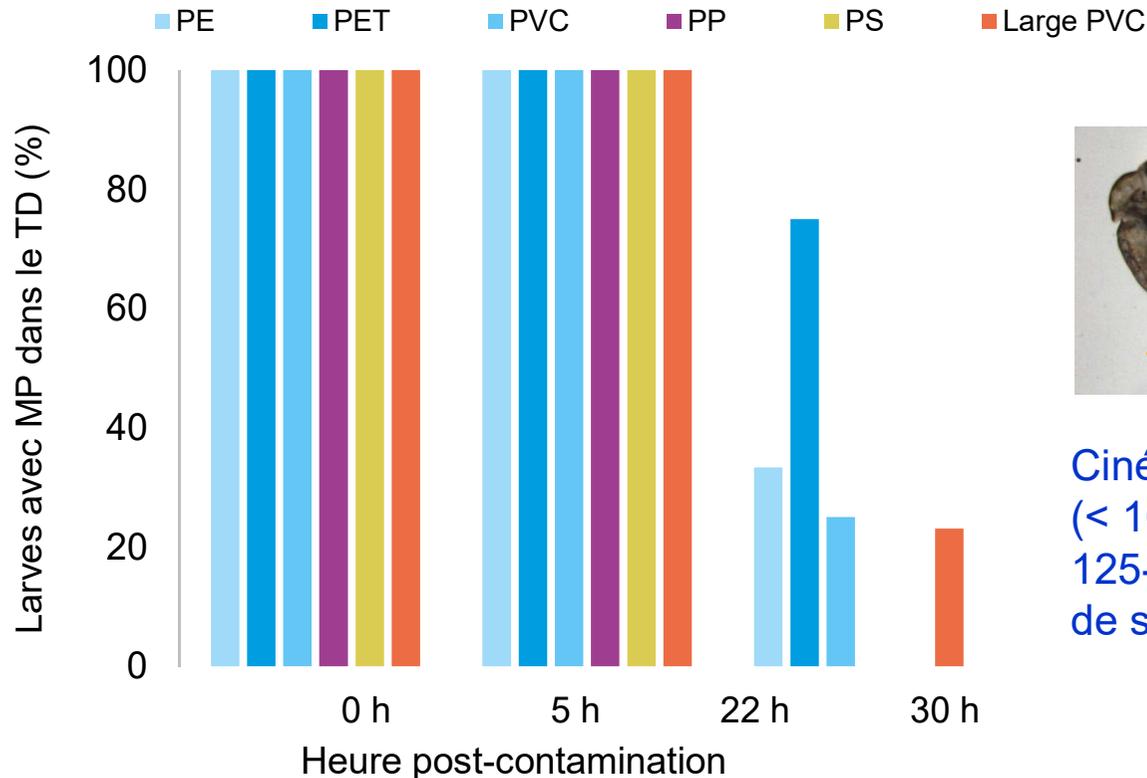


Espèce	% Individus contaminés	Formes	Gamme de taille (μm)	Polymère majeur
<i>H. diversicolor</i>	61	Fibres et fragments	100-4000	PE & CEL
<i>P. longirostris</i>	44	fibres	100-6000	PS & CEL
<i>M. edulis</i>	100	fibres	250-500	PE & CEL
<i>P. flesus</i>	70-80	fibres	< 800	PET & CEL
<i>S. solea</i>	80-98	fibres	100-5000	PET, PE & CEL
<i>D. labrax</i>	60-70	fibres et fragments	100-2000	PET & CEL

- ✓ Toutes les espèces analysées ont ingéré des MP mais à des degrés divers
- ✓ Fibres et fragments sont majoritaires
- ✓ PE, PET and CEL sont les principaux polymères
- ✓ Toutes les espèces du zooplancton aux cétacés ingèrent des MP (Fossi et al, 2012; Van Cauwenberche, 2014)



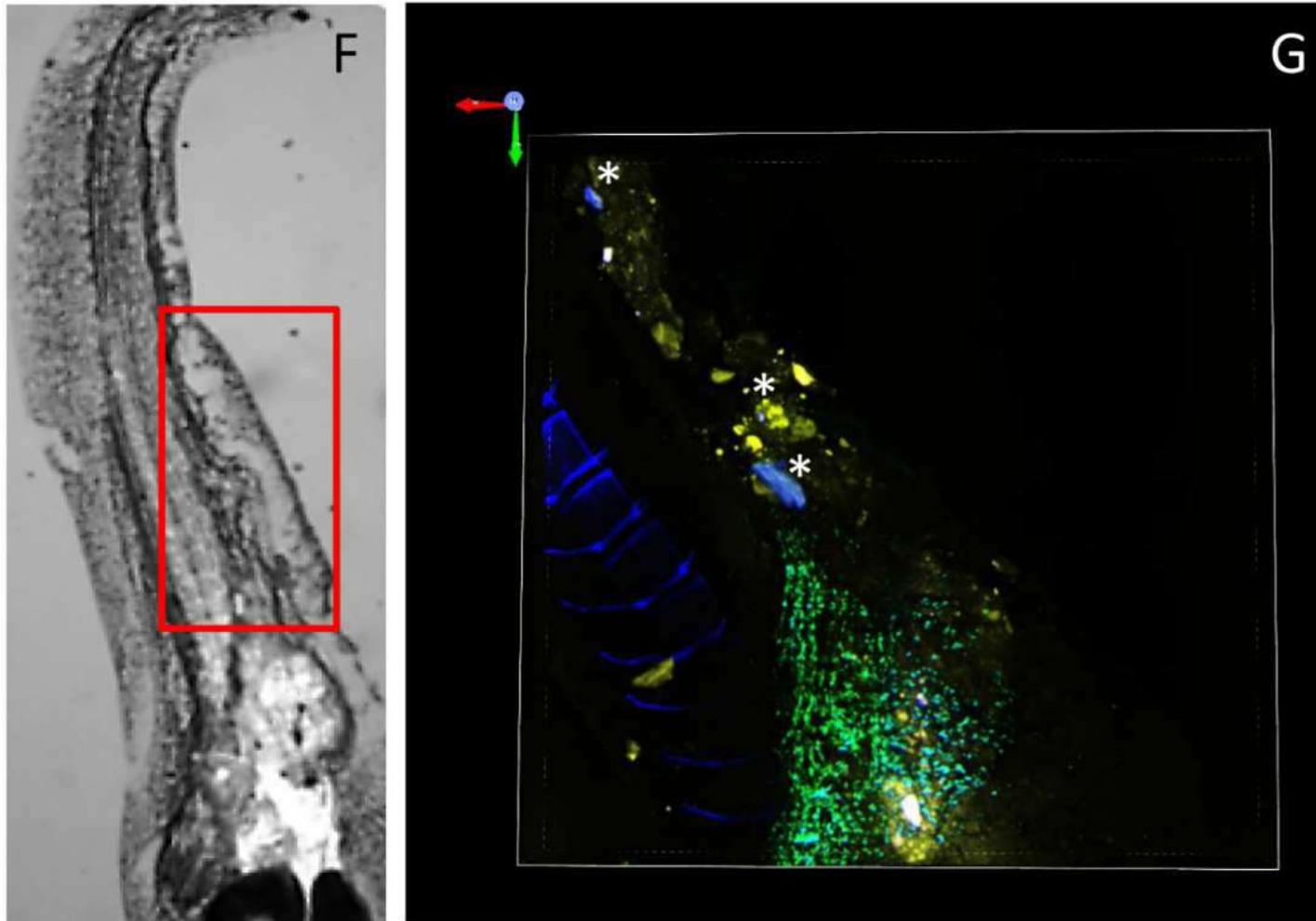
Ingestion/egestion des microplastiques



Cinétique d'égestion des eMP (< 100 µm sauf large PVC 125-250 µm) par les juvéniles de sole commune *S. solea*.

- ✓ Ingestion très rapide des eMP (≤ 2 h) mais non corrélée au type de plastique ou au stade de développement.
- ✓ Egestion des eMP en moins de 30h (sauf grosses particules).
- ✓ Seuls les MP de moins de quelques µm sont internalisés (McIlwraith et al., 2021).

Ingestion/egestion des microplastiques



Images en microscopie photonique et biphotonique montrant des MP (astérisques) dans l'intestin d'une larve de Médaka Japonais (*Pannetier et al. Environ. Int., 2020*)

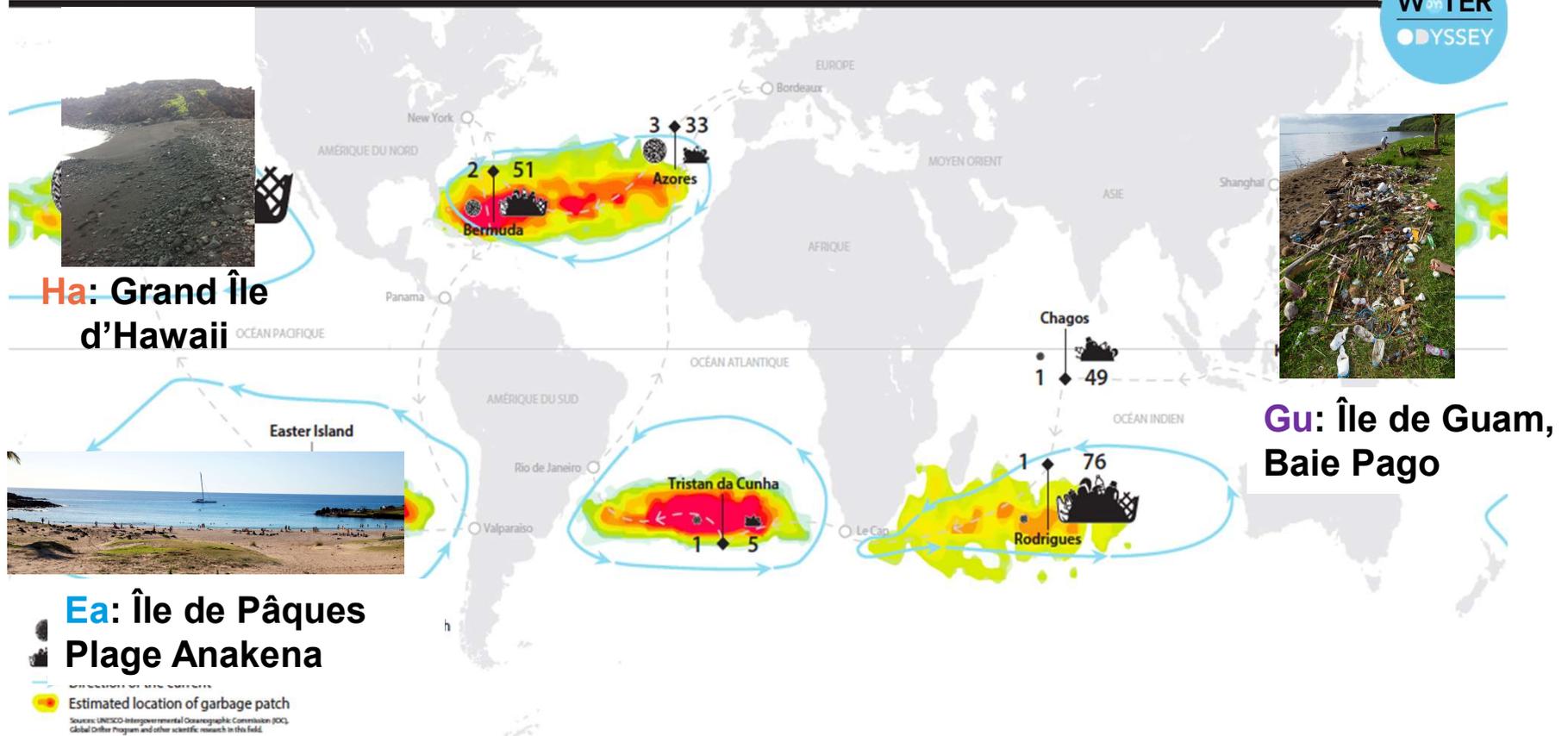
Les effets écotoxicologiques des microplastiques sur les espèces aquatiques

Espèce	MP/taille (µm)	[MP] et durée	Effets observés/tissu	Seuil de toxicité	Référence
Poisson zèbre, <i>Danio rerio</i> (embryons)	PE 20-60 µm	2, 12.5, 25, 50 and 100 mg/L - 6 j	<input checked="" type="checkbox"/> Malformations <input checked="" type="checkbox"/> Ecllosion <input checked="" type="checkbox"/> Survie des larves	50 mg/L	Malafaia et al., 2020
Poisson zèbre, <i>Danio rerio</i> (adultes)	PS microbilles 15 µm, fragments 4-40 µm, fibres 20-100 µm	20 mg/L 24h	Alteration de la muqueuse intestinale et perturbation du métabolisme Dysbiose du microbiote de l'intestin	20 mg/L fibres 20 mg/L toutes les formes	Qiao et al, 2019
Daurade royale, <i>Sparus aurata</i> (adultes)	PVC, PA, PE et PS 75 µm	0,1 g/kg/j 45 j	Pas d'effets sur la survie, la croissance, ni de lésions histopathologiques	> 0,1 g/kg/j	Jovanovic et al., 2018
Daurade royale, <i>Sparus aurata</i> (adultes)	LDPE vierge ou vieilli 100-500 µm	2,1 g/kg/j de l'aliment 21 j	<input checked="" type="checkbox"/> Stress oxydant dans foie et cerveau (PE vieilli) Modification du comportement social	2,1 g/kg/j	Rios-Fuster et al., 2021
Huître creuse, <i>Crassotrea gigas</i> (adultes)	PS 2 et 6 µm	0,023 mg/L 2 mois	<input checked="" type="checkbox"/> Nombre et taille des ovocytes <input checked="" type="checkbox"/> Motilité spermatozoïdes <input checked="" type="checkbox"/> Nombre de larves D	0,023 mg/L	Sussarellu et al., 2016
Huître creuse, <i>Crassotrea gigas</i> (embryons)	HDPE 4-6, 11-13 et 20-25 µm	0,1, 1, 10 mg/L 24h	<input checked="" type="checkbox"/> Malformations <input checked="" type="checkbox"/> Vitesse de nage maximum	0,1 mg/L (4-6) 0,1 mg/L (4-6)	Bringer et al., 2020
Oursin violet, <i>Paracentrotus lividus</i> (larves)	PVC < 250 µm	0,3 -30 mg/L 48h	<input checked="" type="checkbox"/> Croissance des larves <input checked="" type="checkbox"/> Arrêt de développement	10 mg/L 30 mg/L	Oliviero et al., 2019
Daphnie, <i>Daphnia magna</i> (adulte)	PET et PLA 25-50 µm	1 et 5 mg/L 21 j	<input checked="" type="checkbox"/> Nombre descendants <input checked="" type="checkbox"/> Malformations larves <input checked="" type="checkbox"/> sexe ratio des larves	5 mg/L PLA et PET 5 mg/L PLA 5 mg/L PLA et PET	An et al., 2024

Campagne Race for Water Odyssée 2015

RACE FOR WATER FOUNDATION: Plastic Pollution in the World

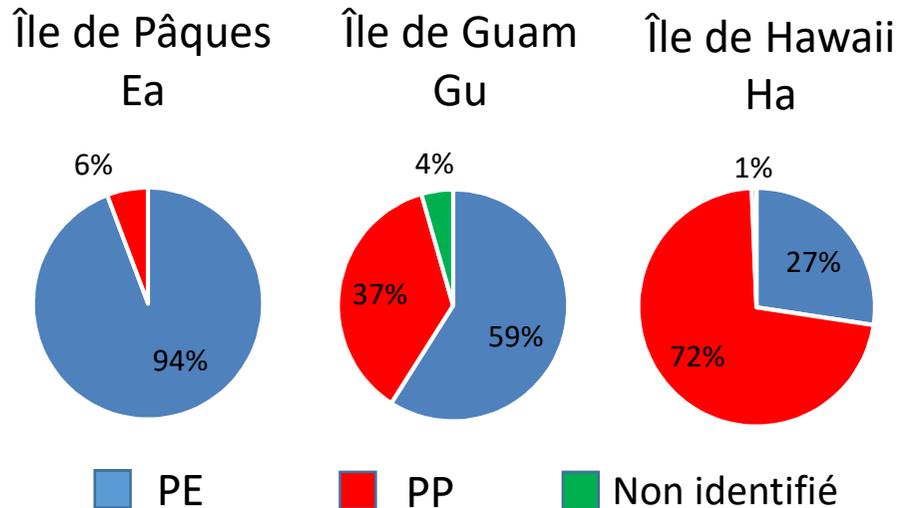
RACE FOR WATER
ODYSSEY



Echantillonnage des MP échoués (eMP) sur 10 îles de l'Atlantique et du Pacifique



Analyses chimiques des eMP



- ✓ Les trois plages ont des profils de polymères différents
 - ✓ PP et PE sont les principaux polymères
 - ✓ Les profils de contamination sont différents
- Ea : DDT & PCB
 Gu : DDT
 Ha : HAP & PCB

Concentration des polluants (ng.g⁻¹ de MP)

	HAP	PCB	DDT
Ea	2.0 ± 0.2	8.0 ± 0.6	16.0 ± 1.0
Gu	6.0 ± 0.6	2.0 ± 0.1	12.0 ± 0.9
Ha	18.0 ± 2.0	10.0 ± 0.7	3.0 ± 0.2

Toxicité des eMP pour les Médaka juveniles

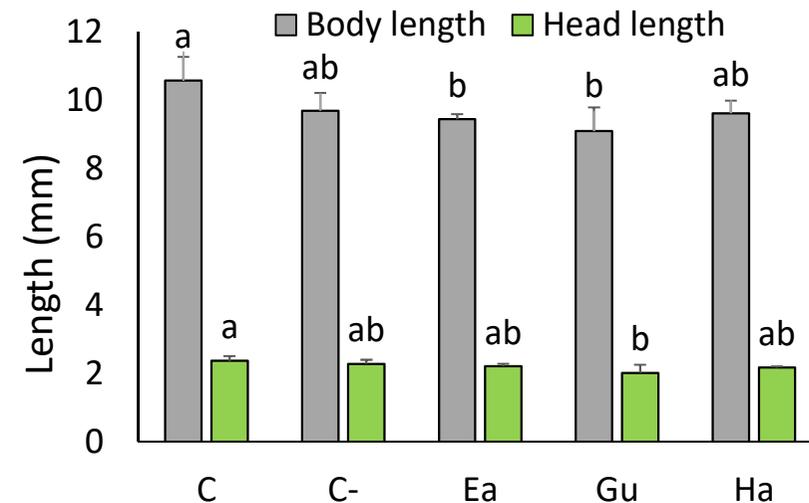
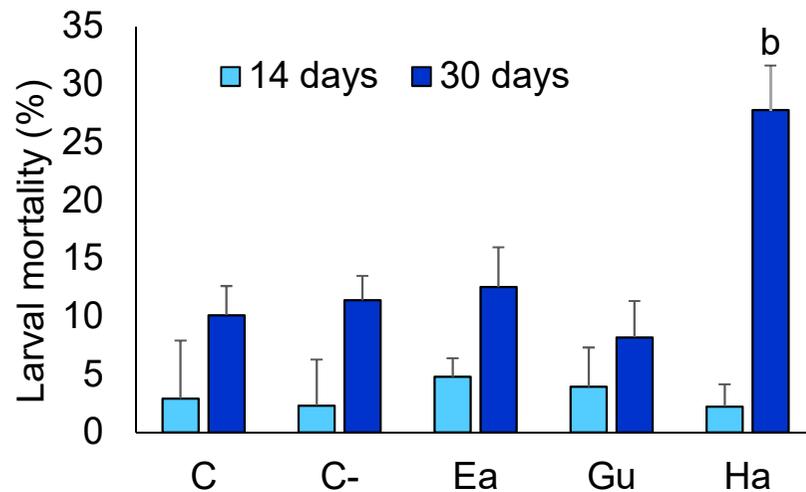


Juveniles de Médaka

Alimentation pendant
30 j avec 0,1% MP
dans l'aliment (30 µg/L)



MP collectés sur les
plages de l'Île de
Pâques (Ea), Guam
(Gu) et Hawaii (Ha)



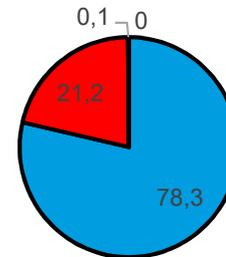
- ✓ Augmentation de la mortalité pour Ha et croissante plus réduite pour Ea et Gu

Odyssée 2017: eMP de la Guadeloupe

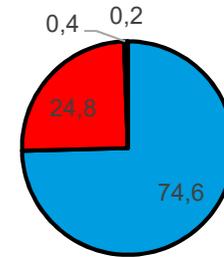


Composition en polymère des MP (% en masse)

Marie-Galante MG



Petit-Bourg PG



■ Polyéthylène ■ Polypropylène
□ Polystyrène ■ Polyvinyl acetate

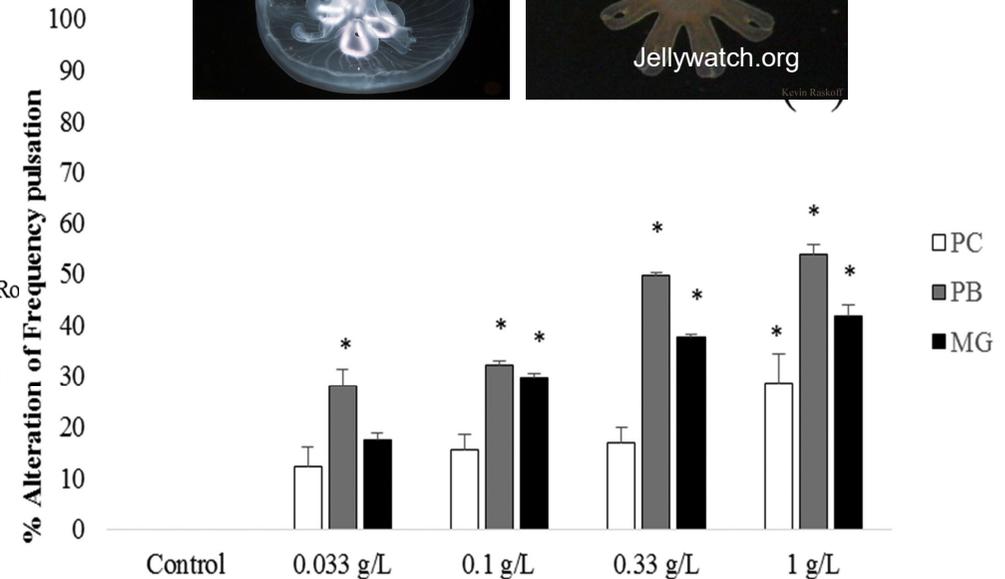
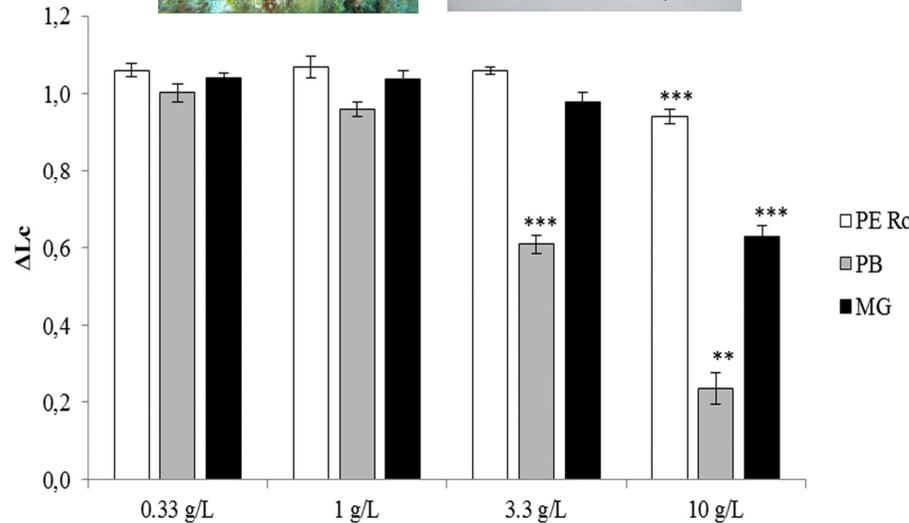
Concentration des métaux traces dans les MP de MG et PB (µg/g)

Echantillon	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr
MG	31	102	26	222	47
PB	85	18	292	9	4.9

- Composition similaire de polymères mais profils de contamination différents entre les deux sites.



Toxicité de lixiviats des eMP de Guadeloupe



- La croissance des larves d'oursin (*Paracentrotus lividus*) est réduite pour les lixiviats de MP de Petit-Bourg (PB) et Marie-Galante (MG).
- Augmentation des pulsations des éphyres de la méduse *Aurelia sp.* exposées aux lixiviats de MP des deux sites.
- Pas d'effets sur la survie, la croissance ou l'activité de nage des larves poisson zèbre (*Danio rerio*).

Toxicité de particules des eMP sur le Médaka marin

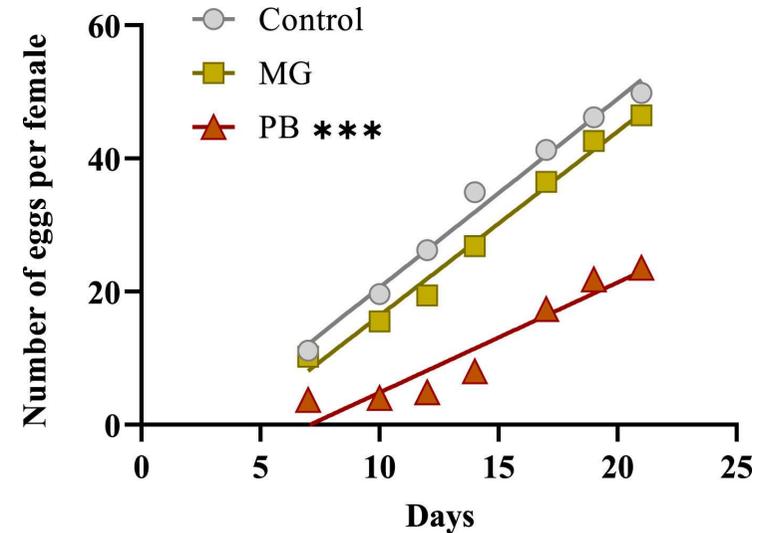
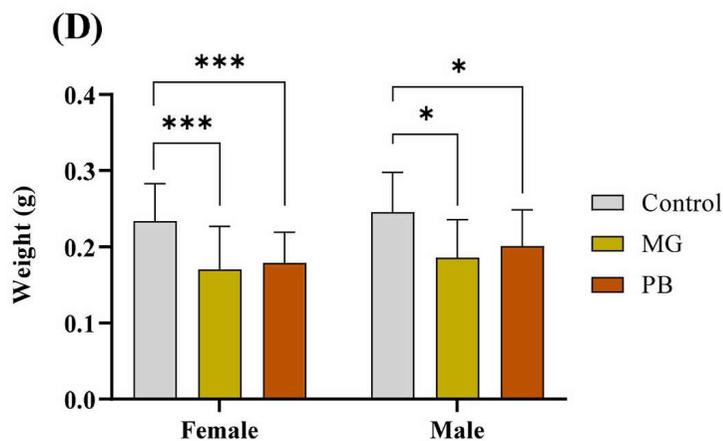
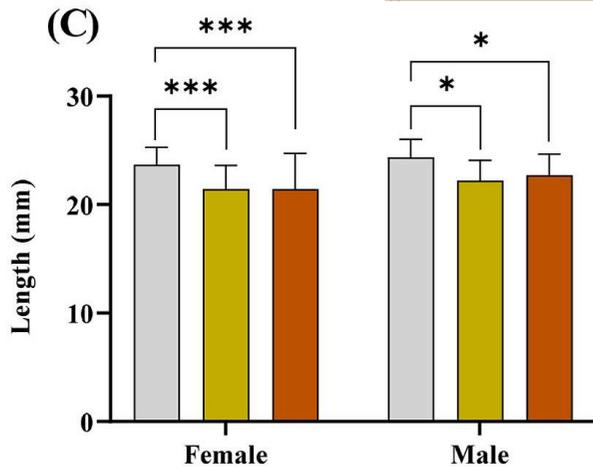


Alimentation pendant 5 mois
avec 1% de MP dans la
nourriture (1 à 6 mois)



Ifremer

Médaka marin, *Oryzias melastigma*

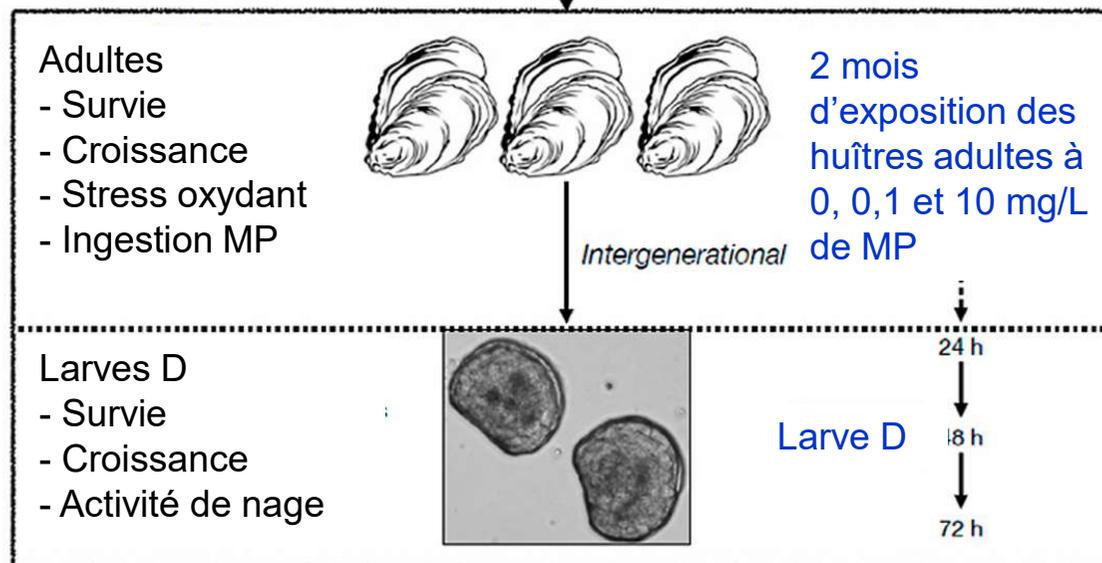


- La croissance des poissons est significativement affectée pour les MP de Marie Galante et de Petit-Bourg.
- La fertilité est réduite pour les poissons exposés à Petit-Bourg.

Macroplastiques issus de matériels ostréicoles usagés



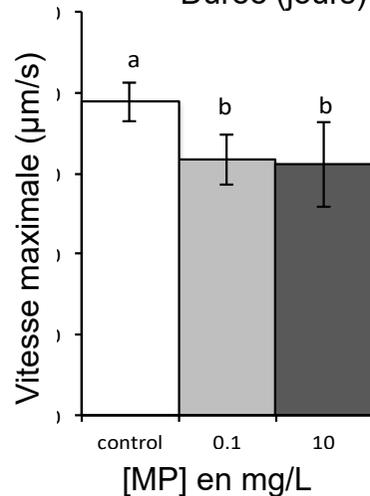
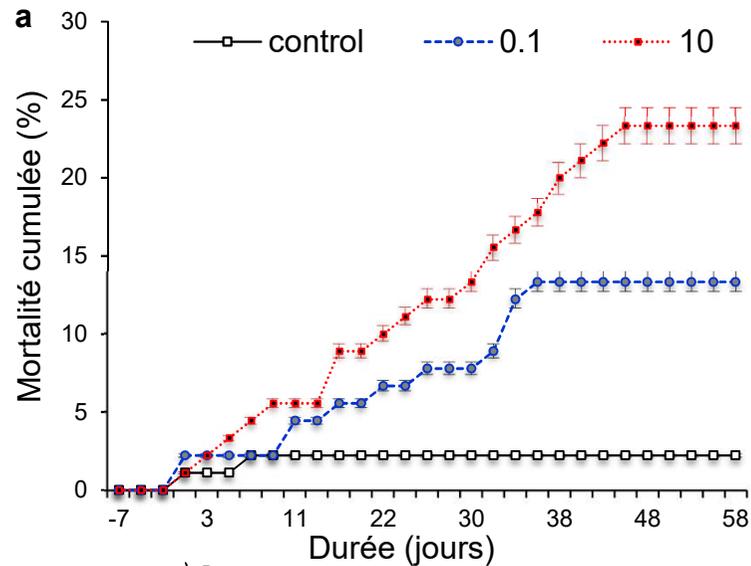
Mélange 28% PE, 32% PVC et 40% PP
Broyage et tamisage (140 +/- 2,3 µm)



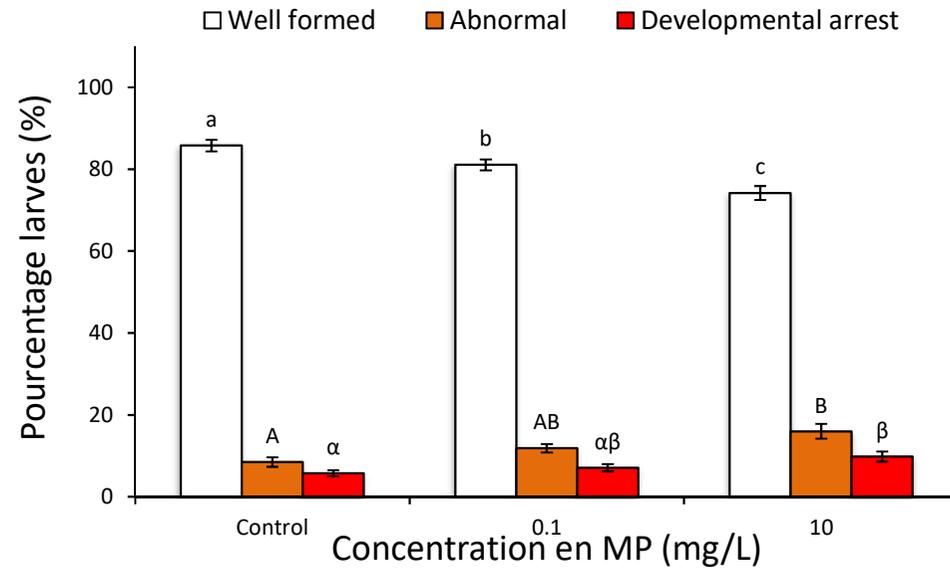
Toxicité des équipements ostréicoles



Mortalité cumulée des huîtres sur 2 mois



Développement des larves d'huître après 72h



- Augmentation de la mortalité des huîtres adultes dès 0,1 mg/L de MP.
- Augmentation des malformations et des arrêts de développement à 10 mg/L de MP.
- Réduction de la vitesse de nage des larves dès 0,1 mg/L de MP.



Pour résumer

- ✓ Les MP peuvent être ingérés ou inhalés par la plupart des organismes vivants.
- ✓ Même s'ils sont efficacement éliminés, certains MP (taille < de quelques μm) peuvent traverser les barrières biologiques et s'accumuler dans l'organisme.
- ✓ Le vieillissement des plastiques libère des particules (MP et NP) mais aussi des produits chimiques potentiellement toxiques dans le milieu ou dans les organismes.
- ✓ Les MP peuvent induire des effets toxiques majoritairement sub-létaux à des concentrations de l'ordre du mg/L.
- ✓ Ces effets toxiques sont associés principalement aux relargages d'additifs, de produits de dégradation, de substances non intentionnelles et de polluants par le plastique.



Quelques recommandations

- Réduire l'usage des plastiques (emballage)
- Simplifier la formulation des plastiques (moins d'additifs)
- Interdire l'usage de substances persistantes (vPvB) ou dangereuses (CMR, PE, PBT, ...) dans la composition des plastiques
- Dresser une liste d'additifs pouvant être utilisés dans les plastiques
- Rendre obligatoire l'évaluation prédictive des dangers et des risques de tout nouveau matériau plastique (polymère + additifs)
- Faire une Analyse du Cycle de Vie pour les nouveaux plastiques

**Merci pour votre attention, avez-vous
des questions ?**



jerome.cachot@u-bordeaux.fr