Toxicité et Ecotoxicité des microplastiques

Eric THYBAUD
Direction des Risques Chroniques
Pôle Dangers et impact sur le vivant
Inéris

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Des compositions variées sous un vocable commun

Polymères organiques de synthèse obtenus par polymérisation de divers monomères

Additifs

- Retardateur de flamme
- Stabilisant thermique
- Biocides
- Colorants
- ...

Type de polymère	Utilisations
Polyéthylène (PE)	Basse densité: bouteilles, jouets, sacs plastiques, sacs poubelle, revêtements, emballages, tubes pour le transport du gaz ou de l'eau Haute densité: jouets, articles de ménage et de cuisine, isolants électriques, sacs plastiques, emballages alimentaires
Polypropylène (PP)	Récipients alimentaires type Tupperware, industrie automobile
Polychlorure de vinyle (PVC)	Bâtiment, transport, emballages, électronique et domaine médical
Polytéréphtalate d'éthylène (PET)	Bouteilles, barquettes pour plats cuisinés allant au four
Polystyrène (PS)	Emballages alimentaires, emballages de repas à emporter, gobelets de distributeurs automatiques, couverts en plastique, boites de CD
Polyuréthane (PUR)	Rouleaux d'impression, pneus, semelles de chaussures, pare-chocs, matelas, sièges auto, usages biomédicaux
Polycarbonate (PC)	Bouteilles, récipients, appareils électriques, usages médicaux
Polyméthylpentène (PMP)	Matériel médical, seringues, abat-jour, radars, emballages alimentaires allant au micro-ondes
Polytétrafluoroéthylène (PTFE)	Revêtements antiadhésifs, joints, usages électriques et médicaux, matériel de laboratoire, pièces de pompes
Polysulfure de phénylène (PPS)	Utilisations dans l'électronique, la cuisine et l'automobile, matériel de laboratoire stérilisable
Polyisoprène (NR)	Gants, pneus, bottes, élastiques, gommes, tuyaux, usages médicaux
Polybutadiène (BR)	Pneus, balles de golf, intérieur des tuyaux
Acrylonitrile butadiène styrène (ABS)	Instruments de musique, bordures de cordon, usages électriques et médicaux, casques, canoës, appareils de cuisine, jouets
Styrène butadiène (SBR)	Pneus, chaussures, bâtiment, enduction du papier
Polyhydroxyalcanoate (PHA)	Appareils médicaux

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Une origine double

- Microplastiques primaires: microplastiques intentionnellement intégrés dans des produits industriels ou de consommation courante

- Microplastiques secondaires issus de la fragmentation et de la (bio)dégradation des macroplastiques

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Des compositions variées mais des propriétés communes

- Taille <5 mm
  → Assimilable par les organismes vivants

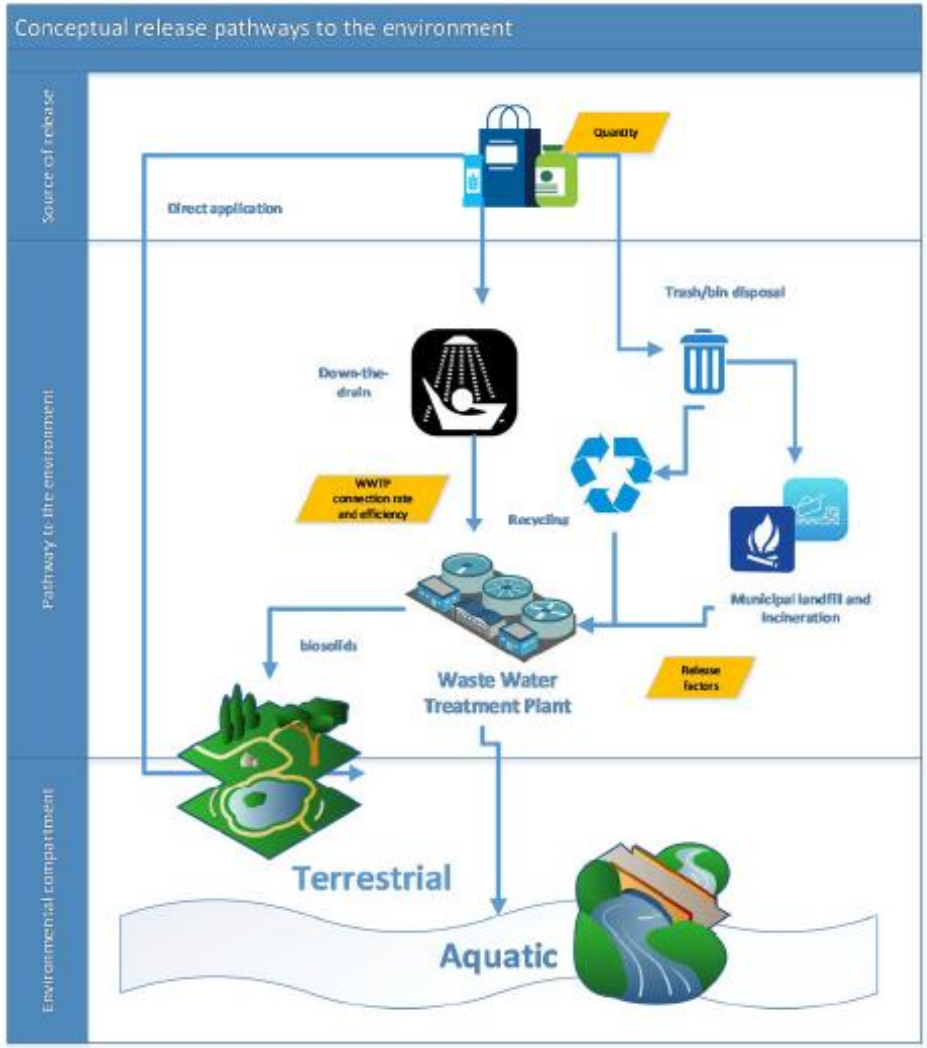
- Faible dégradation
  → Persistance dans l'environnement

- Quasi impossibilité de retrait de l'environnement après rejet

  → Omniprésence dans les différents compartiments environnementaux

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Les voies de rejet dans l'environnement



La majorité des microplastiques rejetés dans l'environnement via les effluents aqueux sont retenus par les STEP et sont accumulés dans les boues

Rejets environnementaux représentent environ 50 000 t/an pour les intentionnels (200 000T pour les non intentionnels)

Rejets principalement en direction des sols agricoles via épandage des boues de STEP et applications directes

D'après ECHA 2019

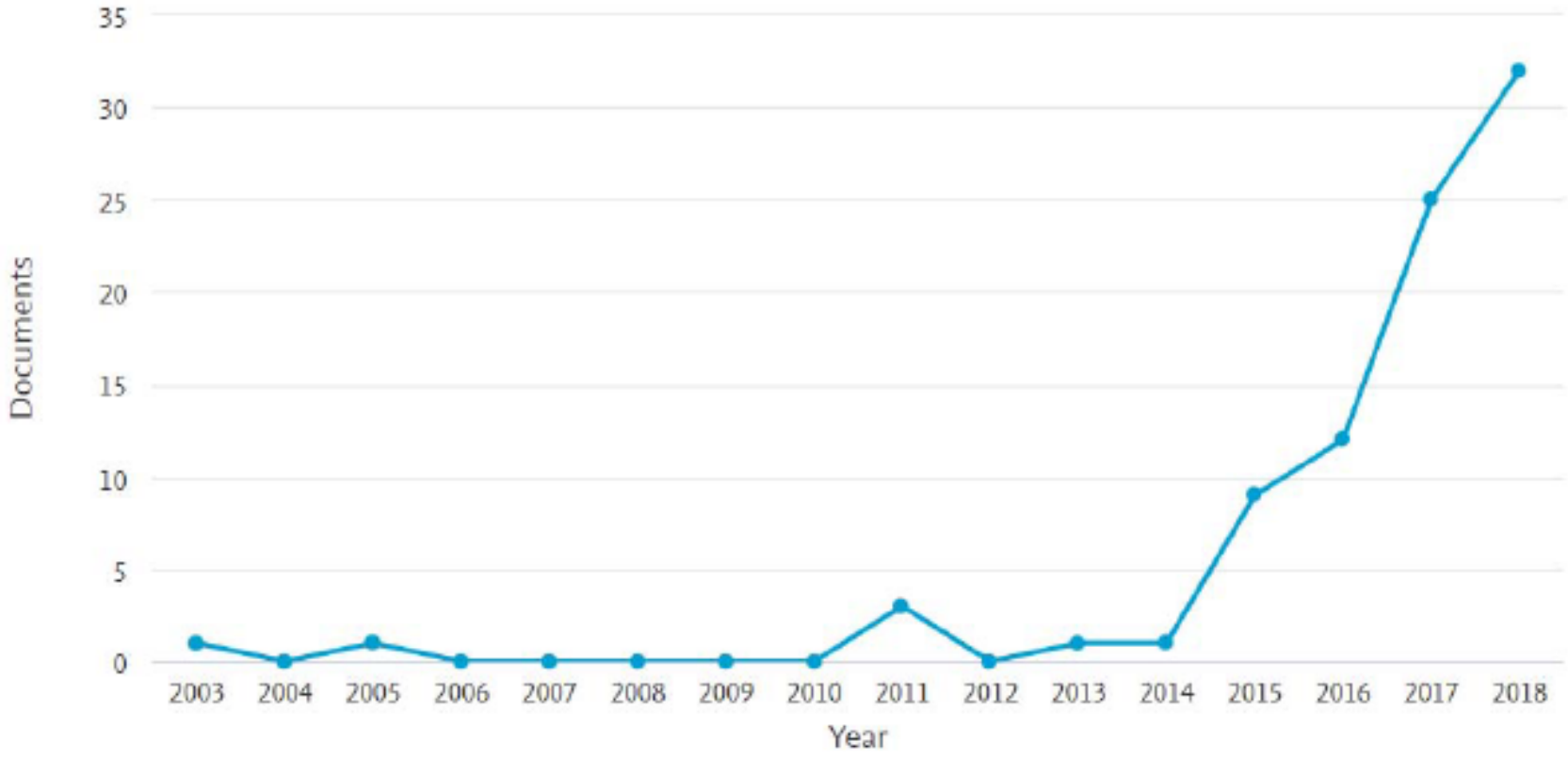
Origine et voies de transfert dans l'environnement

Types produits	Voies de rejet		
	Effluents domestiques	Déchets ménagers	Rejets directs dans l'environnement
Produits cosmétiques	+++	+	
Détergents	++++		
Agriculture			++++
Peintures	++++		
Dispositifs médicaux	++	++	

D'après ECHA 2019

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

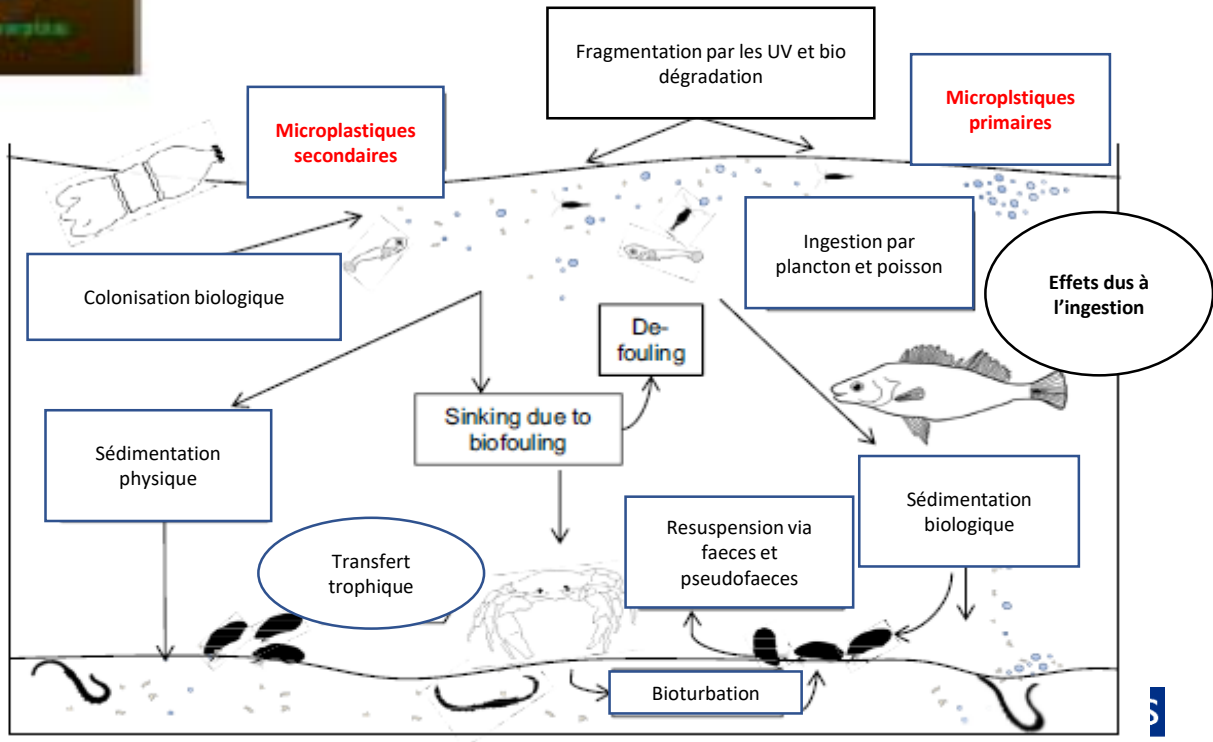
Une présence surement ancienne dans l'environnement mais une préoccupation sur les effets biologiques relativement récente



D'après ECHA 2019

Des cycles environnementaux complexes

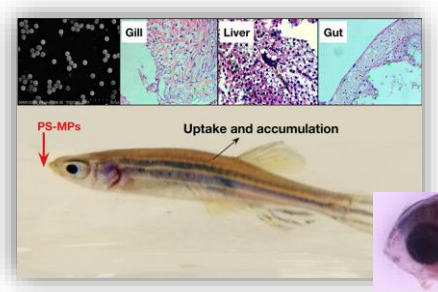
D'après Chae et An 2018

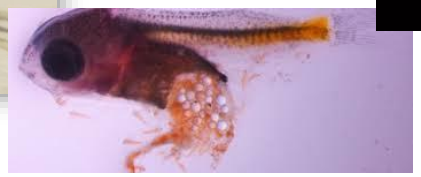


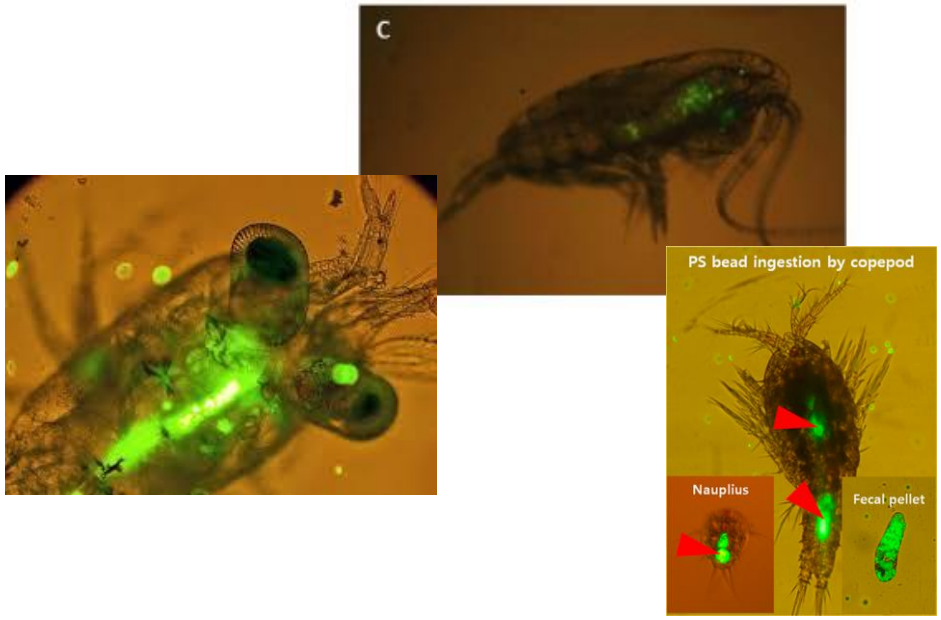
D'après Wright et al 2013

Absorption par les organismes vivants

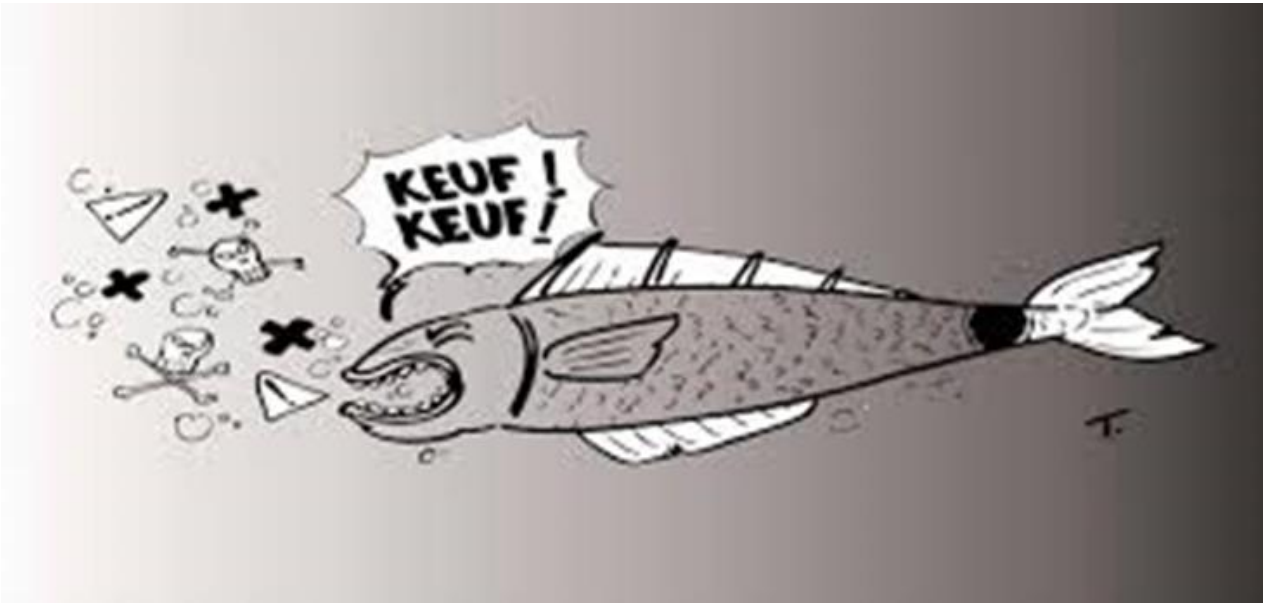
- Un phénomène observé chez de nombreuses espèces ayant des stratégies alimentaires différentes
  - Détritivore : vers, amphipodes , …
  - Filtreurs : copepodes, bivalves , …
  - Prédateurs : poissons, mammifères, …







Les effets sub-létaux



Action sur la photosynthèse

- Diminution de la photosynthèse chez *Dunaliella tertiolecta*, *Thalassiosira* et *Chlorella vulgaris*

d'après Sjollema *et al* 2016

- Induction de la formation d'agregats microplastique / algues *(Chlamydomonas reinhardtii)* / exoplolysaccharides
  => inhibition de la croissance algale

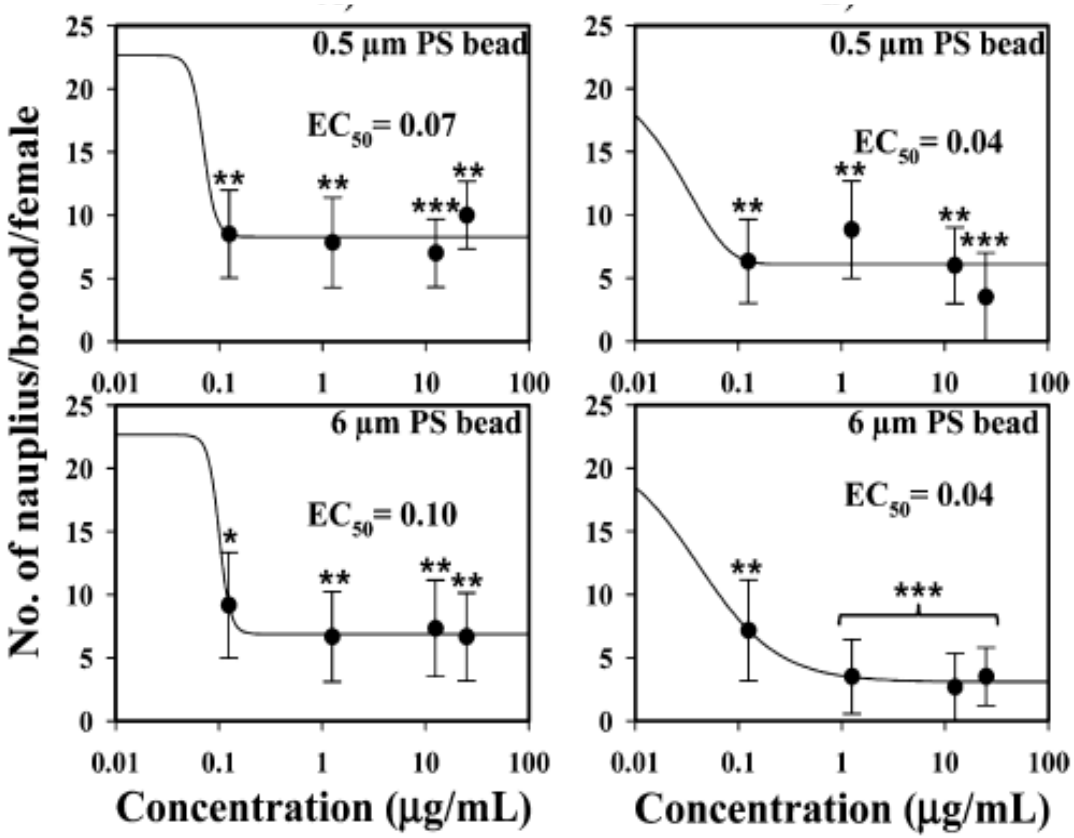
d'après Lagarde *et al* 2016

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Décroissance de la fertilité (polystryréne)

Génération FO

Génération F1



Copepodes
Trigriopus japonicus

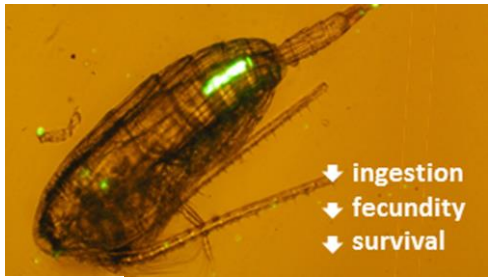
D'après Lee *et al* 2013

Microplastiques et reproduction

- Pas d'effet sur la production d'œuf en nombre
- Diminution du diamètre de œufs
- Diminution du succès d'éclosion des œufs

Polystyrène 20 µm 75 particules/ml

D'après Cole *et al* 2015

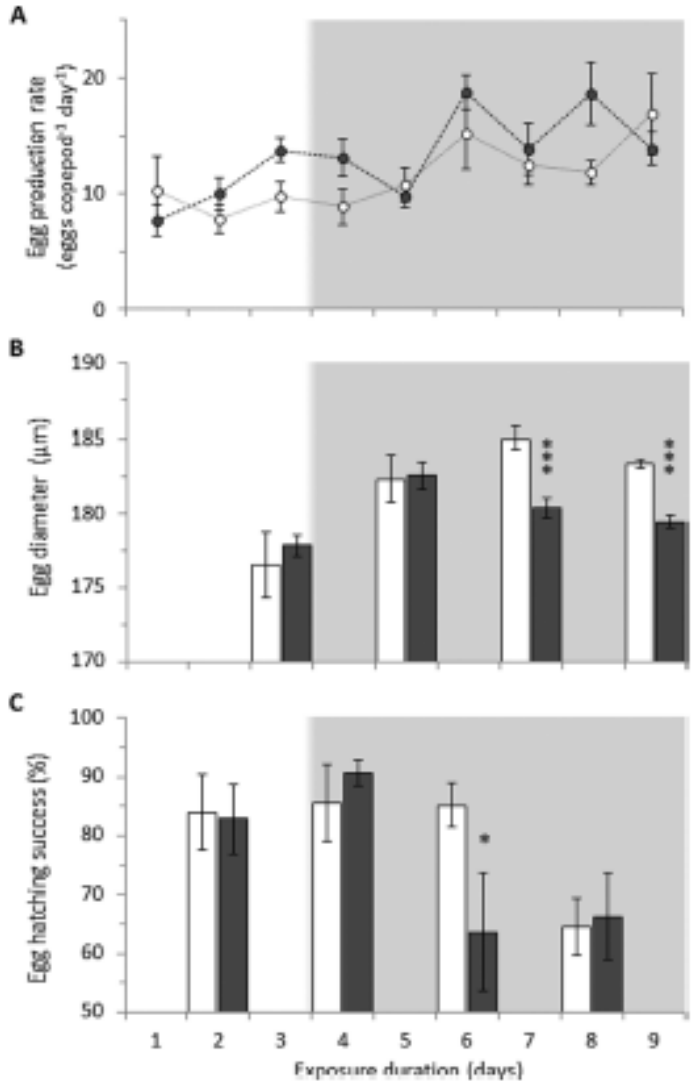


Copépode
Calanus helgolandicus

Taux de production d'oeufs

Diamètre des œufs

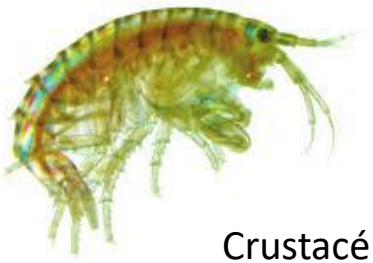
Succès d'éclosion



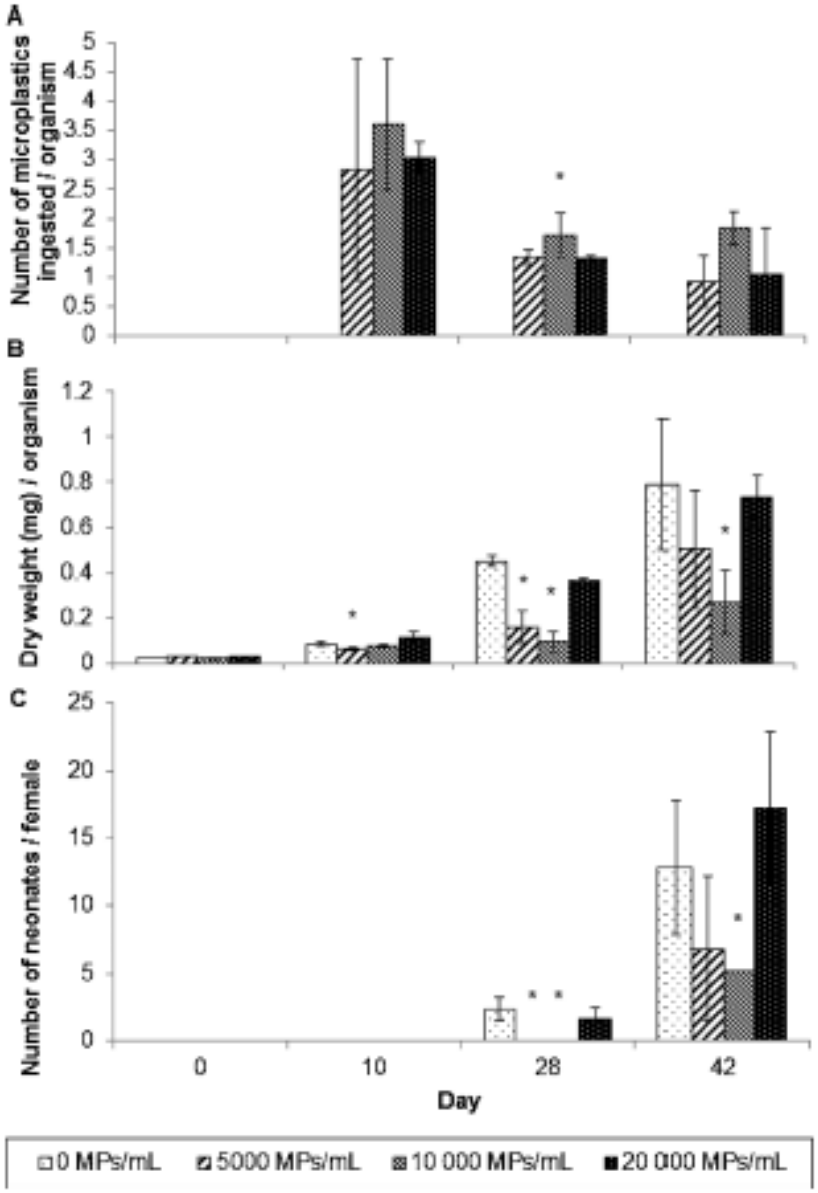
Microplastiques et reproduction

- Effet sur la croissance et la reproduction non dose dépendant parallèle à l'ingestion

polyéthylène 10 à 27 µm de diamètre



Crustacé Amphipode
Hyalella azteca



Ingestion

Croissance

Reproduction

D'après Au et al 2015

Microplastiques et reproduction

Polystyrène

- Femelles: Diminution du nombre et du diamètre des oocytes
- Males: diminution de la vélocité du sperme
- Ralentissement de la croissance des larves avec retard de la métamorphose

d'après Sussarellu *et al* 2016

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Folsomia candida / PVC

Folsomia candida

- Inhibition de la croissance et de la reproduction
- Modification de la composition de la microflore digestive
- Altération de l'incorporation de l'azote et du carbone

A une concentration (1g/kg de sol) reportée dans des boues de STP

d'après Zhu *et al* 2018

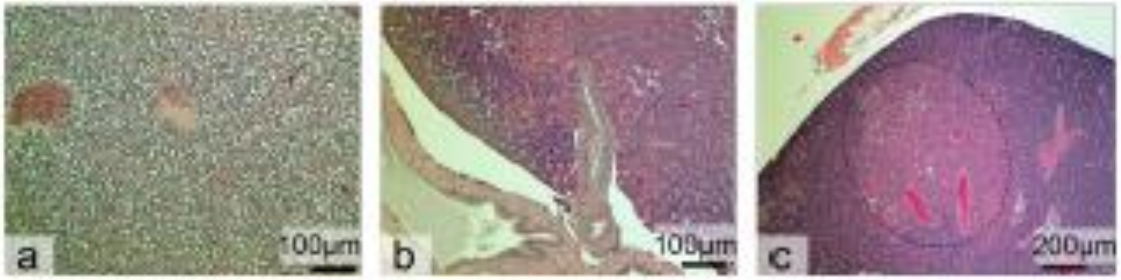
INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Microplastiques et cancérogénèse

- Déplétion en glycogéne (b)
- Nécroses cellulaires hépatiques (c)
- Vacuolisation graisseuse
- Adénome hepatocellulaire

Oryzia latipes

Polyéthylène faible densité



d'après Rochman *et al* 2013

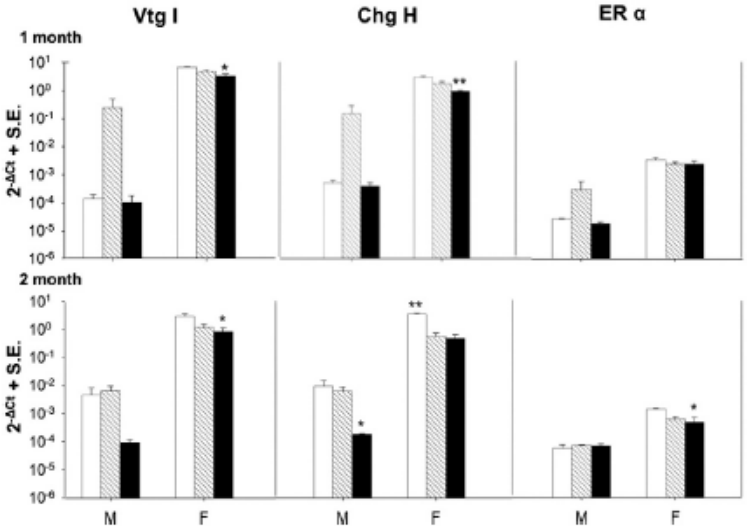
INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Microplastiques source d'altération de la fonction endocrine ?

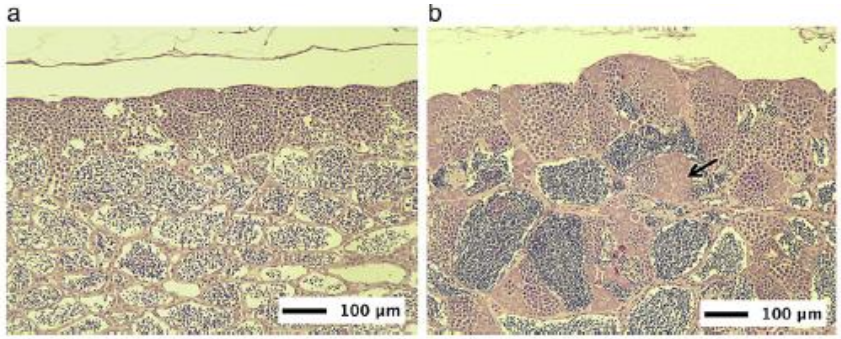
- 3 conditions Témoin, polyéthylène, polyéthylène ayant séjournées dans la Baie de San Diego

Médaka

- Impact sur le récepteur alpha aux œstrogènes, sur le gène de la vitellogénine et sur le gène de choriogénine



Males : Diminution de l'expression du gène de la choriogénine après 2mois d'exposition
Femelles : Diminution de l'expressions des gènes de la vitellogénine et de la chorionine



Observation de de cellules avec des caractéristiques généralement associées à la différenciation des cellules germinales femelles

D'après Rochman *et al* 2014

Microplastiques et impact sur la transmission nerveuse

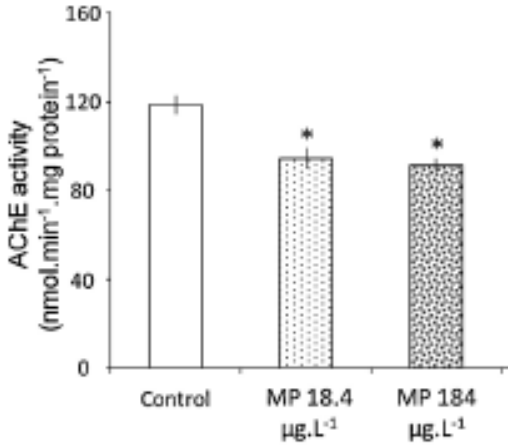
- Inhibition de l'acethylcholine estérase

  ⇒ Perturbation de la neurotransmission
  ⇒ Perturbation potentielles des fonctions nerveuses et musculaires

  ⇒ impact potentiel sur la croissance, la reproduction et le comportement

  ⇒ impact sur la population

Pomatoschistus microps



Polyéthylène

d'après Olivieira *et al* 2013

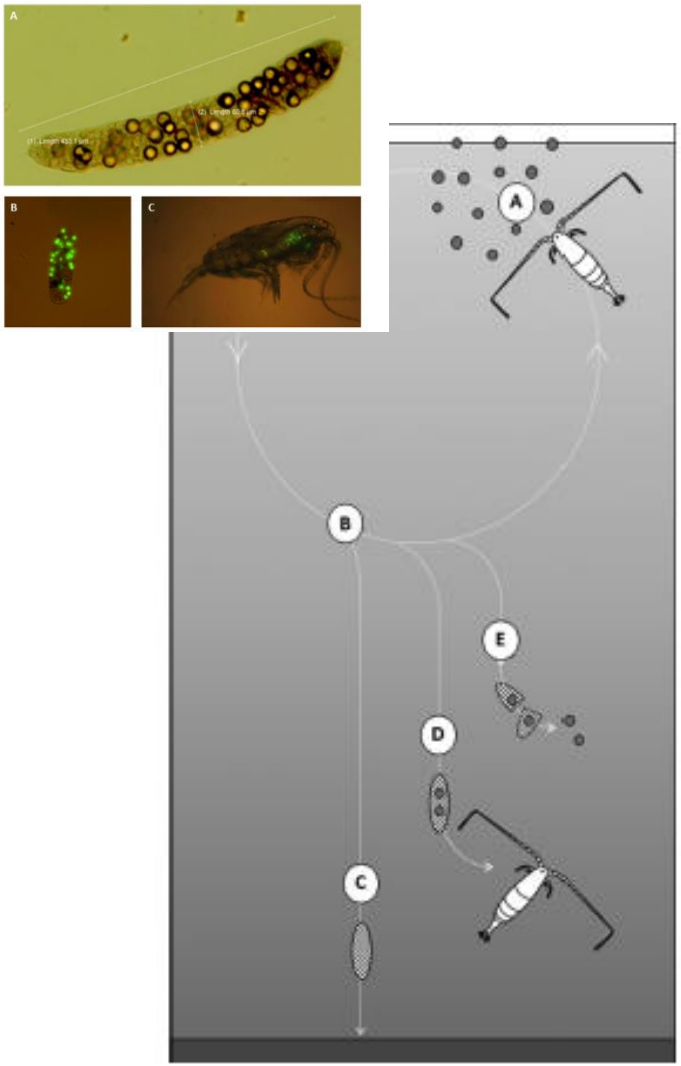
INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Les effets indirects

Effets indirects : Modification des propriétés des boulettes fécales du zooplancton

- Ingestion → passage dans les boulettes fécales → vecteurs de transport dans le milieu et des vecteurs de transfert vers les organismes coprophages

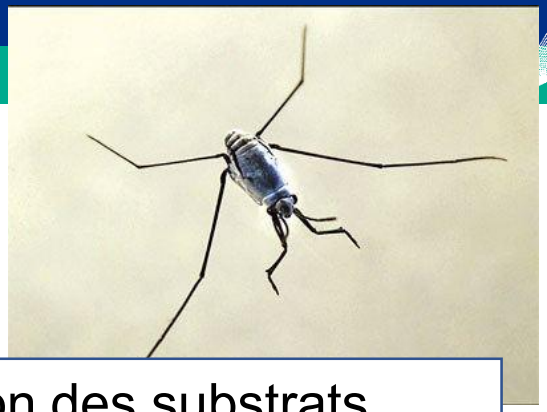
- Microplastique dans les boulettes fécales →altération de la sédimentation de celles-ci → perturbation cycle de éléments nutritifs



d'après Cole et al 2016

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Microplastiques et reproduction
Effets indirectes
Insectes marins *Halobates micans*



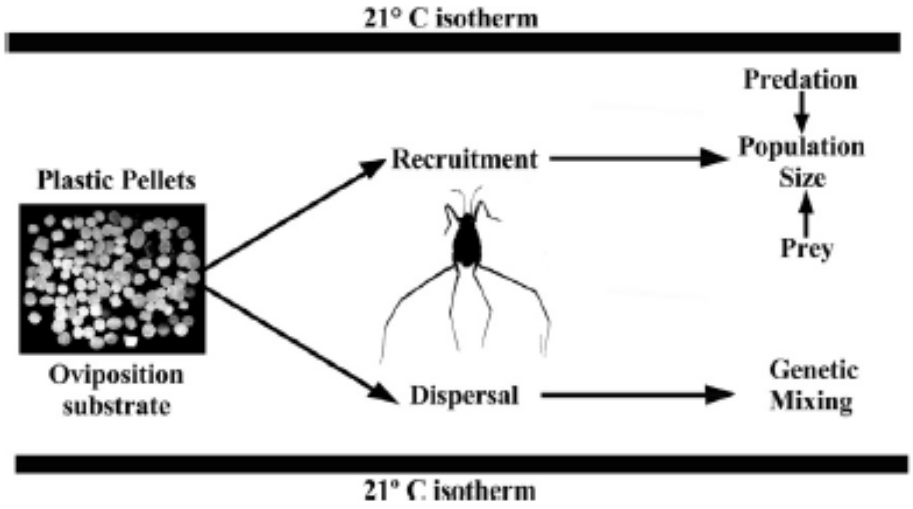
Contamination de la colonne d'eau se traduit par une augmentation des substrats durs flottants

→ Création d'un nouvel habitat susceptible de devenir site d'oviposition

→ Impact sur la reproduction

→ Impact sur la dispersion

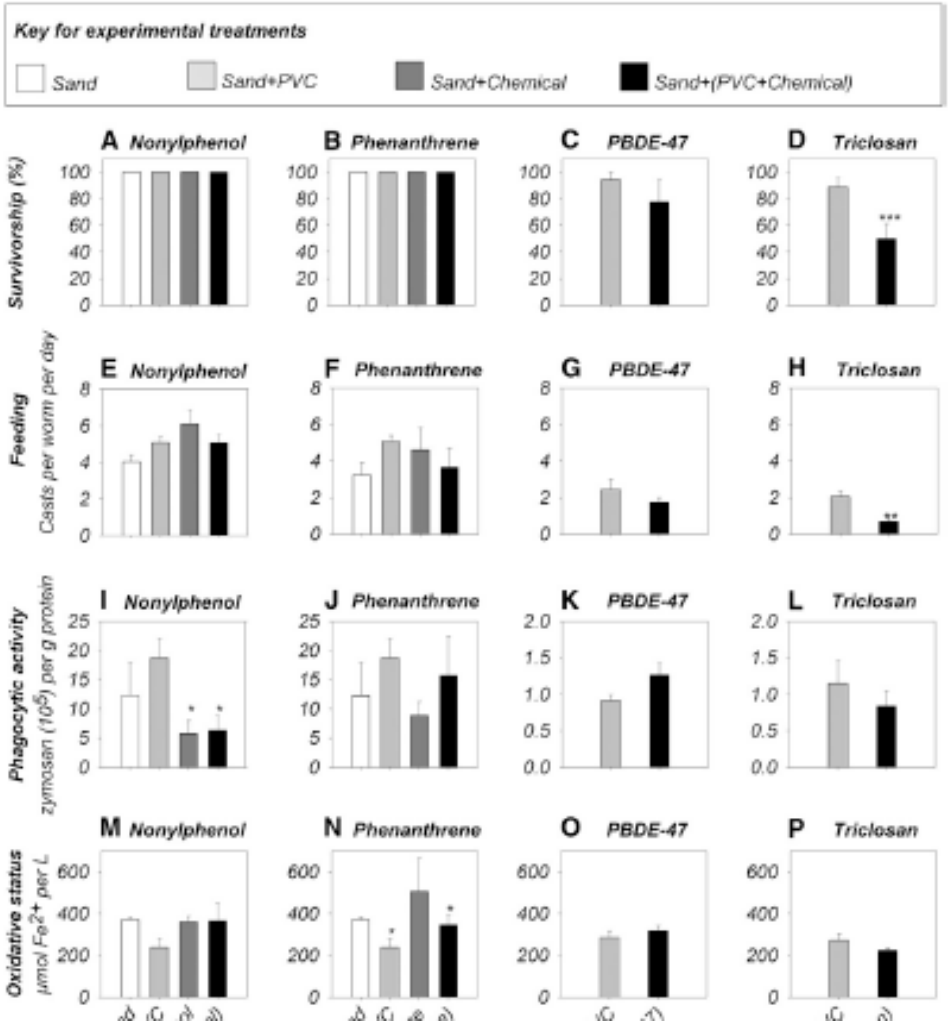
d'après Majer *et al* 2012



Les microplastiques support de polluants

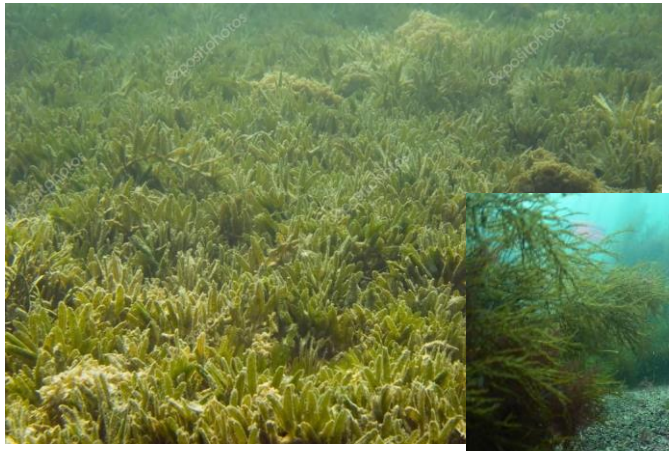
Transfert de substance chimiques adsorbées sur les microplastiques vers les tissus à des concentrations susceptibles d'entrainées des effets sur la survie, l'alimentation, l'immunité ou les capacités antioxydantes

Arenicola marina

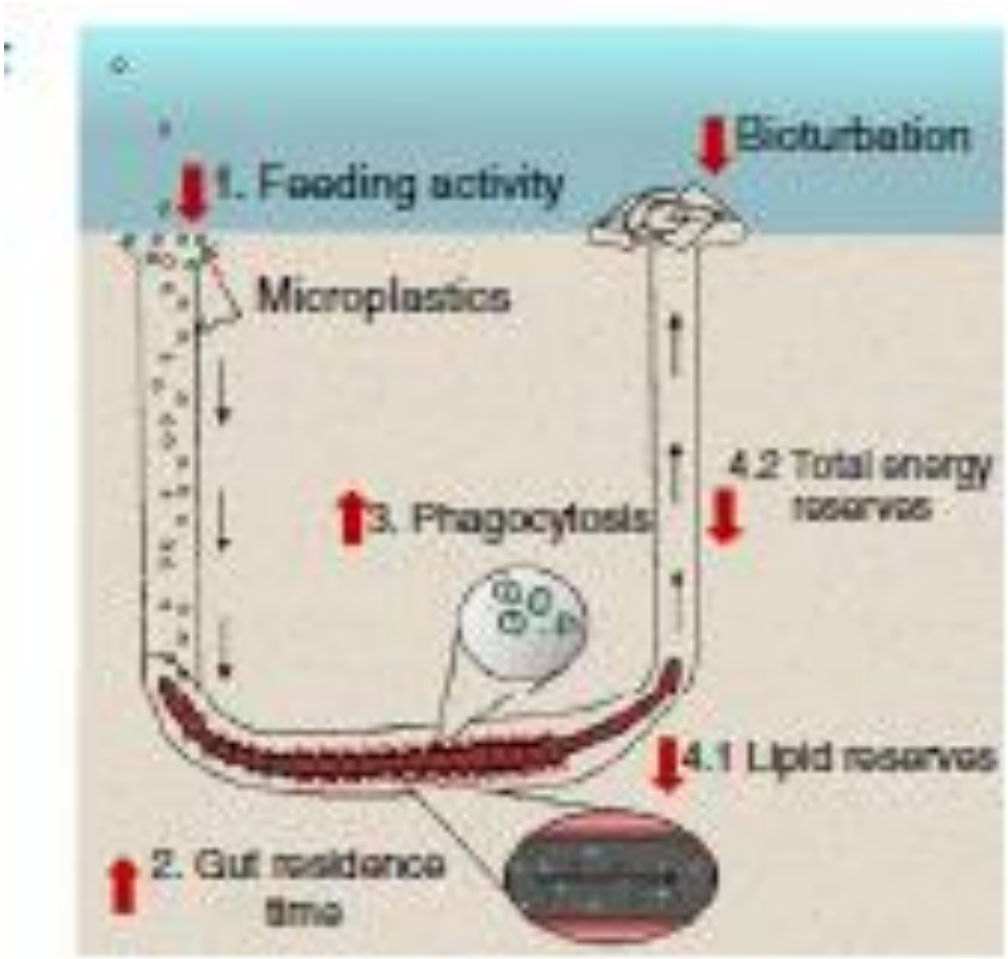


D'après Browne *et al* 2013

Impact au niveau des communautés

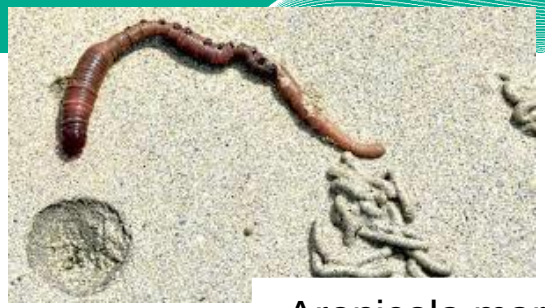


Arenicola marina



D'après Wright *et al* 2013

Microplastiques et Effets sur la communauté benthique



Arenicola marina

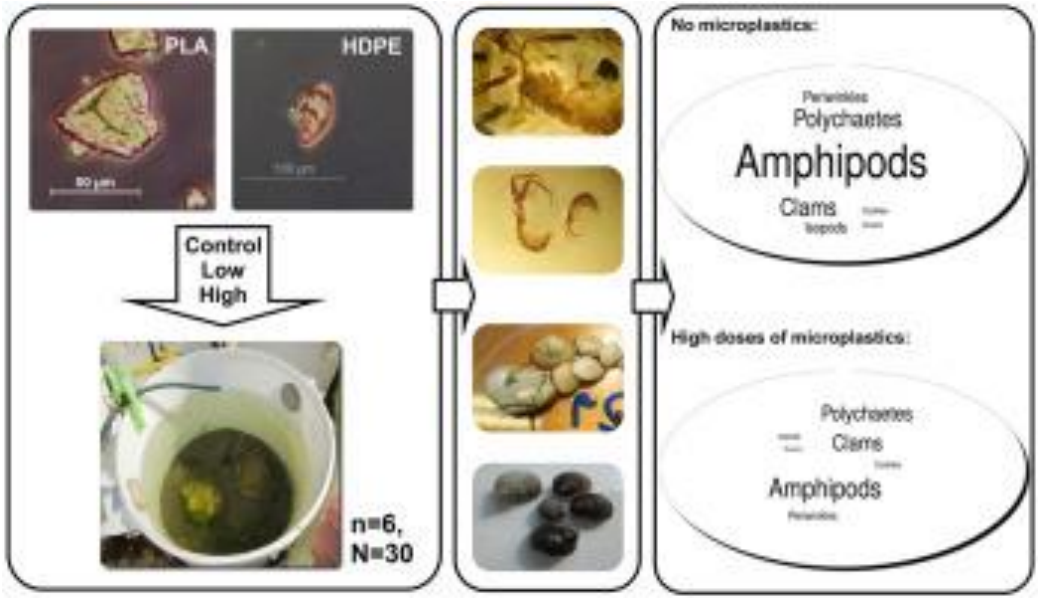
- Reduction de la bioturbation → modification de la porosité des sédiments => perturbation des mouvements d'eau et des nutriments

- Réponse du microphytobenthos
  - Diminution de la biomasse algale
    - Effets directs des microplastiques
    - Effets indirects liés aux effets sur les organismes fouisseurs

d'après Green *et al* 2015

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Etude en mésocosme,
Polyéthylène haute densité et acide polylactique, 0,8 et 80 µg/l



Diminution de l'abondance des invertébrés brouteurs

⇒ Diminution du broutage des microalgues présentes sur les végétaux supérieurs et les macroalgues

⇒ 1 : augmentation de la biomasse des microalgues

⇒ 2 : diminution de la croissance et de la production des herbiers

⇒ Au final perturbation du fonctionnement de l'herbier et altération de la communauté présente

D'après D. S. Green 2016

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

Tentative de bilan concernant les effets directs

EXPOSITION AUX MICROPLASTIQUES

ALTERATION FERTILITE, VELOCITE DU SPERME, PRODUCTION D'OEUF, …

ALTERATIONS NEUROLOGIQUES

ALTERATION ENERGETIQUE

DOMMAGES CELLULAIRES

EFFETS SUR LA REPRODUCTION

EFFETS SUR LE COMPORTEMENT

EFFETS PHYSIOLOGIQUES

MORTALITE CELLULAIRE

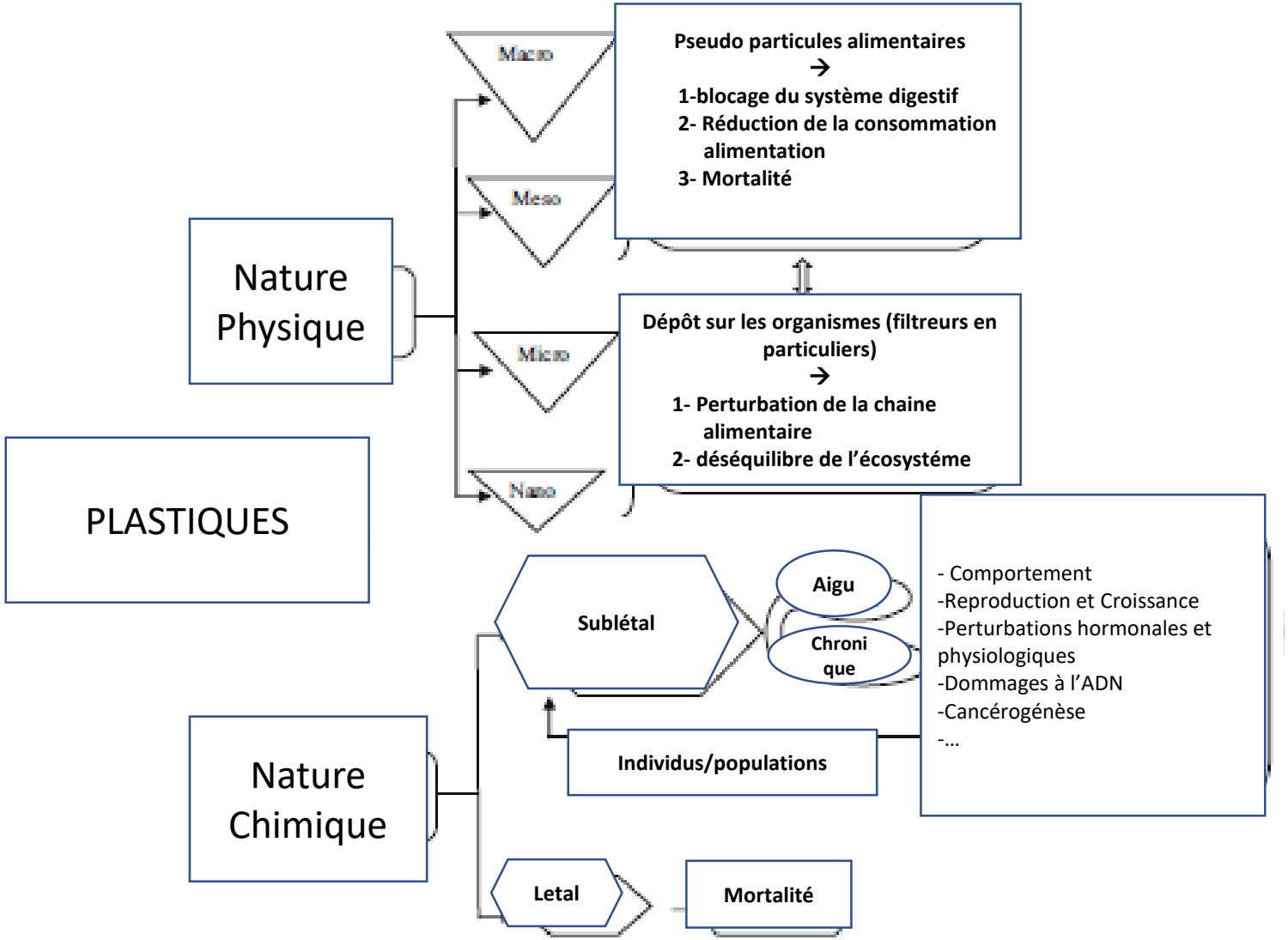
DECLIN DE LA POPULATION

ALTERATION DE LA VALEUR ADAPTATIVE DE LA POPULATION

MORTALITE

D'après Anbumani *et al* 2018

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable



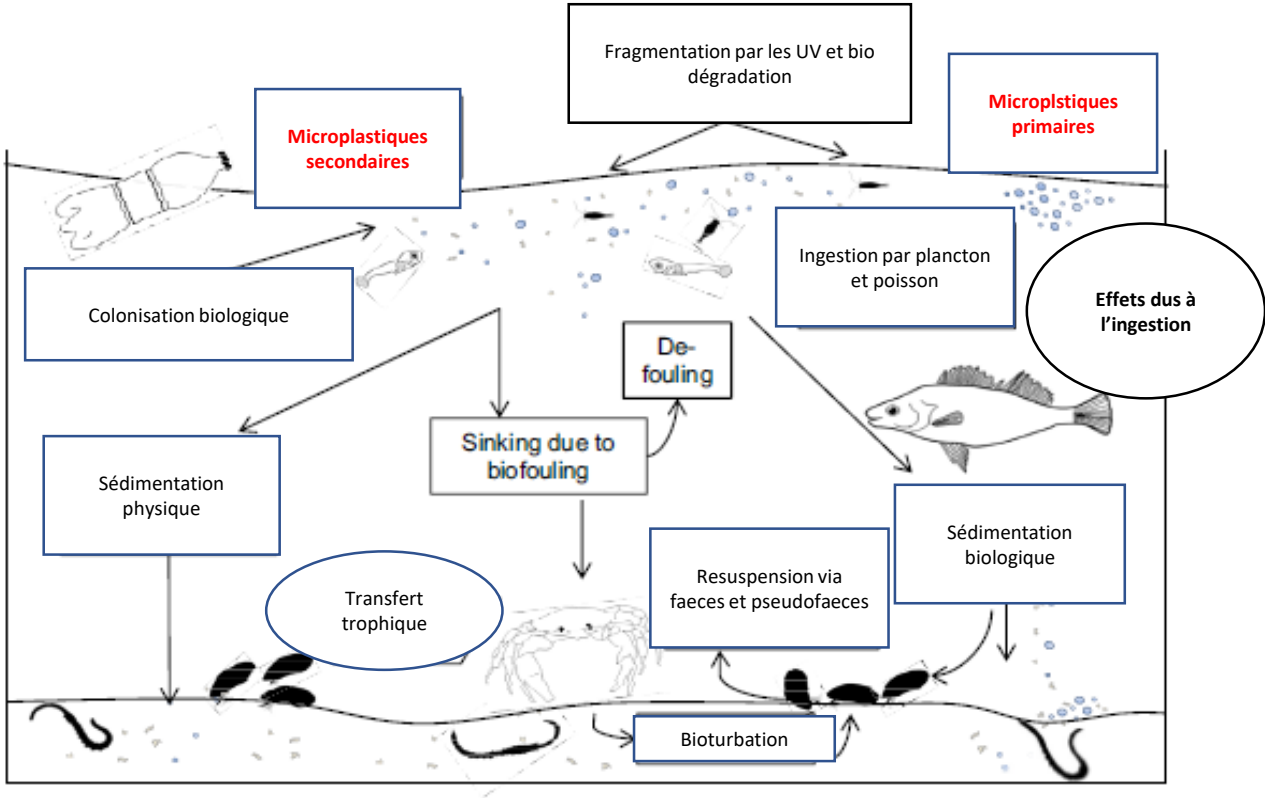
D'après *Anbumani et al* 2018

- Une relative bonne connaissance du cycle environnemental

- Des essais d'écotoxicité réalisés sur différents taxa représentatifs de différents niveaux trophiques

- La majorité des études réalisée
  - en milieu aquatique et principalement marin
  - après expositions courtes et fortes concentrations

- De nombreux critères d'effet étudiés
  - Survie
  - Alimentation
  - Croissance et reproduction
  - Comportement
  - Biochimie
  - …



- Beaucoup d'étude réalisées avec des formes nanométriques

Les défis pour l'écotoxicologie …

- Appréhender les effets au niveau des écosystèmes terrestres
- Etudier les effets à long termes
- Mieux appréhender les formes « micro »
- Elargir le spectre des produits étudiés

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable