

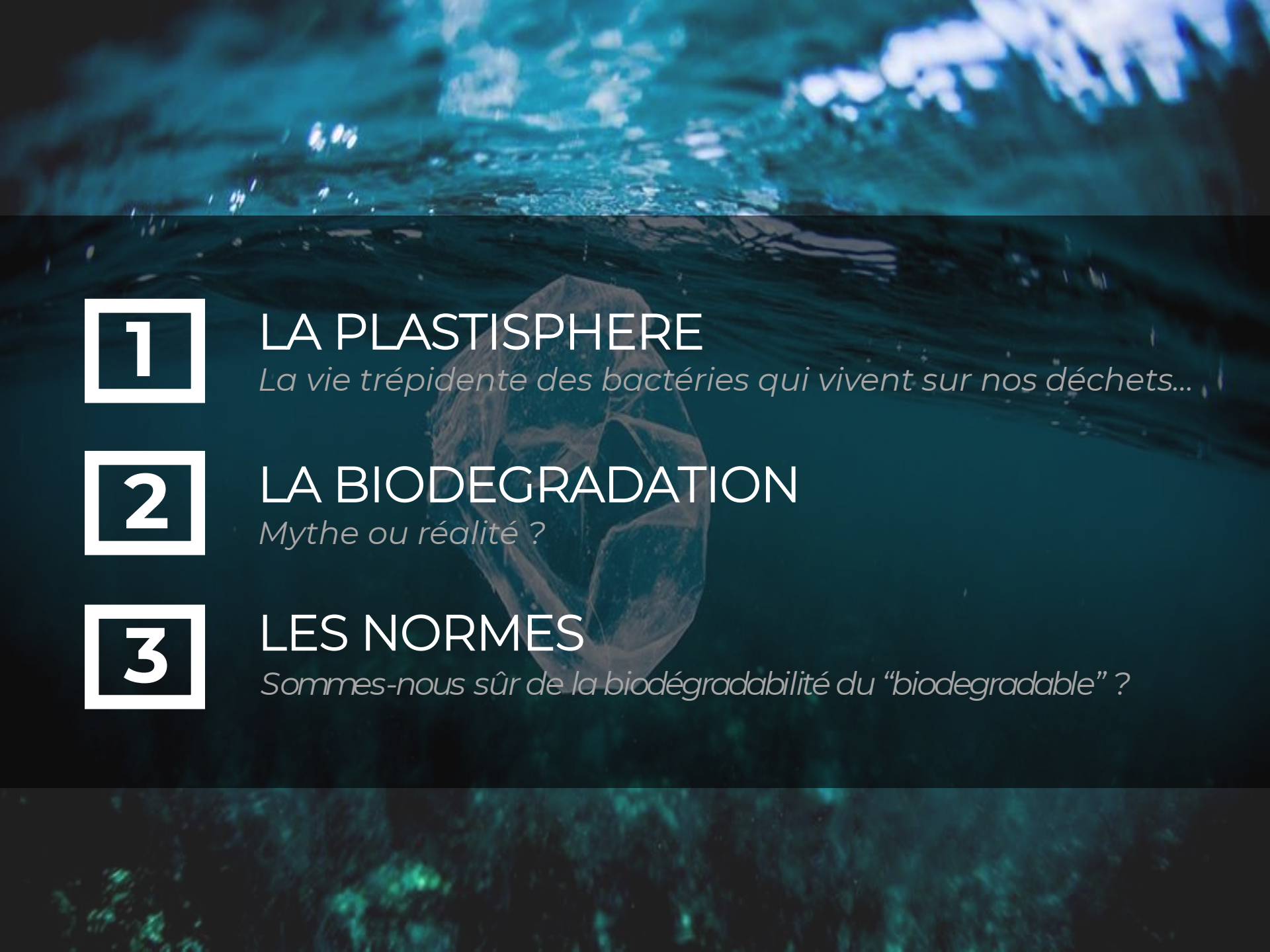
BIODEGRADATION DES PLASTIQUES EN MER

Mythe ou réalité ?

Jean-François GHIGLIONE
Directeur de recherche CNRS



Laboratoire d'Océanographie Microbienne (Banyuls/mer)



1

LA PLASTISPHERE

La vie trépidante des bactéries qui vivent sur nos déchets...

2

LA BIODEGRADATION

Mythe ou réalité ?

3

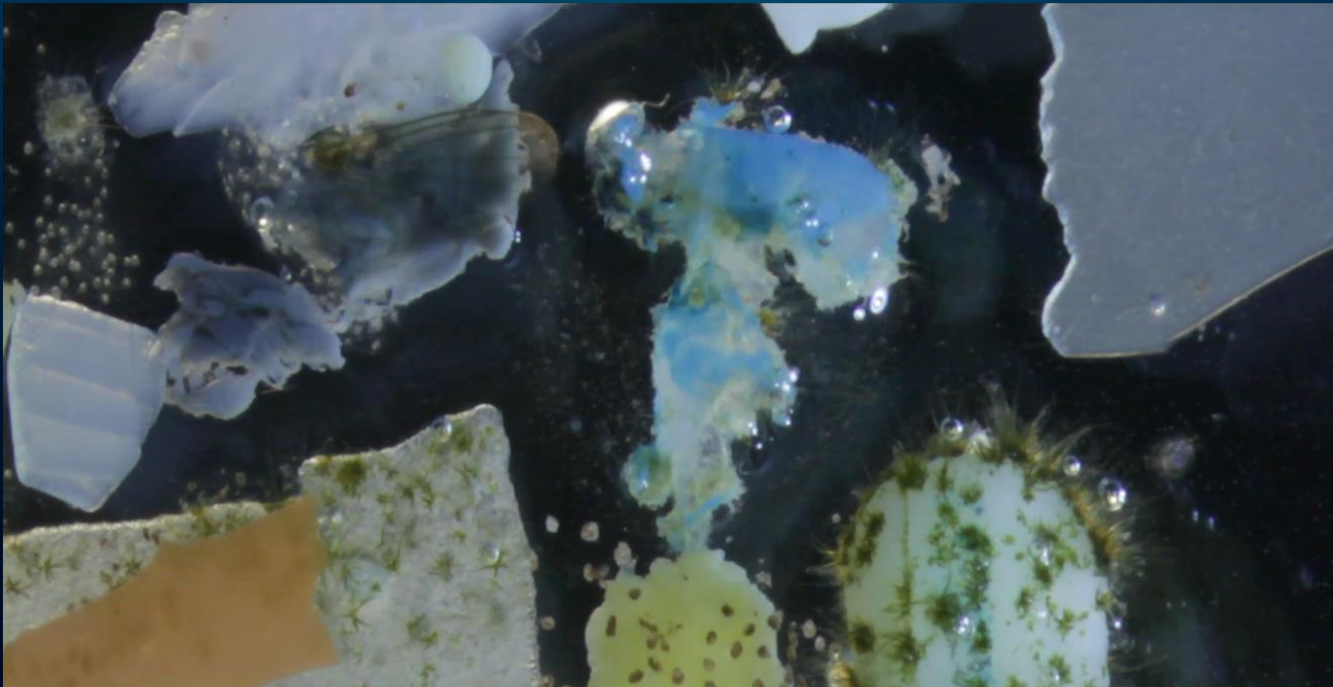
LES NORMES

Sommes-nous sûr de la biodégradabilité du “biodegradable” ?



LA PLASTISPHERE

La vie trépidante des bactéries qui vivent sur nos déchets...

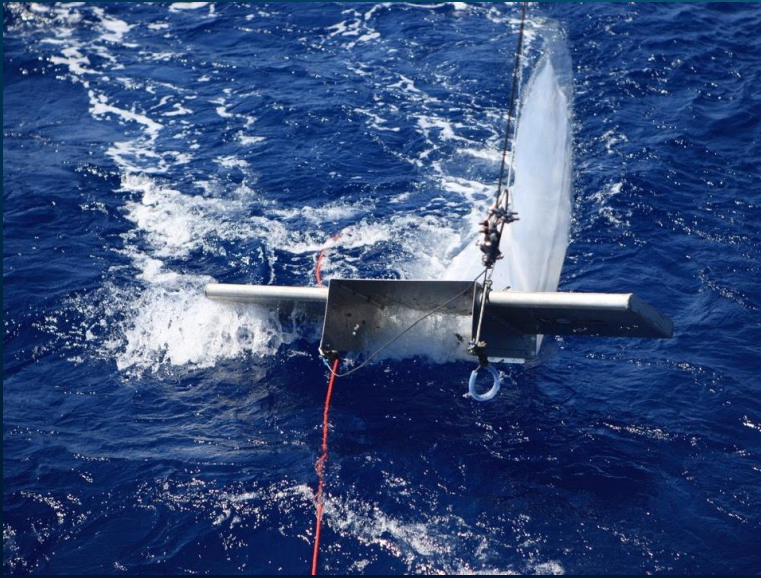


-Qui sont-ils ? Combien ? Pathogènes ?

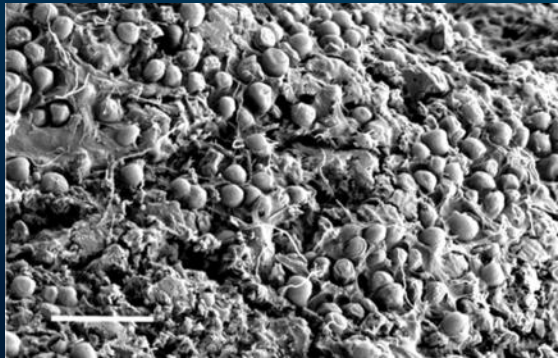
-Biodégradation des plastiques ?

Expéditions scientifiques depuis 8 ans

Développement d'une base de données « plastisphère marine »



CARACTÉRISTIQUES DE LA “PLASTISPHERE”

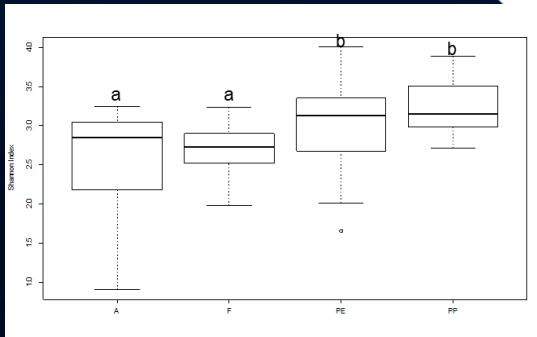


NOUVEL HABITAT

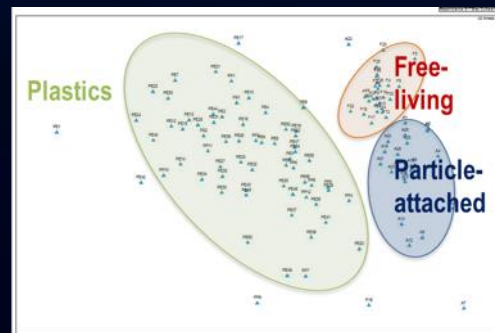


Hydrocarbonoclastes

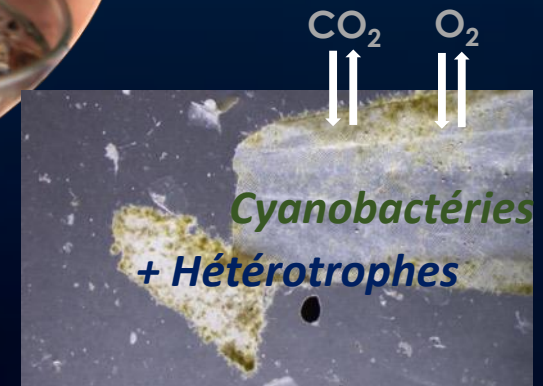
DEGRADATION ?



GRANDE BIODIVERSITÉ



NOUVELLE NICHE



**Cyanobactéries
+ Hétérotrophes**

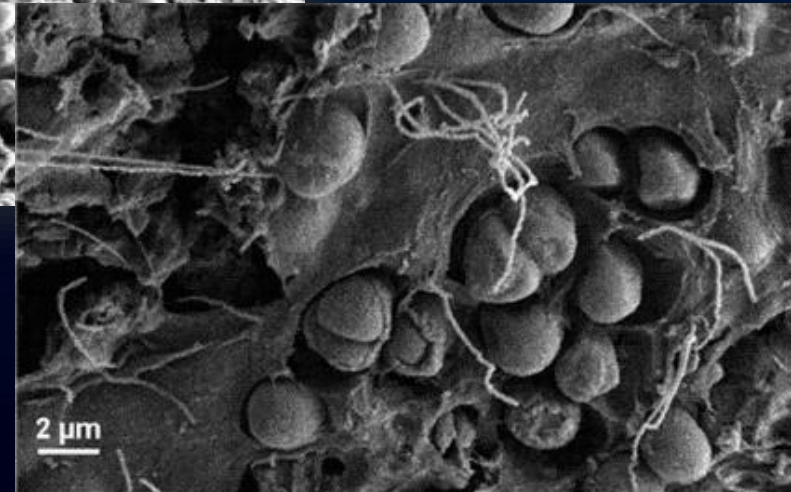
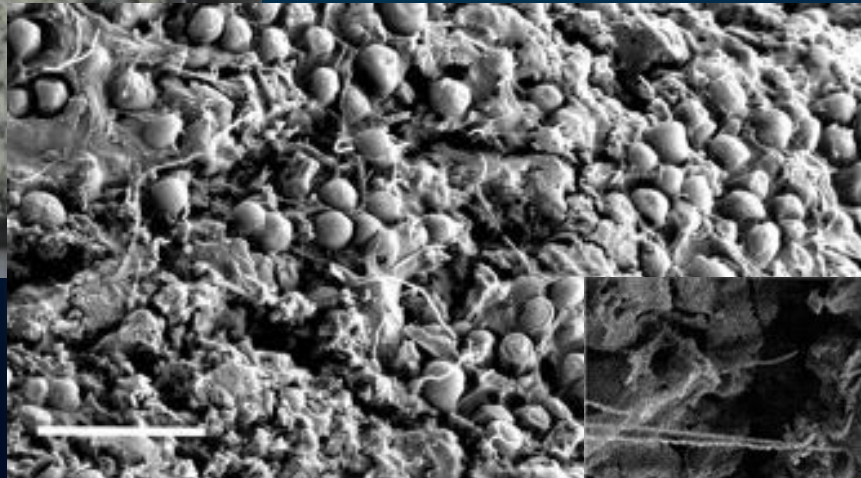
**PRODUCTION /
CONSOMMATION**

CO₂
Dussud (2018), Jacquin (2019)
Odobel (2021), Cheng (2021)

2

LA BIODEGRADATION

Mythe ou réalité ?



Zettler et al. 2015

Des bactéries connues pour la biodégradation...



... en conditions de laboratoire

Jacquin et al. 2019

Conventionnels

Type of polymer	Strains	Reference
PE	<i>Brevibacillus borstelensis</i>	Hadad et al., 2005; Mohanrasu et al., 2018
	<i>Bacillus weihenstephanensis</i>	Ingavale and Raut, 2018
	<i>Comamonas</i> sp.	Peixoto et al., 2017
	<i>Delftia</i> sp.	Peixoto et al., 2017
	<i>Stenotrophomonas</i> sp.	Peixoto et al., 2017
	<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	Kowalczyk et al., 2016
	<i>Bacillus</i> sp. YP1	Yang et al., 2014
	<i>Enterobacter asburiae</i> YT1	Yang et al., 2014
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Das and Kumar, 2015
	<i>Bacillus pumilus</i> M27	Harshvardhan and Jha, 2013
	<i>Kocuria palustris</i> M16	Harshvardhan and Jha, 2013
	<i>Lysinibacillus xylanolyticus</i>	Esmaeili et al., 2013
	<i>Bacillus mycoides</i>	Ibione et al., 2013
	<i>Bacillus subtilis</i>	Ibione et al., 2013
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> PAO1 (ATCC 15729)	Kyaw et al., 2012
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 15692)	Kyaw et al., 2012
	<i>Pseudomonas putida</i> KT2440 (ATCC 47054)	Kyaw et al., 2012
	<i>Pseudomonas syringae</i> DC3000 (ATCC 10862)	Kyaw et al., 2012
	<i>Brevibacillus parabravis</i>	Pramila, 2012
	<i>Acinetobacter baumannii</i>	Pramila, 2012
	<i>Pseudomonas citronellolis</i>	Pramila, 2012
	<i>Bacillus sphaericus</i>	Sudhakar et al., 2008
	<i>Rhodococcus ruber</i>	Gilan and Sivan, 2013
	<i>Aspergillus versicolor</i>	Pramila and Ramesh, 2011
	<i>Aspergillus</i> sp.	Pramila and Ramesh, 2011; Shaik et al., 2015
	<i>Chaetomium</i> sp.	Sowmya et al., 2012
	<i>Aspergillus flavus</i>	Sowmya et al., 2012
	<i>Penicillium simplicissimum</i>	Yamamoto et al., 2012
	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Yamamoto et al., 2012
	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Yamamoto et al., 2012
	<i>P. pinophilum</i> , <i>A. niger</i> , <i>Gliocladium</i> sp.	Yamamoto et al., 2012
	<i>P. chrysosporium</i>	Yamamoto et al., 2012
	<i>Aspergillus</i> sp.	Yamamoto et al., 2012
PET	<i>Aspergillus</i> sp.	Yamamoto et al., 2012
	<i>Aspergillus</i> sp.	Yamamoto et al., 2012
	<i>Aspergillus</i> sp.	Yamamoto et al., 2012
	<i>Aspergillus</i> sp.	Yamamoto et al., 2012
	<i>Aspergillus</i> sp.	Yamamoto et al., 2012
	<i>Aspergillus</i> sp.	Yamamoto et al., 2012
	<i>Aspergillus</i> sp.	Yamamoto et al., 2012
	<i>Aspergillus</i> sp.	Yamamoto et al., 2012
	<i>Aspergillus</i> sp.	Yamamoto et al., 2012
	<i>Aspergillus</i> sp.	Yamamoto et al., 2012
PHB	<i>Crupriavidus</i> sp.	Martinez-Tobón et al., 2018
	<i>Martiniobacter algicola</i>	Martinez-Tobón et al., 2018
	Mixed cultures	Ansari and Fatma, 2016
	<i>Schlegella thermopolymers</i>	Romen et al., 2004
	<i>Caenibacterium thermophilum</i>	Romen et al., 2004
	<i>Acidovorax</i> sp. TP4	Kobayashi et al., 1999
	<i>Pseudomonas stutzeri</i>	Uofuji et al., 1997; Martínez-Tobón et al., 2018
	<i>Leptothrix discophora</i>	Takeda et al., 1998
	<i>Alcaligenes faecalis</i>	Tanio et al., 1982; Kita et al., 1995
	<i>Comamonas acidovorans</i> YM1609	Kasuya et al., 1997
	<i>Comamonas testosteroni</i>	Kasuya et al., 1997; Martínez-Tobón et al., 2018
	<i>Pseudomonas lemoignei</i>	Uofuji et al., 1997; Martínez-Tobón et al., 2018
	<i>Ralstonia pickettii</i>	Yamada et al., 1993; Martínez-Tobón et al., 2018
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> YM1415 and nine Gram-	Mukai et al., 1994
PHEV	<i>Aspergillus niger</i>	Kumaravel et al., 2010
	<i>Clostridium botulinum</i>	Abou-Zeid et al., 2001
	<i>Clostridium acetobutylicum</i>	Abou-Zeid et al., 2001
	<i>Streptomyces</i> sp. SNG9	Mabrouk and Sabry, 2001
	<i>Pseudomonas lemoignei</i>	Jondrossek et al., 1993
	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Sang et al., 2001

REPRÉSENTATIF DU MILIEU MARIN ?
(<0.1% DE LA BIODIVERSITÉ NATURELLE)

Biodégradables

Des outils performants pour mieux comprendre la biodégradation

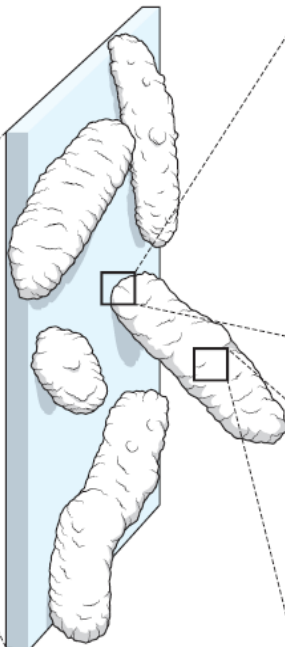
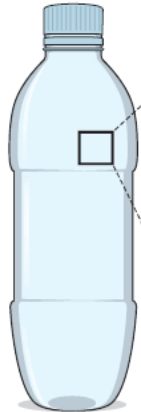
OMICS

- Séquençage haut débit: génomique et transcriptomique
- Protéomique

MICROBIOLOGY

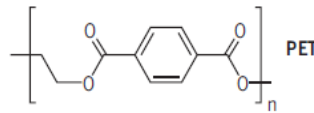
Feeding on plastic

A bacterium completely degrades poly(ethylene terephthalate)



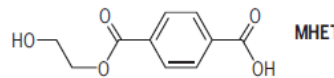
Ideonella sakaiensis
I. sakaiensis adheres to PET film

PETase is secreted



H₂O

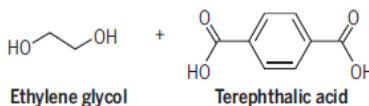
PETase



H₂O

Uptake of MHET

MHET is hydrolyzed to the monomers



The monomers are catabolized for growth

PETase



CARBIOS

Biodegradable Polymers, Limited

L'ORÉAL

Active Cosmetics Division



Microbiology Department (University)



PEPSICO

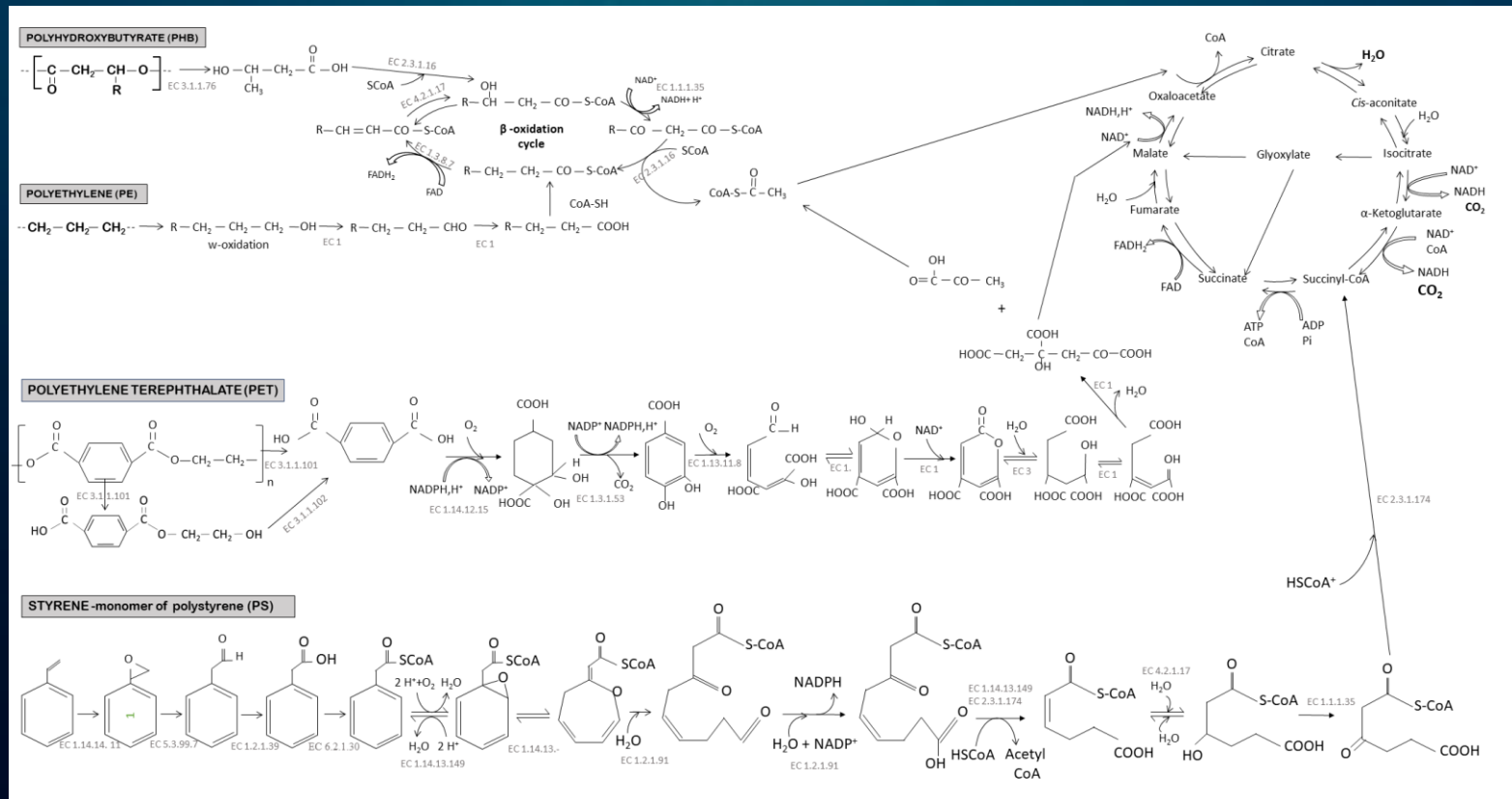
SUNTORY

ADVANCED FOOD-BUSINESS

A partir d'une seule souche isolée en laboratoire

→ Le milieu marin : un réservoir inexploré de diversité métabolique

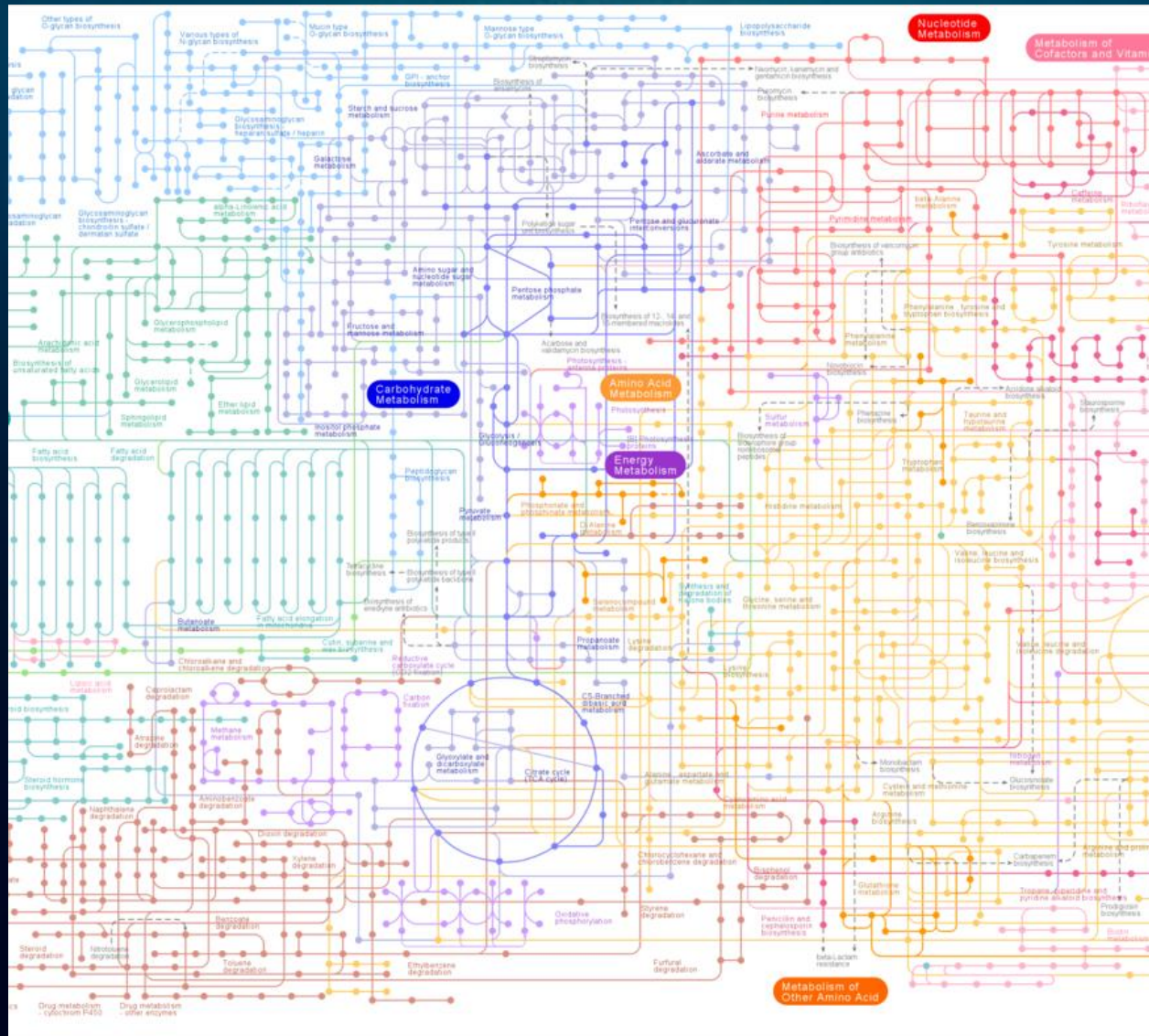
Vers la connaissance de nouvelles voies de biodégradation...



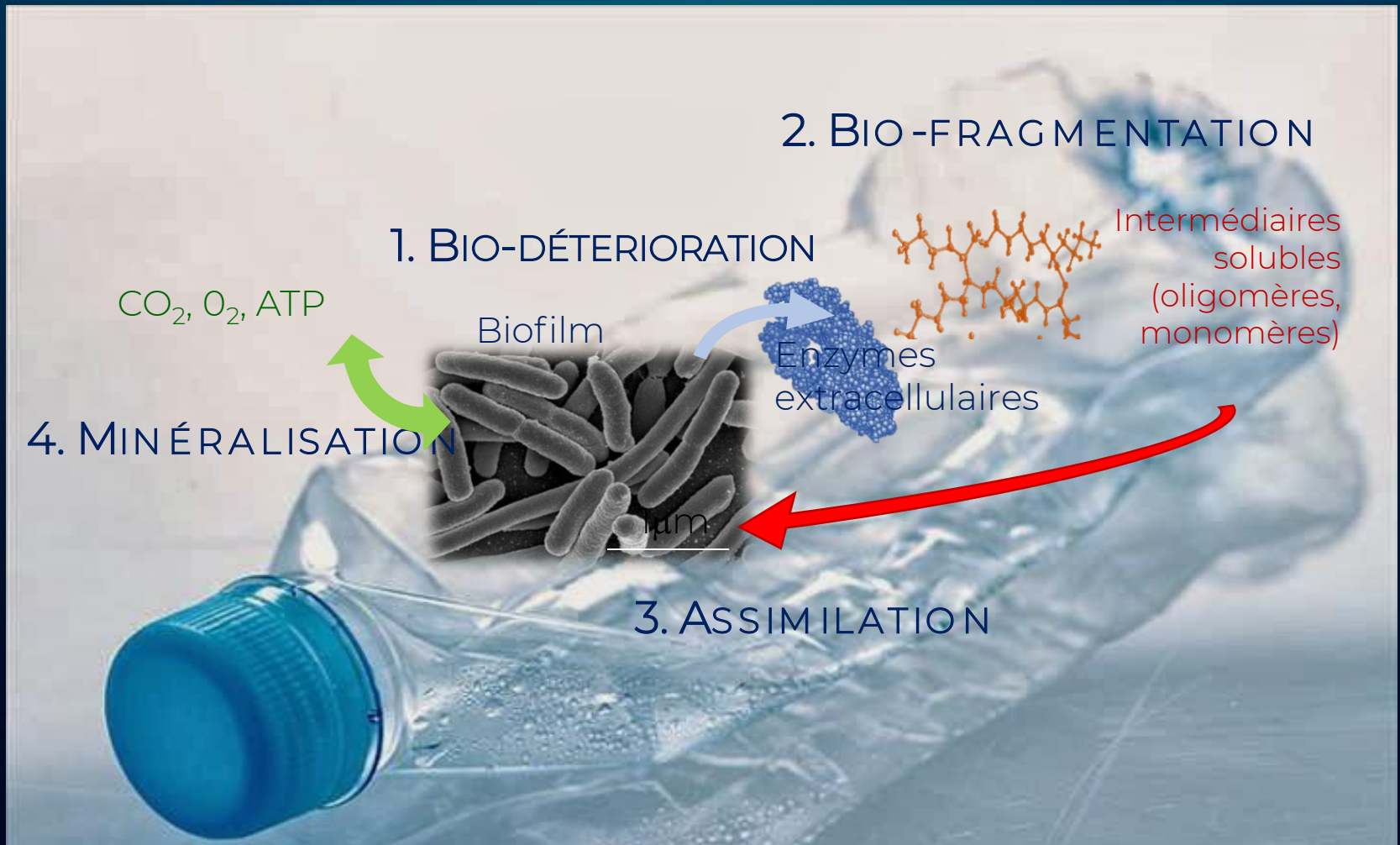
Jacquin et al. 2019

... qui devront être validées en conditions naturelles (*nouveaux outils OMICs*)

Nous n'avons pas tous les mêmes rêves...



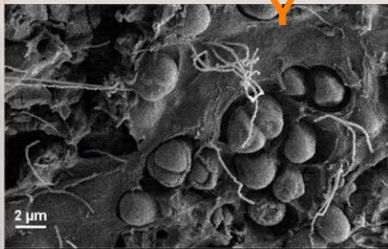
Les 4 étapes de la biodégradation



Comment mesure-t-on la biodégradation ?

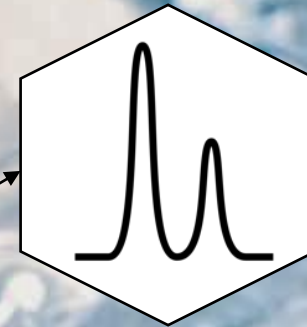
1. BIO-DETERIORATION

MICROSCOPY



2. BIO-FRAGMENTATION

GC/MS, RMN

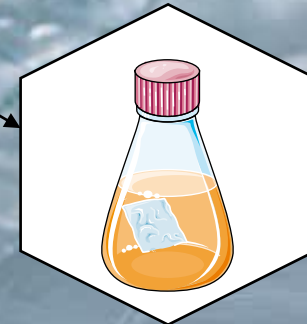


DIVERSITY
DNA



**CO₂, O₂,
ATP,
³H[Leu]**

4. MINERALIZATION



BIOMASS

3. ASSIMILATION

NÉCESSITÉ D'UNE APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE

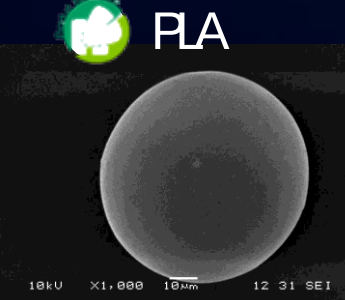
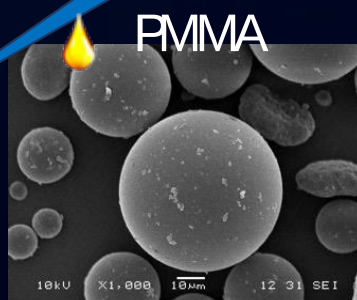
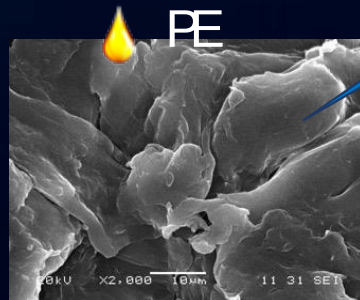
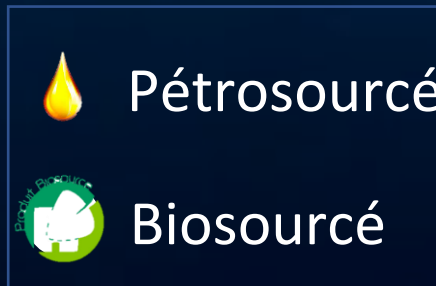
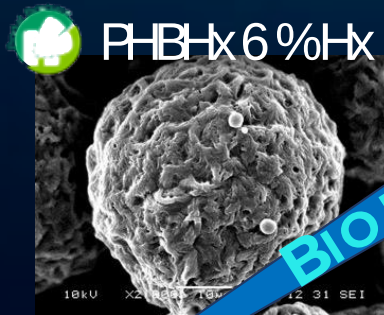
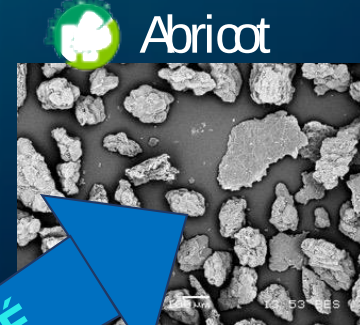
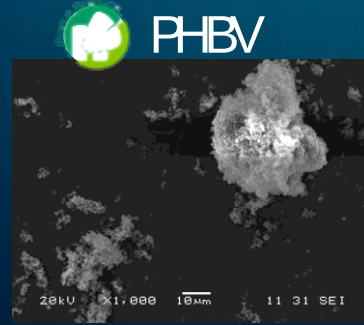
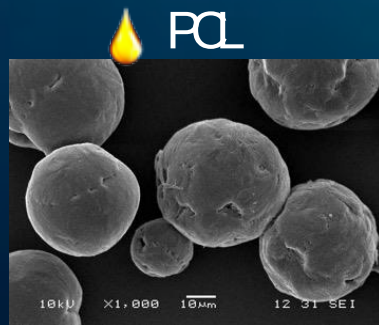


250 chercheurs
> 50 laboratoires

Réseau national « Polymères et Océans »
Direction : P. Fabre, M. George, F. Lagarde, I. Paul-Pont

EXEMPLE 1: BIODEGRADABILITE DES SUBSTITUTS AUX MICROBILLES

-Cosmétique: 72% des crèmes solaires, 50% dentifrices
-Isolants, tissus, textiles, papiers,...



BIODEGRADABILITÉ

Arrêté de 2020
pris en application du décret n° 2017-291 du
6 mars 2017 relatif aux conditions de mise en
œuvre de l'interdiction de mise sur le marché
des produits cosmétiques rincés à usage
d'exfoliation ou de nettoyage comportant des
particules plastiques solides ;



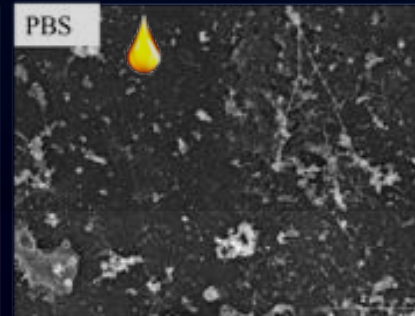
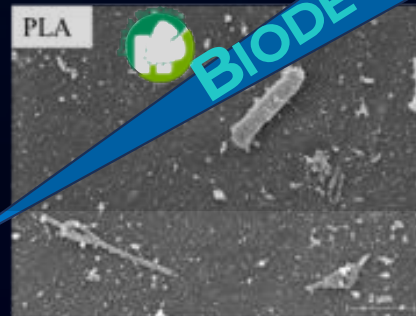
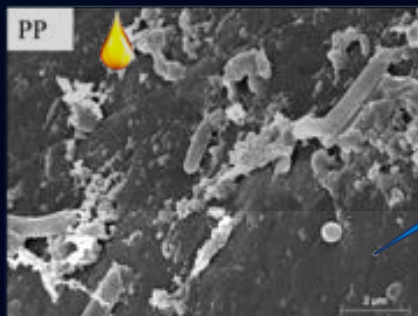
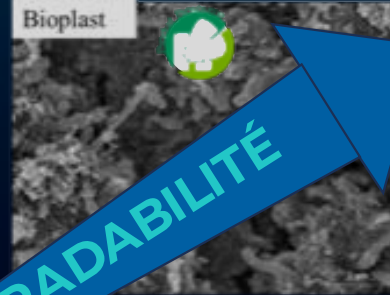
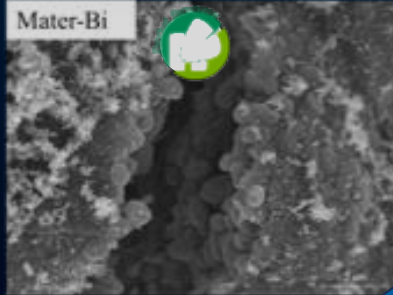
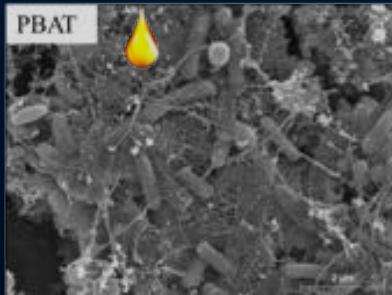
MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

EXEMPLE 2 : BIODEGRADABILITE DES SUBSTITUTS AUX COTONS TIGES



- Production 1.5 milliard/ j
- 5% PUU des plages

+ papier, bois



BIODEGRADABILITÉ

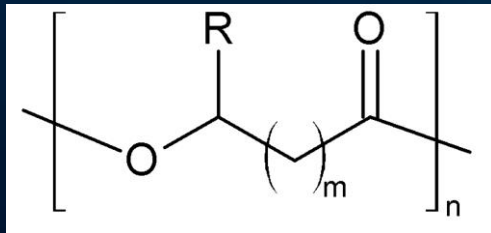


EXEMPLE 3: VERS LES PLASTIQUES BIODÉGRADABLES À FAÇON

PHA



- Biosourcé
- Compostable
- Biodégradable
- Non toxique



scl-PHA

R = CH₃ : HB

R = C₂H₅ : HV

mcl-PHA

R = C₃H₇ : HHx

R = C₄H₉ : HHp

R = C₅H₁₁ : HO

PHBHV (3% HV)



PHBHV (27% HV)



~ 40 μm

PHBHV (15% HV)



PHBHV (43% HV)



3

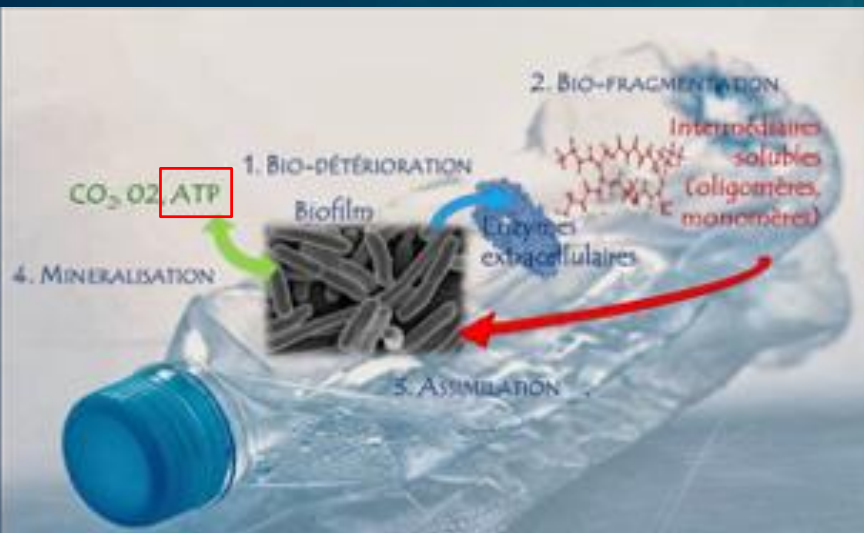
LES NORMES

Sommes-nous sûr de la biodégradabilité du "biodégradable" ?

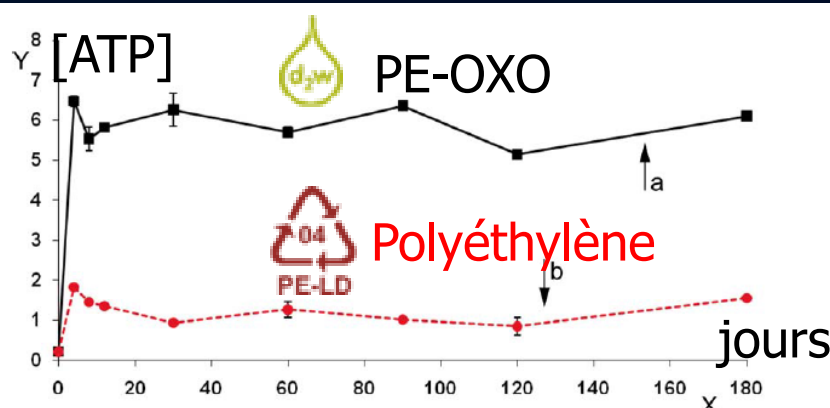
OBJECTIF : Démontrer la bio-assimilation et la bio-minéralisation complète du carbone organique du matériau par les microorganismes
≠ biodétérioration ou biofragmentation
≠ perte de masse, érosion, cristallinité, propriétés mécaniques, etc...



Biodégradable ? *Distinguer le vrai du faux*



Milieu minimum + polymère
comme seule source de carbone
+ bactérie



AC T51-808

2012-03

Accord

Plastiques

Évaluation expérimentale de l'oxobiodégradabilité
de matériaux polyoléfiniques sous forme de films

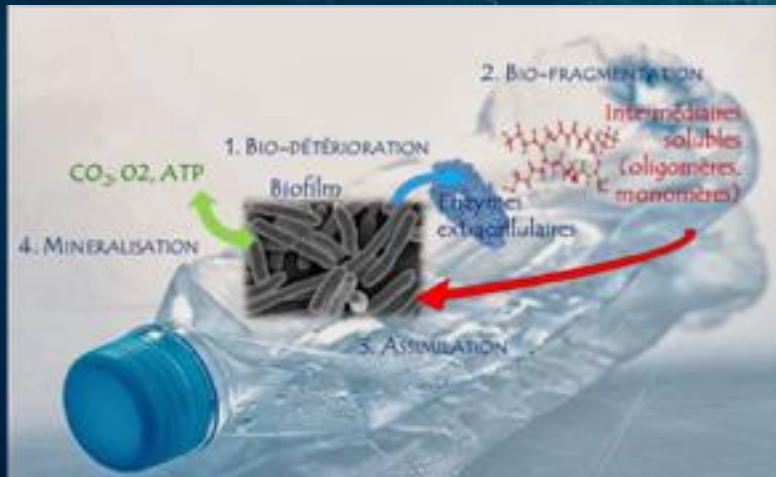
Méthodologie et exigences

Plastics — Assessment of oxobiodegradability of polyolefinic materials
in the form of films — Methodology and requirements

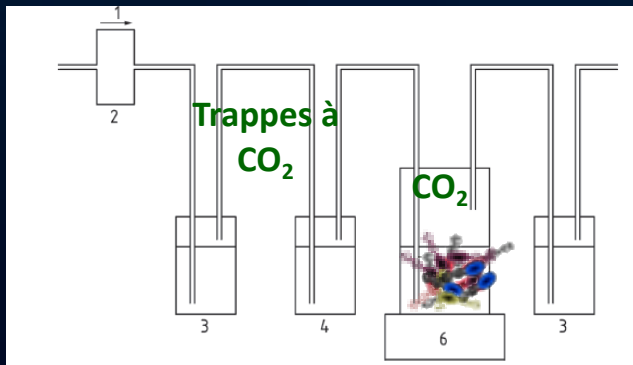
- Une seule espèce cultivable (*R. ruber*)
<0.01% de la diversité naturelle !!!
- Conditions de laboratoire = nature ?

=> Pas représentatif du milieu naturel

Biodégradable ? *Distinguer le vrai du faux*



Milieu minimum + polymère
comme seule source de carbone
+ communauté bactérienne



=> Pas adapté au milieu marin

PROJET DE NORME INTERNATIONALE ISO/DIS 14852

ISO/TC 61/SC 5

Début de vote:
2017-02-01

Secrétariat: DIN

Vote clos le:
2017-04-25

Évaluation de la biodégradabilité aérobie ultime des matériaux plastiques en milieu aqueux — Méthode par analyse du dioxyde de carbone libéré

Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in an aqueous medium —
Method by analysis of evolved carbon dioxide

Comme substance témoin négative, il est possible d'utiliser un polymère non biodégradable (par exemple du polyéthylène) sous la même forme que le matériau d'essai.

8.3 Préparation de l'inoculum

Les boues activées provenant d'une installation de traitement traitant des eaux usées principalement domestiques constituent une source appropriée d'inoculum. Ces boues proviennent d'un environnement aérobie actif et sont disponibles sur une zone géographique étendue dans laquelle on doit soumettre à l'essai un large éventail de matériaux plastiques. Une autre solution consiste à utiliser pour l'ensemencement des échantillons de sol et/ou de compost en suspension. Comme dans le cas de certains matériaux plastiques, l'activité des champignons est importante pour la biodégradation. Lorsqu'on doit déterminer la biodégradation dans un système de traitement des eaux usées spécifique, prélever l'inoculum dans l'environnement en question.

L'inoculum peut être préparé à partir des sources décrites en 8.3.1 et 8.3.2 ou d'un mélange de ces sources afin d'obtenir une flore microbienne variée et concentrée avec une activité de biodégradation suffisante. Si la libération de dioxyde de carbone endogène de l'inoculum est trop élevée, stabiliser ce dernier par aération avant utilisation. Harmoniser la température d'essai par rapport à l'inoculum utilisé (voir la note dans l'Article 5).

Des techniques trop éloignées du milieu naturel pour être réalistes

ENVIRONMENTAL
Science & Technology

Article

Cite This: *Environ. Sci. Technol.* 2019, 53, 4775–4783

pubs.acs.org/est

Environmental Deterioration of Biodegradable, Oxo-biodegradable, Compostable, and Conventional Plastic Carrier Bags in the Sea, Soil, and Open-Air Over a 3-Year Period

Imogen E. Napper*¹ and Richard C. Thompson



ROYAL SOCIETY
OPEN SCIENCE

rsos.royalsocietypublishing.org

Review



Cite this article: Harrison JP, Boardman C, O'Callaghan K, Delort A-M, Song J. 2018 Biodegradability standards for carrier bags and plastic films in aquatic environments: a critical review. *R. Soc. open sci.* 5: 171792. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.171792>

Biodegradability standards for carrier bags and plastic films in aquatic environments: a critical review

Jesse P. Harrison^{1,2,†}, Carl Boardman³, Kenneth O'Callaghan⁴, Anne-Marie Delort⁵ and Jim Song⁶

¹ School of Life Sciences, University of Dundee, Dundee, Scotland, UK

QUELQUES DEFINITIONS

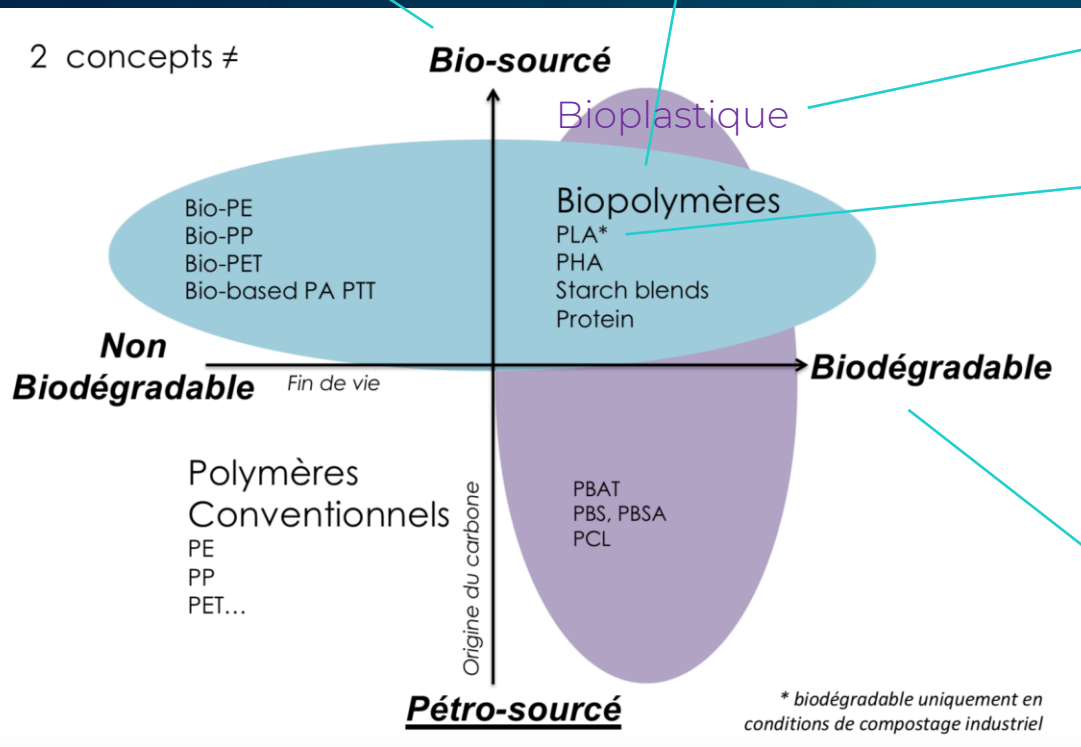
Biosourcé : polymère issu de biomasse (amidon maïs, féculé pomme de terre, ...)

Biopolymère : formés à partir de biomolécules issues du vivant (polysaccharides, protéines, PHA...)

Bioplastique : biodégradable et totalement ou partiellement biosourcé

Polymère compostable : capable de se biodégrader en conditions de compostage

Polymère biodégradable : capable d'être totalement transformé en biomasse et en CO₂ dans un temps donné



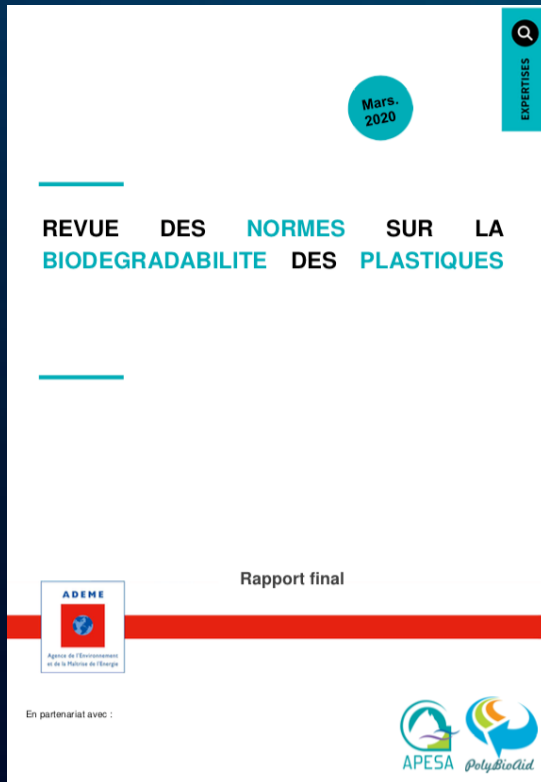
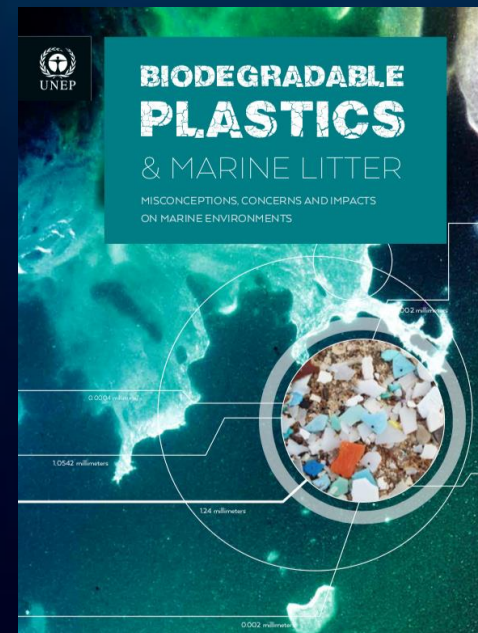
Attention: prendre en compte le produit fini et la toxicité (additifs, transformation, etc...)

Norme méthodologique ≠ norme de spécification

Normes Méthodologique	Normes de Spécification
Harmonise les méthodes pour quantifier les exigences et les performances	Fixe des exigences et des seuils de performance atteindre
NF EN ISO 14855 Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions - Method by analysis of evolved carbon dioxide	NF EN 13432 Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation - Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging
Définit comment la biodégradation doit être mesurée Biodegradation de la cellulose ≥ 70 % en 45 jours => Critère sur la validité du test	Exigence de biodégradation => Seuil ≥ 90% en 6 mois => Critère sur le produit
Etiquetage : « matériau compostable » => NF EN 13432 (NF EN ISO 14855)	

Groupe de travail sur une norme de spécification
Objectif : palier au manque de norme en milieu marin

Un sujet d'actualité...





Orienter les entreprises vers **L'ECO-CONCEPTION**



Favoriser les liens innovations scientifiques / entreprises / législation

Merci de votre attention

QUESTIONS?