

Partie 2 : Le plastique ça se dégrade ?

Chaque année, 9 à 14 millions de tonnes de m^3 de déchets plastiques s'ajoutent au 150 millions de tonnes métriques déjà accumulées. Certains plastiques sont recyclables (polyéthylène [PE], polypropylène [PP], polyéthylène téréphtalate [PET], polychlorure de vinyle [PVC] et acide phtalique [PA]) mais la moindre contamination ou l'utilisation de composites thermdurcissables empêche leur remodelage. Néanmoins, ces plastiques peuvent être une source de carbone pour les micro-organismes et des réactions de biodégradations sont observées dans différents environnements [5]. Nous allons nous intéresser ici à la diversité des enzymes microbiennes capables de dégrader le plastique même à des vitesses réduites.

A. Étude de métagénomique à partir des données des campagnes Tara Oceans and global topsoil 20mn

Ces données sont basées sur un article. Certaines parties du texte sont des traductions directes de l'article afin de vous donner les informations correctes.

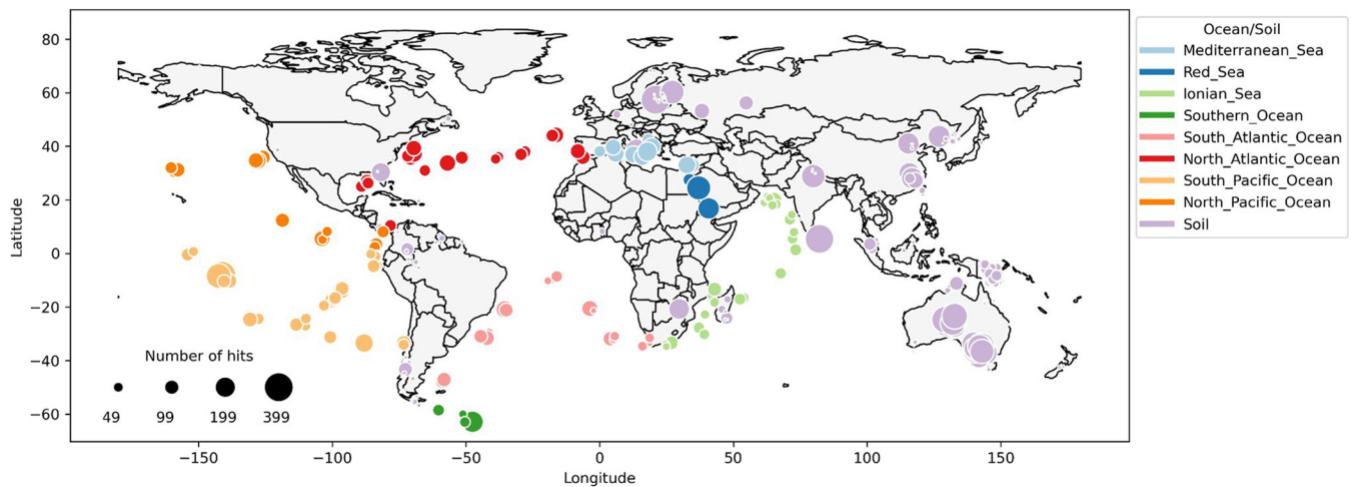
"La durée de vie estimée d'une bouteille en polyéthylène téréphtalate (PET) dans des conditions ambiantes varie de 16 à 48 ans. De plus, bien qu'une partie de la diversité microbienne reste encore inexplorée, la dégradation synergique des plastiques par les micro-organismes présente un fort potentiel pour révolutionner la gestion des déchets plastiques à l'échelle mondiale. À cette fin, les méthodes et les données sur de nouvelles enzymes dégradant les plastiques présentées ici peuvent aider les chercheurs en : (i) fournissant des informations supplémentaires sur la diversité taxonomique de ces enzymes ainsi qu'une meilleure compréhension des mécanismes et des étapes impliqués dans la dégradation biologique des plastiques, (ii) indiquant les zones où la disponibilité de nouvelles enzymes est accrue, et (iii) offrant une base pour des applications ultérieures dans la biodégradation industrielle des déchets plastiques. Il est important de noter que nos résultats apportent la preuve d'un effet mesurable de la pollution plastique sur l'écologie microbienne mondiale." [5]

Question 1 Analysez les résultats de cet article en respectant la rédaction "fait, voit, interprète"

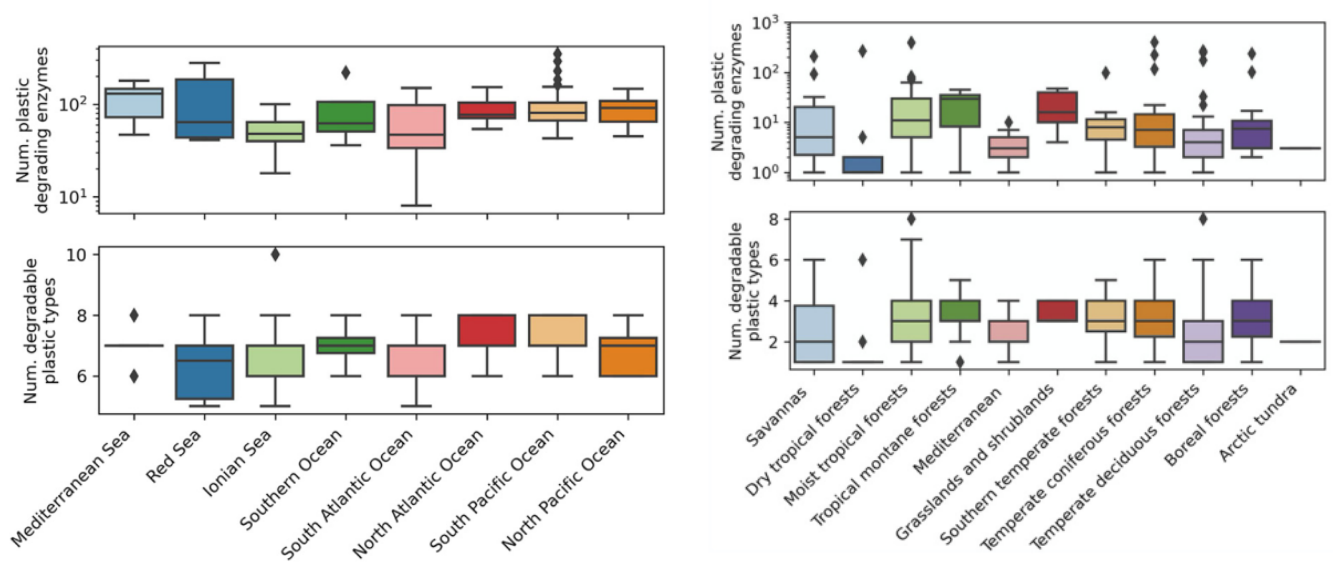
B. Réactions enzymatiques de dégradation des plastiques 20mn

De nombreuses réactions enzymatiques ont été identifiées dans la dégradation des plastiques mais souvent ces dégradations sont peu efficaces, coûteuses pour l'organisme considéré. L'ensemble des données sont disponibles dans un tableur sur moodle afin de faciliter le traitement.

Question 1 À partir des documents fournis, proposez un schéma bilan des réactions de dégradation du plastique par les micro-organismes



(a) Répartition des enzymes de dégradation du plastique identifiées à travers le monde



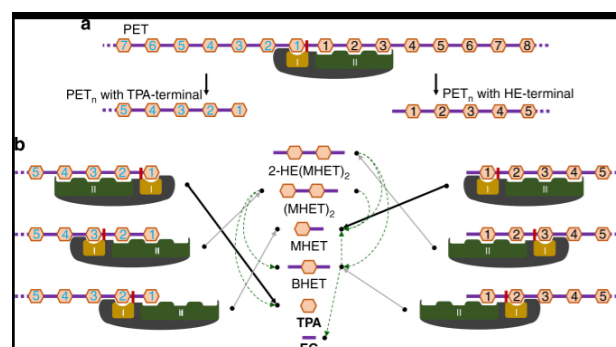
(b) Enzymes versus plastic dans les océans

(c) Enzymes versus plastic dans les sols

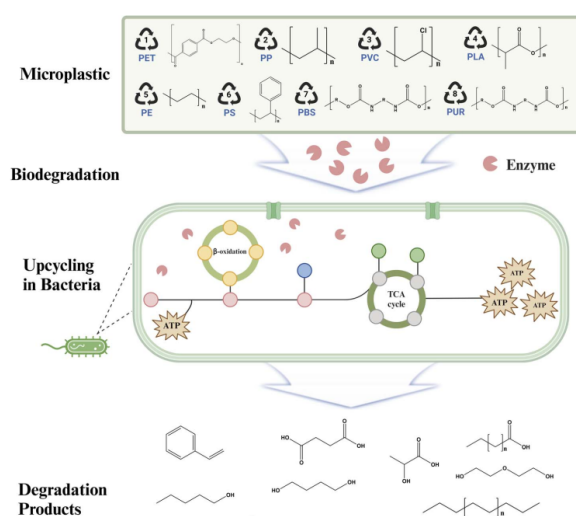
FIGURE 1.1 – Étude de métagénomique sur les enzymes de dégradation des plastics. A. Enzymes de dégradation du plastique dans le microbiome mondial. Sont représentés 11 906 occurrences d'enzymes dans les données issues des océans et 18 119 dans les données provenant des sols, obtenues en construisant des modèles HMM à partir d'enzymes connues pour dégrader le plastique, puis en les recherchant dans des ensembles de données de séquençage métagénomique. Un potentiel de dégradation allant jusqu'à 10 types de plastiques différents a été observé dans les fractions océaniques, et jusqu'à 9 types dans les fractions terrestres. B. Nombre d'enzymes de dégradation du plastique identifiées et types de plastiques dégradables trouvés dans les 8 océans. Le microbiome océanique analysé couvrait 67 sites répartis sur 3 couches de profondeur et à travers 8 océans. C. Number of plastic-degrading enzyme hits and degradable plastic types found across 11 soil habitats. The analyzed soil microbiome spanned 169 sampling locations across 38 countries and 11 distinct environmental habitats. [5]

Microorganism	Enzyme	Temperature range (°C)	Biological effects (results)
Polyethylene terephthalate			
<i>Idonella sakazensis</i> 201-16	PETase	20–45	Almost completely degraded after 6 weeks
<i>Thermobifida fusca</i> DSM43793	TH	30–60	50% degraded after 3 weeks
<i>Fusarium solani</i> pisi	FsC	30–60	97% weight loss after 96 hours
<i>Thermobifida cellulolytica</i> DSM44535	Thc_Cut1	50	Increase of reactive hydroxyl or carboxyl groups
<i>Saccharomonospora viridis</i> AHK190	Cut190 S226P/R228S	60–65	27% weight loss after 3 days
<i>Bacillus subtilis</i> 4P3-11	BsEstB	40–45	Introduction of novel carboxyl and hydroxyl groups
<i>Thermomonospora curvata</i> DSM 43183	Tcur0390	50	Stronger substrate affinity and increase of the H-S distance
Polypropylene			
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> WGH-6	AH alkane hydroxylase	30	17.2% weight loss after 40 days
<i>Aneurinibacillus</i> spp.	Lipase	50	44.2% weight loss after 140 days
Polyethylene			
<i>Microbacterium paraoxydans</i>	Lac	Room temperature	61% weight loss after 2 months
<i>Alternaria alternata</i> FB1	153 potential enzymes	30	62.79% decreased after 28 days
Polyvinyl chloride			
<i>Klebsiella</i> sp. EMBL-1	Catalase-peroxidase	30	19.57% weight loss after 3 months
Polyurethane			
<i>Rhodococcus equi</i> TB-60	Urethane hydrolase	30	70% degradation after 10 days
Polystyrene			
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> DSM 50071	SGT/SH	25	WCA decreased from 91.56° to 79.8° after 2 months
<i>Bacillus paralicheniformis</i> G1	Alkane monooxygenase/ cytochrome P450	30	34% weight loss after 2 months

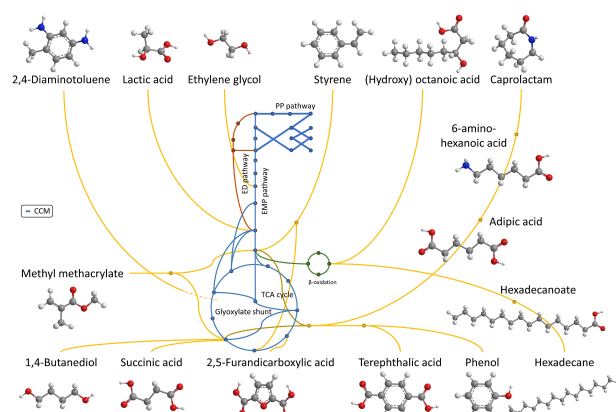
(a) réactions de dégradation



(b) Exemple de dégradation d'un polymère



(c) Vue globale du métabolisme



(d) devenir des produits de dégradation

FIGURE 1.2 – Vue de la dégradation des plastiques A. Types de plastiques dégradés par les micro-organismes et leur efficacité. Les données sont issues de l'agrégation de différentes publications par les auteurs. [1] B. Schéma du processus de dégradation du PET. a. Étape de formation des entailles ("Nick generation step"). Les unités TPA et EG du polymère PET sont représentées respectivement par des hexagones orange et des lignes violettes. L'enzyme IsPETase est illustrée en gris foncé. Les sous-sites I et II de l'IsPETase sont représentés par des schémas colorés en orange et en vert, et sont étiquetés respectivement I et II. Le résidu catalytique Ser160 est représenté par un rectangle rouge. Les polymères PET terminés par TPA ou HE sont identifiés. Les unités TPA de ces polymères PET sont numérotées de 1 à 5 à partir de chaque extrémité. b. Étape de digestion terminale ("Terminal digestion step"). Chaque réaction enzymatique de cette étape est représentée sous forme de schéma. Les produits clivés issus des réactions enzymatiques sont indiqués par des flèches noires. Les lignes pointillées vert clair indiquent les trajectoires empruntées par les produits du polymère PET vers la réaction suivante. Six composés liés au PET — 2-HE(MHET), (MHET), MHET, TPA, BHET et EG — qui sont des produits de clivage issus de cette étape, sont représentés. Les produits finaux de la dégradation (MHET, TPA et EG) sont indiqués en gras [2]. C. Schéma de la dégradation microbienne et enzymatique ainsi que du surcyclage des microplastiques. Les microplastiques présents dans l'environnement subissent une dégradation enzymatique par des enzymes extracellulaires, puis sont utilisés comme source de carbone par les micro-organismes, ce qui conduit finalement à leur dégradation complète. Figures générées avec BioRender [1]. D. Métabolisation des monomères issus de la dépolymérisation des plastiques. Le réseau métabolique de *Pseudomonas putida* est présenté, incluant le métabolisme central du carbone (CCM, en bleu) ainsi que certaines voies secondaires (voie d'Entner-Doudoroff – en brun, -oxydation – en vert). Les points d'entrée des voies de métabolisation des monomères plastiques dans le métabolisme central du carbone sont indiqués en jaune. Pour certains monomères, il existe des voies alternatives (voir les informations complémentaires dans le « Tableau SI » pour plus de détails), mais elles ne sont pas représentées ici afin de préserver la clarté du schéma [4]