

**Allocations de recherche doctorale (ARED)**

**Fiche projet 2017**

- **Date de la demande** (09/01/2017) :

**1- Identification du projet (en langue française)**

- **Acronyme du projet** (8 caractères maximum) : **PODIuM** (Polymère Dégradation Microplastique)

- **Intitulé du projet** (en langue française) : **Influence du vieillissement des polymères sur la formation et le comportement des microplastiques en milieu marin**

**2- Domaine d'innovation stratégique (DIS) du projet**

- **Cocher le DIS prioritaire** au sein duquel le projet de thèse s'intègre. Vous pouvez mentionner un DIS secondaire (choix à indiquer et argumenter au point 5-Présentation du projet, paragraphe 6). Si aucun DIS ne correspond, cocher « Projet Blanc ».

- DIS 1 : Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative
- DIS 2 : Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité
- DIS 3 : Activités maritimes pour une croissance bleue
- DIS 4 : Technologies pour la société numérique
- DIS 5 : Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie
- DIS 6 : Technologies de pointe pour les applications industrielles
- DIS 7 : Observation et ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement
- « Projet Blanc »

- **Préciser le sous-domaine correspondant :**

7A.Observation, surveillance et gestion de l'environnement et des écosystèmes et de leurs interactions

Pour une plus ample présentation des DIS et des sous-domaines, merci de vous référer au Schéma régional de l'enseignement supérieur et de la recherche disponible à l'adresse suivante : [http://www.bretagne.fr/internet/upload/docs/application/pdf/2013-11/sresr\\_version\\_finale.pdf](http://www.bretagne.fr/internet/upload/docs/application/pdf/2013-11/sresr_version_finale.pdf)

### 3- Présentation de l'établissement porteur (bénéficiaire de l'aide régionale)

- **Établissement porteur du projet** (*implantation obligatoire sur le territoire régional*) :

IFREMER, centre de Bretagne, Technopole pointe du Diable, 29280 Plouzané

- **Ecole Doctorale :**

Ecole doctorale des sciences de la mer, Institut Universitaire Européen de la Mer, Place Nicolas Copernic, Technopole Brest-Iroise, 29280 Plouzané,

### 4- Identification du/de la responsable du projet (futur-e directeur-trice de thèse)

- **Nom et prénom :** Daniel Priour, Directeur du laboratoire Comportement des Structures en Mer

- **Genre du/de la responsable du projet (F/H) :** H

- **e-mail :** daniel.priour@ifremer.fr

- **Téléphone :** 02 98 22 41 81

- **Nom du laboratoire :** Laboratoire Comportement des Structures en Mer (**LSCM**), Unité Recherches et Développements Technologiques, Département REM.

- **Code du laboratoire (U/UMR/USR/EA/JE/...) :**

- **Nom de l'équipe de recherche :** Laboratoire Comportement des Structures en Mer

- **Nombre HDR dans le laboratoire :** 3

- **Nombre de thèses en cours :** 13

- **Nombre de post-docs en cours :** 3

- **Publications récentes du directeur-trice de thèse** (*nb total et 5 références max au cours des 5 dernières années*) :

Morvan B., **Priour D.**, Guede Z., Bles G. (2016). Finite element model for the assessment of the mesh resistance to opening of fishing nets. Ocean Engineering, 123, 303-313. <http://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.07.026>

De La Prada A., **Priour D.** (2015). The effect of the bottom boundary layer on trawl behaviour. Ocean Engineering, 101, 142-151. <http://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.04.027>

**Priour D.**, De La Prada A. (2015). An experimental/numerical study of the catch weight influence on trawl behavior. Ocean Engineering, 94, 94-102. Publisher's official version : <http://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.11.016>.

**Allocations de recherche doctorale (ARED)**

**Fiche projet 2017**

**Priour D.** (2014). Modelling axisymmetric codends made of hexagonal mesh types. *Ocean Engineering*, 92, 1-11. Publisher's official version : <http://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.09.037>.

Khaled R., **Priour D.**, Billard J.Y. (2013). Cable length optimization for trawl fuel consumption reduction. *Ocean Engineering*, 58, 167-179. <http://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2012.10.001>

**- Co-directeur-trice de thèse (éventuellement) : Catherine Dreanno**

**- Laboratoire de recherche co-encadrant** (nom + code U/UMR/USR/EA/JE/...) : Laboratoire Détections, Capteurs et Mesures (LDCM), Unité Recherches et Développements Technologiques, Département REM.

-Fechner L, Naïtali M, Dreanno C, Briandet R,( 2012). Biofilms, quand les microbes s'organisent. Edition Quae, 175 p.

-Dreanno C., Rubio C., Mazeas F., Leroy C., Compere C., *Pseudoalteromonas haesa* sp. nov., a novel biofilm-forming marine bacterium. (en préparation pour *Syst. Appl. Microbiol.*)

-Ritter A., Com E., Bazire A., Goncalves M.D., Delage L., Le Pennec G., Pineau C., Dreanno C., Compere C., Dufour A. (2012) Proteomic studies highlight outer-membrane proteins related to biofilm development in the marine bacterium *Pseudoalteromonas* sp D41. *Proteomics*, , 12, 3180-3192.

-Klein G. L., Soum-Soutera E., Guede Z., Bazire A., Compere C., Dufour A. (2011). The anti-biofilm activity secreted by a marine *Pseudoalteromonas* strain. *Biofouling*, 27(8), 931-940.

**5- Présentation du projet (en langue française, 2 à 3 pages)**

**- Résumé du projet (15 lignes) :**

La pollution de l'environnement marin par les micro-plastiques (MP) est devenue une préoccupation mondiale majeure [1]. Ces particules (MPs < 5 mm) ont été retrouvées dans tous les océans et tous les compartiments de l'écosystème. Les MP peuvent être issus directement de l'industrie (origine primaire) ou provenir de la fragmentation de macro déchets plastiques (origine secondaire). Ces processus de dégradation peuvent être extrêmement lents et sont sous l'influence de facteurs mécaniques, photochimiques (rayonnement UV), thermiques ou encore biologiques. Ce projet a pour objectifs 1) de comprendre les processus de formation des MPs en milieu marin 2) de caractériser la chimie de surface de ces particules afin de comprendre l'influence de celle-ci sur le microbiote 3) d'étudier l'impact des communautés bactériennes sur les MP qu'elles colonisent. Plusieurs polymères modèles différant par leur nature chimique et propriétés physiques seront vieilliss artificiellement afin d'étudier et de modéliser les mécanismes de dégradation et fragmentation. La modification des propriétés physico-chimiques de surface de ces matériaux sera examinée afin de déterminer l'influence de celles-ci sur la diversité des communautés microbiennes fixées et de leurs fonctionnalités. L'altération des caractéristiques physiques et chimiques des MP par ce microbiote sera également investiguée afin de déterminer le comportement et la distribution de ces particules dans l'environnement.

**- Présentation détaillée du projet :**

*1-Contexte scientifique et socio-économique du projet :*

Les plastiques sont des matériaux polymères synthétiques présentant de nombreux avantages (légèreté, souplesse, isolation électrique et thermique, durabilité, cout de fabrication, ...). Cela explique qu'aujourd'hui, ils sont devenus indispensables et utilisés dans de multiples secteurs d'activité (construction, transport, emballage, habillement, etc.). En conséquence, la production mondiale de plastiques a augmenté de façon exponentielle depuis les années 50, elle a été évaluée à 322 millions de tonnes en 2015 [2]. Il a été estimé qu'environ 10% de la production échoue dans les océans [3], les plastiques représentent plus de 50 à 80 % des déchets marins. Cette pollution est liée essentiellement au

**Allocations de recherche doctorale (ARED)**

**Fiche projet 2017**

processus de lessivage continental et dans une moindre mesure aux rejets directs en mer. Même si la présence de plastique dans les océans a été rapportée dès les années 70, l'importance et les impacts de cette pollution sur l'écosystème marin demeurent encore aujourd'hui mal connus [4, 5]. La grande majorité des déchets plastiques présents dans les océans sont retrouvés sous forme de particules de taille inférieure à 5 mm, appelées communément "micro-plastiques" (MP). Ils sont retrouvés dans tous les compartiments des écosystèmes aquatiques, i.e. subsurface, colonne d'eau, sédiment, organismes vivants [6, 7, 8]. Leurs rôles et conséquences sur les biocénoses et biotopes demeurent méconnus.

Les micro-plastiques sont définis comme des particules de polymère dont la taille est comprise entre 1 µm et 5 mm [1]. Ces MP peuvent être soit d'origine primaire, soit d'origine secondaire. Les MP primaires sont fabriqués pour être de taille microscopique pour un usage direct (microbilles utilisées en cosmétique) ou indirect (pré-production de granulés). Les MP secondaires sont eux, issus de la fragmentation de débris de taille supérieure à 5 mm, en particules de moins de 5 mm. Les plastiques peuvent subir une dégradation physique (UV, température, érosion mécanique liée aux vagues), chimique (oxydation et hydrolyse), et aussi biologique [9, 10]. La compréhension précise des mécanismes de dégradation des polymères dans l'environnement est cruciale pour estimer leur abondance, distribution et impact sur l'écosystème marin. Les micro-plastiques constituent une nouvelle surface inerte disponible par les microorganismes ; les propriétés de chimie de surface de ces matériaux vont influencer la formation de ce microbiote particulier appelé plastisphère. Celle-ci va jouer un rôle prépondérant sur les MP eux-mêmes, notamment sur leur flottabilité, sur la facilitation de leur intégration dans la neige marine (marine snow), sur leur sédimentation, sur leur dégradation, etc. Connaître les interactions entre les polymères et les communautés bactériennes est essentielle pour comprendre le devenir des MP dans l'environnement et leur impact sur l'écosystème

*2-Hypothèse et questions posées, identification des points de blocages scientifiques que le travail de thèse se propose de lever :*

Paradoxalement, même si le vieillissement des polymères est étudié en milieu marin, ces études sont menées essentiellement dans un contexte d'ingénierie et de durabilité des structures en mer. Il existe peu d'études sur la formation des MP, qui prennent en compte les facteurs abiotiques et biotiques. Ce projet novateur et interdisciplinaire a pour objectifs 1) d'analyser les mécanismes de dégradation abiotique des polymères et de formation des MPs en milieu marin 2) de caractériser l'évolution de leurs propriétés chimiques et physique afin de comprendre la distribution des MPs dans l'environnement, 3) d'étudier les spécificités de l'adhésion bactérienne et formation des biofilms sur les différents polymères, 4) de caractériser les communautés bactériennes et leur fonctions suivant les polymères et leur dégradation, 5) d'analyser l'impact des communautés bactériennes sur les propriétés des polymères et le devenir des MP dans l'environnement.

Une des originalités de ce sujet réside dans l'approche multidisciplinaire pour répondre à la question essentielle de la formation et du devenir des MP dans l'environnement marin.

*3-Approche méthodologique et technique envisagée :*

Ce projet est divisé en 3 tâches décrites ci-dessous.

Tâche 1 : Vieillissement des polymères à des taux de dégradation élevée

L'objectif de cette tâche est de mieux comprendre les mécanismes réactionnels de dégradation des polymères en milieu marin et de caractériser les modifications de leurs propriétés physico-chimiques au cours du temps. Trois matériaux polymères, sous forme de films plastiques, présentant des voies de dégradation différentes ont été choisis : le polyéthylène (PE), le polyamide (PA) et le polyéthylène téréphtalate (PET). Ils constituent tous des déchets MP mais retrouvés selon diverses proportions en eau de mer [11]. Le PE est le principal polymère retrouvé dans l'environnement

**Allocations de recherche doctorale (ARED)**

**Fiche projet 2017**

marin. Il se dégrade dans un premier temps par oxydation [12], tandis que le PET et le PA se dégradent par un couplage de réactions d'hydrolyse et d'oxydation [13;14]. Etant donné les cinétiques très lentes de dégradation des polymères en milieu marin, il est nécessaire, pour simuler le vieillissement naturel, d'accélérer artificiellement ce processus en laboratoire ; l'élévation de température est la méthode retenue. Les effets liés à l'hydrolyse et l'oxydation seront étudiés en détails. Pour reproduire les phénomènes d'oxydation, les matériaux seront exposés à l'air ambiant en étuve. Afin de générer les mécanismes liés à l'hydrolyse, les polymères seront immergés en eau déionisée, mais aussi en eau de mer. Nous disposerons ainsi d'échantillons de polymère vieillis ayant subi une dégradation forte dans des conditions maîtrisées. Une comparaison des caractéristiques physico-chimiques avant et au cours du vieillissement artificiel sera menée. Dans la mesure du possible, ces résultats seront analysés en regard d'étude comparable d'échantillons de polymères isolés de prélèvements *in situ*. Plusieurs méthodes pour caractériser la chimie de surface et les propriétés physiques des polymères seront utilisées comme la variation de masse, la mesure de densité, l'analyse chimique par spectroscopie IR et XPS, la mesure d'angle de contact pour la mouillabilité, la rugosimétrie laser, microscopie électronique à balayage et microtomographie pour la topographie.

**Tâche 2 : Compréhension de la formation des MP issus de la fragmentation de débris (MP secondaires)**

L'objectif de cette deuxième tâche est de comprendre la formation des MP secondaires issus de la fragmentation de polymères secondaires plus massifs, d'identifier et de caractériser les processus mis en jeu [15] Il s'agira d'appliquer les concepts de la mécanique de la rupture et d'identifier, de suivre les critères d'énergie critique ( $G_{1C}$ ) et d'intensité de contrainte ( $K_{1C}$ ) [16] qui permettent de caractériser la propagation brutale d'une fissure. Ces mesures seront réalisées sur les échantillons de polymère vieillis artificiellement. Dans le même temps, un essai de sollicitation mécanique sur des échantillons de polymère vieillis ou non et immergés sera développé dans le laboratoire. Ce test aura pour objectif de suivre l'évolution d'un film plastique sous sollicitation de type houles contrôlée (fréquence, énergie) par imagerie. Ces études devraient nous permettre de mieux appréhender les mécanismes de fragmentation des MP et de formation des MP secondaires.

**Tâche 3 : Influence du polymère sur l'adhésion bactérienne et développement de biofilm**

Les communautés bactériennes colonisant les micro-plastiques seront caractérisées par une approche moléculaire de metabarcoding à l'aide des marqueurs ribosomiques 16S, permettant d'accéder à l'ensemble des microorganismes cultivables et non cultivables. La composition des communautés sera examinée sur des coupons de différentes natures de polymères non vieillis et vieillis artificiellement (décrits ci-avant dans la tâche 1) et sur d'autres types de matériaux (verre, inox) afin d'examiner si les polymères exercent une sélection sur l'adhésion des microorganismes [17, 18, 4]. La comparaison des communautés bactériennes entre les coupons de polymères dégradés artificiellement devrait permettre de montrer si et comment la modification des propriétés physiques et chimiques (hydrophobicité, oxydation, topographie) des polymères influence la dynamique de colonisation des surfaces et la composition bactérienne du biofilm. Les différents matériaux seront disposés dans des bacs d'eau de mer naturelle à la station d'essai de St Anne du Portzic. Un suivi temporel sera réalisé pendant 21 jours afin d'identifier quelles sont les espèces pionnières et caractériser la dynamique de formation du biofilm. Les ADN des microorganismes présents sur les matériaux seront extraits, puis soumis à un séquençage haut débit de type Ion Torrent après amplification des marqueurs 16S (V1 à V9) [4; 19]. La communauté microbienne présente sur les MP sera aussi comparée à celle retrouvée dans les prélèvements d'eau. Si possible, le métatranscriptome (approche RNA seq) sera établi sur certains échantillons afin d'identifier quelles sont les fonctions bactériennes actives et de voir si elles diffèrent en fonction des polymères [28]. En parallèle, les capacités métaboliques des biofilms et des bactéries planctoniques seront comparées après estimation de la production bactérienne et de l'hydrolyse extracellulaire des polymères

**4-Profil du candidat (compétences scientifiques et techniques requises) :**

Une double compétence en physico-chimie des matériaux et en biologie serait appréciée. Connaissances des propriétés mécaniques des polymères souhaitables. Ce sujet étant à l'interface des sciences des matériaux et de la microbiologie, l'étudiant s'appuiera sur les compétences en sciences des polymères de LCSM et sur l'expertise en microbiologie et

**Allocations de recherche doctorale (ARED)**

**Fiche projet 2017**

biologie moléculaire de LDCM.

*5-Positionnement et environnement scientifique dans le contexte régional, et le cas échéant, national et international :*

Cette thèse s'insère dans le projet MERLIN-microplastique, qui vise à comprendre la pollution liée aux MP dans les écosystèmes marins. Ce nouvel axe de recherche est devenu un enjeu majeur pour l'Ifremer. Ce sujet bénéficiera du consortium de recherches et du soutien financier du projet Merlin – Microplastique.

Si cette thématique sur les microplastiques est nouvelle pour nous, ce sujet de thèse pourra s'appuyer sur notre expertise reconnue sur les polymères et sur la régulation des biofilms. Le Laboratoire Comportement Structure en Mer (LCSM) possède une forte expérience sur les polymères et développe des outils originaux de caractérisation et de modélisation du vieillissement de ces matériaux. L'intérêt scientifique pour la dégradation des polymères a été jusqu'à présent souvent restreint aux premiers stades de dégradation du matériau. En effet la baisse des propriétés engendrée par le vieillissement annonce la fin de l'utilisation du polymère ou au moins son remplacement. Ainsi les stades de dégradation avancée sont très peu étudiés. Un des axes de recherche du Laboratoire Détection, Capteurs et Mesures (DCM) porte sur la compréhension des mécanismes d'adhésion et de formation de biofilms sur les surfaces immergées afin d'établir des revêtements innovants limitant le développement des bio-salissures. Le doctorant sera dirigé par D. Priour (LCSM), mais bénéficiera d'un co-encadrement scientifique multidisciplinaire (M. Le Gall, PY Le Gac, expertises sur les polymères ; C. Dreanno, C. Compère, expertises sur les biofilms).

*6-Pertinence du projet au regard du DIS de rattachement (et/ou du DIS secondaire). Si « projet blanc », préciser les raisons de ce choix :*

Cette thématique novatrice et porteuse d'enjeux sociétaux tant au niveau local, que national ou européen, est à l'interface de plusieurs disciplines (sciences des matériaux, chimie, physique, écologie microbienne). Ce sujet a pour finalité une meilleure compréhension de la pollution de l'environnement par les MP, et une optimisation de la surveillance du milieu marin. C'est pourquoi il nous paraît pertinent d'intégrer ce projet dans l'axe « Observation et ingénieries écologiques et énergétiques au service de l'environnement », et plus spécifiquement le sous axe « Observation, surveillance et gestion de l'environnement et des écosystèmes et de leurs interactions » (DIS 7). Ce projet peut se rattacher également au DIS 3 « Activités maritimes pour une croissance bleue », du fait des impacts des microplastiques sur l'écosystème et par conséquent la filière maritime.

*7-Autres informations utiles (projet relevant des Objets d'excellence -OBEX-, ou des « Projets émergents de recherche » régionaux...):*

Ce sujet de thèse sera partie intégrante du projet Merlin Microplastique financé par l'Ifremer sur la période 2016-2019. Cette thématique a vocation à être pérennisée au sein de l'institut. Elle bénéficiera du soutien financier en matière de fonctionnement, mission, équipement pour sa réalisation et de l'appui du consortium.

**6- Projet de thèse en cotutelle internationale**

**- S'agit-il d'un projet de thèse en cotutelle internationale (oui/non) : non**

**- Si oui, préciser l'établissement pressenti (et le pays de rattachement) :**

**Allocations de recherche doctorale (ARED)**

**Fiche projet 2017**

**- Ce projet de thèse fera-t-il l'objet d'un cofinancement international (oui/non) : non**

*(Rémunération du doctorant par l'établissement implanté sur le territoire régional (18 mois sur 36 mois), et l'établissement étranger, qui s'engage également à rémunérer le doctorant dans le cadre de son séjour à l'étranger, soit durant 18 mois -a minima-)*

**- En cas de cofinancement international, préciser -si vous en avez connaissance- l'organisation du calendrier des périodes de séjour :**

**7- Financement du projet de thèse**

**- Part de l'enveloppe financière régionale affectée au projet :**

Financement Région 100 %

Financement Région 50 % (préconisé)

**- En cas de financement à 50 %, le cofinancement est-il déjà identifié (oui/non) : oui**

**- Si oui, préciser la nature du cofinancement (ANR, partenaire privé, Ademe, etc.) :**

IFREMER

**- Si le cofinancement n'est pas encore confirmé, date prévue de réponse du cofinancier : Février 2017.**

**- En cas de non-obtention du cofinancement demandé, une autre source de cofinancement est-elle identifiée (oui/non) : non**

*NB : attestation d'obtention d'un cofinancement ou à défaut, de la demande effectuée, à joindre au dépôt de cette fiche-projet.*

Références bibliographiques :

1. Rapport Rep. Stud. GESAMP No. 90 (2015), <http://www.gesamp.org/publications/publicationdisplaypages/reports-and-studies-no.-90>
2. PlasticsEurope, 2015. <http://www.plasticseurope.org>.
3. Thompson R.C., 2006. Plastic debris in the marine environment: consequences and solutions J.C. Krause, H. von Nordheim, S. Bräger (Eds.), Marine Nature Conservation in Europe 2006, Bundesamt für Naturschutz, Stralsund, Germany, pp. 107–116.
4. Zettler, E.R., Mincer, T.J., Amaral-Zettler, L.A., 2013. Life in the "Plastisphere": microbial communities on plastic marine debris. Environ. Sci. Technol. 47, 7137-7146.
5. Galgani F., Claro F., Depledge M., Fossi C., 2014. Monitoring the impact of litter in large vertebrates in the

**Allocations de recherche doctorale (ARED)**

**Fiche projet 2017**

Mediterranean sea within the European Marine Strategy Framework Directive (MSFD): Constraints, specificities and recommendations. *Mar. Environ. Res.* 100, 3-9.

6. Phuong N.N., Zalouk-Vergnoux A., Poirier L., Kamari A., Chatel A., Mouneyrac C., Lagarde F., 2016. Is there any consistency between the microplastics found in the field and those used in laboratory experiments? *Environ. Pol.* 211, 111-113.

7. Pedrotti M.L., Petit S., Elineau A., Bruaud S., Crebassa J.C., Dumontet B., Marti E., Gorsky G., Cozar A., 2016. Changes in the floating plastic pollution of the Mediterranean sea in relation to the distance to land, *PLoS One*;11(8):e0161581.

8. Dris R., Gasperi J., Saad M., Mirande C, Tassin B., 2016. Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment. *Mar. Pollut. Bul.*, 104, 290-293.

9. O'Brine, T.; Thompson, R. C., 2010. Degradation of plastic carrier bags in the marine environment. *Mar. Pollut. Bul.* 60, 2279–2283.

10. Cooper, D. A., Corcoran, P. L., 2010. Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the island of Kauai, Hawaii. *Mar. Pollut. Bul.*, 60, 650–654.

11. Brien, S., 2007. Vinyls Industry Update. Presentation at the World Vinyl Forum 2007, Sept. 2007.

12. Richaud E., Fayolle B., Verdu J., Rychly J., 2013. Co-oxidation kinetic model for the thermal oxidation of polyethylene-unsaturated substrate systems. *Polymer Degradation and Stability.*98:1081–1088

13. Gijssman P., Dong W., Quintana A., Celina M., 2016. Influence of temperature and stabilization on oxygen diffusion limited oxidation profiles of polyamide 6. *Polymer Degradation and Stability.*, 130:83–96

14. Arhant M., Le Gac P.Y., Le Gall M., Burtin C., Briançon C., Davies P., 2016. Modelling the non Fickian water absorption in polyamide 6. *Polymer Degradation and Stability.* 133 :404–412

15. ter Halle A., Ladirat L., Gendre X., Goudouneche D., Pusineri C., Routaboul C., Tenailleau C., Duployer B., Perez E., 2016. Understanding the Fragmentation Pattern of Marine Plastic Debris. *Environmental Science & Technology*, 50: 5668-5675.

16. Tual N., Carrere N., Davies P., Bonnemains T., Lolive E., 2015. Characterization of sea water ageing effects on mechanical properties of carbon/epoxy composites for tidal turbine blades. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.*78:380–389.

17. Oberbeckmann S., Loeder, M.G.J., Labrenz, M., 2015. Marine microplastic- associated biofilms - a review. *Environmental chemistry*, 12: 551-562.

18. Oberbeckmann S., Osborn A.M., Duhaime M.B., 2016. Microbes on a Bottle: Substrate, Season and Geography Influence Community Composition of Microbes Colonizing Marine Plastic Debris. *PLoS One*, e0159289.

19. Amaral-Zettler L.A., Zettler E.R., Slikas B., Boyd G.D., Melvin D.W., Morrall, C.E, Proskurowski G., Mincer T.J., (2015). The biogeography of the Plastisphere: implications for policy. *Frontiers in ecology and the environment.* 13: 541-546.

→ **Ce document est à renvoyer par l'établissement porteur pour le 29 janvier au plus tard à :**  
[ared@bretagne.bzh](mailto:ared@bretagne.bzh) en mettant en copie l'ED concernée, ainsi que votre référente ARED au service SDENSU de la Région Bretagne : [caroline.mével@bretagne.bzh](mailto:caroline.mével@bretagne.bzh)