



B
I
O
F
I
L
E
T



ÉVALUER DES PROTOTYPES DE FILETS MYTILICOLES BIOSOURCÉS ET COMPOSTABLES

FILETs BIOSourcés et compostables - BIOFILET

Julie MAHEUT¹



Mars 2019 – Janvier 2020



¹ Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la Pêche en Pays de la Loire (SMIDAP)

TABLE DES MATIERES

Résumé	4
Remerciements	5
Glossaire	6
Acronymes utilisés.....	7
Introduction.....	8
I. Constat et enjeux pour la filière conchylicole.....	10
I.1. Données en région Pays de la Loire et en Bretagne Sud	10
A. Problématique environnementale	10
B. Problématique sociale.....	13
C. Problématique économique	13
I.2. Enjeux	14
I.3. Objectifs du projet BIOFILET	14
II. Etat des connaissances.....	15
II.1. Bioplastiques : définition et caractéristiques	15
II.2. Valorisation des bioplastiques, situation en région Pays de la Loire.....	16
II.3. Dégradation des bioplastiques et impact en milieu marin	19
III. Expérimentations.....	20
III.1. Matériaux et méthodes expérimentales	20
A. Test de durabilité (prototype filet Intermas).....	20
B. Tests à l'usage sur pieux de bouchot.....	22
C. Valorisation organique des filets en bioplastique	26
III.2. Résultats	26
A. Tests de durabilité- prototype de filet biosourcé et compostable Intermas	26
B. Tests à l'usage.....	27
C. Tests en valorisation organique	34
D. Ecotoxicité en milieu marin - prototype de filet biosourcé et compostable Intermas.....	36
Conclusion générale.....	40
Perspectives.....	43
Bibliographie et tables des illustrations.....	44

RÉSUMÉ

La production de moules de bouchot actuelle nécessite l'usage de filets en plastique, qui, enfilés sur les pieux, permettent de contenir la pousse des moules et surtout d'éviter la chute de coquillages due aux conditions climatiques. Ces filets dits « de catinage » sont sujets à des pertes en milieu marin et sont non valorisés en fin de vie. Au final, les enjeux pour la profession sont triples : environnementaux, sociaux, et économiques.

Le projet BIOFILET a été lancé afin d'appuyer techniquement les tests de prototypes de filets mytilicoles biosourcés et compostables mis au point par des fabricants européens afin que ceux-ci puissent être améliorés pour convenir au mieux et au plus vite aux attentes des professionnels. Le Comité Régional Conchylicole des Pays de la Loire, le Comité Régional Conchylicole de Bretagne Sud ainsi que la société Interimas sont partenaires techniques de ce projet financé par la région Pays de la Loire, dans le cadre de l'appel à projets annuel, Pêche et Aquaculture. Pour fabriquer ces filets, les industriels se fournissent en matière première, des bioplastiques certifiés biodégradables dans des conditions de compostage industriel. Les conditions biotiques et abiotiques réunies au sein de ces structures permettent une dégradation satisfaisante de la matière sur un temps court. En milieu marin, les conditions sont relativement différentes, diminuant la cinétique de dégradation de ces filets. Immergés en milieu marin pendant 10 mois en Baie de Quiberon, des échantillons de filets biosourcés et compostables Interimas ont été analysés mensuellement par essai de traction longitudinale. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de diminution significative de la résistance sur la durée de l'expérimentation. Cependant, ces filets se sont révélés plus fragiles en étirement transversal manuel des mailles après quelques mois d'immersion. L'essai des prototypes de filets à l'usage a été mené sur le cycle de production 2019-2020, en partenariat avec des mytiliculteurs du territoire, sur 9 sites pour les prototypes Interimas, et 3 pour les prototypes Ecoplas². En manipulations, les deux prototypes ont révélé une plus grande fragilité comparée à des filets conventionnels. En découle ainsi un endommagement important du filet ou bien un temps de travail supplémentaire pour les utilisateurs qui doivent adapter leur technique pour éviter de casser les mailles du filet. Un constat prédominant, car il rebute les producteurs à utiliser ces filets, particulièrement le prototype Interimas, plus fragile en manipulation que le prototype Ecoplas. L'utilisation du filet Interimas sur des sites exposés pendant la période automnale et hivernale, sujette à des aléas climatiques importants (vent, houle) a eu pour conséquences la détérioration importante des filets sur un tiers des sites, ce qui n'a pas été le cas pour les filets Ecoplas. En revanche, le filet Interimas semble adapté sur des sites à faible exposition. Concernant la dégradation en milieu marin : d'après les différentes recherches bibliographiques et les échanges avec les professionnels des bioplastiques, si ces filets se retrouvent malencontreusement dans le milieu marin, ils pourraient se biodégrader en plusieurs années sur les fonds marins de la côte atlantique, et être assimilés par les micro-organismes. Une avancée majeure sachant que la durée de dégradation des plastiques conventionnels est estimée à plusieurs siècles, et que ceux-ci persistent dans le milieu marin sous forme de microplastiques polluants. De plus, un premier test mis en œuvre pour évaluer l'écotoxicité de plusieurs matériaux plastiques sur des larves d'oursins (*Hégron, 2019*) a montré que le prototype de filet Interimas n'altérerait pas les larves d'oursins, dans les conditions du test. Ce qui ne fut pas le cas des différents matériaux plastiques, à l'origine de malformations de larves significatives. Les tests en compostage industriel ont permis de montrer que les matières utilisées pour les deux prototypes étaient en capacité de subir une importante dégradation en quelques semaines. Des projets en cours sur l'année 2020 apporteront des résultats complémentaires sur les conditions de compostage et de dégradation de la matière bioplastique.

En conclusion, il est complexe pour les fabricants de proposer des filets biosourcés et compostables aux propriétés mécaniques proches de celles des filets en polymères conventionnels. Ces premiers résultats obtenus dans le cadre du projet BIOFILET ainsi que les résultats exhaustifs qui seront connus à l'issue du cycle de production 2020 devront permettre aux fabricants d'ajuster, si cela est jugé nécessaire les prototypes de filets biosourcés et compostables proposés pour répondre au mieux aux attentes des mytiliculteurs. Des adaptations des pratiques des mytiliculteurs seront probablement à effectuer de façon à garantir la bonne fonctionnalité du filet. Le projet BIOFILET a néanmoins permis d'effectuer une première approche encourageante en région Pays de la Loire concernant l'utilisation des bioplastiques pour la fabrication d'outils de productions conchylicoles.

² La société ECOPLAS a fait parvenir en septembre 2019 une quantité de filets biosourcés et compostables permettant d'effectuer des essais sur seulement 3 sites (pour 5 pieux par site).

REMERCIEMENTS

Ce projet, en raison de sa transdisciplinarité a bénéficié de l'appui technique de nombreux acteurs.

Tout d'abord, un grand remerciement à tous les partenaires techniques du projet, en particulier Monsieur Hugo Koechlin du Comité Régional Conchylicole des Pays de la Loire, Madame Sonia Gachelin, Madame Charlotte Badouel, Monsieur Gilles Raibaut du Comité Régional Conchylicole de Bretagne Sud, Monsieur Christian Guyomar de la société Intermas ainsi que Monsieur Anxo Vidal de la société Ecoplas.

Les partenaires techniques sont également les mytiliculteurs qui ont accepté de coopérer pour les tests des prototypes de filets sur leurs concessions. Sur le secteur du CRC Bretagne Sud, un remerciement à Madame Leslie Romagné et son mari Julien, Monsieur Christophe Jannot, Monsieur Sylvain Chiquet et Monsieur Thibaud Camaret, Monsieur Christophe Porcher, Monsieur Jordan Chevalier et Monsieur Julien Hervé. Sur le secteur du CRC Pays de la Loire, un remerciement à Monsieur Antonio Charpentier, Monsieur Joël Corcaud, Monsieur Nicolas Pineau, Monsieur Emmanuel Bertaud et Monsieur Dave Lamant.

Un remerciement appuyé aux sociétés qui ont accompagné la mise en place de tests de dégradation des « biofilets » sur leurs sites de compostage. A savoir, Monsieur Vincent Turmel de la société Veolia, Monsieur Eric Langlais et Monsieur Jean-Noël Plissonneau. Pour le site de compostage de Saint Herblain, merci à Nantes Métropole qui a donné son accord pour les essais. Un remerciement également à Monsieur Dana Pfeuty et Monsieur Stéphane Landreau de la société coopérative Compost In Situ pour les différents tests de dégradations menés sur leurs sites.

Je remercie aussi vivement ceux qui ont apporté leur contribution par leur expertise et par leurs conseils : Madame Laurence Hégron-Macé du Syndicat mixte Synergie Mer et Littoral, Monsieur Vincent Mathel de la société Seabird, Madame Maët Le Lan de la Chambre d'Agriculture du Morbihan, Monsieur Florian Monlau de l'APESA et Monsieur Eric Leroy du laboratoire GEPEA.

Un remerciement particulier à Monsieur Guy Louarn, de Polytech Nantes qui a répondu à ma sollicitation et permis la réalisation du TIPE de Madame Solène Leclair, Madame Nolwenn Rince et Monsieur Corentin Rayon, étudiants de l'école d'ingénieurs Polytech Nantes qui se sont portés volontaires pour travailler sur ce sujet. Merci à eux. Les résultats seront connus en fin d'année universitaire 2020.

Le projet BIOFILET est une première pierre qui permet de montrer que la profession conchylicole en Pays de la Loire s'implique pour réduire ses effets sur l'environnement. Ainsi, il va de soi d'adresser des remerciements aux médias et événements qui ont mis en lumière le projet BIOFILET : le magazine *Cultures Marines*, *Le Courrier du Pays de Retz*, *Ouest France*, le salon de la conchyliculture de Vannes 2019.

GLOSSAIRE

Biodéchet	Tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc, tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issue notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente ² au détail, ainsi que tout déchet comparable provenant des établissements de production ou de transformation de denrées alimentaires. » (Article R. 541-8 et R 541-21-1 du Code de l'Environnement)
Biodégradable	Un matériau est dit biodégradable s'il est dégradé par des micro-organismes. Le résultat de cette dégradation est la formation d'eau, de CO ₂ et/ou de CH ₄ et, éventuellement, de sous-produits – résidus, nouvelle biomasse – non toxiques pour l'environnement. » (ADEME, 2005)
Bioplastique	Plastique biosourcé et biodégradable (Journal officiel du 22/12/2016)
Biosourcé	Se dit d'un produit ou d'un matériau entièrement ou partiellement fabriqué à partir de matières d'origine biologique (Journal officiel du 22/12/2016)
Biopolymère	Ce sont les polymères naturels issus des ressources renouvelables de plantes ou d'animaux. Ils peuvent être directement synthétisés par les plantes ou les animaux comme les polysaccharides (amidon, cellulose, chitosane, etc.), les protéines (collagène, gélatine, caséine, etc.) et les lignines, ou bien synthétisés à partir de ressources biologiques comme les huiles végétales (colza, soja, tournesol, etc.). D'autres biopolymères, comme le PHA, sont produits par des micro-organismes (bactéries) par fermentation à partir de sucres et d'amidon. (Gontard, Nathalie; Bruzaud, Stéphane; Ghiglione, 2019, p. 41)
Compostage	Le compostage est un procédé de transformation aérobie de matières fermentescibles dans des conditions contrôlées. Il permet l'obtention d'une matière fertilisante stabilisée riche en composés humiques, le compost, susceptible d'être utilisé, s'il est de qualité suffisante, en tant qu'amendement organique améliorant la structure et la fertilité des sols. Le compostage s'accompagne d'un dégagement de chaleur et de gaz, essentiellement du gaz carbonique si l'aération est suffisante. (ADEME, 2015, p. 3)
Méthanisation	La méthanisation consiste en une fermentation anaérobie de matières organiques qui conduit à la production de biogaz et de digestat (Ministère, 2013)
Sous-produits animaux de catégorie 3	La liste de catégorie 3 sous-tend un principe majeur du règlement : seuls y figurent des sous-produits animaux issus d'animaux sains, ou des sous-produits animaux au travers desquels ne peuvent être véhiculées de maladies transmissibles à l'homme ou à l'animal. (Ministère de l'Agriculture, 2018)

ACRONYMES UTILISES

BMP	Biochemical Methane Potential
CRC BS	Comité Régional Conchylicole de Bretagne Sud
CRC PDL	Comité Régional Conchylicole des Pays de la Loire
D°Ex	Degré d'exposition
ISDND	Installations de Stockage des Déchets non Dangereux
LTECV	Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte
PLA	Acide Polylactique
TGAP	Taxe Générale sur les Activités Polluantes
SMEL	Syndicat mixte Synergie Mer Et Littoral
SPAn C3	Sous-Produits Animaux de catégorie 3

INTRODUCTION

Apparu dans les années 1950, fabriqué à partir de dérivés d'hydrocarbures fossiles, le plastique s'est rapidement imposé comme un matériau incontournable, présent dans tous les secteurs d'activité.

Le prix du plastique vierge étant corrélé à celui du baril de pétrole, les coûts de vente actuels des produits en plastique sont relativement faibles comparés à d'autres matériaux. D'autres facteurs expliquent l'omniprésence du plastique, comme sa légèreté ainsi que sa grande fonctionnalité, favorisée par la grande diversité de polymères existants.

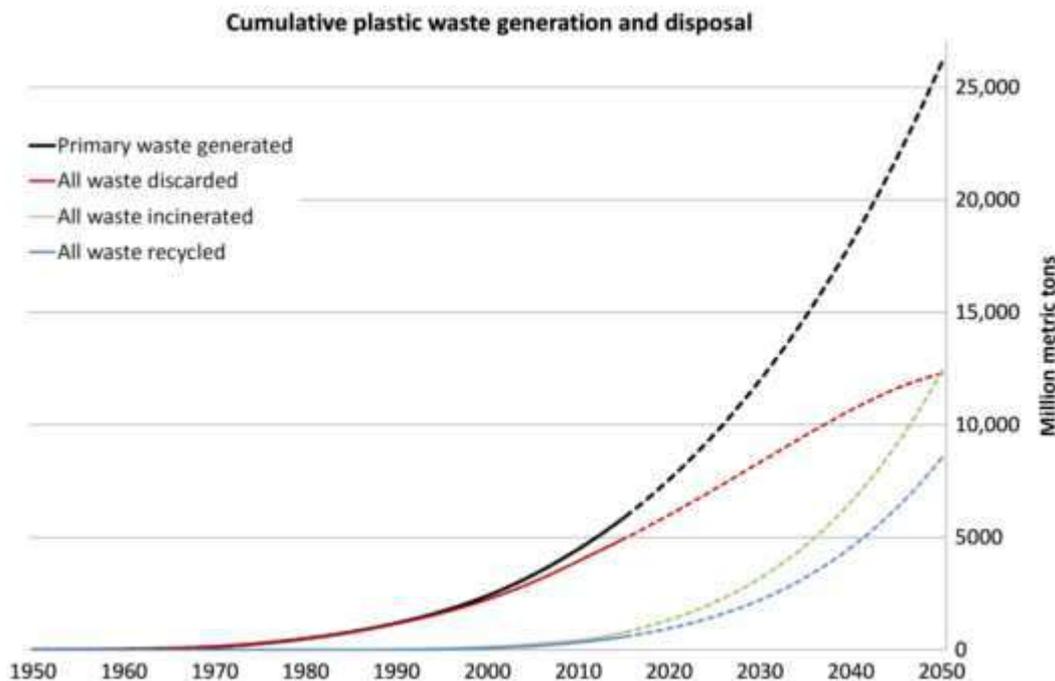


Figure 1: Production et élimination cumulée de déchets plastique. Données historiques de 1950 à 2015, projections jusqu'en 2050 (Geyer, Jambeck, & Law, 2017, p. 3)

Cette production importante de plastique génère des conséquences importantes sur l'environnement, particulièrement lorsqu'il s'agit de plastiques à courte durée de vie, non valorisés en fin de vie, pouvant se disperser dans le milieu naturel.

« Chaque année, au moins 8 millions de tonnes de plastiques se frayent un chemin jusqu'aux écosystèmes marins. » (Ellen MacArthur Foundation, 2017, p. 12)

Comme bon nombre d'activités, la conchyliculture contribue malheureusement à ce phénomène par des pertes involontaires de matériel. Par la suite, lorsque ces déchets se retrouvent sur le littoral et sont récupérés, leur origine est parfois reconnaissable, et c'est ensuite l'image de la profession qui est dégradée.

Les filets mytilicoles, dits « filets de catinage » sont particulièrement sujets à une dispersion dans le milieu marin, intervenant en général à la suite d'épisodes de perturbation météorologiques (vent, houle).

La grande majorité des filets mytilicoles utilisés sur les pieux de bouchot est cependant récupérée par les producteurs qui doivent s'assurer de leur collecte et de leur traitement. Pour cela, après la pêche des moules, les gestionnaires (mytiliculteurs ou collectivités) font appel à un prestataire spécialisé qui s'assure du traitement de ces déchets. Ceux-ci ont comme exutoire les Installations de Stockage des Déchets non dangereux (ISDND), où les déchets sont enfouis. Une fin de vie impactante pour l'environnement et qui représente en plus une charge financière non négligeable pour les entreprises mytilicoles. Au final, les enjeux résultant de cette problématique sont triples : environnementaux, sociaux, économiques. Pour les mytiliculteurs, il devient urgent d'agir sur cette problématique. D'autant plus que la réglementation pourrait à terme, contraindre ou interdire l'usage de certains outils de production en plastique.

Les filets mytilicoles en plastique : une transition vers des matériaux biosourcés et compostables ?

En novembre 2019, l'Aquaculture Stewardship Council, dans son rapport intitulé « Marine Litter and Aquaculture Gear³ » recommande de suivre la règle dite des 5R (Johnson, 2013), afin de trouver des solutions adaptées pour réduire l'impact des outils de production aquacoles en plastique. A la base du mode de vie « zéro déchet », cette règle indique la démarche à suivre pour diminuer l'empreinte environnementale de certains produits, soit par ordre d'importance : Réduire – Réutiliser – Recycler – Récupérer- Refuser.

Les filets « de catinage » sont utilisés par les mytiliculteurs dans l'objectif d'assurer le maintien des moules sur les pieux de bouchot. Indispensables, non réutilisables et difficilement recyclables, il est complexe d'appliquer la règle des 5R.

L'idéal serait d'opter pour des filets conçus avec des matériaux pouvant se biodégrader rapidement (quelques mois) en milieu marin, avec un impact négatif négligeable sur l'environnement, tout en assurant une fonctionnalité sur l'ensemble du cycle de production mytilicole. Or, si la recherche avance sur le sujet innovant des bioplastiques, le produit à durée de vie contrôlée ; qui réunit à la fois une durée de vie suffisante en application et une durée de biodégradation courte en milieu marin, n'existe pas encore. Il est difficile de prévoir si un tel matériau sera opérationnel dans les années qui viennent, mais des recherches sont en cours⁴.

En revanche, il existe aujourd'hui des bioplastiques biosourcés et compostables pouvant convenir pour la fabrication d'outils de production conchylicoles (filets, coupelles...). Leur durée de biodégradation dans le milieu marin serait de plusieurs années et ils pourraient être à terme assimilés par les micro-organismes. Ainsi, l'impact environnemental des pertes de matériel en mer serait fortement réduit comparé à un polymère classique en plastique dont la durée de dégradation (non-biodégradables) est de l'ordre de plusieurs centaines d'années. Les structures de compostage industriel ou de méthanisation qui réunissent les conditions nécessaires à la biodégradation de ces bioplastiques sur un temps court (inférieur à 6 mois) pourraient constituer un exutoire pour les filets usagés, et donc une voie de valorisation organique.

C'est sur la base de ce constat que le projet BIOFILET a débuté. Son objectif est d'engager une première démarche de test d'alternatives aux filets de catinage en plastique conçus avec des matériaux biosourcés et compostables. Le projet BIOFILET, porté par le SMIDAP en partenariat avec le Comité Régional Conchylicole des Pays de la Loire et le Comité Régional Conchylicole de Bretagne Sud a permis d'évaluer suivant plusieurs aspects, les prototypes de filets mis au point par les sociétés Intermas et Ecoplas.

A l'issue de tests menés sur un cycle de production (2019-2020), les différents retours portant sur la durabilité en milieu marin, le comportement du filet, son efficacité zootechnique, sa valorisation organique et son écotoxicité seront connus. Les fabricants pourront se baser sur ces retours pour améliorer leurs produits.

En tout état de cause, ce sont les producteurs qui décideront de l'adoption ou non d'un nouveau filet. Ses résultats techniques, ses performances zootechniques, mais également l'aspect économique seront des conditions *sine qua non* de ce changement de pratique.

³ En français : « Les déchets marins et l'aquaculture »

⁴ Projet INDiGO (2020-2023) : Les 10 partenaires français et britanniques ont pour objectif de développer des engins de pêche innovants biodégradables en milieu marin, de favoriser leur adoption par les professionnels et d'améliorer la prévention et la gestion des pollutions générées par les engins (financement Interreg).

I. CONSTAT ET ENJEUX POUR LA FILIERE CONCHYLICOLE

Préliminaire : situation réglementaire concernant les outils de production conchylicole

Principales lois au niveau national

- Le Code de l'environnement s'appliquant aux personnes morales et physiques sanctionne le rejet dans le milieu marin de substances nuisibles au bon fonctionnement des écosystèmes. *(Article L 218-73 du Code de l'environnement).*
- Les conchyliculteurs sont tenus de respecter le Code de l'environnement qui impose aux entreprises de gérer les déchets qu'elles produisent, ils doivent s'assurer que leur élimination est conforme à la réglementation. *(Articles L 218-73 et L 541-2 du Code de l'environnement)*

Des évolutions réglementaires récentes

- En juin 2019, le Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne ont adopté la Directive (UE) n° 2019/904 visant à prendre des mesures pour réduire l'incidence de certains produits en plastique sur l'environnement. Sont concernés par ces mesures, les articles en plastique à usage unique ainsi que les engins de pêche en plastique. L'UE se base sur les statistiques effectuées suite aux comptages de déchets sur le littoral qui ont permis de montrer que les articles en plastique à usage unique représentaient 47% des déchets retrouvés et les articles liés à la pêche⁵ 27% du total. *(Parlement Européen ; Conseil de l'Union Européenne, 2019)*

Les différentes mesures mentionnées dans cette Directive concernant les engins de pêche en plastique peuvent se résumer ainsi :

- mise en place d'un régime de responsabilité élargie du producteur⁶
 - augmentation du taux de recyclage
 - mise en place de mesures de sensibilisation pour les utilisateurs sur les alternatives, et sur l'incidence sur l'environnement de la perte d'engins de pêche en plastique
- Le gouvernement français vise un objectif de 100% de plastiques recyclés à l'horizon 2025. Cette mesure figure dans la Loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire.

Ces évolutions réglementaires vont progressivement contraindre l'utilisation de plastique dans la filière conchylicole.

I.1. Données en région Pays de la Loire et en Bretagne Sud

A. Problématique environnementale

L'absence de valorisation en fin de vie des outils de production plastique et la dégradation en milieu marin des filets involontairement perdus pendant le cycle de production sont des impacts environnementaux négatifs résultant de l'usage des filets de catinage en mytiliculture sur bouchots.

Dispersion en milieu marin

Selon l'ASC(ASC, 2019, p. 10), à l'échelle mondiale, 3 causes principales peuvent expliquer des pertes d'engins de productions aquacoles en milieu marin.

⁵ Le terme pêche est à prendre au sens large, il englobe l'aquaculture, et donc la conchyliculture. *(Parlement Européen ; Conseil de l'Union Européenne, 2019, p. 8)*

⁶Producteur : fabricant ou fournisseur d'engins de pêche en plastique

- 1) Les conditions météorologiques extrêmes :
Tempêtes, orages, vents violents, fortes houles, fortes précipitations
- 2) Une mauvaise gestion des outils de production en plastique :
 - au cours de l'usage sur site (mauvaise implantation, installation et maintenance)
 - gestion des déchets inadaptée
 - recyclage insuffisant
 - abandon des sites de production
 - manque de sensibilisation et de formation

3) Une décharge volontaire des déchets

Déchets plastiques délibérément jetés ou abandonnés, particulièrement si les coûts de collecte ou d'enlèvement sont jugés trop élevés.

Sur le territoire de l'étude, selon les dires des producteurs et les observations de terrain, les causes les plus probables à l'origine de pertes de filets en milieu marin seraient :

- **les conditions météorologiques extrêmes**, particulièrement en saison automnale et hivernale
- **l'incompatibilité de certaines machines avec les filets en plastique extrudé**
exemple : la machine qui permet de retirer le filet de la grappe de moules dit « dégrappeur » favorise le morcellement des filets en plastique extrudé, qui non récupérés, sont susceptibles d'être disséminés dans le milieu naturel
- **les filets restants sur les pieux non-garnis** (après pêche des moules ou épisodes de mortalité), susceptibles de se décrocher.



Figure 2: Résidus de filets et de matière organique dans un dégrappeur



Figure 3: déchets résiduels collectés après l'usage du dégrappeur



Figure 4: Filets usagés sur des pieux de bouchot

L'absence de données quantitatives en Pays de la Loire

Que ce soit à l'échelle d'un bassin de production ou plus globalement, il est complexe de quantifier les filets perdus chaque année en milieu marin. En Pays de la Loire, aucune étude n'a encore été menée pour quantifier les pertes d'outils de production conchylicole en milieu marin. En revanche, cette démarche a été effectuée en Charente-Maritime dans le cadre du projet CODEMAR⁷ porté par la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO), qui consiste à mettre en place une concertation des acteurs impliqués dans la présence des déchets en milieu marin.

⁷ CODEMAR (COordination, COnnaissances, et COmmunication sur les DÉchets MARins)

Il est ressorti d'une enquête (Fournier, 2018, p. 42) auprès de 7 mytiliculteurs interrogés implantés sur ce territoire que le taux de perte était de 1% des filets utilisés sur pieux de bouchots par chaque producteur.

Un résultat qui peut sembler faible à l'échelle d'une entreprise, mais représente une dispersion de plastique importante dans la nature lorsque l'on prend en considération l'ensemble d'un bassin de production. Il faut cependant garder à l'esprit que les pertes d'outils de production conchylicoles en plastique dans le milieu marin sont involontaires. Les conchyliculteurs ne souhaitent aucunement nuire à la qualité de leurs milieux d'élevage en y rejetant des produits polluants. Cela représente en plus une perte économique pour leur entreprise.

Collecte – élimination des filets de catinage usagés

Les filets de catinage sont récupérés par les producteurs au moment de la pêche des moules de bouchot après passage dans le dégrappeur. Les filets hors d'usage sont ensuite confiés à des prestataires chargés d'assurer leur traitement.

➤ Installations de Stockage des Déchets non Dangereux (ISDND)

Le traitement des déchets de filets de catinage est effectué en ISDND, un mode d'élimination effectué par enfouissement contrôlé, mais qui peut impacter négativement le milieu naturel (fuites de lixiviats, émissions de biogaz).

La loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) du 17 août 2015 prévoit une **réduction de 50 %** des quantités de déchets non dangereux non inertes admis dans les installations de stockage **entre 2010 et 2025**. Cela afin de réduire de façon importante les tonnages admis en ISDND et inciter les apporteurs de déchets à privilégier les voies de recyclage par rapport au stockage ou à l'incinération. De plus, la Région Pays de la Loire fait face depuis plusieurs années à un déficit de capacité en ISDND. (Région Pays de la Loire, 2019, p. 4)

D'après une prévision établie pour le Plan régional de prévention et de gestion des déchets : « À l'échelle départementale, on observe un manque de capacités en ISDND sur les départements de la Vendée (-32 kt) et de la Loire-Atlantique (-13 kt) en 2025. ». (Région Pays de la Loire, 2018, p. 12).

Concernant la prise en charge des déchets de filets mytilicoles, des difficultés ont déjà été constatées sur certains secteurs. Des prestataires de collecte sont réticents à la prise en charge de ce flux. D'après leurs dires, les filets, en mélange avec de la matière organique sont très odorants, ce qui complexifie les étapes de collecte et de stockage, et requiert des adaptations techniques contraignantes pour les travailleurs.

➤ Valorisation énergétique

Les incinérateurs sont généralement, la propriété des collectivités, et de ce fait, ils sont utilisés pour traiter en priorité les déchets ménagers. De plus, en région Pays de la Loire, certaines usines d'incinération sont saturées et ne peuvent traiter les déchets d'entreprises (Région Pays de la Loire, 2019). Ces éléments peuvent expliquer que les déchets de filets ne soient pas traités en filières de valorisation énergétique.

➤ Recyclage

Aucune filière de recyclage n'est actuellement en capacité de prendre en charge ce type de déchets.

Dans le cadre de l'étude *Seaplast* menée sur le territoire normand, le recyclage de déchets de filets de catinage a été expérimenté. Cet essai a mis en lumière des contraintes importantes, soit la mise en place de phases de nettoyage et de prétraitement conséquentes. Pour ce type d'outil de production conchylicole, le recyclage n'est pas une voie de valorisation à privilégier, l'alternative se porte plutôt sur les matériaux biosourcés et compostables.

En témoigne cet extrait du rapport final de *Seaplast*:

« Cette question d'utilisation de matière biodégradable sera obligatoire pour gérer précisément la fin de vie des filets de moule, qui à travers l'étude que nous avons menée, a prouvé que la quantité de matière autre que plastique dans le filet usagé (> 50% d'indésirable de type matière organique et minérale) ne permet même pas d'en refaire un granulé, le filet étant beaucoup trop contaminé. » (SMEL ; Ivamer & Natureplast, 2017, p. 144).

B. Problématique sociale

Les impacts environnementaux qui découlent de l'usage d'outils plastique à courte durée de vie en conchyliculture sont à l'origine d'une problématique sociale pour la profession, qui a pris de l'ampleur ces dernières années.

En effet, des morceaux de filets perdus en mer s'échouent sur le littoral et sont parfois retrouvés par des promeneurs ou des membres d'associations environnementales. Aussi, il arrive que l'information soit relayée dans les médias ou sur les réseaux sociaux, dégradant ainsi l'image de la profession et donnant lieu à un amalgame conchyliculteur-pollueur.

Le malaise est également présent au sein même de la profession. Cette problématique du plastique est contradictoire avec la production extensive, qu'est par nature celle des coquillages. Particulièrement, la mytiliculture est souvent considérée comme la production de protéines détentrice du plus faible bilan carbone (Aubin et al, 2018) Par éthique ou dans le but de donner une meilleure image de la profession, les mytiliculteurs sont conscients qu'il est prioritaire de se tourner vers des matériaux plus durables afin d'assurer la pérennité de leur activité pour les générations futures. Or, actuellement, aucune alternative opérationnelle ne leur est proposée.

C. Problématique économique

Dans le cadre des dispositions de la LTECV pour réduire les quantités mises en décharge, l'augmentation graduelle de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP) a été inscrite dans la loi de finances pour 2019. Les exploitants d'ISDND devront s'acquitter de cet impôt, qui selon les aménagements des structures sera multiplié par 1,5 à 3,8 entre 2019 et 2025. Une hausse significative qui sera répercutée sur le coût de traitement pour les apporteurs de déchets. Cette importante augmentation du coût est déjà constatée pour l'année 2020 en région Pays de la Loire.

En résumé, les difficultés rencontrées pour traiter les déchets plastiques de la mytiliculture en ISDND devraient s'amplifier dans les années à venir, et il devient prioritaire de trouver une voie de valorisation pour ces outils de production. De plus, connaissant la menace que représente la dispersion de plastique en milieu marin, les mytiliculteurs sont résolument décidés à s'engager pour favoriser leur transition vers de nouveaux outils de production plus durables.

Outils de production plastique de la conchyliculture à courte durée de vie

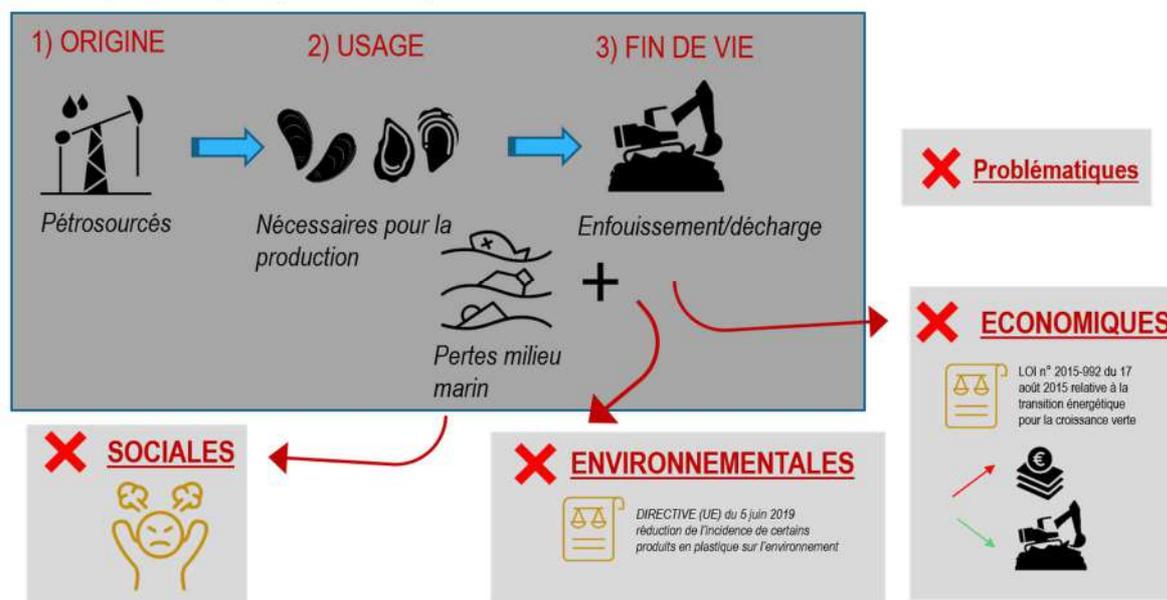


Figure 5: Représentation schématique des problématiques qui découlent de l'usage d'outils de production plastique conchylicoles non valorisés en fin de vie

I.2. Enjeux

Ces problématiques liées à l'usage d'outils de production plastique en conchyliculture font émerger des enjeux sociaux, économiques et environnementaux, représentant les 3 piliers du développement durable.

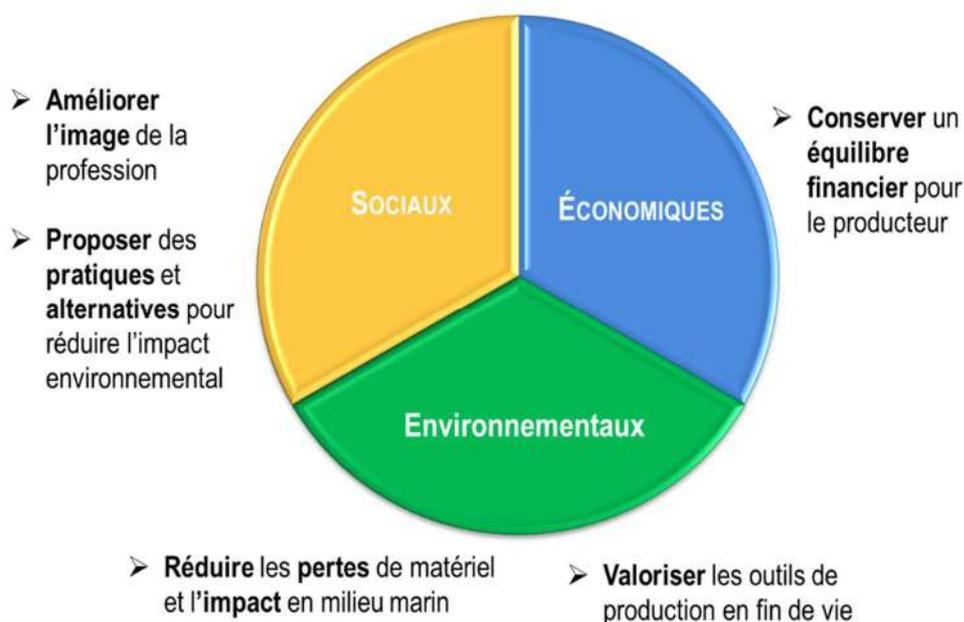


Figure 6: Les enjeux liés à la problématique du plastique en conchyliculture

I.3. Objectifs du projet BIOFILET

Naissance du projet

Les sollicitations provenant des mytiliculteurs pour trouver une alternative aux filets de catinage en plastique étant importantes, un projet pour tenter d'y répondre a vu le jour.

La société Intermas, une des entreprises leader en fabrication de mailles plastiques a initié une démarche de conception de filets de catinage en matériaux biosourcés et certifiés compostables⁸. Une première série de tests à l'usage avait été menée en Bretagne Sud. Cependant, les retours des producteurs n'étaient pas suffisants pour permettre au fabricant d'améliorer son produit.

Le projet BIOFILET, né de ce constat, vise à évaluer sur plusieurs aspects des prototypes de filets conçus en bioplastiques biosourcés et compostables.

Porté par le SMIDAP, il s'appuie sur les partenariats techniques du CRC Pays de la Loire et du CRC Bretagne Sud. La société Intermas est partenaire technique du projet, elle fournit les filets à tester et procède à des analyses mécaniques de matière dégradée. Le fabricant Ecoplas a également intégré la démarche, suite à la mise au point d'un prototype de filet biosourcé et compostable.

Objectifs

⁸ Norme européenne EN 13432

L'objectif principal de ce projet est d'obtenir des retours fiables sur les caractéristiques des prototypes de filets, leur durabilité en milieu marin, le comportement du filet à l'usage, la réponse aux exigences zootechniques, la dégradation en compostage industriel, l'écotoxicité en milieu marin...

Ce bilan, qui sera rendu exhaustif à l'issue du cycle de production 2019-2020 permettra de répondre à ces questions :

- Ce filet peut-il satisfaire les attentes des producteurs ? Dans quelles conditions ?
- Quelles sont les informations à transmettre au fabricant qui pourront lui permettre d'améliorer son produit ?

En parallèle de la phase concrète de tests, un état des connaissances global sera réalisé. Il devra permettre d'appuyer la réflexion concernant l'usage de matériaux en bioplastiques en conchyliculture.

II. ETAT DES CONNAISSANCES

II.1. Bioplastiques : définitions et caractéristiques

L'appellation « bioplastique » peut faire référence à la fois à l'origine du matériau ou à sa fin de vie. Ainsi, aujourd'hui dans le monde, sont qualifiés de bioplastiques des polymères biosourcés, ou biodégradables, ou les deux. Cependant, d'après la définition française parue au journal officiel du 22 décembre 2016, les bioplastiques sont des plastiques **biosourcés et biodégradables**, par opposition au plastique conventionnel qui est **non-biosourcé (pétrosourcé) et non biodégradable**. Aussi, afin d'éviter les confusions, lorsque l'on emploie le terme « bioplastique », il convient de compléter par les précisions relatives à son origine et à sa fin de vie.

Comme les différents matériaux plastiques, les bioplastiques sont multiples et ont des propriétés mécaniques et chimiques qui leur sont propres.

ORIGINE FIN DE VIE	<i>Issus de la biomasse</i> = BIOSOURCÉS	<i>Issus de la pétrochimie</i> = NON - BIOSOURCÉS
BIODÉGRADABLES = assimilables par la biomasse <i>Le bioplastique doit être biodégradable au minimum en conditions de compostage industriel, suivant les normes en vigueur</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Polymères naturels d'origine végétale ou animale (polysaccharides, amidon, gluten) - PHA (polyhydroxy-alcanoates) - PLA (acide polylactique) - bio-PBS (poly(butylène succinate)) - ... 	<ul style="list-style-type: none"> - PCL (polycaprolactone) - PBAT (polybutylène adipate-co-téréphtalate) - PBS (polybutylène succinate) - copolyesters - ...
NON - BIODÉGRADABLES = non assimilables par la biomasse <i>(pollution et microplastiques dans le milieu naturel)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - bio-PE (bio-polyéthylène) - bio-PET (bio-téréphtalate d'éthylène) - bio-PTT (bio-polytéréphtalate de triméthylène) - polyamides (PA) - ... 	<ul style="list-style-type: none"> - PE (polyéthylène) - PET (téréphtalate d'éthylène) - PS (polystyrène) - PP (polypropylène) - PVC (polychlorure de vinyle) - PA (polyamides) - ...

Tableau 1: Classification des polymères existants : plastiques et bioplastiques
D'après (Gontard, Nathalie; Bruzaud, Stéphane; Ghiglione, 2019, p. 16)

Précisions autour du terme « biodégradable »

La Directive (UE) 2019/904 du 5 juin 2019 définit le « plastique biodégradable » comme un "plastique qui est de nature à pouvoir subir une décomposition physique ou biologique, de telle sorte qu'il se décompose finalement en dioxyde de carbone (CO₂), en biomasse et en eau, et est, conformément aux normes européennes applicables aux emballages, valorisable par compostage et par digestion anaérobie".

La cinétique de dégradation des bioplastiques dépend de facteurs abiotiques et biotiques, variables selon les milieux (sol, compostage domestique, compostage industriel, milieu marin...). Afin d'encadrer l'usage du terme « biodégradable » pour les bioplastiques, des normes existent, et spécifient les conditions liées à la biodégradation des bioplastiques dans ces différents milieux sur des durées relativement courtes. Les conditions présentes en compostage industriel telles qu'une température élevée (supérieure à 60°C), un taux d'humidité de 60-65% (ADEME, 2015, p. 10) et une bonne oxygénation sont propices à l'activité microbienne qui permet de dégrader rapidement la matière organique et donc certains bioplastiques. La norme européenne EN13432 est une norme référente qui atteste de la biodégradabilité des emballages ou des produits en bioplastiques (EN14995) en compostage industriel ou par digestion anaérobie (méthanisation). Dans les autres milieux : sol, eau douce, eau de mer, la cinétique de dégradation sera plus faible, il est plus difficile d'obtenir des bioplastiques conformes à la biodégradation dans ce type de conditions.

Bioplastiques en mélange

Les produits en bioplastique peuvent être fabriqués à partir d'un mélange de différents bioplastiques, comme c'est le cas pour les prototypes de filets de catinage testés. Un (ou plusieurs) polymère(s) biosourcé(s) et biodégradable(s) ainsi qu'un (ou plusieurs) polymère(s) non-biosourcé(s) et biodégradables peuvent constituer ce mélange. Ainsi, il est tout à fait possible que le produit final puisse être certifié biodégradable en compostage sans être 100% biosourcé.

II.2. Valorisation des bioplastiques, situation en région Pays de la Loire

Cette partie s'intéresse aux différents exutoires de traitement des déchets appliqués pour les filets de catinage en bioplastique, sur les plans réglementaires, techniques et économiques.

A. Recyclage mécanique

Le recyclage des déchets bioplastique (biosourcés et compostables) n'est à priori pas une filière de valorisation à envisager pour ces produits.

Le recyclage des plastiques s'opère par catégorie de polymères, et concernant les bioplastiques, la création de l'ensemble de la chaîne serait à effectuer. Par ailleurs, pour ce type de déchets, qui en fin de vie est en mélange avec des résidus de moules, d'algues et du sable, les pré-étapes de lavage et de tri seraient conséquentes, donc énergivores et coûteuses.

Selon un rapport publié en 2019 sur les plastiques biodégradables et compostables : « Même si certains d'entre eux sont également recyclables, les bioplastiques biodégradables trouvent surtout leur pertinence dans un scénario de fin de vie par compostage (domestique ou industriel) ou par méthanisation. Leur biodégradabilité leur permet en effet d'intégrer la filière de valorisation organique des déchets. » (Gontard, Nathalie; Bruzard, Stéphane; Ghiglione, 2019, p. 35).

B. Compostage industriel

Les filets en bioplastique testés pour ce projet sont fabriqués avec une matière qui, selon les fournisseurs des fabricants de filets, répond aux exigences de la norme EN13432, attestant de sa biodégradation dans des

installations de compostage industriel. Pour cela, un point a été fait sur les possibilités de valorisation en compostage industriel en région Pays de la Loire.

Agrément Sous-Produits Animaux de catégorie 3 et situation en région Pays de la Loire

Lorsqu'ils sont à l'état de déchet, les filets de catinage sont en mélange avec des moules (coquilles et chairs), soit avec des sous-produits animaux. Le règlement européen (CE) n°1069/2009 classe les sous-produits animaux en 3 catégories, prenant en compte le risque potentiel qu'ils peuvent présenter sur la santé humaine et animale. En découlent des possibilités de traitement, de leur utilisation à leur élimination avec une obligation de traçabilité. Sous-Produits Animaux (SPAn) issus de la filière mollusque et crustacés, les moules intègrent la catégorie 3.

Aussi, pour pouvoir accepter les déchets de filets en bioplastique usagés, **les unités de compostage industriel doivent posséder l'agrément sanitaire SPAn C3** (ADEME, QSE Consult SARL, & Loth-Lamazé, 2017, p. 11).

Un recensement des sites de compostage industriel en Pays de la Loire a été effectué. Le territoire du département du Morbihan a été ajouté au périmètre afin d'envisager la prise en charge des déchets de filets des mytiliculteurs de Bretagne Sud.

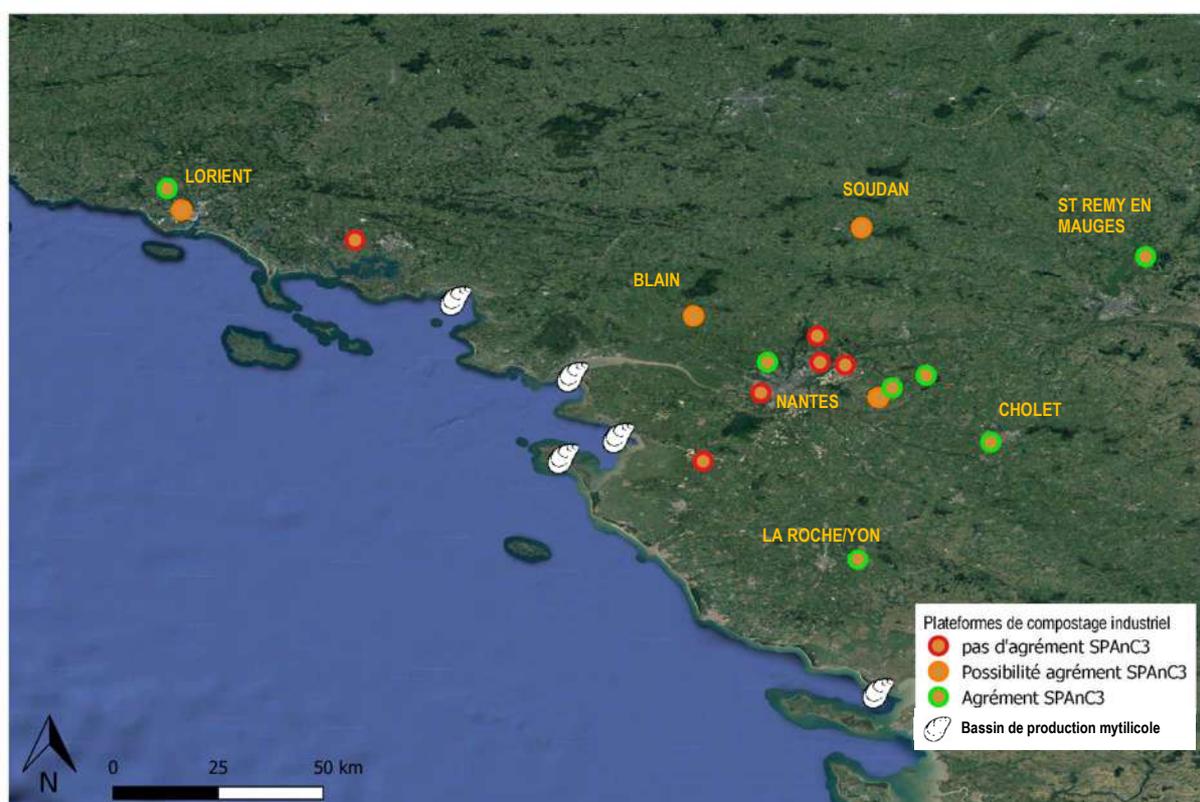


Figure 7: Localisation des principales plateformes de compostage industrielles recensées (fond de carte : google satellite 2019)

A l'issue de cette première phase d'étude, 4 sociétés proposant la prise en charge de biodéchets et possédant l'agrément SPAn C3 ont été recensées : Compost In Situ, Veolia et Brangeon.

SOCIÉTÉ	SPÉCIFICITÉS	LOCALISATIONS PLATEFORMES	RETOURS DES RÉFÉRENTS SOCIÉTÉS	TRAITEMENT (€ / TONNE)
COMPOST IN SITU	SCIC, propose la prise en charge de végétaux et biodéchets, épandage dans des champs appartenant aux agriculteurs.	Épandage en région nantaise mais possibilité d'étudier la prise en charge dans les départements de la Vendée et du	Réticence de l'entreprise, contraintes techniques à étudier : - utilisation du retourneur d'andain et déchets de filets	Non-communicé

	Utilisation d'un retourneur d'andain mobile	Morbihan	- broyage préalable ?	
VEOLIA	SAS, prise en charge de végétaux et de biodéchets sur différentes plateformes de compostage	Pont-Scorff (56179), à 10km de Lorient Blain et Soudan sous réserve d'obtention de l'agrément SPAn C3 La Chaize-le-Vicomte (85310), à 10 km de La Roche-sur-Yon Tiercé (49125)	Traitement envisageable si les tests de dégradation réalisés au préalable affichent des résultats satisfaisants pour la société	Coûts 2019 : De l'ordre de 50€/ la tonne H.T
BRANGEON	SAS, prise en charge de végétaux et de biodéchets sur différentes plateformes de compostage	Commune de Saint Rémy en Mauges (49110) Cholet (49300)	Réponse négative du Service Environnement : Par principe de précaution : la société a des craintes concernant la réglementation et la toxicité du compost obtenu	40-50 € H.T, suivant la qualité et la quantité
TERRALYS - SUEZ ENVIRONNEMENT	SARL, prise en charge de végétaux et de biodéchets sur différentes plateformes de compostage	Commune de Vallet (44330), à 30km au Sud-Est de Nantes	Les bioplastiques ne sont pour le moment pas pris en charge par la plateforme de compostage	Non-communicué

Tableau 2: Sociétés de compostage industriel et caractéristiques

C. Méthanisation, production de biogaz anaérobie

Si la prise en charge de déchets en bioplastiques est déjà partiellement effectuée par certaines plateformes de compostage industriel, la valorisation en méthanisation n'en est qu'à ses prémices. La difficulté pour cette étude a été de trouver des acteurs référents sur le sujet. En effet, que ce soit dans le secteur public (ADEME), ou privé (sociétés de méthanisation), cette thématique est nouvelle et les éléments de réponse encore peu connus.

L'APESA est un centre technologique en environnement et maîtrise des risques implanté en région Nouvelle Aquitaine. Florian Monlau, chargé de recherche au sein de cette structure à statut associatif, s'intéresse à la valorisation des déchets en méthanisation. Il est impliqué au sein de plusieurs projets (BIOPLAST, PLASTIMETHA) traitant de la prise en charge de flux de déchets bioplastiques. Contacté dans le cadre du projet BIOFILET, il a su apporter des éléments de réponse, croisés avec les résultats de recherche bibliographique.

Pour la typologie des bioplastiques composant les filets extrudés, la méthanisation à régime thermique thermophile est à privilégier (température de réaction de 45°C-60°C). Peu d'unités de méthanisation fonctionnent ainsi, la méthanisation mésophile étant la plus répandue (30°C-40°C). Cela limite donc le nombre d'unités de méthanisation présentes sur le territoire d'étude qui pourraient traiter ces déchets de bioplastiques. Il est donc possible que les filets biosourcés et compostables se dégradent en digestion anaérobie thermophile, mais cela peut demander plus de temps que les matières organiques « classiques ».

Dans un premier temps, il apparaît judicieux d'effectuer une évaluation du pouvoir méthanogène des déchets de filets en bioplastiques (alors en mélange avec des résidus de moules). Aussi appelé BMP (Biochemical Methane Potential), ce test correspond à la quantité maximale de méthane produit par un composé lors de sa dégradation. Cela permet également d'avoir une estimation de la quantité de matière non dégradée qui sera présente dans le digestat. (Narancic et al., 2018, p. 1). Par ailleurs, un essai pilote de digestion anaérobie pourra permettre de confirmer ou d'infirmer ces attentes.

Ces résultats seront ensuite à communiquer aux gérants d'unités de méthanisation qui envisageront ou non la prise en charge de ce flux de déchets.

Méthanisation thermophile et situation en région Pays de la Loire

Selon l'ADEME, il n'existe à ce jour aucune unité de méthanisation en processus thermophile en région Pays de la Loire. Ces installations sont également peu nombreuses à l'échelle nationale.

D. Stockage/enfouissement

Le traitement des déchets biosourcés et compostables en ISDND est évidemment à proscrire pour ses impacts négatifs sur l'environnement.

Conclusions

Concernant le traitement des déchets de filets en bioplastiques biosourcés et compostables, le compostage industriel semble s'imposer comme potentielle filière d'accueil, sous réserve des résultats des tests menés sur la dégradation des prototypes de filets.

Pour la filière de méthanisation, il convient de suivre les avancées des différents projets intégrant les bioplastiques. En perspectives, les actions de localisation des unités de méthanisation thermophiles et les tests BMP des prototypes de filets et essais de dégradation pourraient être réalisées.

II.3. Dégradation des bioplastiques et impact en milieu marin

Si les tests d'écotoxicité pour les bioplastiques font partie des exigences de la norme EN13432, il s'agit en réalité d'une analyse qui concerne les impacts sur les plantes cultivées sur un substrat composé en partie du compost obtenu après dégradation des bioplastiques. (European Bioplastics, 2015, p. 3).

Globalement, les impacts sur l'écosystème marin sont peu étudiés, notamment sur les effets de ces matériaux réduits à l'état de microparticules. Les études expérimentales sont plutôt limitées en nombre, et les résultats doivent être placés dans le contexte des conditions naturelles de chaque milieu (UV, température, oxygène, présence de microbiote approprié), ainsi que des caractéristiques du polymère. (Kershaw, 2015, p. 30).

Une étude pertinente s'est cependant intéressée à la biodégradation de différents polymères, biodégradables ou non, dans le liquide gastro-intestinal de tortues. En 49 jours, le bioplastique (PLA) a légèrement perdu en masse, tandis que l'on a constaté une diminution négligeable de la masse pour les autres matériaux.

Les chercheurs ont alors émis cette conclusion :

« Bien que les polymères biodégradables puissent constituer une amélioration importante, leur dégradation dans l'eau salée est plus lente. Ce rythme représente encore une amélioration majeure à long terme (par rapport aux milliers d'années nécessaires à la dégradation des plastiques standards), mais ces polymères constituent toujours une menace à court terme pour les animaux marins. Notre étude indique que leur dégradation dans l'intestin n'est pas assez rapide pour prévenir la morbidité et la mortalité probable des tortues vertes et caouannes. D'autres études sont donc nécessaires pour évaluer correctement la décomposition environnementale des polymères biodégradables, en particulier dans l'eau de mer. » (Müller, Townsend, & Matschullat, 2012, p. 4)

Ces mêmes préconisations sont souvent partagées par les acteurs référents sur la thématique des bioplastiques.

En réaction à ce constat, ces dispositions ont été prises et intégrées à la conduite du projet BIOFILET :

- Les utilisateurs et potentiels futurs utilisateurs (mytiliculteurs) sont informés que les conditions propices à une biodégradation rapide des filets de catinage en bioplastique s'obtiennent en compostage industriel, et non en milieu marin. Il est donc indispensable de veiller à récupérer les filets hors d'usage pour les expédier à terme dans une unité de valorisation appropriée.
- Un rapprochement avec des scientifiques référents sur l'écotoxicité des bioplastiques a été effectué.
- Une veille scientifique a été assurée.

III. EXPERIMENTATIONS

III.1. Matériaux et méthodes expérimentales

Prototypes à tester

Prototype	1	2
Société Siège social	INTERMAS Catalogne, Espagne	ECOPLAS Galice, Espagne
Activité principale	Maille extrudée : agriculture, jardinage, aquaculture...	Emballages en maille extrudé innovations sur les bioplastiques
Composition	Bioplastiques biosourcés et compostables Typologie des bioplastiques non communiquée par les fabricants Probablement un mélange de bioplastiques intégrant du PLA	
Couleur	Blanc/neutre	
Texture	Rêche, sec	Souple, lisse
Technologie de fabrication	Des filets sont produits par extrusion de polymères sous forme de granulés. C'est une technologie de fabrication qui n'existe pas en France pour les filets mytilicoles (4 fabricants européens recensés).	

Tableau 3: Caractéristiques des filets en bioplastique testés

A. Test de durabilité (prototype filet INTERMAS)

Objectifs

Cette manipulation, réalisée en partenariat avec la société Intermas, consiste à acquérir des données sur le vieillissement du filet de catinage bioplastique en milieu marin pour évaluer la compatibilité avec son usage en mytiliculture sur les territoires des Pays de la Loire et en Bretagne Sud. Des observations visuelles sont réalisées régulièrement, ainsi qu'un échantillonnage mensuel qui est transmis pour analyses à la société Intermas. Le suivi des conditions du milieu est effectué.

Sites d'étude

Les sites d'expérimentations ont été déterminés par le CRC Bretagne Sud et le CRC Pays de la Loire sur leurs territoires d'actions respectifs.

Les facteurs déterminants de ces choix sont les suivants :

- Obtenir une diversité de conditions du milieu
- Bénéficier de l'accord et de l'implication des professionnels ou des services concernés
- Disposer de moyens techniques permettant un accès régulier aux sites pour les suivis

Remarque : Il était initialement prévu d'inclure un ou plusieurs site(s) sur le secteur vendéen, mais en raison de l'absence de sites disponibles au moment du début des tests, il a été décidé de garder seulement les sites choisis en Bretagne Sud, qui suffisent à l'obtention de données.

SITES	SITE 1	SITE 2	SITE 3
Localisation	Filières de moules de l'île de Groix	Filières de moules de l'île Dumet	Corps-mort en Baie de Quiberon
Référent(s)	Leslie et Julien Romagné, mytiliculteurs	Jordan Chevalier et Julien Ervé, mytiliculteurs	Gilles Raibaut, garde-juré du CRC Bretagne Sud

Tableau 4: Sites choisis pour les tests de durabilité

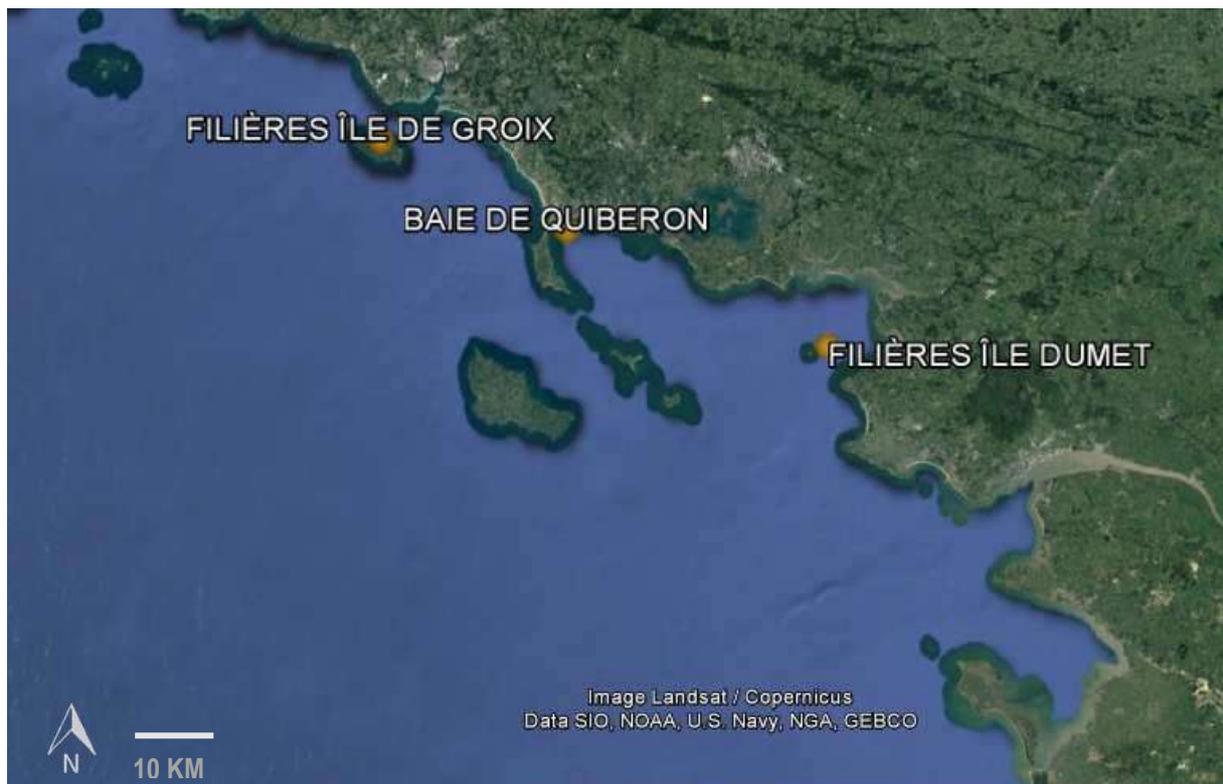


Figure 8: Localisation des sites tests (source : Google Earth)

Matériel

- Échantillons :
Filet de catinage tubulaire à mailles losanges de la société Intermas, biosourcés et compostables
Longueur : 2m, diamètre environ 43 cm
Masse : 43-45g

- Machine de traction :
fabricant : Instron, effectué au laboratoire de la société Nortene à Lille, appartenant au groupe Intermas



Figure 9: Machine de traction
© GUYOMAR

Protocole

1) Mise en place des essais

- Pour chaque site, 2 échantillons de filets de catinage en bioplastique sont accrochés avec un cordage à un support flottant (haussière des moules de filières ou bouée) disposé en surface ou subsurface.
- L'échantillon 1 (E1) est marqué tous les 10cm pour faciliter la découpe
- L'échantillon 2 (E2) n'est pas marqué, il ne sera pas découpé
- Un échantillon supplémentaire témoin (ET) est placé au sein des locaux des opérateurs référents à température ambiante pendant toute la durée des expérimentations.
- Enregistrement des données environnementales (température eau, température air...)

2) Echantillonnage

L'opérateur est le référent du site, il est informé en amont de la procédure à suivre lors de chaque échantillonnage.

Fréquence : mensuelle (dans la mesure du possible)

L'opérateur prend note de la date et de l'heure de l'observation ainsi que des conditions météorologiques du jour.

Il relève ensuite les deux morceaux de filets hors de l'eau puis effectue ces actions :

Pour E1 et E2 :

- Photographie sur toute la longueur
- Photographie supplémentaire des zones si observations particulières (comparer avec l'échantillon témoin)

Pour E2 :

- Prélever 10 cm à 20 cm environ du filet
- Conserver dans un sachet plastique
- Prendre contact avec un référent local du projet BIOFILET pour transmettre l'échantillon

L'opérateur mentionne ses observations via un formulaire reçu au préalable (mail, google form) ou par un retour direct par mail ou sms.

Les observations demandées sont les suivantes :

- Observe-t-on une fixation d'organismes sur le filet ?
- Observe-t-on un changement de texture et/ou un changement de résistance du filet ?
- La couleur du filet a-t-elle évolué ?

3) Analyses en essais de traction

Cette analyse a été pilotée par Monsieur Guyomar de la société Intermas, partenaire du projet.

Un technicien effectue avec la machine un essai de traction longitudinale sur deux brins de filets ainsi que sur la maille entière. Les évolutions sont notées et comparées avec un filet témoin.

B. Tests à l'usage

Objectifs

Sur la durée d'un cycle de production, l'objectif est d'acquérir des données sur le comportement des prototypes de filets en manipulations et leur efficacité zootechnique en conditions réelles d'utilisation sur pieux de bouchot.

Des observations visuelles et photographiques ainsi qu'un questionnaire permettent de suivre la tenue du filet à l'usage, à chaque étape du cycle de production en comparaison avec les filets de catinage en plastique

conventionnel. Une grille de suivi comportant des indicateurs est définie en amont des tests. Un suivi des conditions météorologiques est effectué (vent, houle, ensoleillement...)

Sites d'étude

Les sites d'expérimentations ont été déterminés par les CRC Bretagne Sud et CRC Pays de la Loire sur leurs territoires d'actions respectifs.

Les facteurs déterminants de ces choix sont les suivants :

- Obtenir une diversité de conditions du milieu et d'expositions
- Bénéficier de l'accord et de l'implication des professionnels ou ses services concernés
- Impliquer des professionnels intéressés par ce projet

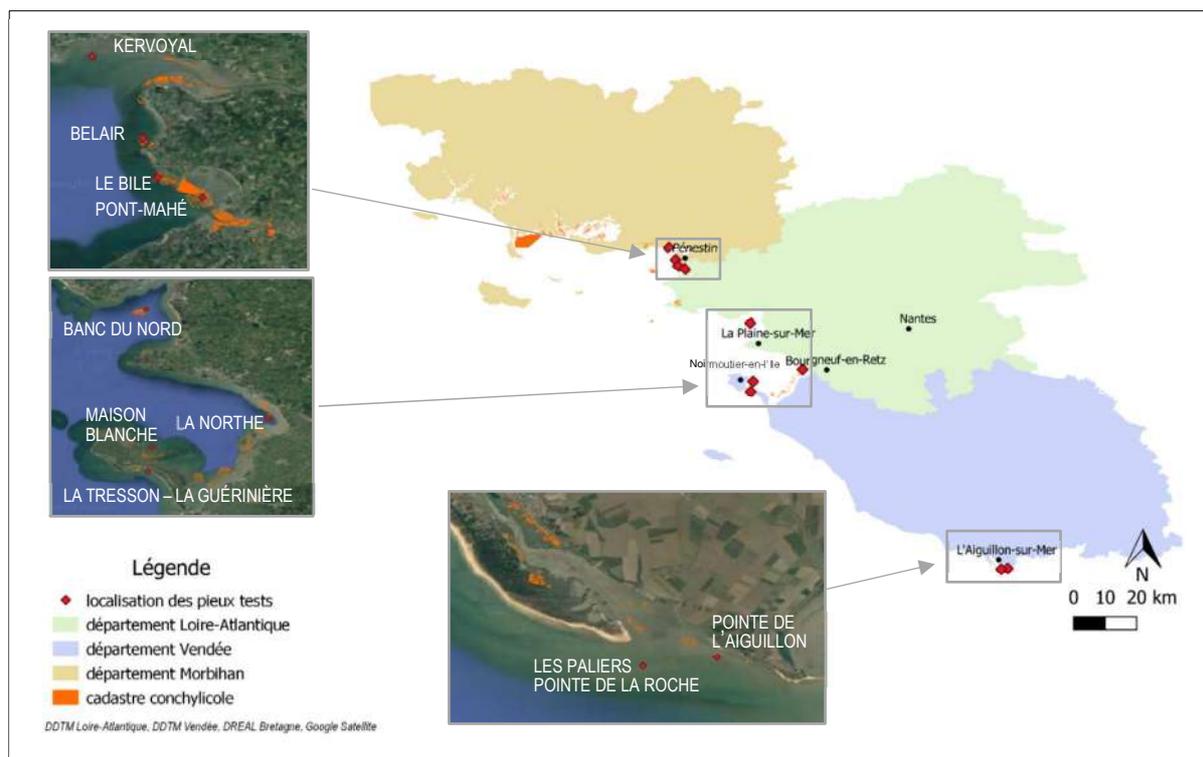


Figure 10: Cartographie des sites tests des filets mytilicoles biosourcés et compostables sur pieux de bouchot

Caractérisation des sites

Ces sites ont été choisis afin de faire intervenir une diversité de conditions du milieu de manière à être représentatif des différents secteurs de production des Pays de la Loire et de Bretagne Sud.

En effet, les concessions de moules de bouchot du territoire, en raison de leur exposition, ne sont pas sujettes aux mêmes effets de houle et de vent. C'est un facteur indispensable à prendre en compte pour cette expérimentation. Un indicateur, le degré d'exposition a ainsi été créé à partir des données statistiques annuelles de vent et de houle de plusieurs points de référence. Ces observations ont été croisées avec les retours des producteurs partenaires des différents secteurs interrogés à propos de l'exposition de leurs sites de production.

En résulte le tableau ci-après :

SECTEUR DE PRODUCTION	NOM DU SITE	DEGRE D'EXPOSITION (D°Ex) faible (1), modéré (2), fort (3)
Pénestin	Kervoyal	2
Pénestin	Bel-Air	2
Pénestin	Le Bile	1
Pénestin	Pont-Mahé	2
La Plaine-sur-Mer	Banc du Nord	3
Baie de Bourgneuf	La Northe	3
Île de Noirmoutier	Maison Blanche	1
Île de Noirmoutier	La Guérinière	2
Baie de l'Aiguillon	Pointe de l'Aiguillon	2
Baie de l'Aiguillon	Les Paliers	3

Tableau 5: Sites des tests à l'usage et degré d'exposition correspondant

Matériel

Prototypes de filets à tester

FABRICANT	INTERMAS	ECOPLAS <i>(réceptionnés mi-septembre 2019)</i>
MATERIEL A TESTER	Références/dimensions : 18'36 / 17'50 / 18'43 / 18'55	Références/dimensions : 18'43 / 18'55
SITES EN TEST	4 sites CRC Bretagne Sud 5 sites CRC Pays de la Loire	1 site CRC Bretagne Sud 2 sites CRC Pays de la Loire
DETAILS	Au minimum 5 pieux de bouchot par site test 2 à 3 références de filets posés par pieu sur la durée d'un cycle de production	

Tableau 6: Prototypes de filets à tester et caractéristiques

Observations : appareil photographique ou smartphone, application pour coordonnées GPS, application chronomètre, mètre-ruban

Protocole

L'évaluation des différents filets de catinage biosourcés et compostables s'effectue via deux actions :

- 1) Suivi du comportement du filet en manipulation
- 2) Suivi régulier de la tenue du filet et de son efficacité zootechnique

Conditions à respecter :

- Débuter les tests à l'usage sur les pieux de la production 2019 nouvellement garnis (captage naturel ou pose de corde), soit pour la première pose de filets de catinage, de façon à poser sur les pieux tests seulement des filets en bioplastique.
- Comparer avec des pieux témoins qui seront garnis de filets en plastique conventionnel, situés à proximité immédiate des pieux tests.
- Procéder à la pose de 2 à 4 filets de catinage par pieu test⁹, sur l'ensemble du cycle de production, par dimensions croissantes.

⁹ Selon les secteurs et les pratiques des mytiliculteurs

1) Suivi du comportement des filets en manipulations

- La pose des filets est effectuée par les professionnels impliqués, assistés de Julie Maheut
- Le comportement des filets aux différentes étapes d'utilisation est examiné suivant plusieurs indicateurs (voir tableau n°5) et les observations sont reportées dans une grille de suivi.
- Des photographies et des vidéos sont réalisées, dans la mesure du possible.

2) Suivi bimensuel des pieux : filets bioplastique et pieux témoins

- A partir de la première pose du filet de catinage, un suivi bimensuel des pieux est réalisé.
- Les observations effectuées par Julie Maheut ou transmises par les producteurs partenaires sont recensées au sein d'une grille de suivi comportant plusieurs indicateurs-clés.
- Des photographies sont également réalisées.

Remarque : L'accès aux sites-tests est dépendant des moyens nautiques des mytiliculteurs se rendant sur site, ce qui peut perturber la fréquence et la régularité des observations.

	MANIPULATIONS DE FILETS DE CATINAGE DURANT LE CYCLE DE PRODUCTION MYTILICOLE	PERIODE	INDICATEURS MANIPULATIONS	INDICATEURS SUIVI (par pieu)
			<i>Comparaison avec pieux témoins : filets en plastique</i>	
<i>projet BIOFILET (mars 2019 – janvier 2020)</i>	• Découpe et préparation des filets à partir des bobines • Pose du premier filet (avec l'outil « guide »)	Juillet – sept 2019	• moyens humains : nombre d'opérateurs, temps passé	• filet : Recouvrement du pieu, adaptation, points de casses (types de casse)
	• Pose du second filet ¹⁰	Nov – déc 2019		
<i>projet FILALTIQ (février 2020- septembre 2021)</i>	• Pose du troisième filet ¹⁰	Avril – mai 2020	• moyens techniques : outils utilisés (type, caractéristiques), comportement avec le filet	• conditions du milieu : mortalité (causes), prédation, météo
	• Pose du quatrième filet ¹⁰	Juin 2020		
	• Pêche des moules mécanisée : engin « pêcheuse » • Dégrappage mécanique pour dissocier le filet des moules • Débyssussage mécanique • Tri manuel • Conditionnement	Juillet – sept 2020		
	• Compostage des déchets de filets en mélange avec les résidus de moules	Sept – déc 2020	• comportement du filet : Phénomènes de casse (superficielle ou étendue) • forces/faiblesses • autres observations	• zootechnie : Appréciation du producteur, développement des moules • autres observations

Tableau 7: Détail des indicateurs créés pour le test à l'usage

¹⁰ Suivant les pratiques des professionnels et les secteurs, 2 à 4 filets de catinage sont posés pendant un cycle de production.

C. Valorisation organique des filets en bioplastique

Objectifs

Cette expérimentation vise à obtenir des premières données concernant la dégradation des filets en bioplastique en compostage industriel. Effectuée en lien avec les référents des sites de compostage, cette manipulation a également pour but d'évaluer la faisabilité de la prise en charge future des déchets de filets compostables des mytiliculteurs.

Sites d'étude

Deux sociétés spécialisées dans le compostage de déchets végétaux et de biodéchets en région Pays de la Loire ont accepté de coopérer pour la mise en place de tests de dégradation des filets dans leurs structures : la SCIC Compost In Situ et la SAS Veolia.

Matériel

- échantillons de prototypes de filets biosourcés et compostables non-usagés de la société Intermas
- échantillons de prototypes de filets biosourcés et compostables non-usagés, de la société Ecoplas
- moyens techniques et logistiques des plateformes de compostage partenaires
- appareil photographique

Protocole

Ce premier test est réalisé pour évaluer le potentiel de dégradation des prototypes de filets en bioplastique non-usagés. Des morceaux de filets des deux fabricants sont placés en compostage dans un andain de compost. L'état de dégradation est apprécié au moment du retournement d'andains. Ces observations sont effectuées par Julie Maheut, ou par le référent du site de compostage, complétées par des photographies.

III.2. Résultats

A. Tests de durabilité- prototype de filet biosourcé et compostable INTERMAS

Conditions environnementales des différents sites

Les filets ont été immergés en milieu marin, sur 3 sites différents : filières de moules de l'île de Groix, corps-mort en Baie de Quiberon et filières à moules de l'île Dumet. Ces 3 sites ont été choisis initialement afin de diversifier les conditions du milieu, et en conséquence, les effets induits sur les filets. Les principaux facteurs abiotiques influençant la cinétique de dégradation des biopolymères sont la température, l'humidité, les rayons UV, ou encore le pH. (Deroine, 2014, p. 61). En milieu marin, la température de l'eau est un facteur notoire de dégradation des bioplastiques. Or, il n'y a pas d'écart significatif de température océanique entre les 3 sites tests, situés au large de la Loire-Atlantique, ou du Morbihan. Aussi, il n'a pas été jugé nécessaire de comparer la dégradation des prototypes de filet entre les différents sites. Les facteurs de dégradation biotiques tels que la concentration en bactéries dans le milieu marin n'ont pas été étudiés dans le cadre de cette étude.

Des prélèvements mensuels de filets ont été réalisés par le garde-juré du CRC BS en Baie de Quiberon, à un pas de temps mensuel régulier, ce qui ne fut pas le cas des autres sites¹¹.

¹¹ Echantillons des filières de l'île Dumet perdus à cause du mauvais temps. Pas de temps bimestriel pour les échantillons des filières de l'île de Groix.

Observations suite aux prélèvements des référents des sites

Il a été constaté une perte des propriétés mécaniques par étirement transversal manuel des mailles après 3 mois d'immersion. Le filet est cependant resté intact, aucune fragmentation n'est visible à l'œil nu. Une fixation d'algues et de moules s'est également produite à partir du deuxième mois.

Réponse de la société Intermas concernant les essais de traction

Christian Guyomar, partenaire technique du projet, référent pour les essais de filet de la société Intermas : « Lors de ce test, il a été mesuré la force à la rupture longitudinale des monofilaments droit et gauche, et celle de la maille entière. Les tests de tractions effectués avec l'unité de test ISTRON depuis 7 mois sur différents échantillons de filets de catinage compostables, n'ont pas démontré d'évolution à la rupture entre l'échantillon témoin et les échantillons qui ont séjourné en milieu marin. Cet essai se poursuivra jusqu'en septembre 2020 »

Conclusion et perspectives

La résistance à l'étirement transversal manuel des mailles est altérée en 3 mois, mais les essais de traction qui ont testé sa résistance longitudinale n'ont pas montré de nette diminution au cours de cet essai. Une température élevée est le principal facteur de dégradation des biopolymères en milieu marin. Or, en Pays de la Loire et en Bretagne Sud, la température de l'eau de mer évolue annuellement entre 9° et 21°, ce qui est relativement faible. Cela ne permet pas d'influencer significativement la cinétique de dégradation des bioplastiques tels que le PLA, qui fait partie intégrante de la composition des deux prototypes de filets. Ainsi, on peut aisément estimer que sur une durée d'un an d'immersion, soit la durée maximale pendant laquelle le filet est posé sur les pieux de bouchot¹², celui-ci sera resté visuellement intact, mais aura perdu de ses propriétés mécaniques, phénomène accentué par l'abrasion causée par le pieu de bouchot et les moules.

Afin de mieux comprendre l'évolution du comportement de ces matières en milieu marin, une étude plus approfondie sur le vieillissement et la biodégradabilité des filets bioplastique pourrait être menée : essais supplémentaires de traction (transversale notamment), évaluation de la perte de masse, analyse des organismes fixés au microscope électronique... Par ailleurs, un essai semblable pourrait-être envisagé pour le prototype de filet biosourcé et compostable proposé par le fabricant Ecoplas.

B. Tests à l'usage

COMPORTEMENT DES FILETS EN MANIPULATIONS

1) Préparation des filets

Contexte

L'étape de préparation des filets consiste à découper des longueurs de filets à partir de la bobine, puis à faire un nœud à une extrémité du filet afin de permettre au filet d'être retenu en tête de pieu. Pour sécuriser l'accroche du filet au pieu, certains producteurs ajoutent en plus un élastique en bas de pieu. La mesure est réalisée à l'aide d'outils (figures n°12 et n°13), ou manuellement. La découpe s'effectue avec un couteau très aiguisé.

Comportement du filet et moyens humains nécessaires

On observe un comportement satisfaisant des deux prototypes de filets en bioplastique sur cette étape. Les producteurs partenaires sont unanimes sur le fait qu'il n'y a pas de différence notable concernant le temps de préparation ou la technique adoptée, comparé aux filets mytilicoles classiques en plastique. Il n'y a pas non plus d'impacts négatifs (déchirure, casse de mailles) constatés sur les filets testés.

¹² Pour les mytiliculteurs produisant la moule de bouchot en une année, ce qui est généralement le cas, contre deux années pour certains secteurs.



Figure 11: Outil tournant à manivelles permettant la mesure des longueurs de filet



Figure 12: Banc de mesure des longueurs de filet

2) Pose des filets sur les pieux de bouchot

Contexte

La pose des filets sur les pieux s'effectue en deux étapes. La première consiste à placer le filet sur un outil dont l'appellation diffère selon les producteurs : « engin à catiner », « guide » (figure 13). Une fois le filet enfilé, l'outil est retourné puis passé autour du pieu afin que la partie nouée du filet se place en tête de pieu (figure 14). En saisissant le mât, l'outil est enfoncé dans l'eau jusqu'à ce que toute la longueur du filet entoure le pieu, ce qui, in fine, détache le filet du guide (figure 15). L'outil peut ensuite être remonté hors de l'eau, récupéré, puis l'opération est réitérée pour les pieux suivants.



Figure 13: Enfilage sur l'engin à catiner



Figure 14: Pose du filet sur le pieu de bouchot



Figure 15: Recouvrement du pieu par le filet

Résultats: Enfilage sur l'outil à catiner

Données basées sur la pose du premier filet qui a eu lieu entre juillet et octobre 2019

Moyens humains

Nombre d'opérateurs

La mise en place du filet sur le guide requiert une seule personne, à l'image des filets classiques en plastique.

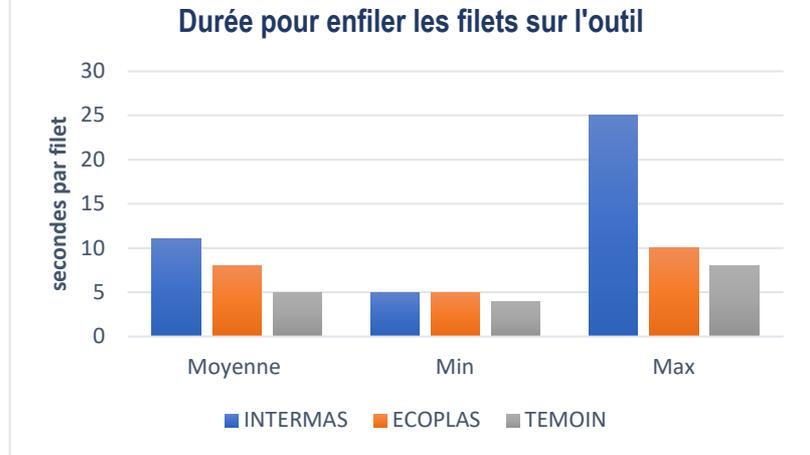


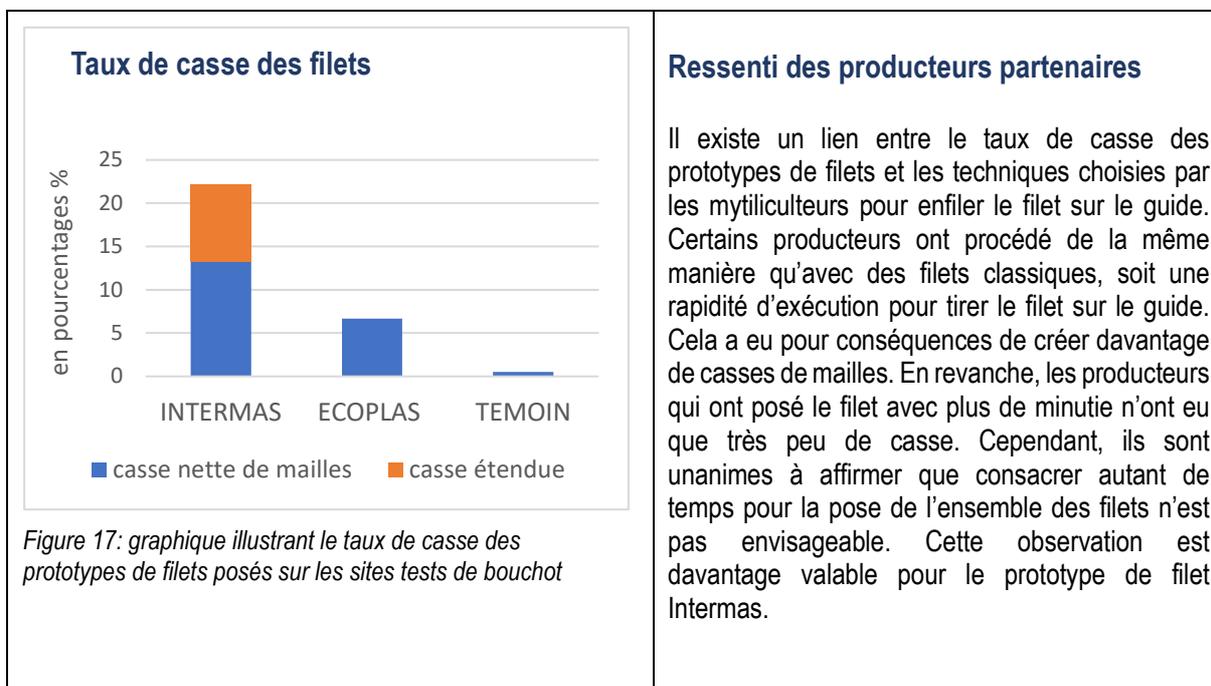
Figure 16: Graphique illustrant le temps de manipulation nécessaire pour enfiler les filets sur l'outil « guide »

Pour les prototypes de filets Intermas, la dispersion des données est importante. Cela s'explique par une mauvaise adéquation des dimensions des filets avec l'outil utilisé pour les poser sur les pieux. Les prototypes de filets ont été choisis par les producteurs sur la base des références habituellement utilisées pour les filets en plastique. Or, les mailles des filets biosourcés et compostables ne sont pas exactement conçues comme celles des filets classiques. Pour une même référence, les dimensions sont légèrement inférieures. De plus, les nœuds entre les mailles sont moins résistants à l'étirement et cassent facilement. Ainsi, si le filet est serré autour de l'outil, l'opérateur va mettre plus de temps pour l'enfiler, cela afin de minimiser la casse de mailles. Les prototypes Ecoplas s'avèrent plus résistants à la casse de mailles. Cependant, en raison de la quantité de filets disponibles en test, seulement 3 séries ont pu être installées. De plus, les dimensions étaient davantage adaptées à celles des engins à catiner, ce qui explique le peu de casse constatée.

Comportement du filet

Précisions :

Afin de faciliter les observations, des indicateurs relatifs à la casse de mailles des filets ont été créés. Ainsi, une « **casse nette** » de mailles est constatée lorsqu'une ou plusieurs mailles sont déchirées à différents endroits, créant des petites ouvertures dans le filet. Cependant, ces filets peuvent rester opérationnels car les moules sont globalement contenues par le filet. En revanche, lorsque de nombreuses mailles sont rompues « **casse étendue** », cela crée une déchirure qui ne permet pas au filet d'assurer sa fonctionnalité sur le pieu.



Résultats : Pose des filets sur les pieux de bouchot

Moyens humains

Que ce soit avec le prototype de filet Intermas ou Ecoplas, une fois celui-ci en place sur le guide, la durée de manipulation pour poser le filet sur la longueur du pieu est sensiblement la même que celle obtenue avec un filet en plastique. Une seule personne réalise cette tâche.

Comportement du filet

Il n'a pas été remarqué d'atteintes aux filets à cette étape. En revanche, certaines pratiques constatées pourraient favoriser une casse ultérieure. En effet, étant donné que les filets en bioplastique sont moins résistants, si ceux-ci sont comprimés contre les pieux, le phénomène d'abrasion du pieu et des moules sera important et pourra endommager le filet. Il est donc important de veiller à ce qu'un filet aux dimensions appropriées à celui du pieu soit utilisé.



Figure 18: filets présentant des casses nettes de mailles, la fonctionnalité du filet est tout de même assurée

TENUE DES FILETS ET PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES

A partir du moment où les premiers filets ont été posés, il est demandé aux producteurs partenaires d'effectuer des observations visuelles et photographiques lorsqu'ils sont amenés à intervenir à proximité des pieux tests dans le cadre de leur activité de production. Un suivi régulier est effectué par Julie Maheut sur le site test de Bel Air.

Tenue des filets

Ces tableaux présentent une synthèse des données obtenues suite au suivi des sites test pour les prototypes de filets testés. Ces données résultent des observations effectuées pour le premier filet posé sur les pieux tests.

Prototypes de filets biosourcés et compostables INTERMAS

Nom site	D°Ex <i>1 faible 2 modéré 3 fort</i>	Temps passé sur le pieu (mois)	Filets inutilisables suite à la casse de mailles	Causes de casses probables <i>Suite aux observations et aux retours des professionnels</i>
Kervoyal	2	5	0	
Bel-Air	2	2.5	5 sur 5	- Choc chaland (1/5) - conditions météorologiques - abrasion (filet comprimé)
Le Bile	1	4	0	
Pont-Mahé	2	3.5	0	
Banc du Nord	3	4.5	5 sur 5	- conditions météorologiques - abrasion - casse nette lors de la pose
La Northe	3	4.5	3 sur 5	- conditions météorologiques - abrasion
Maison Blanche	1	2	0	
La Guérinière	2	1.5	0	
Les Paliers	3	5	0	

Tableau 8: Synthèse des données obtenues pour les tests à l'usage des prototypes de filets de catinage Intermas



Figure 19: casse nette de mailles, ne menace pas la fonctionnalité du filet,



Figure 20: casse importante, déchirures compromettant la fonctionnalité du filet,

Prototypes de filets biosourcés et compostables ECOPLAS

Nom site	D°Ex 1 faible 2 modéré 3 fort	Temps passé sur le pieu (mois)	Filets inutilisables suite à la casse de mailles	Causes de casses les plus probables
Kervoyal	2	2	4 sur 5	Suite aux observations et aux retours des professionnels Selon le producteur : boudin de moules mal posé, cela a favorisé la perte des filets
Banc du Nord	3	3	0 sur 5	
Pointe de l'Aiguillon	2	2	0 sur 5	

Tableau 9: Synthèse des données obtenues pour les tests à l'usage des prototypes de filets de catinage Ecoplas

Remarques

Une « casse nette » de mailles du filet Ecoplas est constatée sur un pieu test suite à l'étape de catinage. En dépit du mauvais temps sur cette zone très exposée, cette casse ne s'est pas amplifiée au cours de l'hiver, permettant tout de même un maintien suffisant exercé par le filet. Cette observation témoigne d'une résistance relativement avérée du prototype de filet Ecoplas correctement posé sur le pieu.



Figure 21: Filet Ecoplas endommagé, posé sur un pieu test, site de Banc du Nord le 18/09/2019



Figure 22: Filet endommagé Ecoplas toujours fonctionnel, site de Banc du Nord, 24/01/2020

Performances zootechniques

L'évaluation de la performance zootechnique obtenue avec ces filets peut se faire en se fiant à des indicateurs comme le recouvrement du pieu par les moules, ou l'évolution du diamètre du pieu, en comparaison avec des pieux témoins (filets plastiques). Cependant, en pratique il est complexe de quantifier ces indicateurs, et cela demande un suivi régulier qui n'a pu être réalisé sur certaines périodes en raison des conditions climatiques défavorables pour le travail en marée, entre novembre et janvier. Aussi, cette partie de l'évaluation des filets s'effectue avec une évaluation qualitative visuelle, réalisée par la chargée de mission et/ou les producteurs eux-mêmes lorsqu'il a été possible de se rendre sur les sites tests.

En janvier 2020, le cycle de production des moules des pieux tests est à mi-parcours sur la plupart des sites tests¹³. Les observations réalisées sur les pieux catinés avec des filets bioplastique ont été comparées avec des pieux témoins, catinés avec des filets conventionnels, en plastique. Lorsque le filet bioplastique est fonctionnel, soit sur la quasi-totalité des sites tests, il n'y a pas de différence visuelle concernant le développement et la densité des moules avec les pieux témoins. La pousse des moules ne semble ni sous-développée, ni favorisée par l'usage des filets en bioplastique. Ce résultat sera complété et affiné avec les données collectées à l'issue du cycle de production.

Conclusions des tests à l'usage des filets

Ces résultats concernant les tests à l'usage ne sont pas exhaustifs et seront complétés durant l'année 2020. Cependant, certaines conclusions peuvent d'ores et déjà être émises. Concernant le prototype de filet proposé par le fabricant Interma, son usage n'est pas adapté sur des sites à exposition modérée ou forte. Les conditions de vent et de houle importantes favorisent le frottement du filet contre le pieu, amplifiant le phénomène d'abrasion par les coquilles de moules. Cela a pour conséquences la création de trous dans le filet, qui rendent le filet inutilisable, celui-ci ne permet plus d'éviter les pertes de moules. Le nœud reliant les mailles du filet Interma est jugé trop fragile, c'est un élément important à prendre en compte pour l'amélioration du prototype.

Le filet proposé par le fabricant Ecoplas s'avère plus résistant permettant, à priori, son usage sur des sites exposés.

Indépendamment du fabricant du filet, une bonne adaptation des dimensions filet-engin à catiner est nécessaire pour éviter la création de trous dans les mailles et limiter la perte de temps due à l'enfilage d'un filet trop serré sur l'outil à catiner.

Difficultés rencontrées

Entre novembre 2019 et janvier 2020, les conditions météorologiques, souvent incompatibles avec des sorties en mer ont eu pour conséquences, le manque de données pour le suivi sur certains sites tests. De plus, les mois de décembre-janvier représentent une période plutôt creuse pour l'activité mytilicole, d'où une baisse de fréquence des sorties en mer.

Sur certains sites tests, des filets conventionnels en plastique ont été posés en « mélange » avec les filets bioplastiques. Cela occasionne un biais pour cette expérimentation. Bien que les conditions du test aient été spécifiées aux producteurs partenaires, un effort devra être effectué pour communiquer aux mieux sur les conditions à respecter pour les expérimentations à venir.

Le fabricant espagnol Ecoplas a procédé à l'envoi tardif des bobines de filets, qui ont été réceptionnées mi-septembre 2019. Cela n'a pas permis de réaliser un test simultané des deux prototypes de filets, posés plus tôt dans la saison. De plus, reçus en faible quantité, le test des filets Ecoplas est réalisé sur seulement 3 sites tests,

¹³ Sur une minorité de sites tests, la production des moules s'effectue en deux ans.

contre 9 sites pour les filets Intermas. Cependant, le site de « Banc du Nord » a été inclus, il s'agit d'un des sites soumis à des conditions météorologiques défavorables en raison de son exposition.

C. Tests en valorisation organique

Ces tableaux présentent les principaux résultats obtenus suite aux premiers essais de compostage pratiqués sur des andains de compost des deux sociétés partenaires. Les observations ont été effectuées lorsque le référent de la station s'est rendu sur site pour effectuer un retournement d'andains, ce qui explique les différences de durées d'incubation.

Essais en collaboration avec la société Compost In Situ

Echantillon <i>Environ 1 mètre</i>	INTERMAS filet « neuf »	INTERMAS filet « neuf »	INTERMAS filet « neuf »	ECOPLAS filet « neuf »
Mode de dépôt	Déroulé	Rassemblé « en boule »		
Date de pose	15/07/2019	16/09/2019	20/12/2019	
Durée d'incubation	2 mois	15 jours	1 mois	
Suivi Température	Pas de retournement d'effectué. Fortes chaleurs. T > 70°C	T: 65° - 70°C	Hygiénisation avec température inférieure à 70°C	
Observations	Dégradé : petits morceaux de dimensions inférieures à 1cm	Peu dégradé : semble être aussi résistant à la casse	Les filets semblent avoir atteint le même état de dégradation : visibles mais cassants en petits morceaux	
Appréciation du référent compostage	Dégradation satisfaisante	Dégradation insatisfaisante	Dégradation satisfaisante	
Photographies	 <i>Figure 23: Fragments de filets récupérés dans l'andain</i>	 <i>Figure 24: Sonde température placée dans l'andain</i>	 <i>Figure 25: Filets déposés dans un andain</i>	
Process compostage	Andains 2 m de large, 1 mètre de hauteur, 50 m de long déposés dans un champ agricole Mélange déchets verts et biodéchets (SPANc3)			
Photographies	 <i>Figure 26: Andains de compost recouverts d'une bâche géotextile respirante</i>		 <i>Figure 27: Retourneur d'andains mécanique mobile</i>	

Tableau 10: Résultats des essais de compostage avec la société Compost In Situ, au nord de Nantes

Essais en collaboration avec la société Veolia

Echantillon	INTERMAS filet « neuf »	ECOPLAS filet « neuf »
Mode de dépôt	Déroulé	Déroulé
Date de pose	17/10/2019	9/12/2019
Durée d'incubation	28 jours	21 jours
Suivi Température	Température supérieure à 70°C	
Observations	Forte dégradation	Peu dégradé : semble être aussi résistant à la casse
Appréciation du référent compostage	Dégradation satisfaisante	Dégradation insatisfaisante
Photographies	 <p>Figure 28: Perche signalant la présence du filet en bioplastique dans l'andain de compost</p>	 <p>Figure 29: Vue du filet à sa récupération</p>
Process compostage	<p>Andains de compost avec volumes de déchets organiques importants (plusieurs mètres de hauteur). Système d'aération par le bas. Retournements par changements de silo. Suivi connecté des données de température et d'humidité Mélange de déchets verts et de biodéchets (SPANC3).</p>	
Photographies	 <p>Figure 30: Andains de compost dans un silo</p>	 <p>Figure 31: Système d'aération de l'andain</p>

Tableau 11: Résultats des essais de compostage avec la société Veolia, site de La Chaize-le-Vicomte

Conclusions

Le compostage industriel a généralement lieu en deux phases : la fermentation, d'une durée de plusieurs semaines, et la maturation, sur plusieurs mois. C'est généralement pendant la première phase que la température va s'élever à son maximum (70°C ou plus). Cette montée en température, et l'activité microbienne qui en résulte est nécessaire pour la dégradation des filets biosourcés et compostables, en raison de la typologie des matières qui les composent.

Ces essais ont permis de donner des premières indications sur la capacité des prototypes à se dégrader en suivant le même processus de compostage que les matières organiques traitées par les sociétés. Le filet Intermas présente une plus faible résistance que le filet Ecoplas, il se dégrade plus rapidement : il devient cassant en 1 mois, et se fragmente à partir de deux mois. Le filet Ecoplas semble présenter une cinétique de dégradation plus faible, des tests supplémentaires seront effectués dans le but confirmer la bonne dégradabilité du filet en compostage. Ce sont ensuite les gestionnaires de sites de compostage industriel qui décideront de traiter ou non les déchets de filets.

Perspectives

Afin de renforcer l'acquisition de données sur le compostage de ces bioplastiques, il conviendrait de réaliser une expérimentation sur l'ensemble de la durée du cycle de compostage (soit de 4 à 6 mois) afin de vérifier l'état final des filets en bioplastique compostés. Des essais de compostage pratiqués avec les filets usagés, soit en mélange avec des résidus de moules seront réalisés à l'issue du cycle de production mytilicole 2020. Le broyage du mélange filets-moules pourrait également être envisagé, particulièrement pour les structures de compostage qui utilisent des retourneurs d'andains mobiles, où les filets entiers pourraient endommager la machine. Dans le cadre d'un projet étudiant de deuxième année à l'école d'ingénieur Polytech Nantes, le compostage des filets en bioplastique sera étudié sur un cycle long et des échantillons seront prélevés à pas de temps régulier. La dégradation mécanique et structurelle de la matière récupérée sera analysée au moyen des machines du département Matériaux de Polytech Nantes. Les résultats seront connus en fin d'année universitaire 2020.

D. Ecotoxicité en milieu marin – essais avec un le filet biosourcé et compostable Intermas

Il est nécessaire de connaître le potentiel impact lié à l'introduction de nouveaux matériaux dans le milieu marin. Un rapprochement avec le centre technique normand Synergie Mer Et Littoral (SMEL), déjà engagé depuis plusieurs années sur des projets liés aux plastiques et à la filière halieutique a été effectué afin d'échanger sur les différentes actions menées sur les plastiques et bioplastiques en conchyliculture, dont l'aspect écotoxicité.

En effet, le SMEL a accueilli une stagiaire en License biologie des organismes qui a travaillé sur la caractérisation de la toxicité de plusieurs outils de pêche et de conchyliculture en plastique sur les organismes marins via l'utilisation de la larve d'oursin (*Paracentrotus lividus*) (Hégon, 2019)

Le prototype de filet bioplastique Intermas a été intégré aux différents matériaux testés. Il s'agit d'un premier test qui sera réitéré au courant de l'année 2020, en faisant varier certains paramètres, et en intégrant d'autres matériaux comme le filet de catinage mytilicole extrudé, et le prototype de filet du fabricant Ecoplas.

Matériel et méthode (résumé, extrait du rapport)

Matériel :

- morceaux (3g) de différents outils de pêche et de conchyliculture fabriqués à partir d'une diversité de résines polymères, dont le prototype de filet Intermas.
- larves d'oursins de l'espèce *Paracentrotus lividus*, de 4 jours, issues de géniteurs élevés au SMEL

Les morceaux de différentes résines plastiques (3g) sont placés dans des flacons individuels et immergés dans 0.90L d'eau de mer pendant 12 jours complet. De l'eau de chaque flacon (5mL) est ensuite prélevée puis placée dans des piluliers où sont disposés 300 ovocytes fécondés d'oursins. Des observations sont effectuées pour évaluer le taux de larve non développés, le taux de malformations, et la longueur moyenne des spicules. Un gradient de toxicité peut ensuite être établi pour les différents matériaux, sur la base d'un témoin (larves en eau de mer reconstituée).

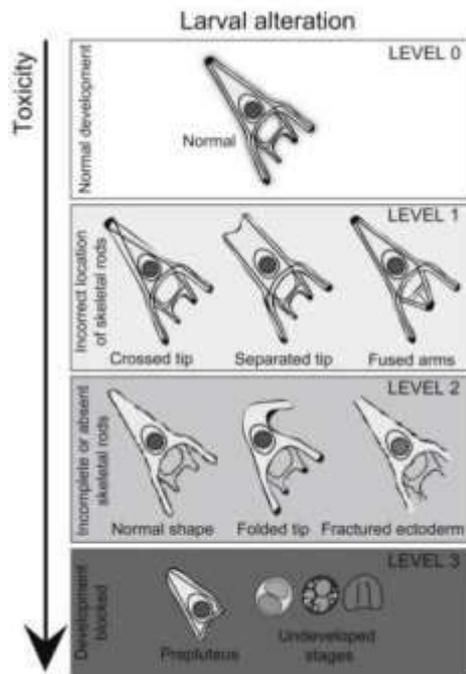


Figure 32: Différents types d'altérations larvaires observables (Carbelleira et al., 2012)

Voici les histogrammes de résultats obtenus pour les tests de toxicité des différents matériaux plastiques utilisés en pêche et en conchyliculture :

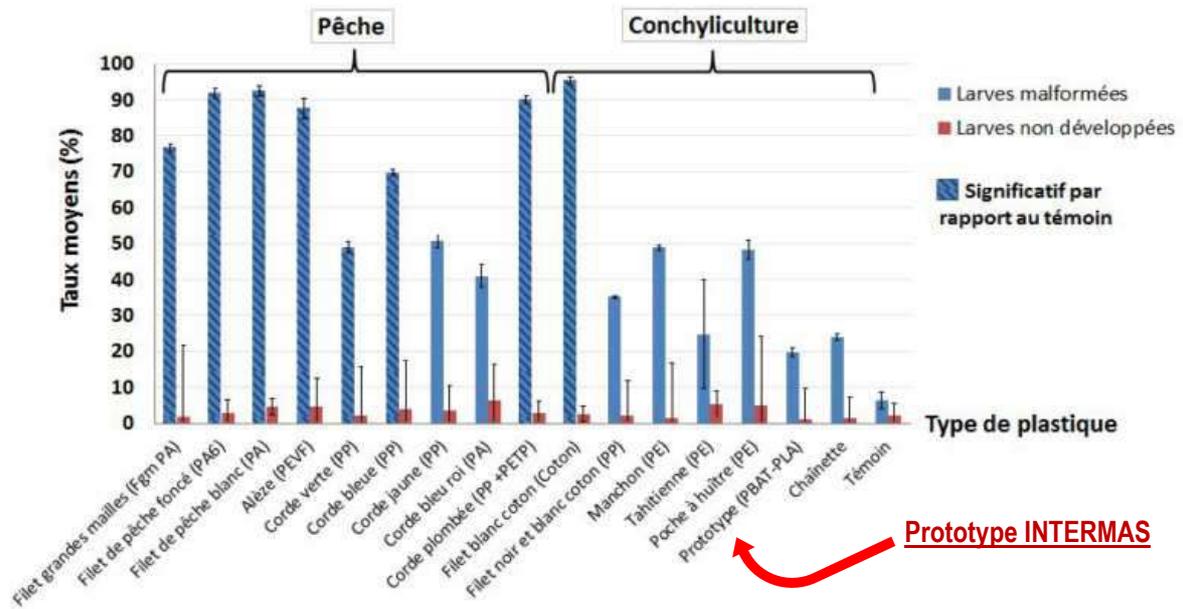


Figure 33: Pourcentages moyens (\pm IC95) de larves d'oursin malformées et non développées en fonction du type de plastique testé (Hégron, 2019)

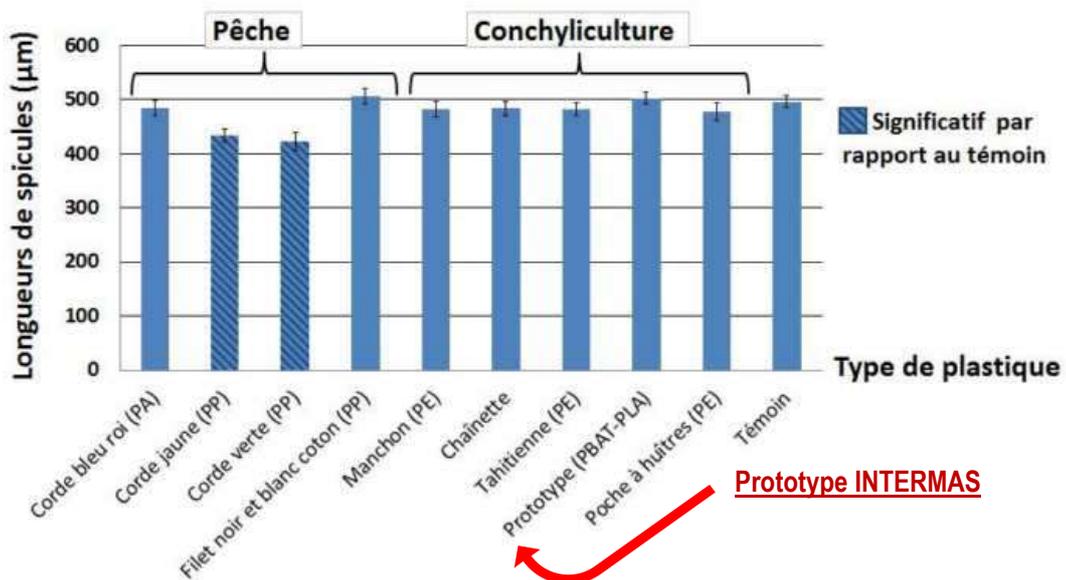


Figure 34: Longueurs moyennes (\pm IC95) des spicules de larves d'oursin en fonction du type de plastique testé (Hégron, 2019)

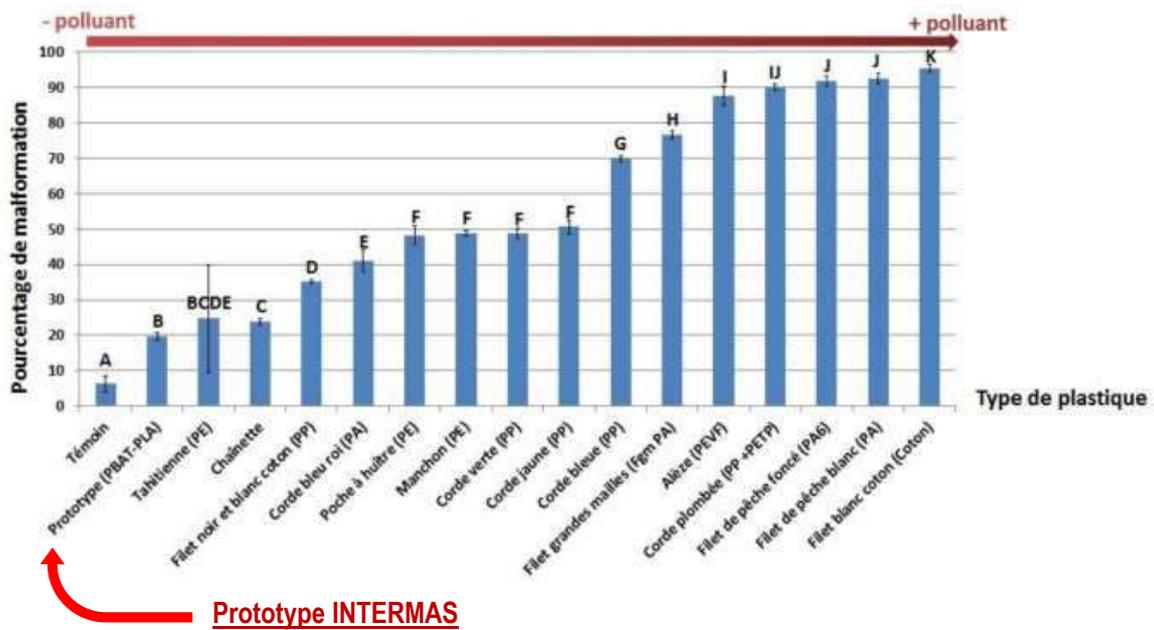


Figure 35: Gradient de pollution et groupes homogènes (Hégron, 2019)

Conclusion

D'après un extrait du rapport :

« Le prototype de filet mytilicole biodégradable proposé par Christian Guyomar (Intermas) n'altère pas les larves d'oursins sur nos trois critères étudiés, au bout de 15 jours de trempage. » (Hégron, 2019, p. 8)

Les auteurs de l'essai précisent que ces résultats sont à nuancer en menant d'autres tests faisant varier les paramètres comme la concentration en matière dans l'eau (masse introduite) ou la durée d'incubation de la résine dans l'eau.

CONCLUSION GENERALE DU PROJET BIOFILET

Les essais réalisés dans le cadre du projet BIOFILET ont permis d'obtenir des premiers résultats concernant la durabilité des prototypes de filets en milieu marin, le comportement en manipulations et la tenue du filet lors des tests à l'usage. Des premiers éléments de réponse ont également été apportés concernant l'écotoxicité du filet en milieu marin et leur dégradation en valorisation organique. Les résultats exhaustifs des différents tests enclenchés pour les prototypes de filets seront connus à l'issue du cycle de production mytilicole 2020.

Les filets en bioplastique testés peuvent représenter une réelle possibilité d'alternative aux filets de catinage en plastique, aujourd'hui indispensables à l'activité d'élevage des moules de bouchots. Les résultats intermédiaires des tests à l'usage ont cependant montré une trop faible résistance des mailles pour l'un des filets (Intermas), qui devra être amélioré par le fabricant afin de répondre au mieux aux besoins de cette activité de production. Pour l'autre prototype testé (Ecoplas), les résultats exhaustifs des tests à l'usage permettront de savoir si ces filets peuvent d'ores et déjà convenir aux professionnels. Les bioplastiques composant les filets sont biodégradables en conditions de compostage industriel, représentant potentiellement une réelle diminution de l'impact environnemental en fin de vie pour ces filets. Les premiers essais réalisés sur différents sites de compostage avec des échantillons de filets non-usagés ont montré des résultats probants de dégradation. Ces essais seront réitérés, notamment avec des filets usagés, mêlés à des résidus de moules. En milieu marin, la cinétique de dégradation est plus lente, les filets devraient être totalement biodégradés en quelques années. Même si les premiers résultats concernant l'écotoxicité des filets sont encourageants, ils devront être complétés afin de prouver que ces prototypes ne nuisent pas à la santé des écosystèmes marins. Enfin, l'aspect économique sera abordé dans la seconde partie de ce projet. Il est certain que les matériaux en bioplastique représentent un coût à l'achat plus élevé que les matériaux pétrosourcés. Cependant, cette augmentation financière pourrait s'équilibrer avec la réduction du coût de traitement des déchets de filet en compostage industriel.

Les tableaux ci-après recensent les principales conclusions suite au test des prototypes de filets, et les préconisations qui leurs sont liées :

PROTOTYPE DU FABRICANT INTERMAS Constatations après une première période de test		RETOURS ET PROPOSITIONS ADRESSÉES AU FABRICANT	POTENTIELLS PRATIQUES A ADAPTER POUR LES MYTILICULTEURS
Atouts	Faiblesses		
<p><u>Manipulations :</u> Comportement adapté du filet lors de l'enfilage sur le pieu de bouchot</p> <p><u>Usage :</u> Semble compatible à l'usage sur des secteurs peu exposés.</p>	<p><u>Général :</u> Prototype qui, en l'état, ne répond pas aux attentes des mytiliculteurs</p> <p><u>Stockage :</u> Dégradation/vieillessement du filet en quelques mois, selon les retours des mytiliculteurs</p> <p><u>Manipulations :</u> Fragilité des nœuds reliant les mailles, en résulte une casse importante lors de l'enfilage du filet sur le guide</p> <p><u>Usage :</u> Incompatible sur des secteurs exposés à très exposés : déchirures de mailles importantes</p>	<p><u>Général :</u> Proposer un nouveau filet plus résistant (meilleure tenue du nœud entre les mailles, grammage plus important pour limiter la dégradation due aux phénomènes d'abrasion...)</p> <p><u>Stockage :</u> Fournir des recommandations aux utilisateurs concernant le stockage des bobines de filet (conditions, durée maximale de stockage avant usage...)</p> <p><u>Manipulations :</u> - Fournir des indications aux utilisateurs concernant les références de filets et leur compatibilité avec les engins à catiner, en fonction de leurs dimensions. - Proposer un outil à catiner adapté pour éviter la casse de mailles (limiter l'accroche du filet)</p> <p>Par exemple :</p> <p>Pour une référence de filet donné, le fabricant indique les correspondances avec les dimensions du guide (diamètre, circonférence), et/ou fait parvenir des échantillons à tester</p>	<p><u>Général :</u> Recenser les préconisations pour ces nouveaux filets au sein d'un « guide de bonnes pratiques »</p> <p><u>Stockage :</u> - Eviter de mettre le filet en contact avec les principaux facteurs de dégradation (humidité, température, micro-organismes, contact direct avec la lumière)</p> <p><u>Manipulations :</u> - Effectuer un test de compatibilité du filet avec les engins à catiner. Utiliser une dimension de filet et guide adapté à celles des pieux</p> <p>- Plus de précaution pour la manipulation du filet (éviter de trop tirer sur les mailles du filet pour le faire descendre sur l'outil)</p> <p><u>Usage :</u> - à tester : passage à 3 filets posés sur un cycle de production (un filet en novembre par exemple) pour les secteurs les plus exposés</p>

Tableau 12: Principales conclusions et préconisations pour le prototype de filet Interimas

PROTOTYPE DU FABRICANT ECOPLAS Constatations après une première période de test		RETOURS ET PROPOSITIONS ADRESSÉES AU FABRICANT	POTENTIELLES PRATIQUES A ADOPTER POUR LES MYTICULTEURS
Atouts	Faiblesses		
<p><u>Général :</u> Prototype qui semble d'ores et déjà satisfaire certains producteurs, sous réserve de résultats satisfaisants à l'issue de l'expérimentation</p> <p><u>Manipulations :</u> Comportement adapté du filet en manipulation si les dimensions sont correctement adaptées à celles de l'outil pour l'enfilage du filet sur le guide et la pose sur le pieu de bouchot</p> <p><u>Usage :</u> Semble compatible à l'usage sur des secteurs sujets à tous types d'expositions</p>	<p><u>Stockage :</u> à étudier dégradation/vieillesse prématuré du filet</p> <p><u>Manipulations :</u> Fragilité des mailles, casse lors de l'enfilage du filet sur le guide</p>	<p><u>Général :</u> Les retours exhaustifs sur ce test seront connus à l'issue du cycle de production 2020. Le fabricant pourra ensuite en tirer les conclusions pour la suite du développement de son prototype</p> <p><u>Stockage :</u> Fournir des recommandations aux utilisateurs concernant le stockage des bobines de filet (conditions, durée maximale de stockage avant usage...)</p> <p><u>Manipulations :</u> - Fournir des indications aux utilisateurs concernant les références de filets et leur compatibilité avec les engins à catiner, en fonction de leurs dimensions. - Proposer un outil à catiner adapté pour éviter la casse de mailles (limiter l'accroche du filet)</p> <p>Par exemple : Pour une référence de filet donnée, le fabricant indique les correspondances avec les dimensions du guide (diamètre, circonférence), et/ou fait parvenir des échantillons à tester</p>	<p><u>Général :</u> Recenser les préconisations pour ces nouveaux filets au sein d'un « guide de bonnes pratiques »</p> <p><u>Stockage :</u> Eviter de mettre le filet en contact avec les principaux facteurs de dégradation (humidité, température, micro-organismes, contact direct avec la lumière)</p> <p><u>Manipulations :</u> - Effectuer un test de compatibilité du filet avec les engins à catiner. Utiliser une dimension de filet et guide adapté à celles des pieux - Plus de précaution pour la manipulation du filet (éviter de trop tirer sur les mailles du filet pour le faire descendre sur l'outil)</p> <p><u>Usage :</u> - à tester : passage à 3 filets posés sur un cycle de production (un filet en novembre par exemple) pour les secteurs les plus exposés</p>

Tableau 13: Principales conclusions et préconisations pour le prototype de filet Ecoplas

PERSPECTIVES

Cette première démarche de recherche d'alternatives aux filets de catinage mytilicoles en plastique a permis de s'imprégner de la thématique des bioplastiques et de mieux connaître ses bénéfices, ses freins, et les sujets à approfondir pour orienter au mieux les conchyliculteurs vers l'usage de matériaux plus durables pour leurs productions. Ainsi, un réseau d'acteurs référents pour différentes expertises a pu être constitué.

La recherche d'alternatives au plastique pour les outils de productions conchyloles est devenue un sujet prioritaire pour le développement durable de ces entreprises. Concernant les filets mytilicoles, les sollicitations des mytiliculteurs sont importantes. Aussi, afin de favoriser l'émergence dans un temps court d'alternatives aux filets de catinage en plastique, le SMIDAP a souhaité engager un nouveau projet débuté en février 2020 : le projet FILALTIQ. Ce projet intègre également l'étude et la proposition d'alternatives aux conditionnement conchyloles en plastique.

BIBLIOGRAPHIE

- ADEME. (2015). *Le compostage - fiche technique* (Vol. 2015). Retrieved from <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-le-compostage-201511.pdf>
- ADEME, QSE Consult SARL, & Loth-Lamaze, A. (2017). Guide d'accèsion à l'agrément sanitaire pour le traitement des sous-produits animaux carnés, 1–120.
- ASC. (2019). *Marine Litter and Aquaculture Gear*.
- Deroine, M. (2014). *Étude du vieillissement de biopolymères en milieu marin*. Université de Bretagne Sud.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). Pour une nouvelle économie des plastiques, 73. Retrieved from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics-catalysing-action>
- European Bioplastics. (2015). EN13432 Certified Bioplastics Performance in Industrial Composting, 5. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011736>
- Fournier, M. (2018). *Etat des lieux des pratiques et pertes de matériel en conchyliculture*. Université de Bretagne Occidentale.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), 25–29. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Gontard, Nathalie; Bruzaud, Stéphane; Ghiglione, J.-F. (2019). *Les bioplastiques biodégradables et compostables*.
- Hégron, A. (2019). *Utilisation de la larve d'Oursin (Parcentrotus lividus) pour tester la toxicité de matériaux plastiques issus de la pêche et de la conchyliculture*.
- Kershaw, P. J. (2015). *Biodegradable plastics and marine litter: misconceptions, concerns and impacts on marine environments*.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la P. (2018). Guide de classification des sous-produits animaux et de leurs devenir, 1–84.
- Müller, C., Townsend, K., & Matschullat, J. (2012). Experimental degradation of polymer shopping bags (standard and degradable plastic, and biodegradable) in the gastrointestinal fluids of sea turtles. *Science of the Total Environment*, 416, 464–467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.10.069>
- Narancic, T., Verstichel, S., Reddy Chaganti, S., Morales-Gamez, L., Kenny, S. T., De Wilde, B., ... O'Connor, K. E. (2018). Biodegradable Plastic Blends Create New Possibilities for End-of-Life Management of Plastics but They Are Not a Panacea for Plastic Pollution. *Environmental Science and Technology*, 52(18), 10441–10452. research-article. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02963>
- Parlement Européen ; Conseil de l'Union Européenne. (2019). DIRECTIVE (UE) 2019/904 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 5 juin 2019 relative à la réduction de l'incidence de certains produits en plastique sur l'environnement, (2), 1–19.
- Région Pays de la Loire. (2018). Plan régional de prévention et de gestion des déchets - Synthèse.
- Région Pays de la Loire. (2019). Élaboration du Plan régional de prévention et de gestion des déchets et du Plan d'actions pour l'économie circulaire Compte rendu Commission consultative d'élaboration et de suivi n° 6, 6, 1–8.
- SMEL ; Ivamer, & Natureplast. (2017). *Sous-produits et déchets plastiques des filières pêche, conchyliculture et algues en Normandie : Potentiels de valorisation en plasturgie*.

FIGURES

Figure 1: Production et élimination cumulée de déchets plastique. Données historiques de 1950 à 2015, projections jusqu'en 2050 (Geyer, Jambeck, & Law, 2017, p. 3).....	8
Figure 2: Résidus de filets et de matière organique dans un dégrappeur.....	11
Figure 3: déchets résiduels collectés après l'usage du dégrappeur.....	11
Figure 4: Filets usagés sur des pieux de bouchot.....	11
Figure 5: Représentation schématique des problématiques qui découlent de l'usage d'outils de production plastique conchylicoles non valorisés en fin de vie.....	13
Figure 6: Les enjeux liés à la problématique du plastique en conchyliculture.....	14
Figure 7: Localisation des principales plateformes de compostage industrielles recensées (fond de carte : google satellite 2019).....	17
Figure 8: Localisation des sites tests (source : Google Earth).....	21
Figure 9: Machine de traction © GUYOMAR.....	21
Figure 10: Cartographie des sites tests des filets mytilicoles biosourcés et compostables sur pieux de bouchot.....	23
Figure 11: Outil tournant à manivelles permettant la mesure des longueurs de filet.....	28
Figure 12: Banc de mesure des longueurs de filet.....	28
Figure 13: Enfilage sur l'engin à catiner.....	28
Figure 14: Pose du filet sur le pieu de bouchot.....	28
Figure 15: Recouvrement du pieu par le filet.....	28
Figure 16: Graphique illustrant le temps de manipulation nécessaire pour enfiler les filets sur l'outil « guide ».....	29
Figure 17: graphique illustrant le taux de casse des prototypes de filets posés sur les sites tests de bouchot.....	30
Figure 18: filets présentant des casses nettes de mailles, la fonctionnalité du filet est tout de même assurée.....	30
Figure 19: casse nette de mailles, ne menace pas la fonctionnalité du filet.....	32
Figure 20: casse importante, déchirures compromettant la fonctionnalité du filet.....	32
Figure 21: Filet Ecoplas endommagé, posé sur un pieu test, site de Banc du Nord le 18/09/2019.....	32
Figure 22: Filet endommagé Ecoplas toujours fonctionnel, site de Banc du Nord, 24/01/2020.....	32
Figure 23: Fragments de filets récupérés dans l'andain.....	34
Figure 24: Sonde température placée dans l'andain.....	34
Figure 25: Filets déposés dans un andain.....	34
Figure 26: Andains de compost recouverts d'une bâche géotextile respirante.....	34
Figure 27: Retourneur d'andains mécanique mobile.....	34
Figure 28: Perche signalisant la présence du filet en bioplastique dans l'andain de compost.....	35
Figure 29: Vue du filet à sa récupération.....	35
Figure 30: Andains de compost dans un silo.....	35
Figure 31: Système d'aération de l'andain.....	35
Figure 32: Différents types d'altérations larvaires observables (Carbelleira et al., 2012).....	37
Figure 33: Pourcentages moyens (\pm IC95) de larves d'oursin malformées et non développées en fonction du type de plastique testé (Hégron, 2019).....	38
Figure 34: Longueurs moyennes (\pm IC95) des spicules de larves d'oursin en fonction du type de plastique testé.....	38
Figure 35: Gradient de pollution et groupes homogènes (Hégron, 2019).....	39

TABLEAUX

Tableau 1: Classification des polymères existants : plastiques et bioplastiques D'après (Gontard, Nathalie; Bruzaud, Stéphane; Ghiglione, 2019, p. 16).....	15
Tableau 2: Sociétés de compostage industriel et caractéristiques.....	18
Tableau 3: Caractéristiques des filets en bioplastique testés.....	20
Tableau 4: Sites choisis pour les tests de durabilité:.....	21
Tableau 5: Sites des tests à l'usage et degré d'exposition correspondant.....	24
Tableau 6: Prototypes de filets à tester et caractéristiques.....	24
Tableau 7: Détail des indicateurs créés pour le test à l'usage.....	25
Tableau 8: Synthèse des données obtenues pour les tests à l'usage des prototypes de filets de catinage Intermas.....	31
Tableau 9: Synthèse des données obtenues pour les tests à l'usage des prototypes de filets de catinage Ecoplas.....	32
Tableau 10: Résultats des essais de compostage avec la société Compost In Situ, au nord de Nantes.....	34
Tableau 11: Résultats des essais de compostage avec la société Veolia, site de La Chaize-le-Vicomte.....	35
Tableau 12: Principales conclusions et préconisations pour le prototype de filet Intermas.....	41
Tableau 13: Principales conclusions et préconisations pour le prototype de filet Ecoplas.....	42

