

BILAN 2021-2022

# Projet d'installation de filtres à microfibres



un projet du

**GRAME**



avec le soutien de

RECYC-QUÉBEC  
Québec



Stratégie québécoise  
de l'eau  
2018-2030

# *Influencer aujourd'hui le monde de demain.*

## **Les microfibres textiles en plastique Une revue de leurs impacts et des solutions de rétention**

– Version éditée du (2 décembre 2022) –

Rapport soumis en décembre 2022 par le GRAME

# Table des matières

<b>Présentation du GRAME</b>	<b>4</b>
<b>Notre équipe</b>	<b>4</b>
<b>Introduction</b>	<b>5</b>
1.1 Contexte de la problématique des microplastiques	5
1.2 État des connaissances sur les microplastiques	5
i. Définition et types de polymères microplastiques	5
ii. Sources de microplastiques et cheminement dans l'environnement	7
a. Les microplastiques en général	7
Figure 2. Voies de contamination des écosystèmes terrestres par les microplastiques	8
b. Les microfibrilles textiles plus particulièrement	8
1.3 Impacts environnementaux	9
1.4 Impacts sur l'humain	11
<b>II. SOLUTIONS DE RÉTENTION DES MICROPLASTIQUES</b>	<b>13</b>
2.1 Contexte du Canada dans la lutte contre la pollution plastique/microplastique	13
2.2 Des solutions d'ailleurs implantables chez nous	15
i. Le rôle des industries textiles et de la pêche/aquaculture	16
ii. Que faire pour combattre les microplastiques/microfibrilles textiles?	17
2.3 Solutions décentralisées	18
i. Rétention par filtration	18
a. Le Cora-Ball	18
b. Le Lint LUV-R	18
c. Le Filtrol-160	19
d. Le filtre PlanetCare	19
e. Le sac de lavage GUPPYFRIEND	19
f. Filtration par nanocellulose	20
ii. Rétention par dégradation chimique	20
a. Électro-oxydation	20
2.4 Solutions centralisées	21
i. Rétention par bioremédiation	21
a. Bioremédiation bactérienne	21
Figure 3. Illustration schématique du mécanisme de « capture et de libération » de <i>P. aeruginosa</i> (modifiée).	22
ii. Rétention biochimique	22
a. Coagulation-floculation avec du chlorhydrate d'aluminium	23
b. Coagulation-floculation protéique	23
c. Floculation végétale	23
Figure 5. Tableau récapitulatif des technologies de rétention centralisées et décentralisées de microfibrilles.	25

2.5 Lutte contre la pollution par le microplastique : réduction à la source et écoconception  
26

<b>III. RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION</b>	<b>28</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>30</b>
<b>Autres ouvrages du GRAME</b>	<b>34</b>

## **Présentation du GRAME**

Le GRAME est une organisation d'intérêt public fondée en 1989 et basée à Montréal. Acteur important au Québec lorsqu'il est question de solutions novatrices et réalistes aux grands problèmes environnementaux, c'est aussi une force collective inspirante bien enracinée dans sa communauté.

Reconnu pour son expertise approfondie en matière de transport, d'énergie, d'écofiscalité, de gestion des matières résiduelles, de verdissement et d'aménagement urbain, le GRAME œuvre en orientant ses activités autour de trois pôles complémentaires: l'influence auprès des décideurs, la sensibilisation et l'éducation relative à l'environnement et l'intervention directe sur le terrain.

S'enrichissant mutuellement, ces divers pôles ajoutent de la profondeur aux activités de l'organisme et donnent du sens à chacune des interventions terrain du GRAME en s'inscrivant à l'intérieur d'une démarche de sensibilisation continue et d'une vision globale de l'environnement.

En 2011, l'Arrondissement de Lachine a mandaté le GRAME pour mettre sur pied le tout premier Éco-quartier à Lachine, programme que l'organisme continue fièrement à développer et à bonifier aujourd'hui.

## **Notre équipe**

Rédaction par Absa Mbengue, en collaboration avec Elena Menjivar  
Révision et supervision par Luísa Novara

# Introduction

## 1.1 Contexte de la problématique des microplastiques

Les microplastiques sont aujourd'hui considérés comme un fléau environnemental. Il s'agit d'un type de contaminant classifié dans la catégorie des polluants émergents d'origine exclusivement anthropique. La contamination généralisée de l'environnement par ceux-ci a favorisé de nombreuses recherches ces dernières années. En raison de leur large diffusion, en particulier dans le milieu aquatique, les microplastiques menacent l'équilibre et la santé de nos écosystèmes à différents niveaux [1].

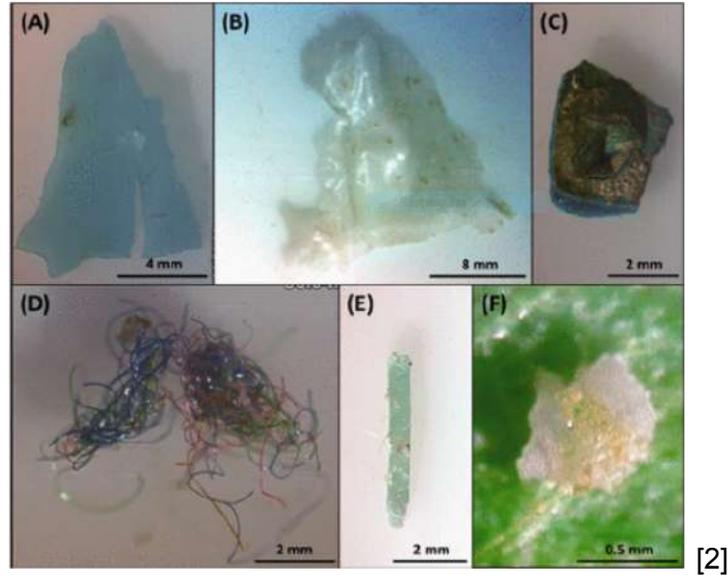
Dans le rapport qui suit, le GRAME a pris l'initiative de documenter les solutions disponibles et celles à envisager pour limiter la pollution par les microfibrilles textiles en vue de l'implantation de celles qui sont le plus compatibles à nos réalités socio-économiques, politiques et environnementales dans un avenir proche. Le GRAME encourage à ce que la problématique des microfibrilles et celle des microplastiques plus généralement soient une priorité dans les initiatives législatives québécoises et canadiennes, comme c'est le cas en France notamment.

Dans l'optique de proposer une gestion plus écoresponsable de cette matière résiduelle, le GRAME présente ici un recueil des informations les plus récentes concernant les microfibrilles textiles en plus d'une série de recommandations qui pourront éventuellement permettre d'appuyer les initiatives déjà entamées dans ce sens afin de mener à la concrétisation de mesures durables.

## 1.2 État des connaissances sur les microplastiques

### *i. Définition et types de polymères microplastiques*

De ce qui est connu à nos jours, les microplastiques sont des petites microparticules de plastique d'une taille variant de 0.1  $\mu\text{m}$  à 5 mm [2]. Ils se présentent sous différentes formes comme les billes, les fibres, les mousses, les fragments, etc. Leur composition est également variable, car ils sont faits de nombreux types de polymères différents et peuvent contenir divers additifs chimiques, comme des colorants ou des retardateurs de flammes [3]. Ils peuvent être catégorisés comme primaires ou secondaires en fonction de leur origine [2].



**Figure 1.** *Différentes catégories de microplastiques: a) fragment, b) film, c) mousse, d) fibre, e) fil et f) pastille.*

Les microplastiques primaires sont des particules de plastique qui sont directement libérés dans l'environnement dans la gamme de taille [0.1  $\mu\text{m}$ - 5 mm]. Ils peuvent être un ajout volontaire à des produits à des fins spécifiques, par exemple les microbilles utilisées en cosmétique, les granulés de résine employés dans l'industrie du plastique, les abrasifs dans les agents de nettoyage ou encore les emballages alimentaires [4]. Ils peuvent également provenir de désagrégation d'objets en plastique lors de leur utilisation, fabrication ou entretien, tels que le détachement des fibres textiles synthétiques durant le lavage et le séchage ou l'érosion des pneus lors de la conduite.

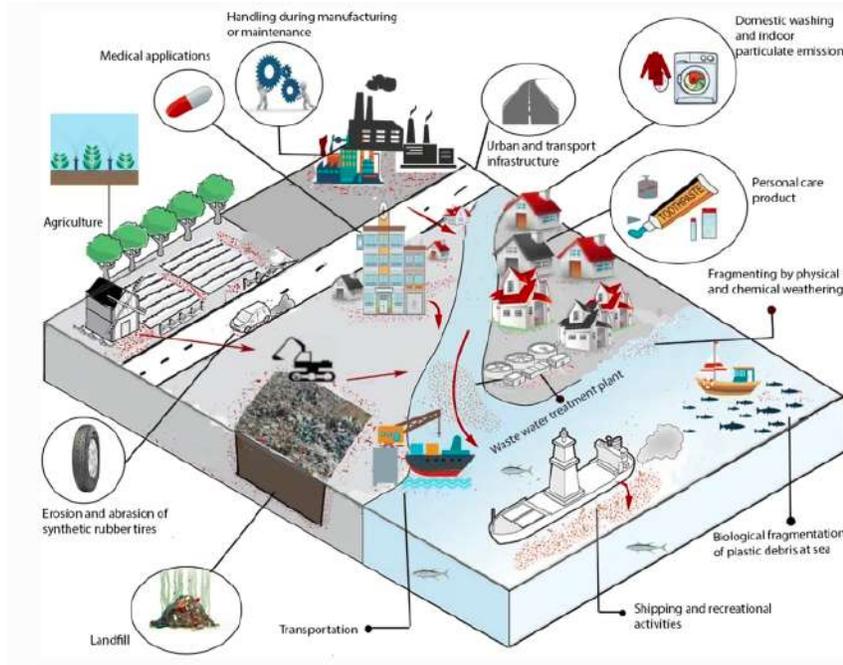
Contrairement à eux, les microplastiques secondaires proviennent principalement de la dégradation de gros déchets plastiques en fragments plus petits une fois exposés à l'environnement [4] suite à des processus individuels ou combinés d'événements chimiques (hydrolyse, photodégradation) ou physiques (altérations mécaniques) qui augmentent la rupture des liaisons dans les polymères plastiques [3].

## *ii. Sources de microplastiques et cheminement dans l'environnement*

### **a. Les microplastiques en général**

Les sources de rejet des microplastiques sont aussi nombreuses que diverses et la quantité rejetée est alarmante. Les sources terrestres sont celles qui ont l'apport le plus important (environ 80%) [5]. En effet, les microplastiques sont principalement introduits dans les cours d'eau et les océans via les effluents municipaux (eaux usées domestiques traitées, débordements d'égouts, eaux pluviales, etc.) ou encore par le biais des déversements et émissions industrielles [4]. Cependant, d'autres sources et voies de contamination sont également possibles, telles que l'usure des pneus qui relâche des microplastiques dans l'air, ensuite portés par la pluie, ainsi que l'épandage de boues d'épuration traitées utilisées dans les applications agricoles. Tous deux sont emportés par les ruissellements de surface [2].

Les sources aquatiques représentent quant à elles approximativement 20% des rejets de microplastiques [5]. Les activités sur l'eau, comme la pêche et l'aquaculture, sont la première source de contamination. En effet, lorsque des équipements en plastique comme des filets, des cordes et des cages sont utilisés de manière répétitive, leur exposition à l'air, au soleil et à l'eau entraîne le détachement de petits morceaux de ces derniers. L'altération des déchets plastiques dans les zones côtières et les plages qui peuvent rester dans les sédiments côtiers ou être transportés plus au large est une autre source, mais celle-ci est peu documentée, car la quantification et l'identification des microplastiques dans ces milieux est très difficile [4].



**Figure 2.** *Voies de contamination des écosystèmes terrestres par les microplastiques*

### **b. Les microfibres textiles plus particulièrement**

Les microfibres sont la forme de microplastique la plus abondante trouvée dans l'environnement [2]. Il s'agit de fins filaments de plastique de moins d'un millimètre. Ils sont généralement composés de polyester, de nylon ou d'acrylique [6]. Selon un rapport de l'UICN, la quantité de microplastiques primaires rejetées dans nos cours d'eau chaque année est estimée à 1.5 million de tonnes. De ces microparticules, 35% proviendraient de textiles synthétiques [7]. En effet, les textiles perdent des fibres tout au long de leur cycle de vie, de la production à l'utilisation quotidienne [8]. L'abondance de leur libération dépend de différents facteurs tels que le type de tissu, le détergent et la température de l'eau utilisés durant le lavage et le séchage, entre autres. Dans ce sens, Ocean Wise avance qu'une maison moyenne au Canada et aux États-Unis émet 533 millions de microfibres par an par l'entremise de la lessive à domicile, ce qui en fait une source importante de rejet. L'entrée des microfibres textiles dans l'environnement se fait principalement à travers les eaux usées domestiques, car bien que les stations d'épuration soient capables de filtrer environ 95% des microfibres relâchées, la proportion restante qui elle n'est pas retenue est malheureusement très conséquente.

## 1.3 Impacts environnementaux

Le fait que les microplastiques existent dans un ordre de taille extrêmement petit, rendant leur récupération très difficile une fois entrés dans l'environnement, est un argument de taille qui conforte l'idée selon laquelle il est une nécessité d'adresser au plus vite cette problématique. Ainsi, en raison de la large diffusion des microplastiques, en particulier dans le milieu aquatique, la vie marine, autant le biote marin que celui d'eau douce, est menacée par l'exposition à des microplastiques ayant des niveaux d'impact différents.

Les conséquences de l'exposition aux microplastiques sont des effets néfastes sur les organismes aquatiques, tant la flore que la faune. L'absorption de celles-ci n'est pas volontaire, car les organismes aquatiques ne peuvent pas différencier ou isoler les particules de microplastique des proies naturelles.

Un rapport de l'ONU de 2016 a recensé plus de 800 espèces animales contaminées par du plastique par ingestion. Sur ces 800 espèces, 220 ont ingéré des débris microplastiques de leur milieu environnant [9].

Les particules de microplastiques ont été retrouvées dans un large éventail d'animaux aquatiques, allant des petits organismes comme le zooplancton, aux grands mammifères comme les baleines. Les animaux aquatiques peuvent ingérer ou inhaler des microplastiques lorsqu'ils :

- mangent des proies qui ont également consommé des microplastiques,
- mangent des microplastiques flottant dans la colonne d'eau,
- filtrent l'eau pour l'alimentation,
- respirent par leurs branchies.

L'ingestion ou l'inhalation des microplastiques peut avoir des effets physiques et toxicologiques. En effet, les microplastiques contiennent souvent des matières chimiques nocives telles que des pesticides, des contaminants organiques persistants (POPs) comme les retardateurs de flamme, des éléments-traces métalliques et diverses autres toxines qui sont pour un grand nombre répertoriées comme létales ou cancérigènes [10]. Outre le lessivage de leurs additifs, les microplastiques peuvent au contraire adsorber d'autres polluants présents dans l'eau, ce qui augmente les risques d'exposition à d'autres produits chimiques [11] en plus de contribuer à la dispersion des polluants puisque les particules de microplastiques peuvent se déplacer sur de longues distances. Aussi, ils constituent un

habitat pour certains microorganismes nocifs capables de vivre à leur surface, ce qui pourrait augmenter le risque sanitaire pour les animaux qui les consomment [12].

Bien que beaucoup d'études sur les effets des microplastiques sur la vie aquatique soient en cours, une grande proportion est encore méconnue. Cependant, les scientifiques conviennent du fait que les dommages causés par les microplastiques varient en fonction du type d'animal, de sa taille et de son stade de vie, mais aussi des caractéristiques des fragments de plastique, entre autres de leur taille, de leur forme et de leur composition chimique.

Les effets notés qui reviennent le plus souvent dans les articles scientifiques sont des effets physiques et toxicologiques. Les microplastiques qui sont ingérés par des animaux peuvent s'accumuler dans le système digestif et les tissus (transfert du tractus intestinal vers le système circulatoire ou les tissus environnants), et avoir des effets dans les domaines suivants:

- L'alimentation (obstruction de l'estomac, perte d'appétit)
- La croissance
- La motilité
- La reproduction (stérilité, taille des œufs réduite)
- L'espérance de vie [3]

Ces effets sont le résultat du stress oxydatif, de la perturbation du système endocrinien et de la perturbation des fonctions corporelles (ex. : respiration, stockage des réserves d'énergie) [2]. Un autre aspect important est que les produits chimiques libérés par les microplastiques peuvent être transférés à des organismes de rangs supérieurs via la chaîne alimentaire (bioamplification) puisqu'ils peuvent se retrouver dans les tissus des organismes consommés et peuvent donc constituer un risque considérable pour la santé des animaux marins et éventuellement des humains qui s'en nourrissent.

Parmi le biote aquatique, les animaux ne sont pas les seuls concernés. En effet, des impacts physiologiques ont aussi été observés chez le phytoplancton qui constitue la base du réseau trophique. En fait, les microplastiques pénètrent le long de la paroi cellulaire des phytoplanctons, ce qui entraîne une diminution de l'absorption de chlorophylle. Cela a comme conséquences une baisse de l'activité photosynthétique, l'inhibition de la croissance et des dommages de la membrane cellulaire, entre autres [13].

Les microplastiques n'affectent pas que l'environnement aquatique, mais le terrestre aussi. La plupart des débris de plastique avant d'atteindre l'océan sont souvent prédisposés sur terre où ils passent par différents processus environnementaux qui affectent leur destin et leurs effets. L'interaction des microplastiques avec le biote des écosystèmes terrestres provoque des déséquilibres dans l'atmosphère biophysique environnante. En effet, ils peuvent directement (physiquement) ou indirectement (via ses composantes chimiques) affecter les qualités abiotiques de l'environnement en modifiant par exemple la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau ou les caractéristiques de sédimentation [10]. À titre d'exemple, une étude du chercheur Anthony Ricciardi (spécialiste en écologie des espèces invasives) et ses collègues de l'Université McGill et du GRIL (groupe de recherche interuniversitaire en limnologie), a démontré la présence de microbilles de plastique dans les sédiments aquatiques du Saint-Laurent. La présence de ces particules à cet endroit démontre qu'elles ne sont pas uniquement retrouvées dans la colonne d'eau, mais qu'elles peuvent aussi s'accumuler dans les fonds marins. Ces nombreux fragments ont la capacité de changer les propriétés physicochimiques de l'environnement et ainsi créer d'autres problèmes écosystémiques. Par exemple, une diminution de la diffusion thermique des sédiments terrestres a été notée, ce qui affecte la détermination thermodépendante du sexe chez les embryons de certaines espèces déposant leurs œufs dans le sol, comme les tortues [14].

## 1.4 Impacts sur l'humain

Des microplastiques ont été découverts chez plus de 114 espèces aquatiques, dont beaucoup sont des espèces de poissons, mollusques et crustacés consommés par l'Homme. Bien que les dernières recommandations de l'OMS avancent que notre approvisionnement alimentaire ne semble pas menacé, les récentes découvertes nécessitent une attention particulière et certaines soulèvent même des inquiétudes.

L'exposition aux microplastiques chez l'Homme est possible par inhalation, ingestion et contact cutané [2]. Les voies de contamination les plus fréquentes sont l'alimentation, notamment la consommation de fruits de mer, mais également l'eau. Par exemple, Cox et al. (2019) ont constaté que les Américains consommaient entre 39 000 et 52 000 particules de microplastiques par an. Pour les personnes ne buvant que de l'eau embouteillée, ce nombre a été porté à 90 000 [15]. Une autre étude a testé l'eau du robinet de six régions sur les cinq continents. Des particules de plastique ont été trouvées dans 83% des échantillons analysés (avec un intervalle compris entre 0 et 57 particules / L) [16].

Ces informations sont pertinentes lorsque l'on sait que le système excréteur du corps humain est capable d'éliminer plus de 90% des micros et nanoplastiques ingérés (microplastiques retrouvés dans les selles) ([17], [10] et pourtant, il a été révélé que des particules de 5 à 10 µm ont été retrouvées dans les organes internes humains, ce qui témoigne de la capacité de rétention des microplastiques dans l'organisme. Or, il est bien connu qu'une rétention prolongée d'un contaminant ou d'une toxine ne fait qu'accroître son potentiel à nuire.

D'autres études ont montré que l'exposition à des particules de plastique peut causer des lésions pulmonaires et intestinales chez l'homme, et que des particules très fines peuvent traverser les membranes cellulaires, la barrière hémato-encéphalique et le placenta induisant un stress oxydatif, des dommages cellulaires, une inflammation, un déséquilibre endocrinien et une altération des fonctions d'allocation d'énergie ([9], [2]).

Des microplastiques ont été trouvés dans toutes les parties placentaires : membranes maternelle, fœtale et amniochoriale [11] mais aussi dans les lignées cellulaires d'adénocarcinomes humaines [19].

L'étude des effets toxicologiques des microplastiques sur ces cellules a relevé quatre paramètres biologiques affectés :

- la cytotoxicité,
- la réponse immunitaire,
- le stress oxydatif,
- les attributs de barrière.

Les variables associées à ces effets étaient la forme des microplastiques, leur concentration dans les cellules et la durée d'exposition aux microplastiques des différentes lignées cellulaires, comme des adénocarcinomes et des cellules protectrices de l'épithélium intestinal [19].

Plus récemment, une étude menée à Amsterdam commandée par l'association de défense de l'environnement Common Seas et l'organisation ZonMw (Netherlands Organisation for Health Research and Development) a permis de confirmer la présence de particules de plastique dans le sang. Parmi les participants sélectionnés, 77% ont présenté des particules d'au moins 0,0007 millimètre. Les participants étaient des adultes en bonne santé. Néanmoins, ces résultats soulèvent des inquiétudes, car nous savons qu'en général les bébés et les jeunes enfants sont plus vulnérables aux expositions de particules [13].

On sait aujourd'hui que les microplastiques atteignent la circulation sanguine, malheureusement, nous ne savons pas comment, ni ne connaissons leur trajectoire à savoir s'ils proviennent du système respiratoire ou du système gastro-intestinal. Le fait qu'ils puissent potentiellement traverser les barrières placentaires et hémato-encéphaliques devrait être suffisants à alerter la conscience collective et être le moteur pour la prise d'actions dans les meilleurs délais.

Il y a certes peu de preuves à date rapportées dans la littérature sur les effets dangereux des microplastiques concernant la santé humaine, mais une absence de données n'implique pas forcément une absence de risques. De ce fait, des recherches supplémentaires devraient être menées pour combler ce manque de connaissances.

## **II. SOLUTIONS DE RÉTENTION DES MICROPLASTIQUES**

### **2.1 Contexte du Canada dans la lutte contre la pollution plastique/microplastique**

À la suite d'un constat sans équivoque de l'ampleur des conséquences causées par les déchets plastiques dans le milieu marin, une lutte contre la pollution plastique a pris forme à l'échelle globale. Des accords internationaux ont été signés et de nombreuses initiatives ont été mises en place ces dernières années, le Canada faisant partie des pays les plus impliqués dans cette lutte.

Les engagements pris par le Canada, notamment dans la *Charte sur les plastiques dans les océans (G7 de Charlevoix, 2018)* puis la *Stratégie pancanadienne visant l'atteinte de zéro déchet plastique*, ont permis d'appuyer des solutions novatrices et d'instaurer des programmes qui ont pour but d'éliminer la pollution plastique, d'encourager des mesures de consommation durable, mais surtout de bâtir une économie circulaire [23]. Bien que les plans d'action élaborés visent à adopter une approche plus efficace en ce qui concerne le cycle de vie des plastiques, sur terre et en mer [24], on constate malheureusement que les microplastiques sont relayés à l'arrière-plan, voire parfois oubliés. Or, non seulement les recherches démontrent que les microplastiques peuvent avoir un impact direct sur la qualité des eaux, la biodiversité, mais ils peuvent aussi affecter le bien-être socio-économique des populations [14].

Un autre facteur important à souligner est le fait que dans l'optique d'aborder une approche plus efficace quant au cycle de vie du plastique, il faut impérativement prendre en compte les microplastiques qui n'apparaissent pas qu'en fin de vie des macroplastiques lorsque ceux-ci se retrouvent au stade de déchets. En effet, le relargage de microplastiques dans l'environnement se fait à toutes étapes du cycle de vie du plastique, allant de la conception, à l'usage jusqu'au désagrégement dans l'environnement une fois jetés. Les polymères de plastique subissent tout un processus de transformations volontaires et involontaires qui entraînent leur abrasion et aboutissent au relâchement de petites particules qui sont les microplastiques [3].

Prenant conscience de tout ceci, Le Canada s'efforce à mettre en place des mesures pour lutter contre la pollution plastique, comme c'est le cas, par exemple, avec l'ajout des articles manufacturés de plastique à la liste des substances toxiques inscrites dans la Loi canadienne sur la protection de l'environnement (2021) [27] ou encore le règlement bannissant les plastiques à usage unique. Ce règlement prévoit interdire dès décembre 2023 la fabrication, l'importation et la vente de six produits de plastique à usage unique que sont les sacs d'épicerie, les ustensiles, les contenants pour repas à emporter difficilement recyclables, les anneaux pour emballages de boissons, les bâtonnets à mélanger et les pailles [28]. Une initiative longtemps attendue, surtout lorsque l'on sait que sur les plus de 4 millions de tonnes de plastique générées chaque année au Canada, seuls 9% sont recyclés [29]. Cependant, face à l'urgence écologique que représente la problématique de la pollution plastique, les mesures semblent arriver au compte-goutte. Il était attendu qu'à défaut de bannir tous les plastiques à usage unique, qu'au moins de nombreux autres produits de plastiques soient ajoutés à cette liste, notamment les bouteilles d'eau et les emballages alimentaires qui représentent une partie importante du problème lié aux plastiques. D'un point de vue économique, ce règlement représente tout de même un grand pas. L'interdiction s'accompagne d'une aide gouvernementale qui va accompagner les entreprises dans la transition vers ce bannissement afin qu'elles puissent proposer des solutions plus écoresponsables. De plus, le ministre fédéral de l'Environnement annonce que ce règlement permettra de générer des revenus de plusieurs milliards de dollars et créera environ 42 000 emplois au Canada d'ici à 2030 [27].

## 2.2 Des solutions d'ailleurs implantables chez nous

La pollution microplastique est le résultat d'une mauvaise gestion des matières résiduelles, mais aussi est aussi la conséquence d'une mauvaise gestion des opérations industrielles de manipulation de macroplastiques. Il s'agit d'une problématique large englobant différents enjeux et une multitude d'acteurs. De ce fait, il est important que différents paliers gouvernementaux s'y mettent tout en impliquant les organismes, les industries et les particuliers.

En Californie par exemple, une loi (juin 2022) concernant les emballages plastiques non recyclables et les polystyrènes expansés (utilisés en restauration rapide) a été votée. L'objectif étant qu'au moins 30% des emballages plastiques utilisés ou vendus soient recyclables d'ici à 2028 et passer à 65% au 1<sup>er</sup> janvier 2032 [30]. La mise en œuvre et le financement de cette législation incombe aux industriels. De plus, un système d'amende s'élevant à 50 000\$/jour est mis en place pour les entreprises qui ne se conformeraient pas à cette loi. Cette loi a été adoptée par les élus californiens et ratifiée par le gouverneur de l'État. En plus de cela, la Californie détient la *Microbeads Nuisance Prevention Law*, une loi qui interdit « la vente ou l'offre promotionnelle de tout produit de soins personnels contenant des microbilles de plastique qui sont utilisées pour exfolier ou nettoyer dans un produit rincé, y compris, mais sans s'y limiter, le dentifrice » [31]. La violation de cette loi est passible d'une amende civile pouvant aller jusqu'à 2 500 \$ par jour pour chaque violation. Une loi similaire existe en France (*article 124 de la loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages*) : « Au plus tard le 1<sup>er</sup> janvier 2018, il est mis fin à la mise sur le marché de produits cosmétiques rincés à usage d'exfoliation ou de nettoyage comportant des particules plastiques solides, à l'exception des particules d'origine naturelle non susceptibles de subsister dans les milieux, d'y propager des principes actifs chimiques ou biologiques ou d'affecter les chaînes trophiques animales ». Au Canada, cette interdiction visant les microbilles de plastique a un statut de Règlement (*Règlement sur les microbilles dans les produits de toilette- DORS/2017-111*) [32] qui s'appuie sur la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)*.

En France, une Convention Citoyenne Pour le Climat avait été organisée pour entendre les inquiétudes et donner la parole aux français afin d'accélérer les processus pour lutter contre le changement climatique. Suite à cela, le gouvernement français a décidé de consacrer un budget de 30 milliards d'euros à la transition écologique et 226 M € pour accompagner la réduction de l'utilisation du plastique. Tout ceci dans l'objectif d'atteindre le *zéro plastique*

*jetable* d'ici à 2040. Ces investissements sont nécessaires afin de faire évoluer les modes de production et de consommation vers un modèle circulaire. Cette convention citoyenne a mené à l'adoption de la loi Anti-Gaspillage pour une Économie Circulaire (AGEC) (10 février 2020). L'article 79 de cette loi prévoit que les lave-linges neufs soient dotés d'un filtre à microfibres plastique à partir de 2025. La loi vise à limiter la pollution issue des textiles synthétiques libérés lors de chaque lessive en imposant à chaque lave-linge neuf, professionnel ou non, d'être doté d'un filtre à microfibres de plastique ou de toute autre solution interne ou externe à la machine [33]. À cela vient s'ajouter l'article 82 de cette même loi qui stipule : « Art. L.541-15-12. - I. - Il est mis fin à la mise sur le marché de toute substance à l'état de microplastique, telle quelle ou en mélange, présente de manière intentionnelle en concentration égale ou supérieure à 0,01 %, considérée comme le rapport entre la masse de microplastique et la masse totale de l'échantillon de matière considérée contenant ce microplastique. Les microplastiques naturels qui n'ont pas été modifiés chimiquement ou biodégradables ne sont pas concernés ». Seuls les microplastiques ajoutés intentionnellement et non naturels sont donc concernés [34]. Ces initiatives font de la France un pionnier dans la mise en place des mesures législatives pour combattre la pollution microplastique.

En Ontario, un projet de loi similaire à celui de la France est en cours pour interdire la vente ou la mise sur le marché de machines à laver qui ne sont pas équipées d'un filtre à microplastique et prévoir des sanctions correspondantes en cas de non-conformité à l'exigence. Ce projet propose de modifier la Loi canadienne sur la protection de l'environnement 1999 (LCPE) pour y ajouter cet amendement. Cette idée du projet de loi est inspirée par la recherche menée par le laboratoire Rochmann de l'Université de Toronto en collaboration avec l'organisme Georgian Bay Forever à Parry Sound. Un travail qui a permis de démontrer l'efficacité des filtres à microfibres quant à la réduction de microplastiques dans les eaux de la commune de Parry Sound [35].

Le GRAME a mené un projet de science citoyenne inspiré de l'étude de Rochmann en collaboration avec Polytechnique Montréal. Le GRAME espère que le Québec suivra les pas de l'Ontario et de la France et que des mesures législatives dans ce sens se répandront à l'échelle nationale.

### ***i. Le rôle des industries textiles et de la pêche/aquaculture***

L'industrie textile et celle de la mode détiennent une grande responsabilité dans la problématique des microplastiques. Comme mentionné précédemment, les microfibres

représentent la part de microplastiques la plus abondante dans l'environnement [2]. En effet, nos vêtements issus de textiles d'origine synthétique perdent des microfibrilles dû aux frictions et au lavage. Selon une étude de Ocean Wise, la maison moyenne au Canada et aux États-Unis émettrait 533 millions de microfibrilles par an par le biais de la lessive à domicile. De plus, d'après des estimations académiques, entre 20 % à 35 % de tous les microplastiques de source primaire dans l'environnement marin proviendraient de vêtements synthétiques [38].

Le commerce international de la pêche et l'aquaculture jouent quant à eux un rôle important dans l'emploi, l'approvisionnement alimentaire, les revenus et contribuent à la croissance économique et au développement. L'industrie des produits de la mer représente aujourd'hui environ 9% du total des exportations agricoles et environ 1 % du commerce mondial [4].

Les techniques de pêche et d'aquaculture ont grandement progressé avec la fabrication industrielle de plastiques. De l'équipement est maintenant principalement fabriqué à partir de matériaux synthétiques ou semi-synthétiques [4]. Malheureusement, les engins et matériaux de pêche abandonnés, perdus ou rejetés (connus sous le nom d'engins de pêche fantômes), ont une part de responsabilité dans le rejet de déchets plastiques dans le milieu marin. Ceux-ci, dû aux intempéries environnementales, la biodégradation et l'usure des plastiques en cours d'utilisation. Tous ces éléments conduisent à la perte de gros plastiques et la formation de microplastiques.

## *ii. Que faire pour combattre les microplastiques/microfibrilles textiles?*

Les microfibrilles sont aujourd'hui un enjeu d'une grande envergure, mais pour lequel l'apport en solutions est encore lacunaire. Malgré les plans d'actions déployés par le gouvernement, dont celui de la Stratégie Québécoise de l'Eau, découlant de la Charte sur les plastiques dans les océans, on constate qu'il est grand temps d'accélérer l'implantation de solutions efficaces et durables à l'endroit de cette problématique au vu des échéances imminentes (2023 -2030).

Le GRAME considère que la réduction à la source doit être l'objectif principal de la démarche menant vers une rétention maximale des microfibrilles afin de limiter au mieux leur impact environnemental. Ainsi, le GRAME a entrepris de faire une revue de la littérature scientifique concernant les technologies de rétention des microplastiques existantes.

En effet, les procédés de traitement des eaux usées les plus efficaces permettent de retirer plus de 90% des microplastiques présents dans ces effluents (ONU,2019) [39]. Cependant, ces

processus ne sont pas suffisants puisque le pourcentage restant et correspondant à des millions de particules est rejeté quotidiennement dans nos cours d'eau.

Parmi les technologies recensées, certaines sont déjà commercialisées tandis que d'autres sont issues d'études récentes.

Les technologies de rétention recueillies ont été classifiées en deux catégories: les solutions centralisées, c'est-à-dire celles implantées au niveau des systèmes de traitement des eaux usées, et les solutions décentralisées, c'est-à-dire celles installées à même les sources de rejet.

## 2.3 Solutions décentralisées

### *i. Rétention par filtration*

Dans l'optique de diminuer la quantité de microfibrilles rejetée dans l'environnement, des filtres ont été élaborés pour les machines à laver. Ils permettent d'emprisonner les microfibrilles textiles avec une efficacité variable. Cependant, au fur et à mesure que les microfibrilles s'accumulent dans les filtres, la capacité de rétention de ces derniers augmente de telle sorte que cela permet d'emprisonner davantage de ces particules et éventuellement d'atteindre un taux de rétention de 100% dans certains cas.

**Parmi ces filtres commercialisés aujourd'hui, on retrouve :**

#### **a. Le Cora-Ball**

Le **Cora-Ball** est une sorte de ballon dont le design est inspiré de la fonction qu'ont les coraux de filtrer l'océan. Il suffit de l'insérer dans le cylindre de la machine à laver avec les vêtements au moment de faire la lessive. Il permet à la fois de préserver le linge en diminuant le détachement des fibres textiles tout en retenant celles qui sont relâchées, leur évitant alors de s'écouler vers le système de drainage de la machine à laver.

#### **b. Le Lint LUV-R**

Le **Lint LUV-R** est un filtre avec une maille en acier inoxydable d'une taille de pores de 150 µm de diamètre. Il s'agit d'une technologie qui permet de considérablement réduire le nombre, le poids total, mais également la longueur moyenne des fibres dans les effluents [40].

Ce filtre a d'ailleurs été utilisé par le GRAME dans le cadre d'un projet de science citoyenne en collaboration avec Polytechnique Montréal.

La phase d'échantillonnage du projet est terminée. Il reste désormais à analyser les filtrats dans l'optique de pouvoir faire une estimation quantitative des microplastiques rejetés par les eaux de lessive domestiques, mais aussi de pouvoir déterminer la composition de ces microplastiques.

### **c. Le Filtrol-160**

Le Filtrol-160 est un filtre avec une maille en polyester de 100 µm. Il a été utilisé dans un projet de science citoyenne à Parry Sound en Ontario mené par l'organisme Georgian Bay Forever en collaboration avec le laboratoire Rochman. Les filtres ont été installés dans environ 10% des foyers reliés au système d'assainissement du village. Environ 7 000 grammes de fibres, soit près de 3 millions de microfibrilles, ont pu être retenues sur 1 an. Cela correspond à une baisse de 41% de la quantité de microplastiques retrouvés dans les effluents de la commune [41].

### **d. Le filtre PlanetCare**

Le filtre de PlanetCare est compatible avec tout type de machine à laver. Après son installation initiale, la cartouche doit être changée environ tous les 20 cycles de lavage. Les cartouches usagées sont renvoyées sans frais à PlanetCare où 95% de la cartouche est réutilisée et 5% collectée pour être recyclée [42]. Ce système de retour et de réutilisation rend la solution circulaire tout en garantissant de minimiser le rejet de déchets microfibrilles.

La France et PlanetCare travaillent ensemble dans le cadre de la lutte contre les microfibrilles plastiques. Une loi qui devrait entrer en vigueur dès janvier 2025 stipule que toutes les nouvelles machines à laver devront être équipées d'un filtre à microfibrilles [42]. Une initiative législative à saluer, mais surtout à adopter.

La gamme de produits de PlanetCare comprend également des filtres pour les environnements commerciaux et industriels. Le filtre commercial est en phase test sur 20 sites aux États-Unis et un filtre industriel a été installé dans une usine textile durable en Inde.

### **e. Le sac de lavage GUPPYFRIEND**

Le sac de lavage de la marque GUPPYFRIEND est un sac entièrement fait de polyester dont la structure et les propriétés du type de fil utilisé sont conçus de sorte qu'il ne perd pas de fibres lui-même. Le matériau filtrant utilisé ne contient aucun additif, il n'est pas traité et ne contient pas de colorant. Le sac de lavage empêche la perte de fibres pendant le lavage de deux manières :

- Il réduit considérablement le nombre de fibres qui se détachent.
- Il retient les fibres qui parviennent tout de même à se détacher pendant le lavage et ne polluent donc pas les eaux usées.

Le sac peut résister jusqu'à 50 lavages ménagers sans dommages et sans libérer aucune particule de microplastique dans l'eau. Les microfibrilles qui seront récoltées sont à disposer dans un contenant fermé pour éviter tout relargage dans l'environnement [50].

Tout comme le filtre de PlanetCare, le sac de GUPPYFRIEND est compatible avec tous les types de machines à laver. De plus, il est entièrement recyclable. Ainsi, une fois arrivé en fin de vie, il suffit de l'introduire dans le système de recyclage local.

#### **f. Filtration par nanocellulose**

L'entreprise finnoise VTT travaille à développer des hydrogels et des films de nanocellulose de sorte qu'ils puissent être capables de collecter de l'eau, même la plus petite fraction colloïdale de particules de microplastique dans une gamme de taille inférieure à un micromètre. Ces hydrogels et films, une fois dans l'eau, agissent comme une nappe nanoscopique qui génère des forces capillaires qui attirent les particules et les retiennent [43].

Actuellement, l'équipe de recherche a produit des hydrogels et des films de nanocellulose à l'échelle pilote. Cependant, les tests de récupération et de quantification des microplastiques n'ont pas encore été effectués à l'échelle du laboratoire [44].

Nonobstant, il s'agit là d'une technologie très prometteuse puisque de manière générale, la nanocellulose est un matériau naturel entièrement renouvelable. De plus, comme le suggère la compagnie, la méthode des hydrogels et films de nanocellulose pourrait permettre de développer des méthodes de filtration pour toute industrie où il existe un risque de génération et de rejet de microplastiques dans les cours d'eau.

D'autres solutions alternatives aux filtres en cours de recherche, mais très prometteuses, ont également été rapportées :

### ***ii. Rétention par dégradation chimique***

#### **a. Electro-oxydation**

Cette technologie a été développée au Québec, à l'INRS par l'équipe du professeur Patrick Drogui, responsable scientifique du Laboratoire d'électrotechnologies environnementales et

procédés oxydatifs (LEEPO). Il s'agit d'une méthode de dégradation des particules de microplastiques par oxydation électrolytique. Des radicaux hydroxyles ( $\cdot\text{OH}$ ) sont générés par des électrodes qui s'attaquent aux microplastiques. Ils les dégradent sous forme de molécules de  $\text{CO}_2$  et d'eau qui sont des composés non toxiques pour l'environnement. Les phases tests se sont déroulées sur de l'eau artificiellement polluée et ont été concluantes. L'équipe du Pr Drogui prévoit passer sous peu à des expériences sur des eaux réelles en utilisant cette technologie à la sortie des eaux usées des buanderies commerciales, une source potentielle de rejets de microplastiques dans l'environnement. Ce choix de source s'explique par le fait que les eaux des buanderies commerciales ont une teneur en microfibrilles beaucoup plus élevée que celles qui arrivent à la station d'épuration des eaux usées, car ces dernières sont mélangées à de grandes quantités d'eau, ce qui dilue les polluants et les rend plus difficiles à dégrader. Ainsi, agir à la source, soit à la buanderie, rend plus accessible la dégradation par voie électrolytique [45].

## 2.4 Solutions centralisées

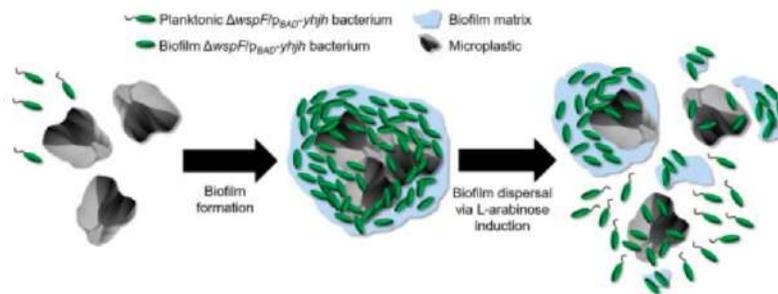
### *i. Rétention par bioremédiation*

#### **a. Bioremédiation bactérienne**

Dans le procédé actuel établi dans les stations d'épuration des eaux usées, les microplastiques ne sont pas totalement retenus de manière conventionnelle par les filtres mis en place. Dans cette perspective, la communauté scientifique explore d'autres alternatives, notamment la bioremédiation. Une équipe de chercheurs a utilisé la bactérie *Pseudomonas aeruginosa* afin de former des biofilms capables d'accumuler des microplastiques de différentes tailles et matériaux pour pouvoir les capturer dans un bioréacteur. Ils ont génétiquement modifié cette bactérie de sorte à lui conférer des propriétés de « *capture and release* ». Grâce à une surexpression de leur opéron *wsp*, les bactéries forment des biofilms qui font que les particules de microplastiques s'agglutinent (« *capture* »), les faisant finalement couler dans les bioréacteurs, rendant leur collecte plus pratique. Une fois capturés et enfoncés dans le bioréacteur, les bactéries sont transférées dans un nouveau réservoir où le mécanisme de libération est activé. Le décrochage des microplastiques (« *release* ») du biofilm est possible grâce à un gène de diffusion qui permet de décomposer le biofilm en suspension et libérer les microplastiques. Bien évidemment, ce concept ne peut pas encore être utilisé pour des applications industrielles en raison des

problèmes de sécurité attribués aux bactéries génétiquement modifiées, mais il permet de servir de support dans la recherche d'autres isolats probiofilms [46].

La bioconception est donc un champ à explorer dans la mesure où un contrôle rigoureux est mis en place en aval. Dans ce sens, le groupe de chercheurs a avancé que les biofilms chargés de microplastiques pourraient être séparés et traités avec des agents antibiofilm non toxiques, tels que l'oxyde nitrique ou les glycosidases pour la perturbation du biofilm et la libération des microplastiques.



[46]

**Figure 3.** *Illustration schématique du mécanisme de « capture et de libération » de P. aeruginosa (modifiée).*

## ii. Rétention biochimique

La rétention biochimique est aujourd'hui largement utilisée dans les centres de traitement des eaux usées à travers le monde pour retenir les particules de déchets solides. Elle se fait le plus souvent via la méthode coagulation-floculation, un processus physicochimique qui consiste à agglomérer les matières en suspension dans un liquide pour former des particules plus grosses afin d'accélérer leur sédimentation. Cependant, ce traitement chimique implique des sels métalliques inorganiques couramment utilisés pour le traitement primaire de l'eau en raison de leur faible coût. Malheureusement, un fort dosage est usuellement requis pour atteindre une coagulation-floculation satisfaisante [49].



[49]

**Figure 4.** *Coagulation-floculation de microplastiques par des fibrilles amyloïdes en eau contaminée.*

### **a. Coagulation-floculation avec du chlorhydrate d'aluminium**

Prenant conscience que les sels métalliques actuellement utilisés dans les traitements d'eaux usées n'avaient pas été conçus et sélectionnés pour spécifiquement s'agréger sur les microplastiques, le post-doctorant lauréat 2020 du Prix Mitacs pour l'innovation exceptionnelle, M. Lapointe, a eu l'idée de tester une forme de chlorhydrate d'aluminium pour améliorer l'efficacité du traitement des eaux. La forme de chlorhydrate d'aluminium utilisée dans ses travaux est déjà utilisée dans le traitement des eaux et déjà commercialisée [47]. Cependant, il a adapté les conditions physicochimiques du milieu dans lesquelles le produit est utilisé comme le pH de l'eau pour optimiser ses effets en s'agrégeant aux particules de microplastiques. Les résultats obtenus se sont avérés très satisfaisants (près de 99%) et d'une efficacité supérieure au traitement habituellement utilisé tout en ayant recours à des concentrations de coagulants bien moins élevées [48].

### **b. Coagulation-floculation protéique**

Une autre technique de rétention qui permet une élimination plus durable des microplastiques de l'eau est la coagulation-floculation avec des fibrilles amyloïdes lysozymes. Les fibrilles amyloïdes lysozymes proviennent de monomères de protéines. Leur efficacité sur des eaux usées et des eaux lacustres vierges et enrichies en microplastiques a été testée en laboratoire. Les résultats ont validé leur performance de coagulation-floculation dans des conditions naturelles, ce qui fait des fibrilles amyloïdes lysozymes un bioflocculant naturel approprié pour éliminer les particules dispersées de microplastiques de l'eau [49].

Ce qui rend cette solution durable est le fait que les fibrilles amyloïdes peuvent être préparées à partir de nombreuses sources de protéines naturelles peu onéreuses telles que le lactosérum, le soja ou encore l'avoine, etc. Beaucoup de ces protéines peuvent être récupérées à partir de flux de déchets de l'agriculture et de l'industrie agroalimentaire et être valorisées comme source de protéines pour la préparation de fibrilles amyloïdes, contribuant ainsi à une économie circulaire [49].

### **c. Floculation végétale**

Une équipe de chercheurs de l'université de Tarleton au Texas a utilisé des combinaisons de végétaux gluants afin de filtrer les microplastiques des eaux usées. Ils ont utilisé les

polysaccharides de ces végétaux pour produire du mucilage qui a permis d'agglomérer les particules de microplastiques. Ils se sont concentrés sur de l'eau de polluants d'origine textile. Les résultats de la recherche ont montré une efficacité de rétention des microplastiques lors des associations gombo-fenugrec et gombo-tamarin dans l'eau de mer et l'eau douce respectivement. Le principal avantage de cette méthode est que les flocculants à base de plantes peuvent être mis en œuvre dans les processus de traitement de l'eau existants. Il n'y a donc pas besoin de nouvelles infrastructures. Cette option offre alors une alternative non toxique à l'utilisation de produits chimiques dans les usines de traitement des eaux usées [44].

Le tableau, à la prochaine page, présente les différentes technologies susmentionnées ainsi que leurs caractéristiques.

## Solutions de rétention des microfibres textiles

Technologie	Caractéristiques	Catégorie	Efficacité	Avantages	Contraintes	Statut	Pays/province d'origine	Entreprise / Institution de développement	Prix
<b>Cora-Ball</b>		Décentralisée	31%	Facilité d'utilisation, facilité de nettoyage	Taux d'efficacité relativement faible	Commercialisée	États-Unis (Vermont)	Rozalia Project	50 \$
<b>Lint LUV-R</b>		Décentralisée	87 %	Pas de recharge à acheter,	Peu d'adaptabilité, résidus d'eau dans le cylindre	Commercialisée	Canada (N-E)	Environmental Enhancements	250,00 \$
<b>Filtrol-160</b>		Décentralisée	89%	Système de bypass	Installation non adaptable pour tous,	Commercialisée	États-Unis	Wexco environmental	190 \$
<b>PlanetCare filter</b>		Décentralisée	90%	Prise en charge gratuite des résidus, cartouche durable	Envoi fréquent de la charpie (20 cycles)	Commercialisée	Slovénie	PlanetCare	84 \$
<b>GUPPYFRIEND Washing Bag</b>		Décentralisée	[90-100]%	Toutes les constituants du sac sont recyclables, pas d'additifs, le sac en polyester lui-même ne perd pas de fibres	1 seule taille de sac de lavage disponible, possibilité de déséquilibre pendant le cycle d'essorage (reste d'eau dans le cylindre).	Commercialisée	Allemagne	GUPPYFRIEND	42 \$
<b>Électro-oxydation</b>		Décentralisée	89%	Produits de la réaction non toxiques pour l'environnement	Prix des électrodes en acier élevé, composantes de l'eau affectent le taux d'efficacité	En phase test sur eaux réelles	Canada (Québec)	INRS (Institut National de la Recherche Scientifique)	—
<b>Bioremédiation bactérienne</b>		Centralisée	90%	Collecte des MPs facilitée	Danger potentiel des bactéries GM (résistance, prolifération incontrôlée); détachement des bactéries onéreuse et difficile	Testée sur eau de mer polluée en labo	Chine (Hong Kong)	Hong Kong Polytechnic University	—
<b>Nanocellulose</b>		Centralisée	+90%	Très abondante dans l'environnement, naturelle, non toxique et renouvelable	—	Tests en phase pilote	Finlande	VTT (Centre de Recherche Technique de Finlande)	—
<b>Coagulation-floculation (fibrilles amyloïdes lysozymes)</b>		Centralisée	98,2%	fibrilles faciles à produire, protéines nécessaire peu coûteuses et facile d'accès	Dosage des floculants difficile puisqu'il faut constamment prendre en compte la stabilisation des charges.	Testé sur eaux usées, eaux lacustres vierges et enrichies en MPs	Suisse (Zurich)	Department of Health Sciences and Technology, ETH Zurich, Switzerland	—
<b>Coagulation-floculation (chlorhydrate d'aluminium)</b>		Centralisée	99%	Concentration de coagulants moins élevée	Résidus métalliques dans l'eau (risque potentiel pour la santé)	Coagulant déjà commercialisé / processus en phase test labo	Canada (Québec)	Département de génie chimique de l'université de McGill	—
<b>Floculation végétale (gombo, tamarin, fenugrec)</b>		Centralisée	86%	biodégradable, non toxique, facile d'accès	—	Testé sur eau de mer, eau douce (lacs, rivières), eau souterraine et eaux usées en labo	États-Unis	Tarleton State University, Texas.	—

**Figure 5.** Tableau récapitulatif des technologies de rétention centralisées et décentralisées de microfibres.

## 2.5 Lutte contre la pollution par le microplastique : réduction à la source et écoconception

Il existe aujourd'hui des solutions applicables par les industries qui pourront efficacement réduire les impacts environnementaux causés par les secteurs d'activités que sont la pêche, l'aquaculture et la mode/textile. Parmi ces solutions, on retrouve l'écoconception, qui consiste à concevoir des produits respectueux de l'environnement durant tout leur cycle de vie et le recyclage.

L'industrie textile expérimente actuellement des matières premières fabriquées en partie par des ressources renouvelables comme c'est le cas du polyester biosourcé. Ce type de polyester est fait à partir d'amidon et de lipides provenant de divers végétaux comme le maïs ou la canne à sucre et d'huiles végétales [51].

Il y a également les celluloses synthétiques qui sont dérivés de la cellulose fabriquée à partir de pâte de bois d'arbres dissoute. Le type le plus populaire est la viscose, aussi appelée la rayonne. Bien que ces matériaux alternatifs soient biodégradables, ils ne sont pas optimaux. En effet, leur utilisation entre en concurrence avec la production alimentaire et nécessite souvent de grandes quantités d'eau et de pesticides [51].

### D'autres innovations plus durables existent tels que :

- Le **Lyocell** : Le Lyocell est un produit de la compagnie **Tencel**. Tencel a développé une technologie du nom de **REFIBRA™** qui permet de produire des fibres textiles synthétiques, mais à partir de matières naturelles. Le principe consiste à recycler les chutes de coton issues de la production de vêtements provenant de sources pré et post-consommation. Ces chutes de coton sont ensuite transformées en pulpe à laquelle de la pâte de bois issue de forêts gérées durablement est ajoutée. Ces matières combinées sont transformées pour produire de nouvelles fibres vierges permettant de fabriquer des tissus [52].
- Le **Cupro** : Le Cupro est une fibre artificielle manufacturée par la compagnie japonaise Asahi Kasei Corporation. Ils utilisent la technologie **BEMBERG™**, l'autre nom du cupro. La matière première de Bemberg™ est du linter de coton qui est un matériau préconsommation obtenu à partir du processus de fabrication de l'huile de coton. Il est à la fois biodégradable et compostable [53].

- Le **Piñatex** : **Piñatex®** est un produit de la compagnie **Ananas Anam Ltd** fabriqué à partir des feuilles de l'ananas. Il s'agit d'un textile naturel dont l'origine est un sous-produit de la récolte d'ananas qui est traditionnellement jeté ou brûlé. Il peut être utilisé comme substitut du cuir. Les fibres des feuilles sont lavées puis séchées naturellement au soleil, ou pendant la saison des pluies dans des étuves de séchage. Les fibres sèches passent par un processus de purification pour éliminer toutes les impuretés, ce qui donne un matériau ressemblant à du duvet. Ce duvet est alors mélangé à un acide polylactique à base de maïs (PLA) et subit un processus mécanique pour créer **Piñafelt**, une maille non tissée qui constitue la base de toutes les collections Piñatex [54].

Concernant l'industrie de la pêche et de l'aquaculture, des efforts de recherche sont en cours et on espère que cela aboutira à des technologies de substitution au plastique qui seront durables. En attendant, on peut déjà citer le filet de pêche biodégradable manufacturé par **Seabird**, une entité spécialisée dans le secteur des bioplastiques. Seabird a fabriqué à partir de bioplastique compostable, un filet pour la pêche côtière capable de s'adapter à différents engins de pêche. Une fois en fin de vie (environ 4 mois), il est possible de le composter industriellement à son débarquement au port. Dans le cas où il serait perdu en mer, il est conçu de sorte à être biodégradable [55].

Quant au recyclage, le chemin est encore long. Dans l'industrie textile, un manque de technologies pour trier les vêtements collectés, séparer les fibres des produits chimiques, y compris la couleur, fait qu'à l'échelle mondiale, moins d'1% de tous les matériaux utilisés dans les vêtements sont recyclés en vêtements [56].

Des technologies prometteuses existent tout de même et sont en train de montrer la voie. C'est le cas de **Worn Again**, une technologie capable de séparer, décontaminer et extraire le polyester et la cellulose du coton des textiles non réutilisables. Il en résulte de la cellulose et du PET (polyéthylène terephthalate), un polymère de polyester saturé, remettant ainsi des ressources durables dans les chaînes d'approvisionnement de production [57]. Il y a aussi **Blend Re:wind**, une technologie suédoise qui permet le recyclage chimique des mélanges de fibres polyester/coton (polycoton) soit en pulpe de coton qui sera ensuite transformé en nouveaux filaments de viscose de haute qualité, soit en deux nouveaux monomères de polyester purs [58].

### **III. RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION**

Nous pouvons comprendre les microfibres en plastique en tant que résidus textiles. Ces résidus, repérés surtout lors de la phase d'entretien domestique des textiles en machine, doivent figurer dans les analyses du cycle de vie autant des tissus que des lave-linges et être adressés par des politiques privées et publiques de réduction d'impact.

Dans le contexte d'une gestion efficace et durable des matières résiduelles, les actions les plus cohérentes avec les politiques nationales, provinciales et municipales actuelles doivent prioriser la réduction des rejets de microfibres textiles à la source, comprenant toute action permettant de prévenir et d'éviter de générer ces résidus lors de la conception, la fabrication, la distribution, l'utilisation ou l'entretien des produits.

Le principe de la réduction à la source, associé à celui de la responsabilité élargie des producteurs (REP) - où ces derniers doivent assumer la responsabilité non seulement par la fabrication et la mise en marché des produits, mais aussi par les impacts socio-environnementaux des phases intermédiaires et finales de leurs cycles de vie - ouvre l'horizon des actions visant à optimiser tant la conception des tissus et leurs étapes de traitement industriel, menés par l'industrie textile, que la fabrication des machines à laver, menée par l'industrie des électroménagers.

Il est alors envisageable d'investir dans l'éco-conception, soit l'élaboration de tissus qui retiennent mieux leurs microfibres lors du lavage, qui utilisent davantage des microfibres recyclées et qui incorporent une plus grande proportion de fibres naturelles. De plus, il est important de mettre en place des mesures de contrôle des rejets de microfibres lors de processus tels que le filage, la teinture et le lavage industriel des tissus, tout en promulguant des lois provinciales et nationales qui obligent la fabrication de machines à laver avec des filtres intégrés capables de retenir les microparticules.

Afin d'inciter la conformité aux politiques de responsabilisation des producteurs et de prendre en compte les coûts environnementaux associés au non-respect des mesures proposés, nous prônons l'intégration de tarifications dissuasives, en accord avec le principe du pollueur-payeur prévu dans la Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999). Il est également important de prévoir des pénalités en cas d'infractions de toutes lois réglementant la fabrication de tissus ou machines à laver.

Une fois libérées dans le système des eaux usées, la plupart des microfibres textiles se rendent aux stations d'épuration. Il est alors conseillé de mettre en place des actions

supplémentaires qui visent à augmenter leur rétention à cette étape, impliquant (1) la communauté scientifique dans le développement de technologies de rétention et d'élimination centralisées des microparticules, (2) les gouvernements provinciaux, qui possèdent des pouvoirs réglementaires destinés à régir la gestion des matières résiduelles, et (3) les municipalités, responsables de l'application des moyens retenus dans les plans de gestion de matières résiduelles provinciaux.

Les microplastiques enlevés au cours des processus de traitement des eaux usées sont principalement accumulés dans les boues d'épuration. Alors, en parallèle à l'application d'étapes additionnelles d'épuration spécifiques aux microplastiques au niveau des stations centrales, de nouvelles alternatives pour la gestion des boues d'épuration doivent être étudiées et mises en place afin d'améliorer les options de valorisation des boues sans présenter de risques pour l'environnement.

Dans le but de rendre le développement des technologies de rétention de microplastiques plus efficace et répandu dans la communauté scientifique, il est aussi important de stimuler la recherche de base pour la création et la standardisation des méthodes et protocoles d'échantillonnage, de caractérisation, de quantification et d'évaluation des effets des microplastiques. Cela permettrait également de saisir davantage les différentes sources et parcours des microplastiques dans l'environnement, ainsi que de rendre la revue de littérature et l'analyse des métadonnées plus accessible à l'administration publique et plus fiable pour la prise de décisions.

Finalement, nous encourageons la mise en place de campagnes nationales de sensibilisation citoyenne à (1) la problématique de la pollution microplastique, (2) à l'éducation sur la réduction à la source et (3) à l'investissement dans des programmes publics de don, réemploi et recyclage de textiles. Nous recommandons que certains volets de ces campagnes soient mis en œuvre par des organisations locales œuvrant en environnement et éducation.

L'implantation d'une solution unique pour lutter efficacement contre la pollution en microfibres plastiques ne constitue pas une option réaliste. L'analyse des articles scientifiques consultés permet de conclure que la résolution de cette problématique passe nécessairement par la mise en place de stratégies de gestion intégrée. Il est nécessaire que les gouvernements fédéraux, provinciaux et municipaux, les industries, les organismes, la communauté scientifique ainsi que les consommateurs joignent leurs efforts.

# Bibliographie

- [1] Anderson, J. C., Park, B. J., & Palace, V. P. (2016). Microplastics in aquatic environments: implications for Canadian ecosystems. *Environmental Pollution*, 218, 269-280.
- [2] Acharya, S., Rumi, S. S., Hu, Y., & Abidi, N. (2021). Microfibers from synthetic textiles as a major source of microplastics in the environment: A review. *Textile Research Journal*, 91(17-18), 2136-2156.
- [3] Gouvernement du Canada. (2021-03-29). [Pêches et Océans Canada > Science > Environnement et écosystèmes > Contaminants- Microplastiques](#). dfo-mpo.gc.ca. Consulté le 08 août 2022, <https://www.dfo-mpo.gc.ca/science/environmental-environnement/microplastics-microplastiques/index-fra.html>
- [4] Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. FAO.
- [5] Gavigan, J., Kefela, T., Macadam-Somer, I., Suh, S., and Geyer, R. (2020). Synthetic microfiber emissions to land rival those to waterbodies and are growing. *PLoS One* 15:e0237839. doi: 10.1371/journal.pone.0237839
- [6] Essel, R., Engel, L., Carus, M., and Ahrens, R.H. (2015). Sources of microplastics relevant to marine protection in Germany, Publication as pdf : [www.umweltbundesamt.de/publikationen/sources-of-microplastics-relevant-to-marine](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sources-of-microplastics-relevant-to-marine), 45pp
- [7] Boucher, J. and Friot D. (2017). Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources. Gland, Switzerland: IUCN. 43pp.
- [8] Athey, S. N., & Erdle, L. M. (2022). Are we underestimating anthropogenic microfiber pollution? A critical review of occurrence, methods, and reporting. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(4), 822-837.
- [9] GESAMP. 2016. "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment" (Kershaw, P.J., and Rochman, C.M., eds). (IMO/FAO/UNESCOIOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93, 220 p.
- [10] Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current environmental health reports*, 5(3), 375-386.
- [11] Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., ... & Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146, 106274.
- [12] Jacquet, S. (2019). LES VIRUS BROUILLENT L'IDÉE DE VIE. *Pour la Science*. Dossier. <https://hal.inrae.fr/hal-02916330/document>
- [13] Leslie, H. A., Van Velzen, M. J., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment international*, 163, 107199.

- [14] Castañeda, R. A., Avlijas, S., Simard, M. A., & Ricciardi, A. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence river sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(12), 1767-1771.
- [15] Ahmed, R., Hamid, A. K., Krebsbach, S. A., He, J., & Wang, D. (2022). Critical review of microplastics removal from the environment. *Chemosphere*, 133557.
- [16] Karbalaei, S., Hanachi, P., Walker, T. R., & Cole, M. (2018). Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. *Environmental science and pollution research*, 25(36), 36046-36063.
- [17] Zhang, J., Wang, L., Trasande, L., & Kannan, K. (2021). Occurrence of polyethylene terephthalate and polycarbonate microplastics in infant and adult feces. *Environmental Science & Technology Letters*, 8(11), 989-994.
- [18] Kershaw, P. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. International Maritime Organization.
- [19] Danopoulos, E., Twiddy, M., West, R., & Rotchell, J. M. (2021). A rapid review and meta-regression analyses of the toxicological impacts of microplastic exposure in human cells. *Journal of Hazardous Materials*, 127861.
- [20] Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., & Dudas, S. E. (2019). Human consumption of microplastics. *Environmental science & technology*, 53(12), 7068-7074.
- [21] Vassilenko, K. (2019). Me, my clothes and the ocean: The role of textiles in microfiber pollution. University of British Columbia. OCEAN WISE
- [22] Francois, G., Stéphane, B., Guillaume, D., Fabre, P., Emmanuelle, C., Jeff, G., ... & Alexandra, H. (2020). Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques Pollution of oceans by plastics and microplastics. *Techniques de l'Ingenieur*.
- [23] Gouvernement du Canada. (2018-06-19). Environnement et ressources naturelles > Pollution et gestion des déchets > Gestion et réduction des déchets > Engagements internationaux en matière de déchets. CHARTE SUR LES PLASTIQUES DANS LES OCÉANS. canada.ca. Consulté le 08 août 2022, <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/gestion-reduction-dechets/engagements-internationaux/charte-plastiques-ocean.html>
- [24] Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME),(27 juin 2019). Plan d'action Pancanadien visant l'atteinte de zéro Déchet de plastique Phase 1. 2019 , [https://ccme.ca/fr/res/1590\\_ccmecanada-wideactionplanonzeroplasticwaste\\_fr\\_secured.pdf](https://ccme.ca/fr/res/1590_ccmecanada-wideactionplanonzeroplasticwaste_fr_secured.pdf)
- [25] Castañeda, R. A., Avlijas, S., Simard, M. A., & Ricciardi, A. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence river sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(12), 1767-1771.
- [26] Gouvernement du Canada. (2021-03-29). [Pêches et Océans Canada](#) > [Science](#) > [Environnement et écosystèmes](#) > [Contaminants](#)- Microplastiques. dfo-mpo.gc.ca. Consulté le 08 août 2022, <https://www.dfo-mpo.gc.ca/science/environmental-environnement/microplastics-microplastiques/index-fra.html>

[27] [Radio-Canada. \(2021-05-12\). Info > Environnement > Pollution. Ottawa ajoute les produits de plastique à une liste de substances toxiques. Consulté le 08 août 2022, https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1792593/articles-manufactures-plastique-toxiques-canada-loi](https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1792593/articles-manufactures-plastique-toxiques-canada-loi)

[28] Site Web de la législation (Justice). (2022-06-20). [Site Web de la législation accueil > Règlements codifiés](https://laws.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2022-138/page-1.html) - Règlement interdisant les plastiques à usage unique DORS/2022-138. laws.justice.gc.ca. Consulté le 08 août 2022, <https://laws.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2022-138/page-1.html>

[29] Deloitte, Cheminfo Services inc., (2019), Étude économique sur L'INDUSTRIE, LES MARCHÉS ET LES DÉCHETS DU PLASTIQUE AU CANADA, *Environnement et Changement climatique Canada*. [https://publications.gc.ca/collections/collection\\_eccc/En4-366-1-2019-fra.pdf](https://publications.gc.ca/collections/collection_eccc/En4-366-1-2019-fra.pdf)

[30] La Presse. (2022-06-30) Agence France-Presse > Déchets plastiques. La Californie va contraindre les industriels à recycler et financer la dépollution. lapresse.ca. Consulté le 08 août 2022, <https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/2022-06-30/dechets-plastiques/la-californie-va-contraindre-les-industriels-a-recycler-et-financer-la-depollution.php#:~:text=Les%20industriels%20qui%20souhaitent%20%C3%A9couler%20des%20emballages%20plastiques,plus%20touch%C3%A9es%20par%20cette%20pollution%2C%20souligne%20M.%20Newsom.>

[31] California Legislative Information. (2022-05-19). Bill Information > Bill Search > Today's Law As Amended - AB-2787 Microplastics in products.(2021-2022). leginfo.legislature.ca.gov. Consulté le 08 août 2022, [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billCompareClient.xhtml?bill\\_id=202120220AB2787&showAmends=false](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billCompareClient.xhtml?bill_id=202120220AB2787&showAmends=false)

[32] Site Web de la législation (Justice). (2022-06-20). [Site Web de la législation accueil > Règlements codifiés](https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2017-111/page-1.html) - Règlement sur les microbilles dans les produits de toilette DORS/2017-111 - [LOI CANADIENNE SUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT \(1999\)](https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2017-111/page-1.html) laws.justice.gc.ca. Consulté le 08 août 2022, <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2017-111/page-1.html>

[33] Ministère De La Transition Écologique. (Septembre 2021). Plan gouvernemental économie circulaire > Document de référence - LA LOI ANTI-GASPILLAGE DANS LE QUOTIDIEN DES FRANÇAIS : CONCRÈTEMENT ÇA DONNE QUOI ?. ecologie.gouv.fr. Consulté le 08 août 2022, [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Document\\_LoiAntiGaspillage%20\\_2020.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Document_LoiAntiGaspillage%20_2020.pdf)

[34] Légifrance. (2020-02-10). Droit national en vigueur > Codes > Code de l'environnement > Sous-section 1 bis : Lutte pour le réemploi et contre le gaspillage (Articles L541-15-3 à L541-15-16) - Article L541-15-12. legifrance.gouv.fr. Consulté le 08 août 2022, [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000032043245?init=true&page=1&query=+L.541-15-12.+&searchField=ALL&tab\\_selection=all&anchor=LEGIARTI000041568964#LEGIARTI000041568964](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000032043245?init=true&page=1&query=+L.541-15-12.+&searchField=ALL&tab_selection=all&anchor=LEGIARTI000041568964#LEGIARTI000041568964)

[35] Erdle, L. M., Nouri Parto, D., Sweetnam, D., & Rochman, C. M. (2021). Washing machine filters reduce microfiber emissions: evidence from a community-scale pilot in Parry Sound, Ontario. *Frontiers in Marine Science*, 1703.

[36] ASSOUMANI, A., STRUB, M. P., LARDY-FONTAN, S., ALASONATI, E., & GALGANI, F. (2020). MICROPLASTIQUES DANS LES EAUX DE SURFACE CONTINENTALES.

- [37] Adopt-a-Beach, A. A. B. Évaluation scientifique de la pollution plastique. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/evaluation-substances-existantes/evaluation-scientifique-pollution-plastique.html>
- [38] Parliament, U. K., & House of Commons Environmental Audit Committee. (2019). Fixing fashion: clothing consumption and sustainability: Fashion: it shouldn't cost the earth. HC1952, February.
- [39] Nations Unies. (21 août 2019). Santé - L'OMS demande une évaluation approfondie des conséquences des microplastiques sur la santé. ONU Info: L'actualité mondiale Un regard humain. Consulté le 08 août 2022, <https://news.un.org/fr/story/2019/08/1050031>
- [40] McIlwraith, H. K., Lin, J., Erdle, L. M., Mallos, N., Diamond, M. L., & Rochman, C. M. (2019). Capturing microfibers—marketed technologies reduce microfiber emissions from washing machines. *Marine pollution bulletin*, 139, 40-45.
- [41] Erdle, L. M., Nouri Parto, D., Sweetnam, D., & Rochman, C. M. (2021). Washing machine filters reduce microfiber emissions: evidence from a community-scale pilot in Parry Sound, Ontario. *Frontiers in Marine Science*, 1703.
- [42] PlanetCare. (s.d). A fully circular, closed-loop solution. PlanetCare microfiber filters. planetcare.org. Consulté le 08 août 2022, <https://planetcare.org/pages/how-it-works>
- [43] VTT. (2020-04-21). New and ideas - New solution to capture microplastics before they enter waterways. vttresearch.com. Consulté le 08 août 2022, <https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/new-solution-capture-microplastics-they-enter-waterways>
- [44] Leppänen, I., Lappalainen, T., Lohtander, T., Jonkergouw, C., Arola, S., & Tammelin, T. (2021). Capturing the colloidal microplastics with plant-based nanocellulose networks.
- [45] Kiendrebeogo, M., Estahbanati, M. K., Mostafazadeh, A. K., Drogui, P., & Tyagi, R. D. (2021). Treatment of microplastics in water by anodic oxidation: A case study for polystyrene. *Environmental Pollution*, 269, 116168.
- [46] Liu, S. Y., Leung, M. M. L., Fang, J. K. H., & Chua, S. L. (2021). Engineering a microbial 'trap and release' mechanism for microplastics removal. *Chemical Engineering Journal*, 404, 127079.
- [47] Lapresse. (2020-10-24). Legault, J.B. Avancée montréalaise dans le retrait des microplastiques des eaux usées. LA PRESSE CANADIENNE. Consulté le 08 août 2022, <https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/2020-11-24/avancee-montrealaise-dans-le-retrait-des-microplastiques-des-eaux-usees.php>
- [48] Lapointe, M., Farner, J. M., Hernandez, L. M., & Tufenkji, N. (2020). Understanding and improving microplastic removal during water treatment: impact of coagulation and flocculation. *Environmental science & technology*, 54(14), 8719-8727.
- [49] Peydayesh, M., Suta, T., Usuelli, M., Handschin, S., Canelli, G., Bagnani, M., & Mezzenga, R. (2021). Sustainable removal of microplastics and natural organic matter from water by coagulation–flocculation with protein amyloid fibrils. *Environmental science & technology*, 55(13), 8848-8858.
- [50] Guppyfriend. (s.d). GUPPYFRIEND Washing Bag. en.guppyfriend.com. Consulté le 08 août 2022, <https://en.guppyfriend.com/pages/guppyfriend-waschbeutel-faq>

[51] Nikolina, S. A. J. N. (2019). Environmental impact of the textile and clothing industry: What consumers need to know.

[52] TENCEL. (s.d). TENCEL™ x REFIBRA™ technology. Consulté le 08 août 2022, <https://www.tencel.com/refibra>

[53] Textile Exchange. (s.d). Bemberg™. Consulté le 08 août 2022, <https://textileexchange.org/featured/bemberg/>

[54] Ananas Anam. (2022-06-17). Latest News > Impact Report. ananas anam 2021 IMPACT REPORT. ananas-anam.com. Consulté le 08 août 2022, [https://mcusercontent.com/03e5e1519304764711156f2f5/files/dc3e7091-e16-c56a-44d0-e422d04af27a/Ananas\\_Anam\\_Impact\\_Report\\_2021.01.pdf](https://mcusercontent.com/03e5e1519304764711156f2f5/files/dc3e7091-e16-c56a-44d0-e422d04af27a/Ananas_Anam_Impact_Report_2021.01.pdf)

[55] Seabird. (s.d). Production et applications des bioplastiques > Filets et engins de pêche. CONCEPTION D'UN FILET DE PÊCHE BIODÉGRADABLE EN MER ET COMPOSTABLE À TERRE. seabird.fr. Consulté le 08 août 2022, <https://www.seabird.fr/filet-en-engins-de-peche.php>

[56] Ellen MacArthur Foundation. (2017-12-01). A New Textiles Economy - Full Report > A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future. ellenmacarthurfoundation.org. Consulté le 08 août 2022, <https://emf.thirdlight.com/link/2axvc7eob8zx-za4ule/@/preview/1?o>

[57] [Worn again. \(s.d\). A world where resources are kept in constant circulation, driving economic, social and environmental benefits. Worn again technologies. wornagain.co.uk.](https://www.wornagain.co.uk/) Consulté le 08 août 2022, <https://wornagain.co.uk/>

[58] Mistra future fashion. (2017-10-09). Blend Re:wind, a new process that recycles both cotton and polyester is now demonstrated in Sweden. mistrafuturefashion.com. Consulté le 08 août 2022, <http://mistrafuturefashion.com/rewind-recycles-cotton-polyester/>

## Autres ouvrages du GRAME

GRAME (2022). « Rapport de projet – Fiches explicatives sur les microfibres ». Repéré à <https://game.org/blogue/rapport-explicatives-microfibres/>.

