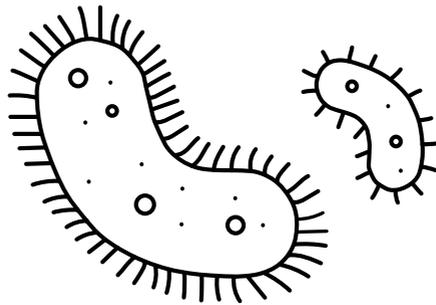


# Quel avenir pour l'emballage ?

Grownplast - Une recherche autour  
de la cellulose bactérienne





Marilys Tran The Tri  
Travail de fin d'études  
2019-2020 La Cambre ENSAV



## **Remerciements**

Pour commencer, je voulais remercier Janine Benyus d'avoir écrit un livre si inspirant. Je voulais aussi remercier mes professeurs Giampiero Pitisci, Thomas Billas, Judicaël Cornu, Jean Paternotte, Marianne Bernecker et Marion Beernaerts qui m'ont accompagnée avec bienveillance durant tout mon parcours de formation. Merci aux gens de mon entourage qui ont soutenu chacun le projet à leur manière et qui m'ont accompagné dans tous le processus. Enfin je voudrais remercier Henri et la brasserie de l'Ermitage pour avoir collaborer sur mon projet en me fournissant leurs eaux usées.

# Table des matières

INTRODUCTION.....10

## PARTIE I : Quels substituts peut-on trouver au plastique dans l'emballage ?

<b>1. Biopolymères et bioplastiques.....</b>	<b>15</b>
1.1. Structure moléculaire	
1.2. Biodégradabilité des polymères	
1.3. Bioplastique, une vraie solution ?	
1.3.1. Bioplastiques à base d'algues	
1.4. Biopolymère de masse : la cellulose	
<b>2. La cellulose bactérienne.....</b>	<b>21</b>
2.1. Origine biologique	
2.2. Caractéristiques physico-chimiques	
2.3. Culture bactérienne	
2.3.1. Scoby, mère de Kombucha	
2.3.2. Recette de cellulose à base de Kombucha	
2.3.1. Recette de cellulose à base de bactérie pure	
<b>3. Eco-matériaux : matériaux biofabriqués.....</b>	<b>26</b>
3.1. Mycelium composites	
3.2. Biocouture et innovations médicales	
3.3. Culture bactérienne	
2.3.1. Scoby, mère de Kombucha	
2.3.2. Recette de cellulose à base de Kombucha	
2.3.1. Recette de cellulose à base de bactérie pure	
<b>4. Fabriquer à la manière du vivant ?.....</b>	<b>30</b>
4.1. Cellulose bactérienne versus plastique	
4.2. Cellulose bactérienne versus papier	
4.3. Exemples industriels	
4.4. Valoriser les déchets localement	

# **PARTIE 2 : Grownplast : Polymère cultivé à partir de déchets organiques**

<b>1. Introduction.....</b>	<b>38</b>
<b>2. Co-produits et déchets organiques belges.....</b>	<b>38</b>
2.1. Industrie de la pomme de terre	
2.1.1. Procédé industriel	
2.1.2. Les co-produits de la fabrication de pomme de terre	
2.2. Les brasseries	
2.2.1. Procédé industriel	
2.2.2 Les co-produits et déchets de brasserie	
<b>3. Expérimentation d'une nouvelle recette.....</b>	<b>43</b>
3.1. Premiers tests	
3.1.1. Résultats	
3.1.2. Conclusion	
3.2. Expérimentation autour des pelures de pomme de terre	
3.3. Expérimentation autour des eaux usées de brasserie	
3.4. Comparaison et conclusion	
3.5. Biodégradation de la cellulose bactérienne	
3.6.1. Expérience de biodégradation sur Grownplast	
<b>4. Perspectives.....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>56</b>

Introduction

**COMMENT LE VIVANT PEUT-IL NOUS INSPIRER FACE A LA PROBLEMATIQUE ACTUELLE DE L'EMBALLAGE ?**



« Après 3,8 milliards d'années de recherche et développement, ce qui a échoué est devenu fossile, et ce qui nous entoure est le secret de la survie. Plus notre monde se rapprochera de la nature, plus nous aurons de chances d'être acceptés sur cette Terre dont nous ne devons jamais oublier que nous ne sommes pas les seuls propriétaires ».

Janine Benyus, Biomimétisme, quand la nature inspire des innovations durable.

C'est l'engendrement grandissant des déchets générés par le secteur industriel - un problème intimement lié au métier de designer industriel - qui m'a poussée à entreprendre ce projet. Le fait est que notre manière de produire et de consommer impacte fortement les autres formes de vie sur terre. Et mon éveil particulier à la nature m'a amenée à penser qu'il était crucial de la respecter, de l'observer, de la comprendre, mais aussi et surtout de s'en inspirer. Je souhaite participer à un design qui avance avec son temps et avec les mutations de notre société, qui tend à résoudre des problèmes actuels et futurs, un design responsable. Le designer est à la source de ce qui est produit. Il décide des matériaux utilisés et indirectement de leur provenance, il imagine l'assemblage d'un produit, sa nature, son usage. Et je considère que nous avons aussi notre part de responsabilité dans ce que devient ce produit en fin de vie.

A l'heure actuelle, les plastiques représentent le plus gros déchet jamais conçu par l'homme. Chaque année, leur production mondiale s'élève à plus de 4 milliards de tonnes. Résistants, imputrescibles, peu chers et faciles à produire, ils sont devenus indispensables dans beaucoup de secteurs. Pourtant, l'élimination des déchets plastiques est devenue extrêmement problématique. En effet, le taux de recyclage mondial ne dépasse pas 14%, 40 % étant incinéré ou mis en décharge, le reste finissant dans la nature, dans les cours d'eau et dans le sol, sur le bord des routes et particulièrement au sein des écosystèmes marins.

Parmi ces déchets, on compte les emballages plastique à usage unique. Ils représentent environ 40% de l'industrie plasturgique. En plus d'être des déchets non recyclables et non valorisables, leur production représente elle aussi un impact environnemental non négligeable. Il faut en effet passer par plusieurs étapes de transformation du pétrole pour obte-

nir les molécules qui serviront à la fabrication de la matière plastique. Ces étapes nécessitent de grandes quantités d'énergie pour monter à des hautes températures situées entre 400°C et 800°C. L'ironie est telle que les emballages ont une durée de vie très limitée dans l'usage, par rapport à la quantité d'énergie utilisée pour les produire et à la pollution qu'ils représentent en fin de vie pour l'humain et les écosystèmes.

Pourtant, de l'autre côté, la nature regorge de systèmes et de modèles biologiques inspirants, tant comme alternative aux matériaux à base de pétrole, qu'au niveau de sa propre gestion ses déchets. En effet, dans le monde du vivant, chaque déchet d'une espèce est une ressource pour d'autres. Ils sont recyclés localement par des dizaines d'espèces de micro-organismes (bactéries, champignons ou actinomycètes) et macroorganismes (insectes, vers, crustacés ou gastéropodes) qui s'en nourrissent. C'est en les digérant que ces organismes vont produire de nouvelles matières qui seront aptes à une nouvelle utilisation. Et tout ce système ne fonctionne qu'avec l'énergie disponible sur place... La nature possède l'art de l'économiser. Comment pourrait-on s'inspirer de ce modèle biologique pour répondre à la problématique liée à l'emballage à usage unique ? Et comment le monde du vivant pourrait-il nous inspirer de nouvelles manières de fabriquer, à un moindre coût énergétique ? Est-il possible de fabriquer un biopolymère à partir de déchets issus de l'industrie agro-alimentaire, capable de se substituer aux matières actuellement utilisés dans l'emballage jetable ?



## Partie 1

# QUELS SUBSTITUTS PEUT-ON TROUVER AU PLASTIQUE DANS L'EMBALLAGE ?

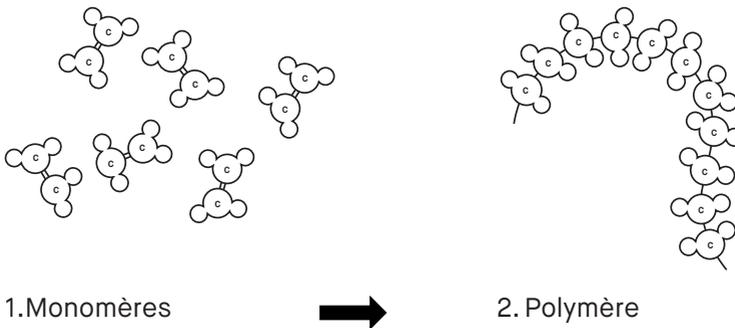
Au cours des dernières années, de nombreuses solutions furent proposées pour palier à la problématique des emballages plastiques. Sont alors apparus les bioplastiques, des plastiques « végétaux » issus de ressources renouvelables. Que sont-ils exactement ? Et représentent-ils réellement une alternative plus durable ? Pendant ce temps, des organismes vivants fabriquent discrètement le biopolymère le plus abondant sur terre, la cellulose. Dans les cellules des feuilles d'arbres, sur les carapaces des insectes ou dans le sol des forêts humides, ce biopolymère croît, sert de structures, puis se décompose, rythmé par les cycles de la vie.



# 1. BIOPOLYMERES ET BIOPLASTIQUES

Les polymères<sup>1</sup> sont une classe de matériaux comprenant d'un côté les biopolymères et de l'autre, les matières plastiques. Les biopolymères, comme la cellulose, sont des fibres naturelles issues de la biomasse, c'est-à-dire fabriqué par des organismes vivants. Au cours du processus de polymérisation, les monomères s'attachent entre elles par des liaisons covalentes pour former un polymère (figure 1). Par exemple, si le propylène est un monomère, plusieurs chaînes de molécules de propylène assemblées forment le polypropylène, un plastique aux propriétés multiples. Pour les biopolymères, c'est un peu le même principe, sauf que ceux-ci sont en fait des sucres complexes, des polysaccharides, issus de la polymérisation d'oses (monosaccharides).

**Fig.1**



<sup>1</sup> Etymologie : Du grec «polus», plusieurs et «meros», partie

Schéma inspiré de KULA Daniel, TERNAUX Elodie. Plastique. In Materiology. Amsterdam, Basel : Frame Publishers, Birkhäuser Verlag, 2013, p.67.

## 1.1. Structure moléculaire

Il existe deux types d'organisation des chaînes macromoléculaires qui qualifient la nature d'un polymère : semi-cristalline ou amorphe. Un polymère possédant une structure cristalline ou semi-cristalline possède des propriétés chimiques et mécaniques le plus souvent supérieures à un polymère de structure amorphe. Par exemple, le polyéthylène possède une structure moléculaire plus solide que le polystyrène, ce qui le rend plus résistant aux chocs ainsi qu'aux agents chimiques.

## 1.2. Biodégradabilité des polymères

Avant d'aller plus loin dans l'analyse, il me semble important de redéfinir ce que signifie un matériau « biodégradable ». En voici une première définition : « Biodégradable ; se dit des produits industriels et des déchets qu'une action bactérienne, naturelle ou induite, décompose assez rapidement et les fait disparaître de l'environnement en les convertissant en molécules simples utilisables par les plantes » (Définition du Larousse en ligne), autrement dit, un matériau biodégradable présente une aptitude à se dégrader biologiquement, au cours d'une attaque microbienne qui le transforme en une nouvelle biomasse non toxique, en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et en eau (H<sub>2</sub>O). Dans l'industrie, pour qu'un matériau ou produit soit considéré comme biodégradable, il doit répondre à une série de normes<sup>2</sup> régies par la loi concernant les emballages. L'une de ces normes stipule que le seuil acceptable de biodégradabilité selon la composition du matériau varie de 60 à 90% sur une période de 60 à 90 jours. Cette règle existe d'autant plus tous les polymères finissent par se dégrader à un moment, mais dans des temporalités et conditions bien différentes. A titre de comparaison, une feuille d'arbre par exemple se décompose au bout

<sup>2</sup> La norme NF EN 13432 est une norme européenne qui dresse les exigences relatives aux emballages valorisables par compostage et biodégradation

de quelques semaines dans son milieu naturel, alors qu'une bouteille mettra plus de 400 ans à se dégrader. Il faut savoir que le temps de décomposition ne sera pas le même dans la nature que dans un compost industriel, ni le même en eau douce et en eau salée ou dans le sol. Les écosystèmes présentent néanmoins des limites à absorber des produits biodégradables. À terme, l'accumulation de ces matières dans le milieu peuvent causer des dommages sur l'environnement comme l'eutrophisation<sup>3</sup> des océans. Au niveau industriel, il existe plusieurs méthodes entraînant le processus de biodégradation : le compost, l'hydrolyse et la dégradation enzymatique. La plupart des bioplastiques ne se dégraderont qu'en compost industriel, et non en milieu naturel ou en compost ménager.

### **1.3. Bioplastique, une vraie solution ?**

Un des grands enjeux actuel est, parallèlement au recyclage, de remplacer le pétrole comme constituant de base des matières plastiques. Notre approche actuelle de la synthèse des matériaux, qui dépend de l'abondance du pétrole, du gaz et du charbon, est remise en cause par leur limitation dans le temps. Il s'agit de remplacer les molécules « pétrosourcées » par des molécules « biosourcées ». C'est sur cette idée que s'est construit le marché du bioplastique. Ce terme désigne à la fois les matières plastiques biosourcées<sup>4</sup> et les matières plastiques biodégradables, y compris issues de ressources fossiles. Le bioplastique représente, au premier abord, une solution écologique pour l'emballage. En réalité, il n'est intéressant qu'à condition d'exclure totalement l'utilisation de pétrole. Aujourd'hui le terme « bioplastique » désigne certaines matières pouvant contenir jusqu'à 70% de pétrole. Il arrive aussi qu'il soit directement fabriqué à partir de maïs ou de blé, ce qui le place en concurrence directe avec l'alimen-

<sup>3</sup> Déséquilibre biologique d'un milieu provoqué par l'augmentation de la concentration d'azote et de phosphore dans celui-ci et caractérisé par une croissance excessive des plantes et des algues due à la forte disponibilité des nutriments.

<sup>4</sup> Se dit d'un produit ou d'un matériau entièrement ou partiellement fabriqué à partir de matières d'origine biologique.

tation humaine et animale. En ajoutant à ceci le fait que ces cultures nécessitent de grandes quantités d'énergies fossiles et de ressources naturelles.

### 1.3.1. Bioplastiques à base d'algues

Les algues représentent aujourd'hui une ressource très intéressante pour différents secteurs, dont celui de l'emballage. Qu'elles soient cultivées dans des fermes aquacoles ou ramassées localement, elles se différencient des matières premières agricoles car elles poussent dans l'eau salée et n'ont donc besoin d'aucune alimentation supplémentaire pour croître. Algotop et Notpla sont deux entreprises d'emballages utilisant les algues pour élaborer des matériaux complètement biodégradables.

Algotop, une initiative bretonne, transforme les macro-algues brunes grâce à un procédé thermique et mécanique. Ils commencent par les déshydrater puis mélangent cette poudre à des adjuvants d'origine naturelle, ensuite, grâce à un procédé thermique, forment des granules d'un millimètre. Celle-ci seront envoyées vers des usines d'emballage. Leur technologie permet ensuite, grâce aux procédés industriels classiques de l'industrie plasturgique, d'injecter ou de thermoformer le bioplastique. Ce procédé, même s'il est révolutionnaire, présente un désavantage majeur. Comme pour les matières plastiques, pour transformer les granules en objets, il faut monter au-delà de 200°C et utiliser des machines utilisant de grandes quantités d'énergie.

Intéressons-nous maintenant à Notpla. Un projet qui s'adresse à la problématique des bouteilles en plastique. En effet, cette matière est composée exclusivement d'algues, ce qui la rend compostable ou comestible. En d'autres mots, les emballages de Notpla sont de petites poches contenant du liquide qu'on peut boire et manger. Ce concept singulier convient pour des usages particuliers comme le marathon de Londres où les athlètes ont pu s'hydrater sans s'encombrer



Echantillonnage - Notpla  
Crédits image - Notpla



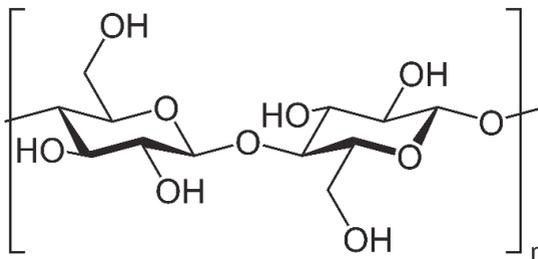
Aquaculture d'algues - Algopack  
Crédits image - Algopack

d'une bouteille d'eau. Dans d'autres contextes d'usage, le projet pose question. Qu'en est-il des normes d'hygiène et de la contenance ? L'idée est-elle encore pertinente si ces poches nécessitent elles-mêmes d'être emballées ?

#### 1.4. Biopolymère de masse : la cellulose

La cellulose est le biopolymère le plus abondant sur Terre. Constituant principale des végétaux, du bois, ainsi que des cuticules d'insectes, la cellulose est produite dans les parois de leurs cellules par un phénomène de polymérisation. Cette famille de matériau partage une même structure composée de chaînes linéaires de molécules de D-glucose qui lui confère des caractéristiques physiques très recherchées par l'industrie du papier, du textile, de l'isolation,... La cellulose végétale, telle que le bois et le coton, est d'ailleurs abondamment utilisée pour la création de toutes sortes d'objets et de matériaux. Mais les plantes ne sont pas les seuls organismes vivants à produire de la cellulose. Hormis certains macro-organismes comme les insectes et les champignons, certains types de bactéries produisent de la cellulose extracellulaire dans certaines conditions. Parmi elles, l'*Acetobacter xylinum*, est capable générer de la cellulose de grande pureté.

Structure moléculaire de la cellulose

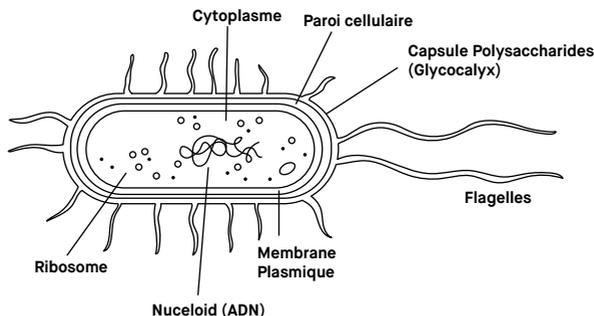


## 2. LA CELLULOSE BACTERIENNE

La cellulose bactérienne est une matière organique de formule ( $C_6H_{10}O_5$ ) produite par certains types de bactéries comme l'Acetobacter xylinum. Contrairement à la cellulose végétale, elle ne contient ni hémicellulose ni lignine<sup>5</sup>. La cellulose bactérienne est chimiquement plus pure car elle résulte d'une plus grande quantité de polymérisation.

### 2.1. Origine biologique

L'Acetobacter xylinum est un type de bactérie acétique, appartenant à la famille des Acetobacteraceæ. Ce méso-ophile<sup>6</sup> non pathogène, découvert pour la première fois par AJ Brown au 19<sup>ème</sup> siècle, a été le sujet de nombreuses recherches scientifiques en raison de cette capacité à produire une grande quantité de cellulose à partir de sources de carbone et d'azote variées<sup>7</sup>. Dans leur habitat naturel, ces bactéries synthétisent des polysaccharides, comme la cellulose, qui forme des enveloppes protectrices autour des cellules. Acetobacter xylinum se retrouve dans le sol ou sur la surface des fruits en décomposition et vit parfois en symbiose avec des plants de canne ou de café. Cette bactérie possède un métabolisme aérobie<sup>8</sup>, et synthétise la cellulose bactérienne au cours d'un processus d'oxydoréduction.



<sup>5</sup> Polymères structuraux présents dans les plantes et les algues.

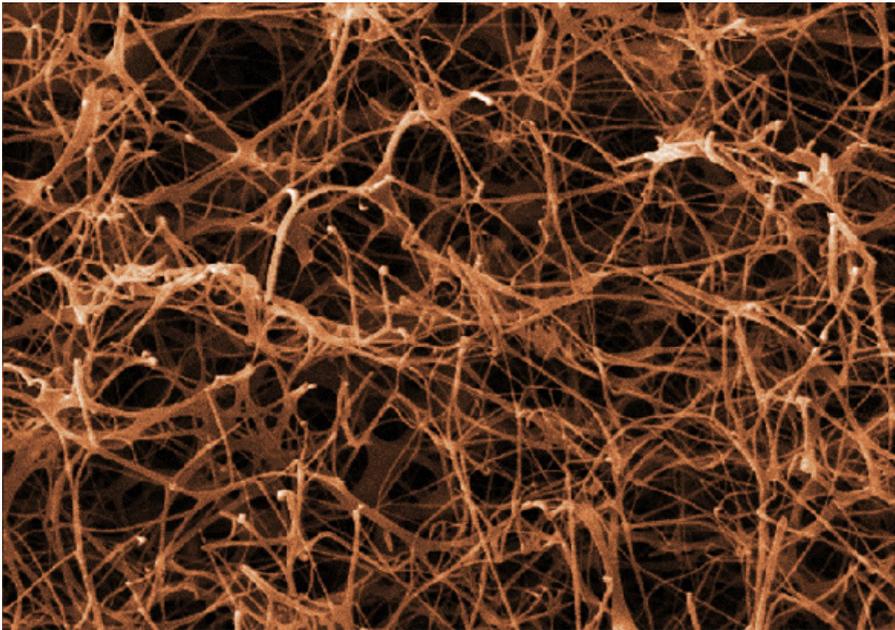
<sup>6</sup> Bactéries vivant à des températures comprises entre 20°C et 40°C.

<sup>7</sup> Les saccharoses, les lactoses, le glucose, la glycérine, l'alcool et les acides organiques sont des sources riches en carbone pour l'Acetobacter.

<sup>8</sup> Métabolisme nécessitant de l'oxygène pour son fonctionnement. L'oxygène lui permet de dégrader les glucides, les lipides et protéines.

## 2.2. Caractéristiques physico-chimiques

En m'appuyant sur la littérature scientifique et par le biais d'expérimentations, j'ai identifié les caractéristiques spécifiques à la cellulose bactérienne. Elle possède une structure plus cristalline que la cellulose végétale. L'organisation spatiale de ses fibres ultrafines lui confère une résistance mécanique particulièrement élevée. Elle est donc capable de résister à des tractions élevées. La cellulose bactérienne a des propriétés de rétention d'eau, elle est biocompatible et antimicrobienne, ce qui la rend intéressante pour la médecine régénérative. Elle a également des caractéristiques plastiques intéressantes : elle est moulable, pliable et collable. À noter que ces caractéristiques varient selon en fonction de l'épaisseur de la cellulose.



SEM micrographie de cellulose bactérienne - Publiée dans Journal of Functional Biomaterials (2012)

Crédits image - Fernando Gómez Torres, Solene Commeaux, Omar P. Troncoso

## 2.3 Culture bactérienne

La cellulose bactérienne est un biofilm visqueux poussant à la surface d'une culture symbiotique de bactéries et de levures. Cette feuille de matière élastique s'épaissit à la surface du milieu aqueux afin de protéger les micro-organismes des éléments extérieurs<sup>9</sup>. Elle peut être cultivée grâce à une souche de bactérie pure ou d'un symbiote<sup>10</sup> (Scoby).

Le développement de la cellulose prend plusieurs jours, la rapidité de croissance dépendant des conditions du milieu. En effet, pour produire de la cellulose, l'Acetobacter a besoin d'un milieu riche en oxygène, ayant une température comprise entre 20 et 30 degrés, avec un PH compris entre 4 et 6. Au plus le milieu sera riche en sucres, au plus la production cellulosique sera efficace et qualitative. Une fois séchée, la cellulose présente des qualités plastiques unique.

### 2.3.1. Scoby, mère de Kombucha

Scoby est l'acronyme anglais de « Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast » est une souche de bactéries de l'espèce Acetobacter (Gluconacetobacter, Acetobacter xylinium et Lactobacillus) et de levures (Saccharomyces) qui vivent en symbiose l'une avec l'autre sous la forme d'un disque de matière, aussi appelé « mère de Kombucha » à l'instar d'une « mère de vinaigre ». La souche mère flotte dans le milieu aqueux et permet aux cellules de remonter à la surface d'un milieu riche en oxygène en formant une nouvelle couche de cellulose. A l'origine, le Scoby est utile à la fermentation de boisson à base de thé sucré tel que le Kombucha<sup>11</sup>. D'autres aliments et boissons fermentés – comme le kéfir, la bière au gingembre et le pain au levain – nécessitent ce type de cultures symbiotiques pour fermenter. Les ferments transforment les glucides tels que le sucre ou l'amidon en alcool et/ou en acide acétique.

<sup>9</sup> D'autres bactéries, microbes ou insectes peuvent polluer le bassin de culture de cellulose. Il faut pour cette raison, le recouvrir d'un tissu.

<sup>10</sup> Ensemble formé par un ou deux organismes vivant en symbiose.

<sup>11</sup> Boisson acidulée obtenue grâce à une culture symbiotique de bactérie et de levures dans un milieu sucré.

## 2.2.4. Recette de cellulose à base de Kombucha

Ingrédients : Thé vert (10g), 1l d'eau, 80 gr de sucre, un SCO-BY (Culture de Kombucha)

### Étape 1

Faire bouillir l'eau. Ajouter le thé et le sucre et laissez infuser 5 min. Laissez-le refroidir à moins de 30 ° Celsius, n'utilisez pas de thé chaud dans la préparation (au-dessus de 35 ° C), car cela peut tuer la culture bactérienne de départ. Lorsque la température du mélange de thé est inférieure à 30 degrés Celsius, versez dans un bocal en conserve stérilisé. N'utilisez pas de récipient en céramique ou métallique (si vous voulez boire le Kombucha).

### Étape 2

Ajoutez la culture de départ : une autre boisson au Kombucha, la pellicule de kombucha ou du vinaigre de pomme biologique. Couvrir avec un chiffon ou une serviette en papier ; il est important de laisser l'échange gazeux se produire, mais nous devons éviter la contamination de la culture. Laisser fermenter à une température de 25 à 28 degrés Celsius en évitant la lumière. La croissance de la mère Kombucha, ou « Scoby », est un processus de croissance s'étalant sur sept à quatorze jours (à partir d'une culture de démarrage) en fonction des conditions environnementales, atteignant une épaisseur de sept à douze millimètres.

### Étape 3

Récoutez la pellicule de culture Scoby du pot, lavez-la soigneusement à l'eau du robinet en éliminant la levure (brins bruns) et laissez-la tremper dans l'eau pendant quelques jours si vous voulez vous débarrasser de l'odeur d'acétique. Puis placez-le sur un morceau de bois ou un autre type de surface où il sèche en évitant la lumière directe du soleil.

## 2. 2.5. Recette de cellulose à base de bactérie pure (Acetobacter)

Ingrédients : 5g de Peptone, 5g de extraits de levures, 1,15g d'acide citrique, 6,8g d'Hydrogénophosphate de sodium ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), 20g de glucose, 800ml d'eau, 200ml d'eau

### Étape 1

Dans un récipient, préparez le peptone avec les extraits de levures, l'acide citrique et le  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ . Rajoutez-y 800ml d'eau et mélangez bien.

### Étape 2

Dans un autre récipient, mélangez 20g de glucose dans 200 ml d'eau.

### Étape 3

Placez les deux récipients dans le stérilisateur réglé à  $120^\circ\text{C}$  et laissez stériliser pendant 20 minutes. Ensuite laissez refroidir.

### Étape 4

Ajoutez quelques micro-grammes de bactéries pures que vous aurez cultivées au préalable dans de l'agar-agar. Laissez fermenter dans un incubateur à  $30^\circ\text{C}$  pendant 3 à 4 jours. Vous obtiendrez un film de cellulose bactérienne transparente.

### **3. ECO-MATERIAUX : matériaux biofabriqués**

Ces dernières années, le milieu du design a vu apparaître une tendance reposant sur la création de nouvelles matières. Ces matériaux, faits de fibres naturelles et biodégradables, s'adressent à la problématique de la gestion des déchets plastiques, intrinsèquement liée à la pratique du design industriel. Fabriqués par des micro-organismes comme du mycelium ou des bactéries, à la frontière entre conception et expérimentation scientifique, ces matériaux conçus par des micro-organismes remettent en cause notre manière de percevoir la matière ou de fabriquer un objet.

#### **3.1. Mycelium Composites**

Le mycelium est l'appareil végétatif<sup>12</sup> des champignons. Il est formé par un ensemble de filaments appelés hyphes qui s'étend comme une toile autour du champignon, sur et dans le sol et participe à la décomposition des matières organiques. Il est, depuis quelques années, très recherché pour ses propriétés cohésives. En l'additionnant à des déchets agricoles comme des restes de céréales ou de chanvre, il est possible d'en mouler des formes. Les déchets nécessitent d'être stérilisés puis placés dans l'obscurité pendant cinq jours. Pendant ce temps le mycelium formera un réseau de microfibrilles blanches entre et autour du substrat en se nourrissant sur celui-ci. Une fois démoulé, la forme est recuite afin de stopper la croissance du mycelium et d'éviter l'apparition de champignons et de spores. Cette technologie pourrait remplacer la totalité des packagings en polystyrène expansé grâce à ses propriétés plastiques et sa faculté à amortir les chocs. Ces propriétés s'avèrent utiles à protéger différents types de produits pendant le transport comme des appareils électroniques, bouteilles en verre, ect. Les composites à base de mycelium sont aussi testés pour remplacer certains matériaux de construction.

<sup>12</sup> Ensemble des organes d'un organisme végétal qui assure sa croissance.



Jonas Edvard - Myx Lamp



David Benjamin - Living Matter

### **3.2. Biocouture et innovations médicales**

A ce jour, la cellulose bactérienne est testée et utilisée dans différents domaines et sous différentes formes : en médecine, dans la mode et le design d'objet et dans l'industrie agro-alimentaire. Pour la mode et le textile, le projet « Biocouture » de Suzanne Lee : au lieu d'exploiter les plantes comme le coton ou d'utiliser des matières dérivées du pétrole, Lee propose d'utiliser des bactéries pour faire pousser un matériau plus éthique et plus écologique capable de se substituer au cuir animal. Peu après, une étudiante diplômante du Royale Collage of Art a exploité la bactérie *k.rhaeticus* en développant une nouvelle forme de « tissage microbien ». Elle met notamment cette approche biotechnologique en œuvre dans la confection d'une chaussures ultra futuriste. Dans le design de produit, la cellulose bactérienne a été utilisée pour ses propriétés acoustiques dans le projet d'un nouveau casque audio aux matières renouvelables. En médecine interne et régénératrice, la cellulose bactérienne représente de nombreuses pistes d'avenir : déjà utilisée comme compresse hydratante pour grand brûlés et testée dans le remplacement de vaisseaux sanguins, elle a plus récemment fait l'objet de recherches biomédicales dans la création de tissus cartilagineux (oreille et nez) grâce au développement d'une imprimante 3D capable pour nanocellulose.



Jen Keane- This is grown



Suzanne Lee - Biocouture

## **4. Fabriquer à la manière du vivant ?**

Dans le monde du vivant, économiser les ressources et l'énergie est primordiale pour assurer la survie des écosystèmes. De la même manière, en limitant les dépenses d'énergie et de ressources dans la fabrication des matériaux destinés à l'emballage, on diminue leur impact environnemental. Cette analyse met en évidence l'étendue de ce qu'implique la fabrication et la transformation de ces matériaux au regard de l'élaboration d'un nouveau matériau.

### **4.1. Cellulose bactérienne versus plastique**

Les plastiques, principaux constituants des emballages, sont obtenus par le biais de nombreuses transformations. En effet, Après le raffinage de pétrole vient la polymérisation, puis aux polymères sont ajoutés des adjuvants et des additifs. On obtient alors la matière plastique. Celle-ci sera ensuite façonné, moulé, extrudé, injecté ou thermoformée. Tout ce processus nécessite l'utilisation d'énergie fossile et génère des gaz carboniques. La Commission européenne estime ainsi que la production et l'incinération du plastique est responsable de l'émission 400 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> dans le monde chaque année. Désormais, la production de plastique ne se calque plus sur un besoin réel mais sur la disponibilité de matières fossiles à bas prix. Quant à la cellulose bactérienne, elle est produite comme dans la nature à des températures modérées, dans l'eau et à un rythme respectant les ressources disponibles. Cette production n'est cependant pas exempte de consommation d'énergie ou de ressources. Pour fabriquer de la cellulose à base de Kombucha, nous avons vu qu'il faut porter une certaine quantité

d'eau à ébullition pour pouvoir y infuser le thé. La recette nécessite également l'ajout de quantité considérable de sucre et de vinaigre. La croissance de la cellulose peut, elle, se faire à température ambiante, entre 20°C et 30°C.

#### **4.2. Cellulose bactérienne versus papier**

Sur le plan environnemental, la cellulose bactérienne semble plus intéressante que la cellulose végétale autant au niveau de sa consommation de ressources que d'énergie. La cellulose bactérienne est produite à partir d'une souche de bactéries non pathogènes et les produits chimiques requis dans l'entièreté du processus sont naturels et ne sont pas toxiques. La fabrication de la pâte à papier, elle, nécessite de monter à des températures comprises entre 100 et 175°C et l'utilisation de produits chimiques comme le bisulfite (acide) et le chlore ou dioxyde de chlore, parfois dangereux, pour blanchir le papier. Ces produits sont toxiques et leur rejet dans l'environnement fait l'objet de contrôles. Au niveau de sa consommation en eau, la cellulose bactérienne est nettement plus intéressante que la cellulose végétale. En effet, fabriquer une feuille de papier de format A4 nécessite l'utilisation d'environ 5l d'eau. Alors que la fabrication d'une feuille de cellulose bactérienne nécessite deux voir trois fois moins d'eau. C'est à dire qu'on utilise 1 à 2 l d'eau par feuille de matière.

### 4.3. Exemples de productions industrielles

Les éco-matériaux sont à bien des égards enthousiasmants. Mais l'aspect expérimental de ces procédés laisse des interrogations quant à la rationalisation de leur production. Ces dernières années, quelques productions de ce type se sont mises en place. Comment passer de l'expérimentation à la production? Est-il envisageable de produire la cellulose bactérienne à plus grande échelle ? Quels sont les exemples industriels existants et que nous apprennent-ils ?

La cellulose bactérienne peut se cultiver dans toutes sortes de récipients, dans une solution aqueuse et sucrée, à température ambiante. Les cultures doivent être protégées des facteurs extérieurs comme les insectes et autres microbes et bactéries. Ce type de culture bactérienne est déjà utilisé dans la fabrication de produits agro-alimentaire comme le thé kombucha et la nata de coco. Le thé kombucha est une boisson acidulée originaire de Chine et de Russie, traditionnellement préparé à base de thé vert ou noir et obtenue grâce à la fermentation de thé et de sucre par une culture symbiotique de bactérie et de levures (Scoby). Cette boisson est produite dans des grandes cuves ou des petites jarres en verre entreposées sur de grandes étagères dans des hangars.

Dans la production de Nata de coco, une cellulose gélatineuse et comestible à base d'eau de coco originaire des Philippines, les bacs de culture sont entreposés les uns sur les autres. Les feuilles de nata sont récoltées au bout de environ sept jours. Elles sont ensuite rincées, et découpées en petits cubes pour être ensuite cuisinées puis conditionnées. Ces deux exemples nous montrent que cultiver de la cellulose bactérienne à plus grande échelle est possible, en imaginant une infrastructure adaptée aux besoins de la production, traversant toutes les étapes de la culture du biofilm à sa mise en forme.

#### **4.4. Valoriser les déchets localement**

Au sein de l'écosystème des décomposeurs, les déchets organiques sont recyclés localement par des dizaines d'espèces de micro et macro-organismes. De cette manière, les déchets deviennent des ressources. A l'heure d'une économie mondialisée et basée sur la productivité, dans laquelle la plupart des emballages et produits que nous consomons viennent d'ailleurs, il est plus qu'important de questionner le modèle de production actuel. Et si on utilisait les ressources et déchets locaux pour produire des matériaux ? Cette approche systémique inspirée par la nature et pour une économie localisée est de plus en plus présente dans le domaine du design de produit. J'ai retenu quatre matériaux innovants et très actuels qui reflètent cette volonté de mettre la valorisation locale au centre de la question.

Ecor est un matériau composite, alliage de fibres de cellulose et assemblé grâce à la pression de l'eau et de la chaleur. Les panneaux peuvent être fabriqués à partir de différentes déchets comme du vieux papier, du carton, du marc de café, du chanvre, du coton, des pailles de riz ou n'importe quel matériau à base de plantes. En fonction des acteurs du territoire, le sourçage des matières premières varie.

MycoComposite se base sur le même principe de valorisation de déchets locaux. Ce matériau utilise des sous-produits agricoles comme le chanvre, en les assemblant entre eux grâce au mycelium, structure filamenteuse provenant du champignon, dans des moules prévu à cet effet. Au bout de quelques jours, cet appareil végétatif aura consolidé l'ensemble en épousant les formes du moule. Ce composite concurrence avec les packaging en Polystyrène expansé et remplit sa fonction de callage. Une fois servi, il se décompose en un peu plus d'un mois dans la terre.

Chaque jour 19 000 tonnes de marc de café sont produites dans le monde et finissent pour la plupart en décharges. Kaffeeform est une entreprise allemande qui récupère ce marc pour fabriquer des gobelets réutilisables. Ceux-ci se composent de copeaux de bois et de marc de café assemblés grâce à une résine naturelle. Kaffeeform collabore avec des acteurs et producteurs locaux.

Enfin, voici un dernier exemple de matériau issu de valorisation de déchets. MarinaTex est le projet de fin d'étude d'une étudiante anglaise. Chaque année, l'Angleterre produit quelques 172,000 tonnes de déchets de pêche. Lucy Hughes a eu l'idée de combiner ces déchets avec des algues pour fabriquer des films de bioplastique transparents. Ce matériau innovant présente de nombreuses propriétés communes avec la plastique sans être issu du pétrole. Il se dégrade simplement en quelques semaines dans un compost ménager. Ce projet fait l'objet de recherches plus poussées, pour peut-être à l'avenir remplacer une partie des matières plastiques dans l'emballage. La seule critique qu'on pourrait y trouver, est que ce projet se base sur la pêche intensive qui a des conséquences désastreuses sur la biodiversité marine. Autrement dit ce projet, même si il est inspirant, se calque sur un modèle tout aussi problématique que le plastique, la surexploitation des océans.



Bioplastic bag - Marina Tex  
Crédits image - Lucy Hugues



Material made from coffee grounds  
Crédits image - Kaffeeform



Ecovative - Mycocomposite  
Crédits image - Mycocomposite

## Partie 2

# Grownplast : polymère cultivé à base de déchets organiques

La Belgique est l'un des plus gros producteurs de frites et de bières au monde. Ce patrimoine, bien qu'unique, génère également une grande quantité de sous-produits et déchets. Le projet s'articulera autour de ces ressources belges, et plus particulièrement autour des brasseries, en associant la dimension locale à la création d'un matériau éco-logique : Grownplast, une cellulose élaborée par des micro-organismes à partir de déchets organiques.



## **1. INTRODUCTION**

Nous l'avons vu, la cellulose bactérienne est une matière aux qualités nombreuses et fabriquée naturellement grâce à l'action de micro-organismes. Comment s'emparer de cette technologie de la nature pour concevoir un nouveau matériau répondant à la problématique actuelle de l'emballage ? Et comment intégrer la dimension locale dans un projet d'emballages ?

## **2. CO-PRODUITS ET DECHETS ORGANIQUES BELGES**

Dans cette première phase de recherche, j'ai mené une étude de contexte sur les déchets organiques et sous-produits de l'industrie agro-alimentaire belge. Ceci dans le but de produire un nouveau matériau pour l'emballage, basé sur les ressources du territoire. Dans un premier temps, j'ai identifié deux secteurs très présents en Belgique : le secteur brassicole et le secteur de la pomme de terre. Plus précisément, ces secteurs correspondent à deux produits très particuliers à la Belgique : la bière et les frites. En effet, ces produits constituent une partie du patrimoine belge. Mais la production de bière et de frites génère inévitablement des co-produits et déchets organiques. On estime à environ 450 000 tonnes<sup>13</sup> par an la quantité d'épluchures de pomme de terre générée à cause de la production de frites industrielles. Tandis que le secteur brassicole, sur la totalité de la Belgique, éliminerait plusieurs millions de litres d'effluents sur une année.

### **2.1. Industrie de la pomme de terre**

La pomme de terre est un tubercule très cultivé en Belgique. On estime la production à environ 5 millions de tonnes pour l'année 2019<sup>14</sup>. Le pays exporte et consomme énormément de pomme de terre et est aussi très présent dans le secteur de la transformation. La pomme de terre se consomme sous toutes ses formes : purée, chips, croquettes et frites. Environ

<sup>13</sup> Estimation personnelle selon les chiffres annuels de production de pomme de terre

<sup>14</sup> Statistiques de Belgapom 10/04/2020

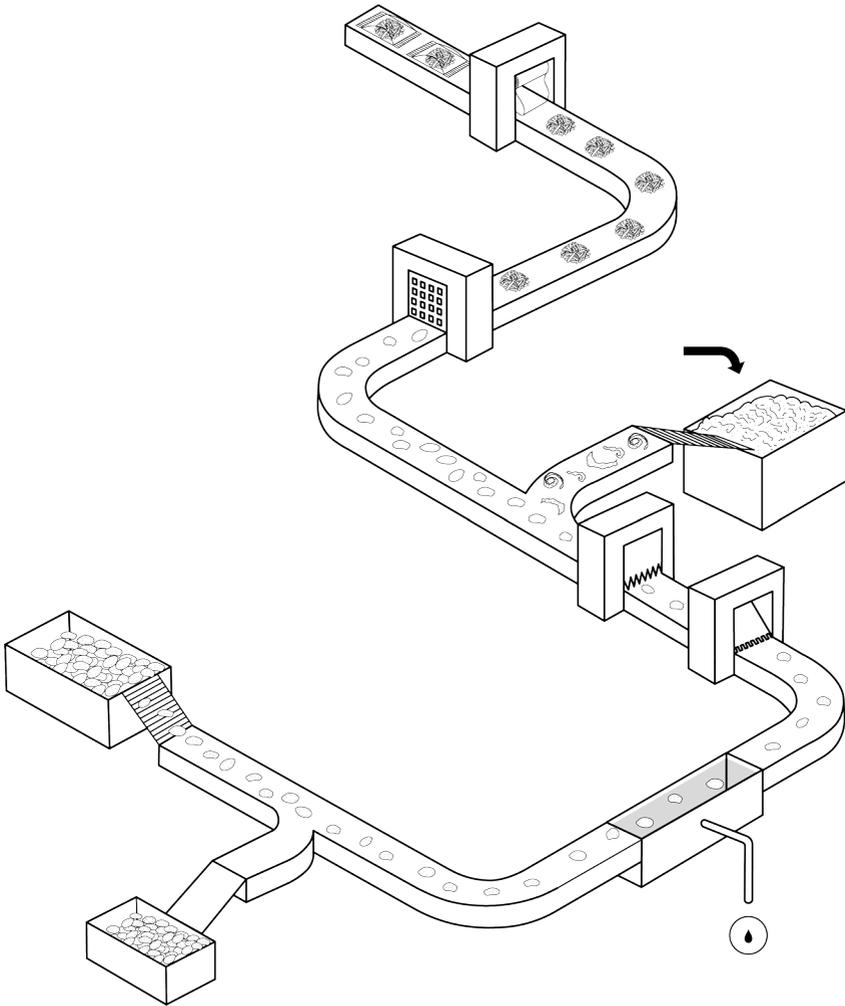
2,3 millions de tonnes de frites sont produites chaque année par l'industrie belge. Cette transformation génère deux types de déchets principaux : des pelures et des effluents<sup>15</sup> d'eau et d'amidon. Il existe déjà certaines filières de valorisation pour ces co-produits. Ils sont utilisés soit pour l'alimentation animale ou pour l'épandage<sup>16</sup> des cultures.

### 2.1.1. Procédé industriel

À leur arrivée, les pommes de terre sont contrôlées et celles qui ne sont pas conformes sont écartées de la production. Elles passent ensuite au triage où elles sont calibrées et triées de manière à réserver à chaque fabrication (frites et grenailles) le calibre qui convient le mieux. Enfin, elles sont lavées et épierrées. Les pommes de terre sont soit épluchées par une éplucheuse abrasive, puis par une éplucheuse à couteaux ou par une injection de vapeur qui détachera leur peau. Les pelures sont en général récoltées via un autre circuit et utilisées dans l'alimentation animale. Toutes ces étapes génèrent des effluents qui se composent d'eau, d'amidon et de matières organiques en suspension. Ces eaux doivent être filtrées avant d'être rejetées dans les égouts.

<sup>16</sup> Technique agricole consistant à répandre divers produits sur des zones cultivées, forêts, voies ferrées et marais. L'épandage de déchets organique contribue à fertiliser les sols cultivables.

## 2.1.2. Les co-produits de la fabrication de pomme de terre



## 2.2. Les brasseries

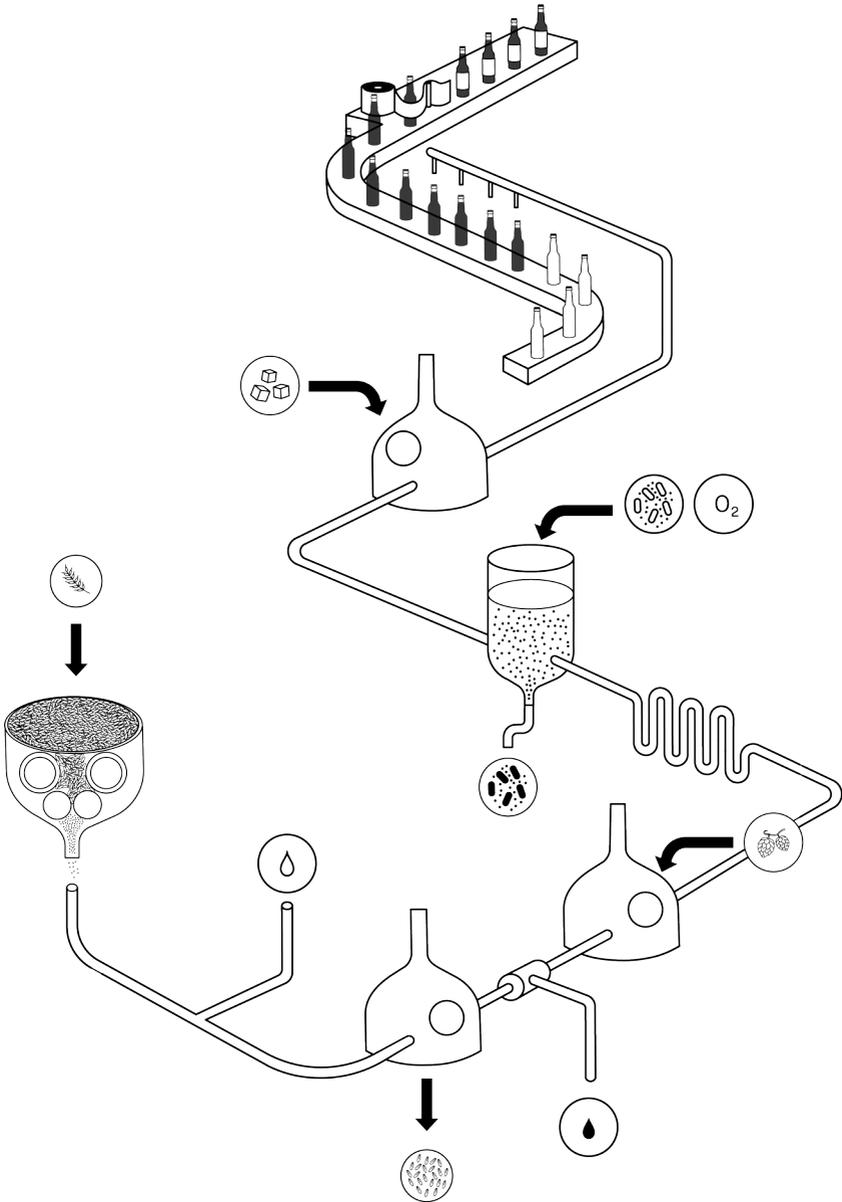
La Belgique ne compte pas loin de 300 brasseries. Annuellement, environ 2,3 milliards de litres de bière sont produits dans le pays. La fabrication nécessite l'utilisation de grandes quantités d'eau et en rejette également une quantité considérable. Selon plusieurs sources, la production de 100 litres de bière générerait, suivant les infrastructures, entre 200 à 600 litres d'eaux résiduelles. Ces eaux sont principalement des eaux de rinçage des drèches<sup>17</sup>. Elles sont riches en sucres et contiennent des matières en suspension. Ces eaux sont sujettes à des traitements avant d'être rejetées dans les égouts.

### 2.2.1. Procédé industriel

L'empâtage est la deuxième étape dans la production de bière, elle suit l'étape de concassage du malt et consiste à extraire les sucres présents dans les céréales. L'empâtage consiste à mélanger les grains de malt concassés à de l'eau chaude pour obtenir une pâte qu'on appelle la maïsche ou brassin. Ce mélange est ensuite amené à différentes températures afin d'activer le travail de certains enzymes qui contribueront, au cours d'une réaction biochimique, à transformer l'amidon en sucres simples. A la fin de l'étape d'empâtage, on obtient un jus de céréales sucré, appelé le moût, qui contient des matières fermentescibles par des levures. Après le trempage des céréales dans la cuve d'empâtage pour en extraire le sucre, les drèches sont rincées pour en dégager les derniers sucres. La cuve est ensuite vidée, avec elle les restes de drèches et l'eau de rinçage.

<sup>17</sup> Les drèches sont les résidus d'orge cuite qui restent dans la cuve après la cuisson de la bière et le soutirage du moût.

## 2.2.2. Les co-produits et déchets de brasserie



### **3. EXPERIMENTATION D'UNE NOUVELLE RECETTE**

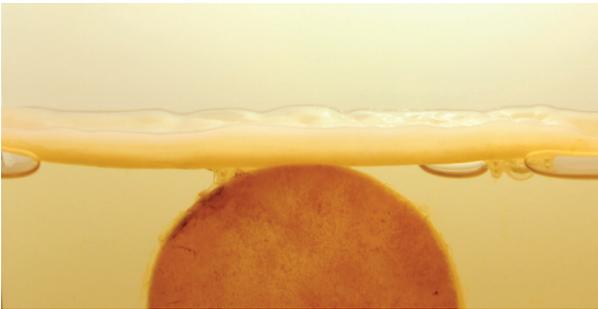
Comme nous l'avons vu précédemment, il existe à ce jour deux manières de produire de la cellulose bactérienne : à partir de thé Kombucha ou en cultivant des bactéries pures dans un médium riche en glucose. Néanmoins, ces recettes présentent des désavantages. En effet, la recette de Kombucha nécessite l'utilisation de thé noir ou de thé vert. Or, l'utilisation de thé comme matière première dans l'élaboration du biopolymère est source d'émissions de carbone, car il est principalement importé de pays lointains comme la Chine et l'Asie du Sud-Est. Il ne saurait dès lors trouver de sens dans la réflexion environnementale qui guide ce projet de recherche. Il est également possible de synthétiser de la cellulose bactérienne en laboratoire, sur base d'un mélange d'eau, de composés chimiques (hydrogénophosphate de sodium, acide citrique, glucose, peptones) et de bactéries pures. Ce procédé de fabrication est trop cher et ne représente pas une piste intéressante pour produire en quantité. Ces dernières années, plusieurs recherches ont tenté de trouver de nouveaux procédés de fabrication de cellulose bactérienne à partir de déchets de l'industrie agro-alimentaire. Ma recherche s'inscrit dans cette mouvance. L'élaboration d'une recette basé sur l'approvisionnement en déchet locaux a deux buts principaux. Cela pourrait représenter à la fois une piste plus écologique mais aussi plus économique pour la fabrication de cellulose bactérienne.

#### **3.1. Premiers tests**

J'ai commencé par effectuer des tests sur différents co-produits comme dont le jus de cuisson de betterave, le marc de pomme, de carotte et de raisin, ainsi que les pelures de pommes de terre et les eaux de brasseries. Tous les tests ont été réalisés avec des souches de Scoby. Les cultures ont été mises en fermentation dans un incubateur à 28°C pendant une période d'une semaine. Elles ont ensuite été récoltées et séchées sur une planche de bois durant une journée.



Petri d'Acetobacter pure dans un médium d'agar-agar



Croissance de la cellulose à la surface du milieu aqueux



Biofilm avant séchage

### 3.1.1. Résultats

<b>Scooby + ...</b>	<b>Résultats</b>
1. Betterave + 1 c.à.s de vinaigre	Echec : aucun signe apparent de la création d'une couche cellulosique
2.Marc de pomme + 1 c.à.s de vinaigre	Une couche de cellulose semble se créer mais elle est très fine et irrégulière
3.Marc de carotte + 4 c.à.s de vinaigre	Cellulose existante mais très irrégulière
4.Marc de raisin	Cellulose épaisse de 1 cm environ, relativement régulière
5.Marc de raisin + 2 c.à.s de vinaigre + 1 c.à.s de sucre	Cellulose épaisse mais irrégulière
6.Mélasse de canne → 600 ml d'eau démi + 4 c.à.s de mélasse	Cellulose épaisse de 1 cm environ et assez régulière
7.Mélasse de canne + 4 c.à.s de vinaigre	Cellulose fine mais uniforme
8.Pelures de pomme de terre	Cellulose opaque blanchâtre, régulière et lisse.
9.Pelures de pomme de terre + 2 c.à.s de vinaigre + 1 c.à.s de sucre	Cellulose opaque blanchâtre, régulière et lisse.
10.eaux de brasserie +vinaigre	Cellulose fine
11.eaux de brasserie + ethanol 70% (2 sprays) + 1 c.à.s de sucre	Cellulose régulière de quelques milimètres

### 3.1.2. Conclusion

Suite aux résultats des tests montrés ci-dessus, j'ai abandonné plusieurs pistes : la betterave, la carotte et la pomme n'ont pas montré assez d'efficacité. Ces cultures n'ont pas produit de cellulose. La mélasse de canne, diluée dans de l'eau, a produit une cellulose dense et solide, mais en séchant, l'échantillon dégageait une odeur très forte et un touché collant. Le marc de raisin, lui, produit une cellulose dense et qualitative. Mais en séchant, la cellulose de marc de raisin est fragile et cassante. Quant aux eaux de brasserie et aux pelures de pomme de terre, elles ont montré une efficacité certaine dans la production de cellulose. Je décide donc de poursuivre les tests sur ces deux sujets.

### **3.2. Expérimentation autour des pelures de pomme de terre**

Afin d'extraire les molécules de sucre (glucose) nécessaires à la fabrication de cellulose bactérienne, il faut faire une décoction des épiluchures de pomme de terre dans de l'eau : les épiluchures sont plongées dans l'eau froide jusqu'à atteindre l'ébullition, celle-ci étant maintenue pendant 10-15 min. Ensuite on laisse le mélange refroidir jusqu'à atteindre la température ambiante. L'eau chargée en amidon est ensuite mélangée à du vinaigre acétique afin d'augmenter l'acidité du milieu de culture.

Après plusieurs essais-erreurs, j'ai conclu que les cultures contenant le plus sucre et d'amidon produisent une cellulose de qualité supérieure. Il faut environ 7 jours pour obtenir une cellulose d'épaisseur suffisante.

La recette de cellulose à base de pelures de pommes de terre nécessite une concentration d'environ 100g/l de pelures. Mais les pelures ne semblent pas suffire à apporter le sucre à la production du biofilm. Il faut donc rajouter environ 80g/l de sucre. Il faut aussi ajouter 100ml/l de vinaigre blanc afin d'équilibrer le PH du milieu.

### **3.3. Expérimentation autour des eaux usées de brasserie**

Les eaux de brasseries sont riches en sucres. C'est un liquide brun clair ou foncé selon le type de bière. J'ai testé plusieurs effluents issus de la production de différentes bières : bière blanche, bière blonde, bière brune et bière noire. Le liquide nécessite simplement d'être filtré avant son utilisation car il contient des résidus de drèches qui sont périssables.

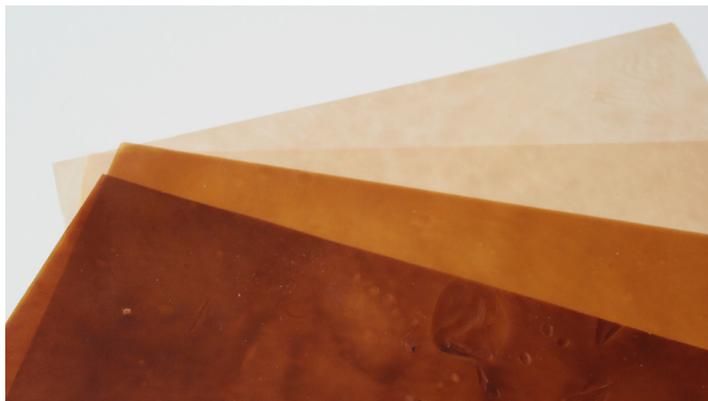
Au bout de quelques jours, le mélange à base des résidus de brassage permet de voir pousser une cellulose épaisse et régulière de plusieurs millimètres à la surface de la culture. La recette semble être très efficace.

La recette de cellulose à base d'eaux usées de brasseries ne nécessite aucun ajout de sucre car elle profite des sucres naturellement contenus dans les céréales utilisées dans la production de bière.

### **3.4. Comparaison et conclusion**

Les eaux de brasseries sont intéressantes à bien des égards dans la production de cellulose. Cette formule ne nécessite aucun ajout d'eau, ni de sucre. De plus, la recette à base de bière est plus efficace que la cellulose de thé Kombucha. Elle permet d'obtenir de la cellulose quasiment deux fois plus vite. J'ai décidé d'abandonner la production de cellulose à partir de pelures de pommes de terre car celle-ci n'était pas assez efficace et nécessitait trop de transformations du déchet et d'adjuvant. Cette recette trouve donc moins son sens dans une logique d'économie de ressources et de moyens.

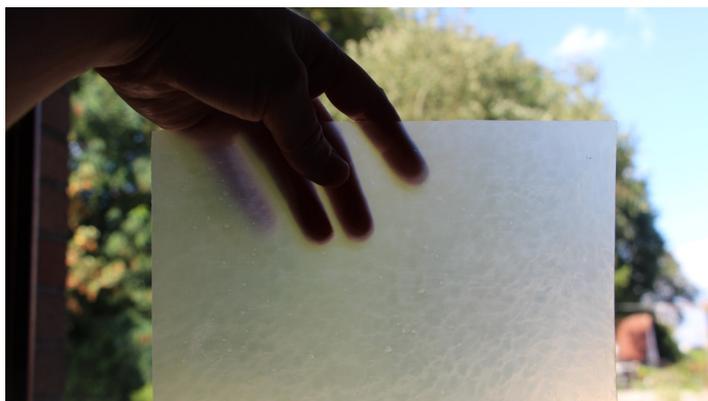




Echantillonnage des teintes  
Crédits image - Marilyns Tran



Grownplast - Film de biopolymère  
Crédits image - Marilyns Tran



Grownplast - Film de biopolymère en transparence  
Crédits image - Marilyns Tran

### 3.6. Biodégradation de la cellulose bactérienne

La cellulose bactérienne étant un biopolymère, elle est biodégradable selon plusieurs études scientifiques. La capacité des organismes cellulolytiques (bactéries : Firmicutes, Bacteroidetes et Actinobacteria) à dégrader la cellulose dépend des propriétés physico-chimique de celle-ci et notamment sa cristallinité : au plus ses fibres seront cohésives entre elles (grande cristallinité), au moins les micro-organismes auront facile à dégrader cette matière<sup>17</sup>. La cellulose étant le biopolymère le plus abondant sur terre, on retrouve une grande variété de bactéries cellulolytiques dans la nature, indispensable dans les cycles naturels du carbone. On les retrouve dans le tube digestif des animaux mais également en grande quantité dans le sol.

Deux méthodes ont été testées quant à la dégradation de la cellulose : la dégradation enzymatique et par hydrolyse d'eau ou acide<sup>18</sup>. Il existe à ce jour très peu, voire aucun test mené sur la dégradation de cellulose bactérienne en compost domestique et/ou industriel. Les données expérimentales ont démontré que l'hydrolyse acide détruisait le lien entre les molécules de cellulose et entraînait la dégradation du matériau<sup>6</sup>. Cette étude montre aussi que les zones amorphes de la cellulose sont plus facilement dégradables que les zones cristallines. À noter que ces tests ont été menés sur de la cellulose bactérienne synthétisée en laboratoire.

#### 3.6.1. Expérience de biodégradation sur Grownplast

J'ai moi-même mené une expérience autour de la dégradation de la cellulose bactérienne en compost. Au cours de l'expérience, une feuille de cellulose d'une superficie de 25cm<sup>2</sup>, fabriquée à partir de déchets organiques, fût placée dans une boîte transparente remplie de compost ménagé. Pendant deux semaines, j'ai photographié toutes les étapes de la dégradation de la cellulose.

<sup>17</sup>Alvarez, Ruseckaite et al.(2006)

<sup>18</sup>W. Park et al. (2003)



J1



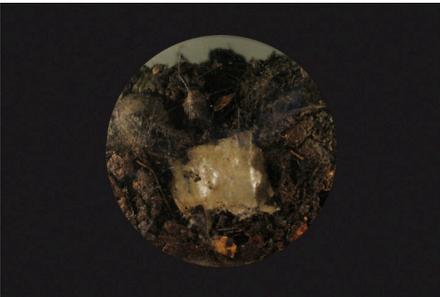
J2



J3



J4



J5



J6



J7



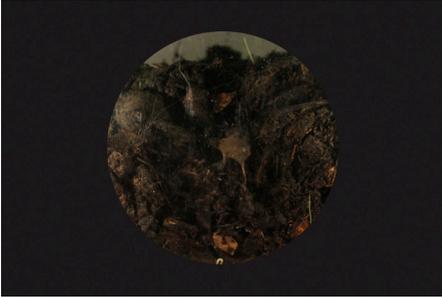
J8



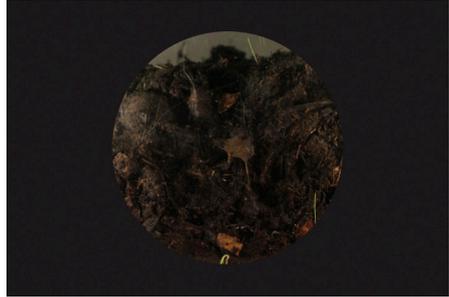
J9



J10



J11



J12



J13

### 3.6.1..Expérience de biodégradation sur Grownplast

Dès le deuxième jour, l'échantillon commence à s'humidifier et se ramollir. Durant le troisième et le quatrième jour, il change de teinte et s'affaisse : les micro-organismes du compost sont déjà à l'action. On observe qu'à partir du cinquième jour, les macro-organismes (insectes et vers) commencent à creuser des trous dans l'échantillon de matière. C'est à partir du septième jour que le processus de décomposition s'accélère. Au bout d'une douzaine de jours, il aura complètement disparu.

« Nous sommes à la veille d'une révolution des matériaux comparable à ce qu'a été la révolution industrielle par rapport à l'âge de fer. Nous entrons, et c'est un bon en avant, dans une nouvelle ère des matériaux. Je pense qu'au cours du 21<sup>ème</sup> siècle, les biomiméticiens modifieront significativement notre mode de vie ».

Mehmet Sarikaya, professeur en science et génie des matériaux, université de Washington. Dans *Biomimétisme, quand la nature inspire des innovations durable*, Janine Benyus.

## 4. Perspectives

Mon projet questionne donc notre modèle actuel de production dans l'idée de trouver une alternative durable aux matières plastiques dans l'emballage. À quoi ressembleront les matériaux de demain ? Ceux-ci seront très probablement amenés à être fabriqués sans pétrole et devront être capables, d'une part, de répondre aux exigences du secteur de l'emballage, tout en se basant, d'autre part, sur un nouveau contexte où l'économie de ressources deviendra primordiale. Le sourçage, l'extraction, la transformation des matières premières devront être pris en compte dans une réflexion écologique qui favorise l'utilisation de ressources renouvelables ou de déchets. À savoir qu'un tel changement nécessite dès à présent une prise de conscience des pouvoirs publics, des acteurs du secteur de l'emballage et des consommateurs.

Après avoir exploré différents aspects de cette question d'alternative au plastique d'emballage et esquissé des pistes de réponses, il me semble important de mettre ma proposition en perspective. Grownplast est un matériau transparent, souple, résistant. Il est fabriqué naturellement par des micro-organismes au cours d'un processus de fermentation ne nécessitant aucune énergie fossile. Grownplast convient à fabriquer de l'emballage et du support d'information. À mi-chemin entre le plastique et le papier, il est transparent et permet d'entrevoir le contenu emballé. Il se plie comme du papier. Et on peut aussi y imprimer de l'information et le coller de manière facilement réversible sur différentes surfaces comme du verre ou du carton. À terme, il se décompose en quelques jours seulement dans un simple compost ménager. Cependant, ce matériau présente aussi des limites. Sa tendance à absorber l'humidité le rend difficilement imperméable et il n'a pas encore été testé pour le contact alimentaire. Il est très probable que ce matériau ne pourrait pas remplacer tous les types d'emballages.

Concernant le concept, le projet s'intéresse dans un premier temps aux ressources Belges. Des milliers de litres sont rejetés par les brasseries chaque année. Et si on centralisait ces déchets en vue de les valoriser ? Et si ce gisement de déchets, une fois transformé, pouvait remplacer une grande partie des emballages utilisés en Belgique ? Mais le projet pourrait aller encore plus loin. À travers mes recherches, j'ai découvert qu'il était possible de fabriquer de la cellulose bactérienne à partir de différents ressources, tout en gardant le même procédé. Il serait donc envisageable d'adapter le concept à d'autres régions fonctionnant avec d'autres ressources, moyennant en expérimentation de recettes basée sur les déchets locaux disponibles. La production et la distribution d'emballages s'appuierait alors sur la création d'un écosystème de partenaires et de fournisseurs tout en contribuant à l'économie de locale.

Pourra-t-on, à terme, repenser notre conception de la « fabrication » en collaborant avec des micro-organismes, dans le respect du vivant et en s'inspirant de ses cycles ? Les défis pour l'humanité sont nombreux, mais des pistes pour les réaliser existent !

# BIBLIOGRAPHIE

Acetobacter Xylinum. Microbe Wiki : l'encyclopédie libre [en ligne]. Dernière modification de la page le 19 février 2016 à 19 :13. [Consulté le 3 avril 2020]. Disponible à l'adresse : [https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Acetobacter\\_xylinum](https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Acetobacter_xylinum)

Valentin B. et Perera D. (2013). Production de cellulose bactérienne pure [Rapport de recherche]. Grenoble : INP Pagora Ingénierie

KULA Daniel, TERNAUX Elodie. Plastique. In Materiology. Amsterdam, Basel : Frame Publishers, Birkhäuser Verlag, 2013, p.66-68.

Acetobacter Xylinum. Microbe Wiki : l'encyclopédie libre [en ligne]. Dernière modification de la page le 19 février 2016 à 19 :13. [Consulté le 3 avril 2020]. [https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Acetobacter\\_xylinum](https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Acetobacter_xylinum)

La pollution plastique en mer : le septième continent. Encyclopédie de l'environnement [en ligne]. Dernière modification de la page le 27 juin 2018. [Consulté le 10 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.encyclopedie-environnement.org/eau/pollution-plastique-en-mer/>

M.BENYUS, Janine. Biomimétisme, quand la nature inspire des innovations durables. Rue de l'échiquier. 75011 Paris : Thomas Bout, 2011,2017, 502 p.

TIBBITS Skylar, KINNEY Leila, CONOVER Roger, BAUDOIN Patsy, HILLER Anastasia, PAPADOPOULOU Athina. Biocouture, Suzanne Lee. In Active Matter. Massachusetts Institute of Technology, 2017, p.180-182.

Belgapom, 2020. Le secteur belge de la pomme de terre a connu une croissance en 2019, mais la crise du coronavirus impactera les chiffres en 2020. Belgapom [en ligne]. 10/04/2020.[Consulté le 17/04/2020]. Disponible à l'adresse : <https://belgapom.be/fr/blog/>

BILLOUEZ, François, 2016. Frites Billouez [enregistrement vidéo]. YouTube [en ligne]. 15 novembre 2016. [Consulté le 18 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=Y2xLiqwV48w>

Belgapom, 2020. Le secteur belge de la pomme de terre a connu une croissance en 2019, mais la crise du coronavirus impactera les chiffres en 2020. Belgapom [en ligne]. 10/04/2020.[Consulté le 17/04/2020]. Disponible à l'adresse : <https://belgapom.be/fr/blog/>

BILLOUEZ, François, 2016. Frites Billouez [enregistrement vidéo]. YouTube [en ligne]. 15 novembre 2016. [Consulté le 18 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=Y2xLiqwV48w>

Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems [archive]. *Environmental pollution*, 100(1), 179-196

