

Nom du candidat : GARNIER

Prénoms : Alexandre Henri Jean-Pierre

N° Candidat : A BCPST - 40750

Noms des auteurs en cas de travail commun

Logann FEVRE 54322

Alexis DUVAL ?

Dominante BIOLOGIE

Dominante GÉOLOGIE

MIXTE

Surligner la dominante du TIPE

BANQUE AGRO-VETO – Session 2025

T.I.P.E.

Maximum 8 pages (illustrations comprises), Times New Roman 12 ou Arial 10, interligne simple.

20 000 caractères maximum

IMPORTANT : n'inscrire sur cette couverture aucune référence à l'établissement scolaire

TITRE : Comparaison de bioplastique à base de polymères animal ou végétal

RÉSUMÉ (en six lignes) :

Notre TIPE à pour objectif de rechercher des alternatives aux plastique fait à partir de dérivé de pétrole. Pour cela nous avons fabriqué nos propres bioplastiques à base d'amidon et de chitosan, que l'on a par la suite comparés sur différents critères à un plastique biosourcé, et biodégradable. D'abords sur la vitesse de dégradation, puis sur la résistance physique des plastiques face à une force. Tout cela dans le but de déterminer les différent usage potentiel de nos bioplastiques en fonction du polymère utilisé (ici, amidon ou chitosan).

Nombre de caractères (espaces compris) : 15 886

Le document doit être constitué au format A4 avec en couverture cette présentation.

Les plastiques sont composés de polymères organiques majoritairement composés de matière fossile souvent associé à des additifs [1]. La matière plastique est aujourd'hui au cœur des problèmes environnementaux : sa fabrication et combustion émet des gaz à effets de serre et sa mauvaise dégradation conduit à la pollution des océans et des sols [2]. Par exemple, l'ingestion des plastiques est dangereuse pour les êtres vivants aquatiques [1]. Des substituts au plastique sont actuellement recherchés comme les bioplastiques à base de polymères renouvelables et biodégradables, fait par exemple d'amidon ou de chitosan [3], avec des méthodes de fabrication beaucoup moins polluantes qu'un plastique classique. Les industriels commencent donc à **transformer** des polymères végétaux ou animaux en polymères plastiques, ce qui par la même occasion permet de **convertir** des déchets (comme les carapaces de crustacés permettant d'obtenir des polymères de chitosan) en matériaux utiles. La création de ces bioplastiques permet donc aux industriels d'effectuer une **transition** écologique entre les plastiques polluants et les plastiques biosourcés. Cependant pour renforcer leurs résistances, les industriels sont amenés à ajouter des additifs comme par exemple l'amidon thermoplastique (TPS) ou encore le polyéthylène glycol (PEG) dans leurs processus de fabrication [4]. Les propriétés de ces additifs sont encore assez peu étudiées mais certains se sont avérés dangereux comme le bisphénol A qui a des effets mutagènes, cancérigènes et toxiques sur les êtres vivants [5]. Afin de limiter l'usage de ces additifs, nous avons voulu tester **dans quelle mesure des bioplastiques sans intrant pouvaient remplir certaines des fonctions du plastique, tout en étant plus rapides à dégrader.**

Dans un premier temps nous avons mis au point la fabrication de deux types de bioplastiques sans utiliser d'additifs. L'un avec de l'amidon, et l'autre avec du chitosan. Par la suite, nous avons comparé le temps de dégradation de ces bioplastiques dans un sol et leur résistance physique à l'étirement par rapport à des bioplastiques industriels.

I/ Mise au point de la fabrication des bioplastiques

Le protocole de fabrication des bioplastiques a été établi à partir de la thèse de Marie Matet en 2014 [6] qui consiste en la fabrication d'un plastique en mélangeant le polymère à du glycérol et de l'acide acétique (remplacé pour nous par du vinaigre blanc à 8% d'alcool) en le mélangeant pendant plusieurs minutes.

Une difficulté majeure fut d'obtenir une épaisseur de plastique similaire entre celui au chitosan et celui à l'amidon. Pour y parvenir, nous avons testé :

- l'ajout d'eau dans le protocole pour rendre la préparation plus fluide ;
- différentes concentrations d'amidon et de chitosan (12g, 22,5g de polymère pour 270 mL de vinaigre) de façon à obtenir un aspect et des propriétés du plastique souhaitées ;
- la façon de faire sécher les plastiques (séchage à l'étuve à 50° ou à 25° ou séchage à l'air libre) ;
- le temps de séchage (entre 5 et 14 jours à l'air libre, entre 4 et 7 jours à l'étuve).

Le temps de séchage va jouer sur la résistance des plastiques car on a pu remarquer que les plastiques encore humides rompaient beaucoup plus facilement que des plastiques secs. La façon de faire sécher les plastiques de manière plus ou moins violentes joue également sur les propriétés des plastiques : par exemple pour les plastiques au chitosan, on a pu remarquer que lorsqu'ils sont séchés à 50° à l'étuve ils sont beaucoup plus cassants que les autres séchés à l'air libre ou à 20° à l'air libre.

Finalement, nous avons mis au point le protocole suivant : 15g de polymère (amidon ou chitosan) sont mélangés à température ambiante avec une baguette en verre dans 270 mL de vinaigre blanc et 6 ml de glycérol. Le mélange est porté à ébullition, dans une pièce bien ventilée tout en remuant sur une plaque chauffante à environ 130° (figure 1) puis versé dans un moule en silicone de dimension 36 cm par 27 cm (figure 2). Puis il est séché à l'air libre durant une semaine.



Figure 1 : Chauffage des mélanges bioplastiques

Après séchage, on obtient des plaques de plastique (figure 3) où l'on a remarqué que les bordures sont plus épaisses de 0.2mm environ que le reste de la plaque, elles sont donc éliminées. Pour les expériences suivantes, les plastiques fabriqués sont comparés à un plastique biosourcé industriel respectant les normes ISO-16620-2 et NF T51-800, utilisé dans un magasin de grande distribution. Les épaisseurs de nos bioplastiques, mesurées à l'aide d'une vis micrométrique, sont de $0,385 \pm 0.050$ mm pour le bioplastique-chitosan et de 0.395 ± 0.049 pour le bioplastique-amidon. Nous avons ainsi pu utiliser des fragments d'épaisseurs comparables.



Figure 2 : Plastique d'amidon coulé dans un moule



Figure 3 : Plaque de plastique de chitosan démoulée

III/ Test de biodégradation des bioplastiques

Nous avons cherché à comparer la dégradation de nos bioplastiques et du plastique industriel en laboratoire sur un modèle de sol argilo-calcaire.

A/ Protocole

10 bacs contenant 10.35×10^3 centimètre cube de terre provenant de champs appartenant à une exploitation agricole biologique sont placés en intérieur dans une pièce exposés à la lumière naturelle et à température ambiante (20°) (figure 4). Ces bacs sont arrosés d'eau du robinet qui a été laissée reposer à l'air libre durant 30min de façon à éliminer le chlore de l'eau, et cela pour maintenir

un milieu de dégradation optimal. Pour chaque bac, 3 échantillons de 5cm sur 5cm de chaque plastique sont pesés à l'aide d'une balance de précision (à 0.001g près) puis déposés à la surface de la terre. Chaque semaine pendant 10 semaines, les résidus de plastique restants d'un bac sont retirés, nettoyés minutieusement à l'eau en récupérant les morceaux macroscopiques puis séchés à l'air libre et enfin pesés. Le pourcentage de décomposition est calculé avec la formule : masse initiale de l'échantillon sur la masse après décomposition de ce même échantillon.



Figure 4 : Échantillons de plastique mis en décomposition dans les différents bacs

B/ Résultats et interprétation

En comparant la masse sèche du plastique d'origine et celle du plastique dégradé, on obtient un pourcentage de dégradation des plastiques au cours du temps (figure 5).

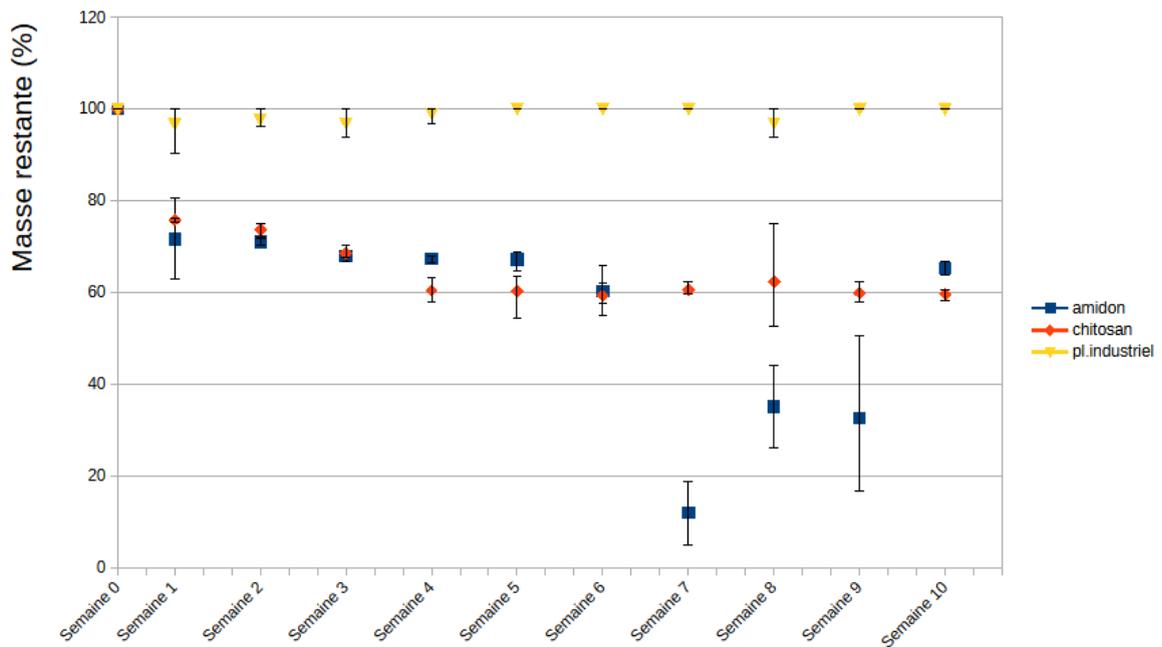


Figure 5 : Graphique de la dégradation au cours du temps des différents plastiques

On remarque que le plastique d'amidon et de chitosan se dégrade plus vite que le plastique industriel. Dès la première semaine, il ne reste environ que 75% de la masse initiale des plastiques aux chitosan et à l'amidon, tandis que la masse de polymère industriel stagne. Cependant au fil des semaines, aucun plastique au chitosan ou à l'amidon ne se démarque réellement l'un de l'autre. La chute de masse de l'amidon de la semaine 7,8 et 9 étant due à un élément imprévu durant l'expérience, la colonisation des plastiques d'amidon par des champignons. Ces derniers ont visiblement eu un très gros impact sur la dégradation des plastiques d'amidon, et il serait intéressant d'étudier plus en profondeur l'impact du milieu de dégradation (avec champignon ou non par exemple) sur la vitesse de dégradation. Nos bioplastiques ont donc bien une capacité de biodégradation supérieure à celle des plastiques biosourcé industriels.

III/ comparaison de la résistance à la traction :

Le plastique est un composant très présent dans différents objets du quotidien, ainsi il faut que ces plastiques puissent supporter d'être soumis à diverses forces comme celles de la traction qui s'exerce notamment dans les sacs utilisés pour porter différents objets lors d'achats dans un magasin par exemple.

A- Protocole

Pour calculer la force de traction exercée sur le plastique, on fixe à deux extrémités du plastique des pinces métalliques avec, entre le plastique et les pinces, des morceaux de mousse plastique pour éviter que le plastique ne se coupe (figure 6). Une des deux pinces est reliée à un dynamomètre qui permettra de mesurer la force de traction exercée sur le plastique ; et l'autre pince est reliée à un contenant qui permettra de rajouter une masse d'eau ou de sable (figure 7). Une difficulté majeure fut d'empêcher les morceaux de plastique de glisser des pinces sous l'effet de poids important, nous avons donc testé différents montages et nous avons retenu le montage figure 6. Entre chaque ajout d'eau, l'allongement du plastique est mesuré au bout de 30 secondes. La mesure s'achève lors de la rupture du plastique. De plus, afin de comparer les différents plastiques étant donné qu'ils ne font pas la même épaisseur on peut utiliser la loi de Hooke, qui exprime la contrainte σ en fonction de la force sur la surface où elle s'exerce ($\sigma=F/S$).

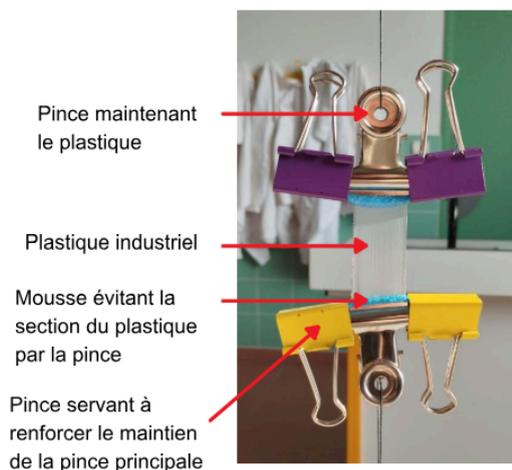


Figure 6 : Montage permettant le maintien du plastique

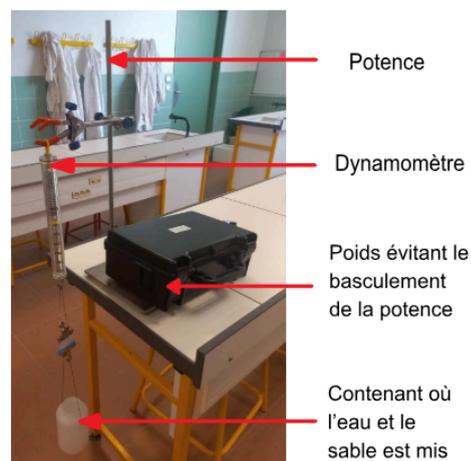


Figure 7 : Montage réalisé pour les tests de traction

B- Résultats et interprétations

Nous présentons l'allongement des plastiques en fonction de la force exercée sur ceux-ci à partir de l'étude de 10 échantillons provenant d'une seule plaque de plastique pour le plastique industriel (figure 8), le plastique de chitosan et le plastique d'amidon (figure 9).

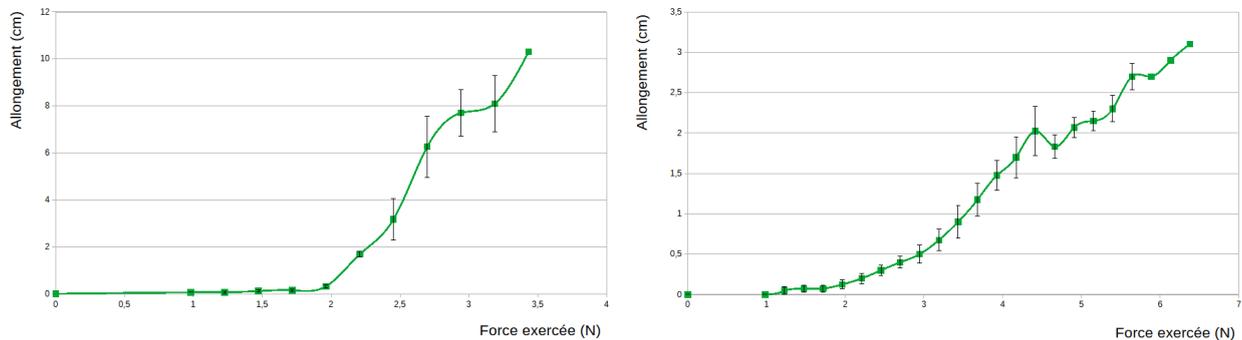


Figure 8 : Allongement du plastique industriel en fonction de l'étirement (échantillons les plus faibles à gauche, et les plus résistants à droite) - Barre d'erreur = incertitude sur la moyenne des résultats

On a remarqué lors des tests de traction sur le plastique industriel que les échantillons suivaient deux comportements différents : une partie des plastiques va s'allonger rapidement sous une faible force et l'autre partie va s'allonger plus lentement mais tout autant que les premiers. Cela peut être dû à des défauts de composition dans le plastique car ils sont réalisés à partir de plastique recyclé, ce qui fait que la composition du plastique ne doit pas être homogène. Ces deux types d'échantillons ont donc été séparés en deux graphiques ci-dessus.

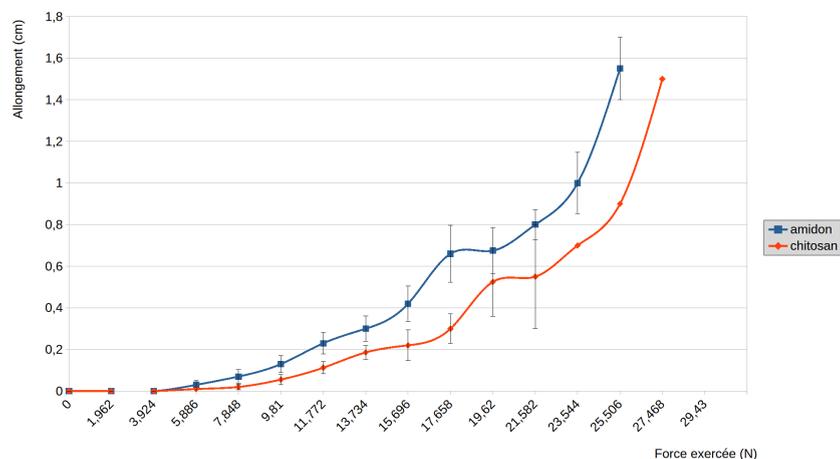


Figure 9 : Allongement des plastique d'amidon et de chitosan en fonction de l'étirement - Barre d'erreur = incertitude sur la moyenne des résultats

On peut remarquer que l'allure de l'allongement des plastiques d'amidon et de chitosan suivent la même allure en fonction de la force exercée. On peut observer que les plastiques de chitosan sont plus résistants à la traction que ceux à l'amidon mais ils s'allongent légèrement moins que ceux à l'amidon : le plastique à l'amidon rompt un peu plus tard sous une force d'environ 22N alors que le chitosan se rompt sous une force de 16N. On remarque donc que le plastique au chitosan a un comportement un peu plus cassant que le plastique d'amidon, il n'auront donc pas la même utilité dans les utilisations dans l'industrie.

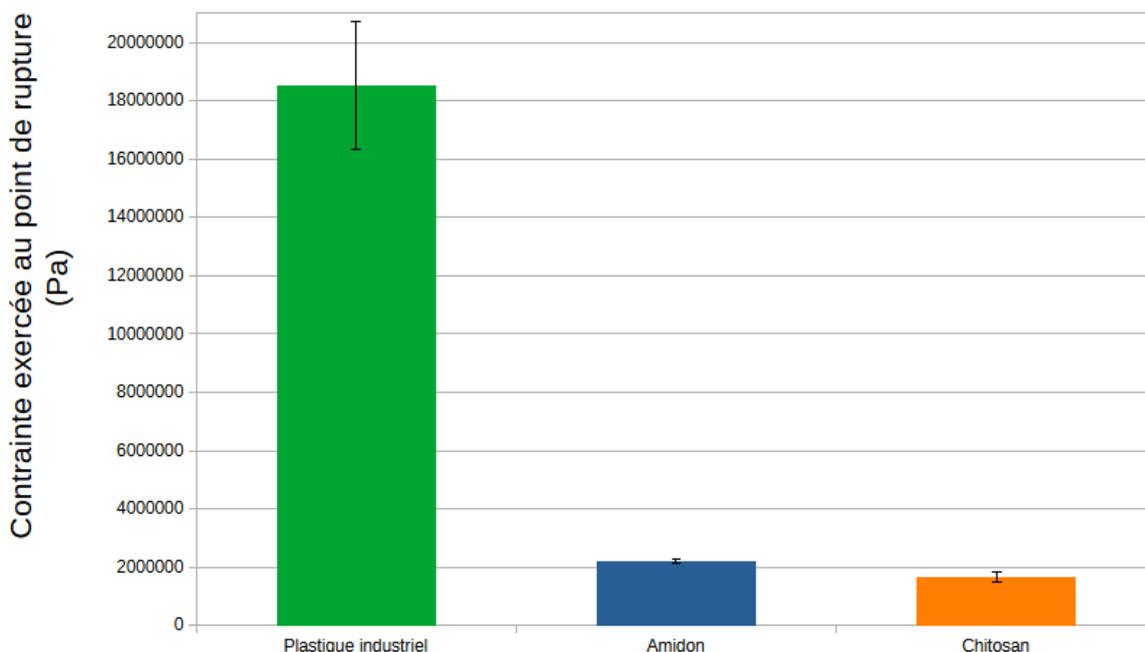


Figure 10 : Histogramme de la contrainte moyenne exercée aux points de rupture des plastiques - Barre d'erreur = incertitude sur la moyenne des résultats

De plus, en comparant les contraintes de ruptures moyenne, on remarque que le plastique industriel cède sous une contrainte plus importante ($\sigma = 1,85 \cdot 10^7$ Pa) que le plastique au chitosan ($\sigma = 1,67 \cdot 10^6$ Pa) ou à l'amidon ($\sigma = 2,2 \cdot 10^6$ Pa). Le plastique industriel peut donc être utile dans des cas où cela nécessite un plastique plus souple, alors que les plastiques à l'amidon et au chitosan serviront pour diverses fonctions qui nécessitent un plastique plus rigide. Cependant, les plastiques actuels à l'amidon et au chitosan de notre fabrication restent fragiles, il faudrait donc trouver un moyen de les rendre un peu plus résistants.

CONCLUSION

Pour conclure, nous avons montré que les bioplastiques fabriqués à partir de polymères végétal ou animal, et sans intrant supplémentaire, se dégradent plus rapidement, même comparé à un plastique biosourcé. Cependant on peut s'interroger sur des problématiques éventuelles si ces plastiques sont produits à grande échelle : par exemple les difficultés de séchage et d'homogénéité de ces plastiques et le temps nécessaire à leur fabrication.

Ces bioplastiques présentent une résistance plus faible à l'étirement par rapport aux biosourcés industriels. Cependant, ce défaut peut être compensé avec une plus grande épaisseur des bioplastiques, afin qu'ils puissent avoir une résistance comparable aux industriels. De plus, leur résistance, et leur capacité à s'allonger ou non face à une contrainte, pourrait déterminer différents usages de ces bioplastiques en fonction de leurs compositions. Par exemple, les plastiques en chitosan s'allongeant moins que ceux à l'amidon. On peut donc considérer qu'ils seront plus à même de remplir des tâches où le matériau ne doit pas se déformer, comme une pochette de rangement plastique par exemple. Alors qu'à l'inverse, ceux en amidon seraient plus utiles pour fabriquer un sac plastique, qui nécessite une certaine élasticité.

Finalement, les bioplastiques tels que ceux que nous avons fabriqués peuvent bel et bien remplir certaines fonctions que les plastiques industrielles peuvent réaliser, tout en étant plus

biodégradable. Avec des méthodes de fabrication améliorées, ils pourraient représenter un bon moyen de substitution aux plastiques fait à base de pétrole, ou ceux contenant des intrants, mais leur résistance moindre reste encore un trop grand problème afin de pouvoir les commercialiser dans le contexte actuel.

PERSPECTIVES

Plusieurs autres tests et comparaisons auraient été également très intéressant à mettre en oeuvre, comme:

- réaliser les mêmes expériences sur d'autres types de plastiques : nous avons voulu tester de réaliser des plastiques à base de cellulose mais la fabrication de ces plastiques nécessitait des temps de fabrication très long (7 à 8h), les rendant complexe à réaliser ;
- réaliser les expériences avec un plastique d'origine non biosourcés afin d'avoir un témoin pour vérifier que ce type de plastique se dégrade beaucoup moins bien que nos plastique biosourcés ;
- réaliser des tests sur la souplesse des plastiques afin de déterminer les utilisations potentielles de nos bioplastiques : un plastique rigide servira pour créer des objets solides qui n'ont pas besoin de beaucoup changer de forme, alors qu'un plastique souple peut servir à créer des objets pouvant se déformer si besoin. Par exemple, ceux au chitosan, semblent bien plus rigides que ceux à l'amidon, et se brisent s'ils sont trop pliés, là où l'amidon résiste.
- faire varier les méthodes de fabrication des bioplastiques, comme la méthode de séchage qui influe sur la rigidité du plastique. Ou encore les proportions de produits, comme par exemple les proportions de glycérol qui jouent sur l'élasticité du plastique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ACHOURI, Sabiha, Les microplastiques dans les rivières et eaux de surfaces, exploration des méthodes d'échantillonnages et analyses en laboratoire : préparation à une application à l'exutoire de deux stations d'épurations Arlon et Libramont, mémoire : pages 31-32,
<https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/10115/7/Mémoire%20de%20fin%20d%27étude%20final.pdf>
- [2] BELLAHCENE, Mohamed, Les matières plastiques et leur impact sur l'environnement, Revue Algerian Petroleum Institute, volume 3, numéro 1 : pages 38-39,
<https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/225/3/1/21239.pdf>
- [3] AUTEUR ANONYME, (05/12/2023). Les bioplastiques comme alternative au plastique conventionnel. Kairos-jourdain. Consulté le 17/10/2024.
<https://www.kairos-jourdain.com/fr/blog/les-bioplastiques>
- [4] LABONTÉ, Michel, Les bioplastiques dans les emballages rigides : le matériau, sa mise en forme et sa modélisation, thèse : pages 18-19
https://publications.polymtl.ca/1365/1/2014_Michell_abonte.pdf
- [5] MICHALOWICZ, Jaromir, Bisphénol A - Sources, toxicité et biotransformation, Revue Environmental toxicology and pharmacology, volume 37, numéro 2 : pages 738-758,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1382668914000313>
- [6] MATHET, Marie, Préparation de films à base de chitosane par voie fondue, thèse,
https://publications.polymtl.ca/1451/1/2014_MarieMatet.pdf