

RAPPORT FINAL PTS

Majeure : Santé Biotech

Intitulé du sujet : Quantification de la résistance d'un matériau biosourcé pour des applications en orthopédie : acidité et torsion

Nom de l'encadrant : Michèle KANHONOU, Clément DUHART, Marc TEYSSIER

Numéro de l'équipe : SB_PTS_02

Date de rédaction : 17/03/2022

Membres de l'équipe

Prénom	NOM
Rémi	DUCHEZ
Téo	SAMENAIRE
Olivia	TORTOSA
Julie	TROUCHKINE

TABLE DES MATIERES

SYNTHÈSE	3
INTRODUCTION	4
OBJECTIFS ET LIVRABLES DU PROJET	5
Objectif 1 : Etat de l'art	5
Objectif 2 : Choix du matériau	7
Objectif 3 : Fabrication du cuir de kombucha	8
GESTION ET ORGANISATION DU TRAVAIL	9
NORMES	10
RESULTATS	11
I. L'acidité	11
a) Le protocole expérimental	11
b) Imperméabilisation du cuir de kombucha	12
c) Résultats observés	12
d) Conclusion sur la résistance au pH	14
II. La torsion	15
a) Le protocole expérimental	15
b) Résultats observés	16
c) Conclusion sur la résistance à la torsion	17
CONTRAINTES	18
CONCLUSION	19
BIBLIOGRAPHIE	20
ANNEXES	22

SYNTHÈSE

Le secteur du médical évolue sans cesse pour s'adapter aux nouveaux besoins de notre époque. Les matériaux biosourcés, répondant aux enjeux écologiques, sont de plus en plus utilisés dans tous les domaines. Nous souhaiterions les utiliser pour la fabrication d'orthèses, un dispositif médical qui doit s'adapter aux mouvements du corps et soutenir les articulations. Le cuir de kombucha est un biomatériau qui semble plus que prometteur. En effet, sa fabrication à faible coût et nécessitant peu de connaissances chimiques ainsi que sa forte ressemblance esthétique au cuir d'origine animale, sont autant d'atouts attrayants pour son utilisation.

Nos recherches montrent néanmoins que ce matériau risque de se dégrader à force de contact prolongé avec la peau. Des études complémentaires, notamment sur l'imperméabilisation, sont nécessaires pour se prononcer quant à l'utilisation du cuir de kombucha pour la fabrication d'orthèses.

INTRODUCTION

Les orthèses sont des dispositifs médicaux permettant de maintenir et stabiliser une articulation ou d'aider à la réalisation de mouvements nécessitant une aide extérieure. Etant en contact avec le corps humain, les orthèses doivent s'adapter au potentiel hydrogène¹ (pH) de la peau, être solide et léger et doivent pouvoir s'adapter aux mouvements demandés par l'articulation soutenue.

Les principaux matériaux utilisés dans la fabrication d'orthèse sont l'aluminium, le carbone, le silicone, les tissus élastiques ou encore la résine. Toutes ces matières représentent un coût économique et écologique pour les fabricants d'orthèses. Nous savons que les biomatériaux sont d'ores et déjà utilisés dans les secteurs médicaux, néanmoins ils sont principalement constitués de métal ou de tissus organiques ce qui rend la réalisation des orthèses coûteuse et difficile d'un point de vue technique.

Les biomatériaux issus de la culture des plantes sont de plus en plus courants dans le design d'objets du quotidien, tels que des chaises, des lampes, et également dans le milieu de la mode. Actuellement, les recherches pour le médical sont peu nombreuses, pourtant l'utilisation de ressources biodégradables devient progressivement une nécessité dans tous les secteurs. Il est donc pertinent de nous intéresser à l'emploi de biomatériaux pour la fabrication d'orthèses. Ainsi nous nous demandons :

La constitution d'un biomatériau est-elle adaptée à des applications orthopédiques ?

Nous nous intéressons en particulier à la résistance aux différents pH, et notamment le pH de la peau humaine, ainsi qu'à la résistance aux contraintes de torsion pouvant être réalisées par le corps.

Nous verrons dans ce rapport le choix de notre biomatériau pour les expérimentations, les protocoles mis en place ainsi que les résultats obtenus nous permettant de poser une conclusion quant à la faisabilité de son utilisation en orthopédie.

¹ Grandeur permettant de quantifier le caractère acide ou basique d'une solution.

OBJECTIFS ET LIVRABLES DU PROJET

Guidés par notre encadrante Mme KANHONOU, nous avons choisi plusieurs objectifs intermédiaires nous permettant de structurer nos recherches et répondre à notre problématique.

Notre premier objectif fût de réaliser un état de l'art afin d'apercevoir les connaissances actuelles sur les biomatériaux et plus particulièrement les recherches réalisées pour des applications médicales. Puis nous avons choisi le biomatériau que nous souhaitons étudier ainsi que la maîtrise de sa fabrication. Par la suite, nous avons cherché et mis en place un protocole expérimental pour les essais de résistance au pH. Puis nous l'avons mis en œuvre sur nos premiers spécimens de cuir de kombucha. En parallèle, nous avons également réfléchi au protocole pour étudier la résistance en torsion de notre matériau. Et enfin, notre dernier objectif fut la réalisation des expériences de torsion.

Objectif 1 : Etat de l'art

Un **biomatériau** est une substance ou matière destinée à être implantée dans un organisme vivant pour remplacer la fonction d'un organe ou d'un tissu. Ils sont donc utilisés à des fins médicales et doivent respecter les contraintes liées au corps humain, répondre aux exigences de biocompatibilité.

Par exemple, le matériau ne doit pas provoquer de réactions allergiques ou des maladies lorsqu'il est en contact avec l'organisme. Il faut également prendre en compte les contraintes physiques et mécaniques des mouvements du corps.

Le terme « biomatériau » désigne au même titre les matériaux dit biosourcés, c'est-à-dire fabriqués à partir de matières premières renouvelables d'origine biologique. Leur principal avantage est leur aspect biodégradable. Cela montre un grand progrès pour l'environnement et provoque donc un fort engouement auprès des chercheurs et ingénieurs. Nos recherches se concentrent sur les biomatériaux à la fois biosourcés et à utilisations médicales.

Les dernières avancées en matière de biomatériaux pour la santé montrent que leurs utilisations sont variées, pouvant aller des prothèses dentaires les plus simples à la thérapie cellulaire en passant par la fabrication de trachée artificielle.

Différents biomatériaux sont actuellement étudiés dans le domaine de la médecine : l'acide biliaire, la cellulose, les alliages de métaux, etc. En revanche, dans les domaines du design et de la mode nous retrouvons d'autres types de biomatériaux comme les algues, les champignons ou encore le sucre de canne.

Notre sujet propose l'utilisation de bioplastiques issus de la culture d'algues. Nous nous intéressons donc à la fois aux biomatériaux dont le matériau de base est l'algue et les bioplastiques en général.

Les **algues** constituent aujourd'hui un pan entier du développement de la chimie du végétal. Que ce soit pour des biotechnologies dites bleues², ou comme matière première pour des matériaux biosourcés, ceci du fait de leur richesse en polymères.

L'algoculture ou phycoculture désigne la culture en masse des algues dans un but industriel et commercial. Ce domaine concerne aussi bien les microalgues que les macro-algues. Le but de cette activité aquacole est de produire aussi bien des aliments, des compléments alimentaires, des produits vétérinaires et pharmaceutiques, des cosmétiques, des matières bioplastiques, des fertilisants ou encore des sources d'énergies renouvelables (algoturbinant et biogaz). Plus récemment, les algues sont utilisées dans les nanobiotechnologies et le génie génétique.

Le terme **bioplastique** désigne des matériaux de deux types, ceux de matières plastiques biosourcées (issues de la biomasse) et ceux de matières plastiques biodégradables, y compris issues de ressources fossiles.

La fabrication d'un bioplastique à partir d'algues est relativement longue et complexe. Les 4 étapes par lesquelles passent les algues sont :

- Le broyage
- Le pressage
- La centrifuge
- Les traitements enzymatiques (séparation et extraction des molécules d'intérêt)

Ce sont en général davantage les macro-algues que les microalgues qui sont utilisées dans la production de plastique car elles possèdent une biomasse plus importante et peuvent facilement être récoltées dans l'environnement naturel. Les bioplastiques produits à partir d'algues peuvent avoir une forte odeur ou une couleur prononcée dues aux algues (contrairement au bioplastique à base d'amidon de maïs par exemple). Cependant, plusieurs entreprises se sont déjà lancées dans la réalisation de produits plastiques utilisant des algues telles que Algoturbinant, NaturePlast et Eranova en France.

² Application de la biologie marine à d'autres domaines telles que l'informatique, la génétique ou la physique.

Objectif 2 : Choix du matériau

Nos interlocuteurs au De Vinci Innovation Center (DVIC) nous ont présenté les différents matériaux biosourcés sur lesquels ils travaillent. Parmi eux, le cuir de kombucha s'est démarqué par sa simplicité de fabrication et son aspect organique.

Le **kombucha** est un SCOBY (Symbiotic Cultures of Bacteria and Yeast), c'est une symbiote, c'est-à-dire un milieu naturel qui abrite deux organismes différents : les levures et les bactéries. Ces deux organismes vivent ensemble en symbiose mutualiste. Cela signifie que la cohabitation leur est bénéfique à tous les deux. En proliférant dans un milieu liquide adéquat, les organismes produisent une pellicule de cellulose à la surface. Celle-ci est épaisse et particulièrement soudée, elle est en réalité composée de plusieurs couches comme un millefeuille.

L'avantage du kombucha est que sa culture est facilement réalisable à partir d'ingrédients trouvables en cuisine, tels que le thé, le sucre et le vinaigre. Seule la souche de kombucha, qui permet de démarrer la culture, ne peut se trouver dans le commerce. En effet, chaque nouvelle culture démarre à partir d'une pellicule précédente appelée « mère », qui prolifère à nouveau dans son nouvel environnement pour donner naissance à son tour à une pellicule.

Le kombucha peut donc être cultivé avec des ingrédients facilement trouvables en grande surface et également peu onéreux. De plus, sa membrane est très prometteuse pour de nombreux domaines d'applications. Les fibres formant la pellicule du kombucha sont composées de celluloses issues des bactéries. Contrairement aux celluloses trouvées dans les plantes, celles des bactéries sont plus riches en liens d'hydrogènes permettant la construction de structures moléculaires ordonnées. Ainsi, la pellicule de kombucha est particulièrement élastique et résistante.

Elle est très utilisée dans le design de vêtements et d'accessoires et on l'appelle donc **le cuir de kombucha**, il peut aussi facilement être teinté.

Malgré ces nombreux points positifs, le cuir de kombucha possède des contraintes. Des chercheurs de l'université de l'Iowa ont réalisé des travaux sur la fabrication de chaussures végétales grâce au kombucha. Leurs expériences ont montré que le cuir à base de kombucha est sensible aux températures froides et à l'eau. Ces éléments pourraient fragiliser et ramollir le matériau. Il existe la possibilité de traiter la pellicule séchée pour qu'elle devienne imperméable, cela rajoute une étape dans la préparation du matériau. De plus, la fabrication du cuir de kombucha est certes relativement simple mais elle est néanmoins longue, notamment car il faut attendre que la pellicule ait le temps de se former puis qu'elle soit déshydratée et enfin réhydratée par l'air ambiant.

Pour conclure, le marché des biomatériaux est en pleine croissance, cela bénéficie à de nombreuses applications. Le domaine de la santé utilise des

biomatériaux depuis déjà bien longtemps mais ceux-ci coûtent chers et ne sont pas forcément simples à mettre en œuvre. Désormais les biomatériaux sont de plus en plus utilisés pour les textiles et les objets du quotidien. Les designers ont exploré de nouvelles pistes pour la création de matériaux biosourcés accessibles. Il est pertinent d'étudier l'utilisation de ces nouvelles matières pour des applications biomédicales, si les recherches sont positives cela facilitera grandement la fabrication d'orthèses, prothèses ou revêtements pour médecine régénérative.

Parmi les biosources disponibles, nous avons choisi d'étudier le cuir de kombucha. Sa fabrication est simple et nécessite un environnement acide et du glucose. Ainsi, nous avons émis l'hypothèse qu'il pourrait être biocompatible avec le corps humain.

Objectif 3 : Fabrication du cuir de kombucha

Pour donner suite à notre choix, nous avons rapidement commencé à fabriquer notre propre cuir de kombucha. En réalisant nous-même notre matériau, nous avons plus de contrôle sur ses propriétés. En effet, nous pouvons adapter les quantités des ingrédients lors de la préparation pour modifier, par exemple, l'épaisseur du cuir.

L'annexe 1 présente la recette et les préconisations pour la fabrication du matériau.

GESTION ET ORGANISATION DU TRAVAIL

Notre objectif tout au long du projet était que chacun de nous puisse participer aux expériences et manipulations. Ainsi, au départ nous avons travaillé tous ensemble sur la fabrication du cuir de kombucha. Comme nous l'avons vu précédemment, le processus prend plusieurs semaines, nous avons donc commencé nos expériences avec des échantillons déjà disponibles au DVIC.

Pour la suite des expériences, nous avons réalisé le même protocole des expériences sur le pH, à plusieurs reprises. Nous avons donc pu nous répartir les tâches en gardant toujours au minimum deux personnes sur une expérience, notamment pour éviter les erreurs mais aussi car cela était plus efficace.

Nous avons fait le choix de travailler de manière séquentielle les étapes de notre projet. Le temps nous manquant pour réaliser les essais de torsion, nous nous sommes adaptés et avons séparé l'équipe en deux groupes. Le premier binôme a donc travaillé sur le protocole de torsion, et le second a finalisé les expériences sur la résistance aux pH et commencé à rédiger le rapport.

Pour le partage des documents, la mise en commun des résultats et la mise à jour de la liste des tâches à réaliser, nous avons mis en place un groupe Teams commun. Ce fut notre outil de travail principal pour nous organiser. Nous avons également utilisé l'application de messagerie instantanée *Messenger*, nous permettant facilement, grâce à un fil de discussion dédié au projet, de prévoir nos réunions de groupe et communiquer en dehors de celles-ci.

Chaque semaine, nous nous retrouvions lors de courtes réunions pour faire le point sur nos avancements respectifs et déterminer ensemble nos prochains objectifs pour la semaine à venir.

NORMES

Sans objet.

RESULTATS

I. L'acidité

Les orthèses sont des dispositifs en contact avec le corps humain. La peau a un pH légèrement acide et entre régulièrement en contact avec des éléments au pH plus basique, tels que les produits d'entretien, il est donc important de s'assurer de la résistance du matériau aux différentes variations de pH que l'orthèse pourrait rencontrer.

Pour ce faire, nous avons immergé notre matériau jusqu'à stabilisation des résultats dans trois solutions différentes : un acide, un basique et un neutre comme témoin. La solution à pH neutre nous permet de vérifier si les résultats observés sont bien dus au changement d'acidité et non seulement à l'hydratation du matériau.

Afin de s'assurer de la reproductibilité de nos résultats nous avons réalisé toutes nos expériences sur deux spécimens de cuir de kombucha différents, ainsi que sur un morceau imperméabilisé. Les mesures relevées nous permettant de déterminer l'impact du pH sur le matériau sont le poids, l'épaisseur, la largeur et la longueur de l'échantillon.

a) Le protocole expérimental

La première étape de l'expérience est la préparation du matériel. Nous avons utilisé quatre béchers, chacun rempli d'une solution de pH différents : du vinaigre blanc pour un pH acide, du White Spirit pour un pH basique, de l'eau distillée pour le pH neutre et enfin du café noir pour un pH se rapprochant le plus du pH de la peau humaine.

Nous avons utilisé un pH mètre pour s'assurer que le pH de nos solutions correspond à nos attentes à l'aide d'un pH mètre électronique ou d'un papier indicateur de pH. Nous avons donc utilisé les deux selon la disponibilité du matériel au laboratoire du DVIC et ainsi nous avons déterminé les pH de nos solutions qui sont de 2 pour le vinaigre, 12 pour le White Spirit, 7 pour l'eau distillée et 5 pour le café. Pour l'expérience nous avons suivi le protocole suivant pour chacune de nos solutions.

Matériel et instruments de mesures :

- Balance numérique à deux décimales
- Règle en métal
- Pincettes de laboratoire en métal
- Micromètre

- Chronomètre
 - Bécher contenant la solution
1. Découper un rectangle dans le spécimen de cuir de kombucha.
 2. Mesurer les caractéristiques initiales du morceau :
 - a. Mesurer les longueurs des quatre côtés à l'aide d'une règle.
 - b. Mesurer le poids à l'aide d'une balance.
 - c. Mesurer l'épaisseur aux quatre coins du rectangle et en un point central puis calculer la moyenne des différentes épaisseurs à l'aide d'un micromètre.
 3. Immerger l'échantillon dans la solution pendant 30 secondes.
 4. Le sortir et mesurer son poids et mesurer ses longueurs.
 5. Répéter les étapes 3 et 4 jusqu'à stabilisation du poids (soit pendant 10 min).
 6. Mesurer à nouveau les longueurs et l'épaisseur moyenne de l'échantillon.

b) Imperméabilisation du cuir de kombucha

Nous avons choisi d'imperméabiliser un morceau du même spécimen de cuir de kombucha que nous avons utilisé pour les expériences afin de juger l'impact de l'imperméabilisation sur sa résistance aux différents pH et pouvoir conclure sur l'intérêt de cette étape supplémentaire.

Pour réaliser l'imperméabilisation, nous avons frotté de la cire de bougie constituée de soja sur toutes les surfaces de notre échantillon de cuir de kombucha. Par la suite à l'aide d'un décapeur thermique paramétré sur la puissance la plus faible ou d'un sèche-cheveu, nous avons fait fondre la cire et nous nous sommes assurés au maximum que toutes les aspérités étaient cirées. Dans cette optique, nous avons réalisé cette opération deux fois sur chaque surface.

Une fois la cire durcie nous avons pu observer que notre échantillon de cuir de kombucha avait un aspect plus lisse mais également nous avons pu observer des propriétés déperlantes.

c) Résultats observés

Les résultats que nous avons obtenus varient en fonction des solutions dans lesquelles nous avons immergé nos échantillons de cuir de kombucha. En effet, en nous basant sur l'Annexe 2 - Figure 1, qui présente la comparaison des épaisseurs de nos échantillons pré et post expériences, on observe que pour deux échantillons à épaisseur initiale équivalente, leur évolution est différente.

Par convention, nous avons adopté une pratique du DVIC qui est de nommer les cultures de kombucha, et donc par extension le spécimen qui en résulte, dans l'optique de mieux les différencier. Nous avons nommé Rick, le cuir de kombucha le

plus réussi parmi nos différentes cultures. C'est donc sur lui que nous avons basé la majorité de nos expériences du fait de son épaisseur et de sa grande surface permettant de le diviser en de nombreuses parties pour nos différentes expériences.

En effet si on observe R1, R2, R3 et R4 qui représentent respectivement des morceaux de Rick dans l'eau, le vinaigre, le White Spirit et le café noir, on remarque que la solution à pH humain est celle pour laquelle le cuir de kombucha s'est le plus épaissi après une immersion d'une durée de 10 min. Ainsi l'épaisseur de R4, est passée de 0,0592 cm à 0,3906 cm soit un coefficient d'épaississement supérieur à 6. Le milieu dans lequel le kombucha s'est le plus épaissi après la solution à pH humain est l'eau. En effet on peut voir que pour une épaisseur de base de R1 relativement similaire à celle de R4, soit 0,0624cm, l'épaisseur a évolué jusqu'à 0,2919cm soit un coefficient d'épaississement de presque 5. Vient ensuite le vinaigre avec une épaisseur à T0 de 0,0602, l'épaisseur du morceau R2 a ainsi démontré un coefficient d'épaississement d'environ 4,5 soit à peine moins que R1 qui avait été immergé dans l'eau. Le White Spirit qui est le dernier milieu a quant à lui montrer des résultats très surprenants, en effet l'épaisseur de R3 n'as pas changé entre T0 et T10.

Au cours de nos expériences nous nous sommes également intéressés à l'imperméabilisation du cuir de kombucha. Nous avons donc imperméabilisé des morceaux de Rick grâce à de la cire de bougie au soja. Puis nous avons réitérer les expériences dans l'eau (RI_E), le White Spirit (RI_WS) et le café (RI_pH_Humain). Bien que les morceaux aient une épaisseur moyenne moins importante que celles des échantillons non imperméabilisés, on note que l'absorption est moins importante en effet pour l'eau le coefficient d'absorption passe de 5 à 4,5 et pour le café de 6,5 à 5,5.

Abordons maintenant l'évolution du poids de nos échantillons en fonction du milieu de submersion et du temps. Dans un premier temps, grâce à l'Annexe 2 – Figure 2 qui représente la prise de poids dans l'eau, nous allons parler de R1, RI_E et M1 qui est un morceau d'un autre de nos cuirs de kombucha nommé Morty. Nous avons trouvé intéressant de rajouter un morceau de Morty qui présentait une épaisseur moyenne bien moins élevée que celle de Rick pour étudier son comportement.

Sur la courbe représentative de R1 ou Rick, on note une prise de masse de 5,7 fois le poids de départ (1,48g) pour atteindre un pic de 8,55g à T9 et se stabiliser ensuite à 8,51g. Étudions maintenant l'échantillon de Morty, ce dernier présente un poids de 1,18g à T0 pour un poids final de 6,65. Cependant, similairement à R1, cet échantillon a connu un pic à 6,89 a T9 avant de se stabiliser autour de son poids final. Enfin RI_E, est l'échantillon le plus léger des 3 avec un poids initial de 0,78 g pour un poids final de 3,96g. Si on observe la courbe, l'augmentation de son poids est beaucoup plus lente que celle des autres échantillons, cependant sa masse finale représente seulement 5 fois sa masse initiale soit un coefficient moins élevé que pour les échantillons perméables. L'eau qui a un pH de 7 est l'un des milieux pour lequel les coefficients de prise en poids sont les plus élevés.

Étudions maintenant l'évolution du poids de nos cuirs de kombucha dans le vinaigre au travers de l'Annexe 2 – Figure 3. Les 2 échantillons représentés sur ce graphique appartiennent à Rick (R2) et Morty (M2) avec des poids initiaux respectifs de 1,55 g et 0,86 g. Leurs poids finals quant à eux sont de 7,23 g et 5,9 g. Le comportement de leur courbe respective est très similaire bien que l'épaisseur et poids initial soit très différents. Rick présente un coefficient de prise de poids de 4,6 dans le vinaigre tandis que celui de Morty est de 6,8 soit beaucoup plus que Rick alors qu'il est plus léger et moins épais.

Passons maintenant au White Spirit grâce à l'Annexe 2 – Figure 4. On étudie ici deux morceaux de Rick (R3 et RI_WS) dont l'un est imperméable (RI_WS). Tout comme pour l'épaisseur la courbe de poids n'évolue quasiment pas exception faite de la très légère prise de masse au début des expériences.

Enfin pour faire la liaison avec le sujet de ce projet qui est de tester ces matériaux pour déterminer s'il serait possible de les utiliser pour des orthèses nous avons décidé de mener une étude dans du café à un pH de 5. Pour cela nous avons comme pour le White Spirit utilisé deux échantillons de Rick (R4 et RI_pH_Humain) dont l'un a été imperméabilisé (RI_pH_Humain). Cependant contrairement au White Spirit le comportement de prise de poids suivie ici est plus similaire à celui observé pour l'eau. En effet pour les deux morceaux de cuir on peut observer une prise de masse très importante. Pour R4, le poids initial à T0 est de 1,27 g et celui de RI_pH_Humain est de 1,14 g. Le coefficient de prise de poids de R4 est de 6,6 pour un poids final de 8,35 g. Quant à RI_pH_Humain son coefficient est de 5,7 pour un poids final de 6,46. On observe cependant une différence entre les deux échantillons, en effet RI_pH_Humain se stabilise aux alentours de T9 tandis que R4 semble continuer sa prise de poids après T10. On peut également dire pour cette solution de café qu'elle présente les coefficients les plus élevés avec l'eau.

d) Conclusion sur la résistance au pH

À la suite des résultats que nous vous avons présentés ci-dessus, nous avons pu en déduire que le cuir de kombucha résiste particulièrement bien aux bases avec un épaissement et une prise de poids quasi-nulles. Cependant, le cuir de kombucha présente peu de résistance face à des milieux acides, avec des pH humains ou des pH neutres. En effet nous avons pu observer des fortes prises de masse ainsi que d'importants épaissements. Mais encore lors de certaines expériences, au bout d'un certain temps les couches du cuir de kombucha réhydraté se séparent, démontrant une dégradation de la qualité du matériau.

Pour pallier cela, nous avons pensé à l'imperméabilisation qui a démontré des caractéristiques très intéressantes en réduisant les effets d'absorption à la source de l'épaissement et de la prise de masse. Il est important de prendre en compte la possibilité que certaines zones de l'échantillon n'aient pas été complètement

imperméabilisées. Cela peut expliquer le fait que nous ayons pu tout de même observer une faible dégradation de l'échantillon. De plus, il existe d'autres moyens d'imperméabiliser qu'il serait très intéressant de tester également. Nous pouvons citer les huiles essentielles et les cristaux ou poudre d'alun, qui sont déjà utilisés pour le cuir et autres tissus, ou encore le borée, une plante généralement utilisée dans l'imperméabilisation du bois.

II. La torsion

Le cuir de kombucha est un matériau organique très peu étudié et ayant des propriétés physiques particulières. Dans la plupart des cas, le cuir de kombucha est un matériau très fin et non homogène. Du fait qu'il s'agisse d'une matière organique qui a grandi dans un environnement particulier, nous n'avons aucune action sur son développement. On peut donc se retrouver avec un matériau ayant des fissures, des bulles d'air ou qui est déformé.

Toutes ses difficultés lors de la pousse, nous ont amenés à revoir notre protocole expérimental de torsion. Dans nos premières idées, nous avons pour but d'utiliser des appareils mécaniques permettant de calculer la résistance à la torsion d'un matériau, mais après une réflexion avec Madame HFAIEDH, responsable du laboratoire de mécanique de l'ESILV, nous nous sommes vite rendu compte qu'utiliser les appareils utilisés habituellement serait compliqué dû à notre cuir de kombucha pas assez long et très fin.

Pour pallier ce problème, nous avons réfléchi à un nouveau protocole, et nous avons conclu que la meilleure solution à l'heure actuelle est de réaliser une simulation numérique de la résistance de notre échantillon de cuir de kombucha.

a) Le protocole expérimental

En première étape, nous avons décidé de réaliser une simulation numérique présentant une possible déformation en torsion de notre cuir de kombucha. Pour ce protocole, nous avons pensé à l'envers, nous voulions une simulation mais nous ne connaissions pas les caractéristiques physiques de notre matériau.

Nous avons donc fait d'importantes recherches pour connaître les variables nécessaires pour faire notre simulation afin de les déterminer. Dans notre cas, il fallait commencer par chercher une formule de torsion pour un matériau rectangulaire. Une fois cette formule déterminée nous avons cherché les informations relatives aux variables qui nous étaient inconnues, puis réalisé les expériences et les calculs nécessaires afin de les déterminer.

Matériel et instruments de mesures :

- Logiciel de simulation numérique (ABAQUS, SOLIDWORKS, etc.)
- Calculatrice
- Règle en métal
- Micromètre
- Dynamomètre

1. Déterminer les formules qui faudra résoudre.
2. Faire un test de traction de notre matériau
 - a. Découper un échantillon de cuir de kombucha dans un spécimen.
 - b. Mesurer les longueurs des quatre côtés à l'aide d'une règle.
 - c. Mesurer l'épaisseur aux quatre coins du rectangle et en un point central puis calculer la moyenne des différentes épaisseurs à l'aide d'un micromètre.
 - d. A l'aide du dynamomètre, réaliser des tests de traction en relevant la force en Newton nécessaire pour déformer le matériau.
 - e. Répéter les étapes b à d, si possible sur plusieurs échantillons.
3. A l'aide des informations relevées lors de l'étape 2, résoudre les variables inconnues des différentes formules de mécanique.
4. Intégrer les différentes variables des caractéristiques de notre matériau dans le logiciel de simulation numérique choisi.
5. Réaliser les simulations numériques.

b) Résultats observés

Les résultats varient en fonction des échantillons étudiés notamment du fait de leurs longueurs. Ici, nous avons utilisé un échantillon mesurant 6 centimètres par 7 centimètres et d'une épaisseur d'environ 1 millimètre. Les tests de traction préalablement réalisés nous ont montré que notre matériau commence à avoir une déformation lorsqu'une force d'environ 16 Newton est appliquée (environ 1,63 kilogrammes).

Nous avons pu établir les caractéristiques de cet échantillon, il est important de noter qu'à l'inverse de certains matériaux, nous ne pouvons pas déterminer des caractéristiques générales pour le cuir de kombucha. Ses propriétés dépendent des conditions du milieu de vie du kombucha avant sa déshydratation.

Dans cette optique, nous avons réalisé des calculs par échantillon (voir Annexe 3). Les principales valeurs qui nous intéressent pour la simulation numérique sont : le Module d'Young ($E = 1.666667$) et le coefficient de Poisson ($\nu = 0.2$).

Dans un premier temps, nous avons créé un modèle de notre matériau et nous lui avons attribué les caractéristiques de l'échantillon sur le logiciel de simulation. Ce modèle est un objet en trois dimensions ayant les mêmes dimensions que notre échantillon. Dans un deuxième temps, nous avons défini un côté du modèle comme étant fixe, ce qui correspond à la partie attachée à une machine de torsion physique. Enfin, nous avons défini quatre forces dans les quatre directions possibles (verticalement et horizontalement) sur la face opposée, formant ainsi un mouvement de rotation. Ces forces sont représentées par des flèches violettes sur les images de l'Annexe 3.

Une fois la configuration faite nous avons lancé la simulation, et nous avons obtenu une représentation de la torsion effectuée sur notre échantillon de cuir de kombucha. Nous avons pu observer qu'avec une faible torsion, l'échantillon commence déjà à se déformer, cela est dû au fait qu'une des extrémités est fixe. Nous ne voulons pas aller jusqu'à la déformation, nous voulons nous arrêter juste avant pour voir où se situent les contraintes sur notre échantillon. De manière générale, on peut voir que ces contraintes sont sur les quatre extrémités et sur la diagonale allant de l'extrémité où la force est exercée vers le bas à son opposé en diagonal. Ces zones sont plus sensibles car comme une des faces est fixe la torsion est homogène et ainsi les forces exercées sont propagées à l'ensemble de l'échantillon. (Annexe 3 - Figure 4)

c) Conclusion sur la résistance à la torsion

Nous pouvons conclure que le cuir de kombucha est un matériau assez résistant en traction (plus de 55 Newton (environ 5,6 kilogrammes) pour commencer à déformer un échantillon de 6 centimètres par 6 centimètres pour 1 millimètre d'épaisseur).

Cependant, bien que le matériau soit solide, il est plus facilement sujet à une déformation due à une contrainte de torsion. Le cuir de kombucha est une matière souple mais qui a tendance à garder les déformations qu'elle subit.

Dans le cas présenté ici, la torsion est uniforme sur notre échantillon, ce qui implique que plus on va tourner une extrémité du cuir de kombucha plus l'autre va être mise sous contrainte, ce qui va la déformer voir la déchirer (Annexe 3 - Figure 4).

Ainsi dans le cas de cette expérience, l'échantillon s'est montré résistant à la déchirure par torsion. Néanmoins, il est important de noter que la réaction du matériau à une contrainte physique peut varier en fonction de sa taille et de son épaisseur, qui ne sont pas des constantes du cuir de kombucha. Ici, bien qu'on puisse observer une déformation, celle-ci n'est que passagère. Lorsque le matériau est soumis à une contrainte équivalente inverse, il reprend plus rapidement sa forme initiale.

CONTRAINTES

Au cours du projet, nous avons dû faire face à plusieurs contraintes. Tout d'abord la recette du cuir de kombucha reste instable. De nombreux paramètres ne dépendant pas de la préparation peuvent interférer sur le développement du kombucha lors de sa croissance, de plus, chaque spécimen préparé possède des propriétés physiques et chimiques différentes. Nous avons par conséquent essayé d'utiliser au maximum le même spécimen, pour que nos résultats puissent constituer une suite logique.

En ce qui concerne les expériences de torsion, nous avons prévu des protocoles comportant l'utilisation d'outils de mécanique qui n'étaient pas au laboratoire. En effet, la plupart des machines présentes sont adaptées à des matériaux métalliques et cylindriques. Une machine aurait pu être utilisée pour une membrane comme le cuir de kombucha, néanmoins, à la suite de nos expériences sur le pH le spécimen qui nous restait était bien trop fin et court. Ne nous restant pas assez de temps pour commander une machine adaptée à notre cas, nous nous sommes adaptés en utilisant le logiciel de simulation SolidWorks.

Enfin d'un point de vue organisationnel, comme précisé précédemment, nous avons envisagé de travailler ensemble pour toutes les expériences. Nous nous sommes rapidement rendu compte que nous n'étions pas assez efficaces. A cela s'est ajouté le fait que les emplois du temps de tous les membres de l'équipe ne coïncidaient pas toujours. C'est pourquoi nous avons changé notre méthode de travail en séparant les tâches par groupe de deux personnes.

CONCLUSION

Notre projet consiste à déterminer la viabilité d'orthèses fabriquées à partir de matériaux biosourcés et respectueux de l'environnement. Le biomatériau que nous avons choisi d'étudier est le cuir de kombucha. Nous avons réalisé des expériences sur la résistance au pH de la peau humaine, avec laquelle l'orthèse est en contact permanent, ainsi que sur la résistance à la torsion, un mouvement essentiel dans le bon fonctionnement des articulations.

Nos expériences nous ont montré que les milieux acides ont un impact important sur le cuir de kombucha. En effet, nos échantillons ont été transformés par l'immersion dans des solutions de pH inférieur à 7. On a pu observer une désagrégation du matériau au fil du temps. Nos essais d'imperméabilisation à la cire de soja sont prometteurs. En effet, l'échantillon fut plus résistant à l'acidité de la solution.

A l'inverse, ce biomatériau ne se rompt pas à la suite d'un mouvement de torsion. Bien qu'il puisse montrer des déformations sous forme de pliures, celles-ci sont éphémères. Cela montre que le cuir de kombucha est un matériau à la fois souple et résistant et peut répondre aux besoins d'une orthèse. Nous pouvons tout de même nous poser la question de sa longévité, puisque la répétition d'un mouvement de torsion pourrait allonger le temps dont le matériau a besoin pour retrouver son apparence initiale.

Ces premières recherches sur le cuir de kombucha ne nous permettent pas de nous prononcer quant à la viabilité d'une orthèse faite de ce matériau. Son élasticité est un point fort pour un dispositif qui sera soumis à des contraintes mécaniques quotidiennement. En revanche, sa fragilité face à des solutions aux pH faibles peut être un problème impactant. Dans de nombreux cas, les orthèses sont utilisées pour aider les mouvements des sportifs, or la sueur a un pH encore plus acide que la peau, il est donc essentiel que le matériau puisse y résister. Il serait intéressant de poursuivre les recherches quant à l'imperméabilisation pour savoir si nous pouvons pallier ce défaut.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ADRIENRIGOBELLO. kARP. Avr. 2020. URL : <https://thr34d5.org/2019/08/20/karp/>.
- [2] ADRIENRIGOBELLO. kombucha Fab City. Jan. 2020. URL : <https://thr34d5.org/2020/01/19/kfc/>.
- [3] Biomatériaux Inserm, La science pour la santé. URL : <https://www.inserm.fr/dossier/biomateriaux/>.
- [4] Biotechnologies / Chimie matériaux biosourcés. Juill. 2020. URL : <https://www.ceva-algues.com/secteurs-dactivite/biotechnologies-chimie-materiaux-biosources/>.
- [5] Clothing made from tea byproduct could improve health of fashion industry • News Service • Iowa State University. Avr. 2016. URL : <https://www.news.iastate.edu/news/2016/04/26/sustainableclothing>.
- [6] Jo CROSS. « MEDLINE, PubMed, PubMed Central, and the NLM ». In : Editors' Bulletin 2.1 (2006), p. 1-5. DOI : 10.1080/17521740701702115.
- [7] Culture de micro-algues pour la fabrication de biomatériaux. Août 2016. URL : <https://www.carnot-mines.eu/fr/carnot-mines-tv/%C3%A9nerg%C3%A9tique-et-g%C3%A9nie-des-proc%C3%A9d%C3%A9s/culture-de-micro-algues-pour-la-fabrication-de>.
- [8] Des biomatériaux avancés qui offrent de grandes possibilités pour les dispositifs médicaux de nouvelle génération | Innovation Développement MTL | ID MTL | Français.
URL : <https://ville.montreal.qc.ca/idmtl/des-biomateriaux-avances-qui-offrent-de-grandes-possibilites-pour-les-dispositifs-medicaux-de-nouvelle-generation/>.
- [9] Des matériaux issus des micro-algues. Août 2018. URL : <https://www.carnot-mineseu.fr/des-mat%C3%A9riaux-issus-des-micro-algues#:~:text=Les%20micro%20algues%2C%20d%C3%A9j%C3%A0%20utilis%C3%A9es,et%20la%20fabrication%20de%20biomat%C3%A9riaux.&text=Cependant%2C%20extraire%20ces%20synthons%20et,souvent%20co%C3%BBteux%20et%20peu%20%C3%A9cologiques>.
- [10] Expertises, Produire autrement, Produits biosourcés – . URL : <https://www.ademe.fr/expertises/produire-autrement/produits-biosources>.
- [11] Robert FRAZER. PMMA : An Essential Material in Medicine and Dentistry - Journal of Long-Term Effects of Medical Implants, Volume 15, 2005, Issue 6 - Begell House Digital Library. URL : <https://www.dl.begellhouse.com/journals/1bef42082d7a0fdf.56437700108bb47c.30f08b9f6c2404c1.html>.
- [12] La Rédaction de FUTURA. Symbiose : qu'est-ce que c'est ? Jan. 1900. URL : <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/nature-symbiose-260/>.
- [13] Kombucha from alternative raw materials â The review. URL : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2019.1679714?journalCode=bfsn20>.
- [14] Seyyed Mojtaba MOUSAVI. Recent Progress in Chemical Composition,

Production, and Pharmaceutical Effects of Kombucha Beverage : A Complementary and Alternative Medicine. Nov. 2020. URL :

<https://www.hindawi.com/journals/ecam/2020/4397543/>.

[15] Qu'est-ce que le Kombucha ? URL :

<https://www.biogroupe.com/fr/resources/quest-ce-que-le-kombucha/>.

[16] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Coefficient de Poisson. Fév. 2021. URL :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Coefficient_de_Poisson.

[17] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Essai de traction. Nov. 2021. URL :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_de_traction.

[18] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Loi de Hooke. Mars 2022. URL :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Hooke.

[19] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Matériaux biosourcés. Déc. 2021. URL :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riaux_biosourc%C3%A9s.

[20] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Module de cisaillement. Fév. 2021. URL :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Module_de_cisaillement.

[21] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Module de Young. Déc. 2021. URL :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Module_de_Young

Passeport de compétence

Fabrication d'un biomatériau en kombucha

Liste des ingrédients

- 1 sachet de thé (noir de préférence)
- 500 ml d'eau bouillante
- 500 ml d'eau froide
- 200g de sucre blanc
- 150 ml de vinaigre blanc
- 1 mère de kombucha

Liste du matériel

- 1 bac en plastique refermable
- Un support pour surélever le bac
- 1 cuillère / touillette
- 1 grand bain d'eau froide savonneuse
- 1 grand bain d'eau froide
- Une planche de bois
- Un déshydrateur

Attention à bien désinfecter le matériel et mettre des gants !

LA RECETTE

1. Remplir le bac en plastique avec l'eau bouillante et y faire infuser le sachet de thé au minimum 10 minutes. Relever un côté du bac à l'aide du support pour accélérer l'infusion.
2. Une fois l'eau bien colorée par le thé, ajouter le sucre et le vinaigre. Remuer jusqu'à ce que le sucre soit complètement fondu.
3. Ajouter l'eau froide.

4. Couper un morceau de la mère de kombucha et l'insérer dans le liquide préparé.
5. Refermer le bac et boucher les éventuelles ouvertures avec du scotch pour éviter les moucheron.
6. Conserver le bac à l'abri de la lumière pendant 1 à 2 semaines et observer la pellicule se former à la surface.

i **Le thé et le sucre sont essentielles** pour la prolifération du kombucha car c'est la source d'énergie des levures et des bactéries présentes dans la mère ! Plus le thé est infusé longtemps, plus le kombucha aura des nutriments. Le sucre permet la fermentation, plus le mélange fermente et plus la pellicule aura des aspérités (ondulations par exemple).

L'eau froide permet de ne pas brûler la mère. En tant qu'êtres vivants, les bactéries et levures du kombucha supportent mal la chaleur. Ne pas oublier d'ajouter l'eau froide à l'étape 3 !

Le vinaigre permet au kombucha de se développer plus vite, il sert de catalyseur.

RECUPERATION DE LA PELLICULE

1. Recueillir la pellicule formée à la surface du liquide.
2. Découper un morceau et le remettre dans le liquide pour être réutiliser.
3. Laver dans le bac d'eau savonneuse pour enlever les aspérités.
4. Rincer dans le bac d'eau froide.
5. Le déposer sur la planche de bois pour la laisser s'égoutter.
6. Une fois que la pellicule n'est plus trempée, la placer 48h dans le déshydrateur à 60°C.
7. Laisser le cuir obtenu 24h à l'air libre afin qu'il reprenne de l'humidité et ainsi de la souplesse.

i Pour refaire un échantillon de cuir, **on peut réutiliser le même bac**. Il suffit de rajouter les éléments de la recette, la mère est déjà présente !

Annexe 2

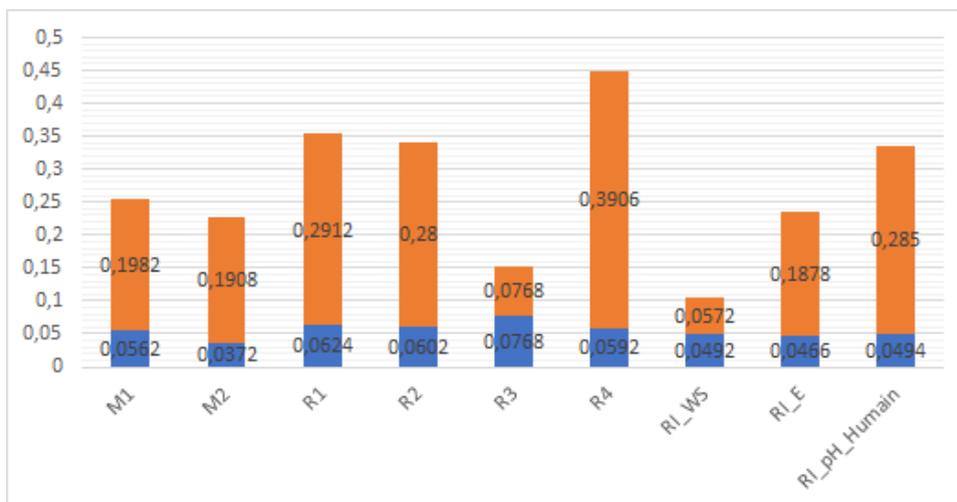


Figure 1 : Comparaison des épaisseurs post et ante expérience

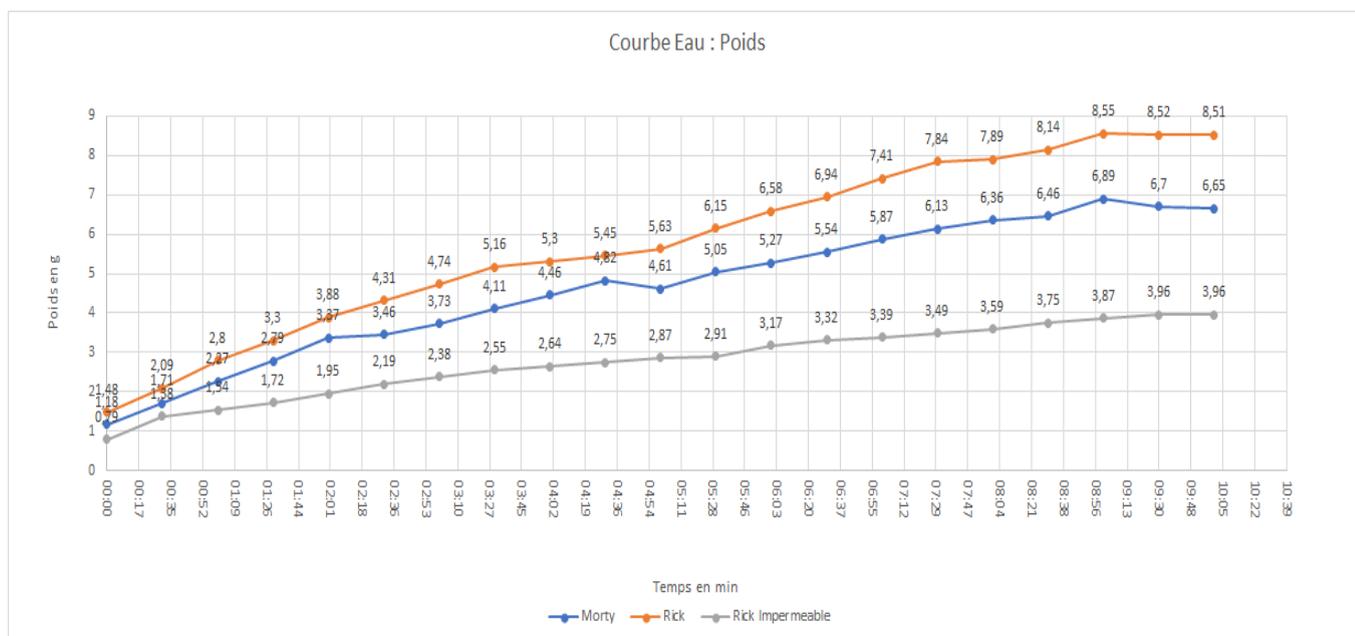


Figure 2 : Courbe d'évolution du poids des cuirs de kombucha dans l'eau (pH = 7)

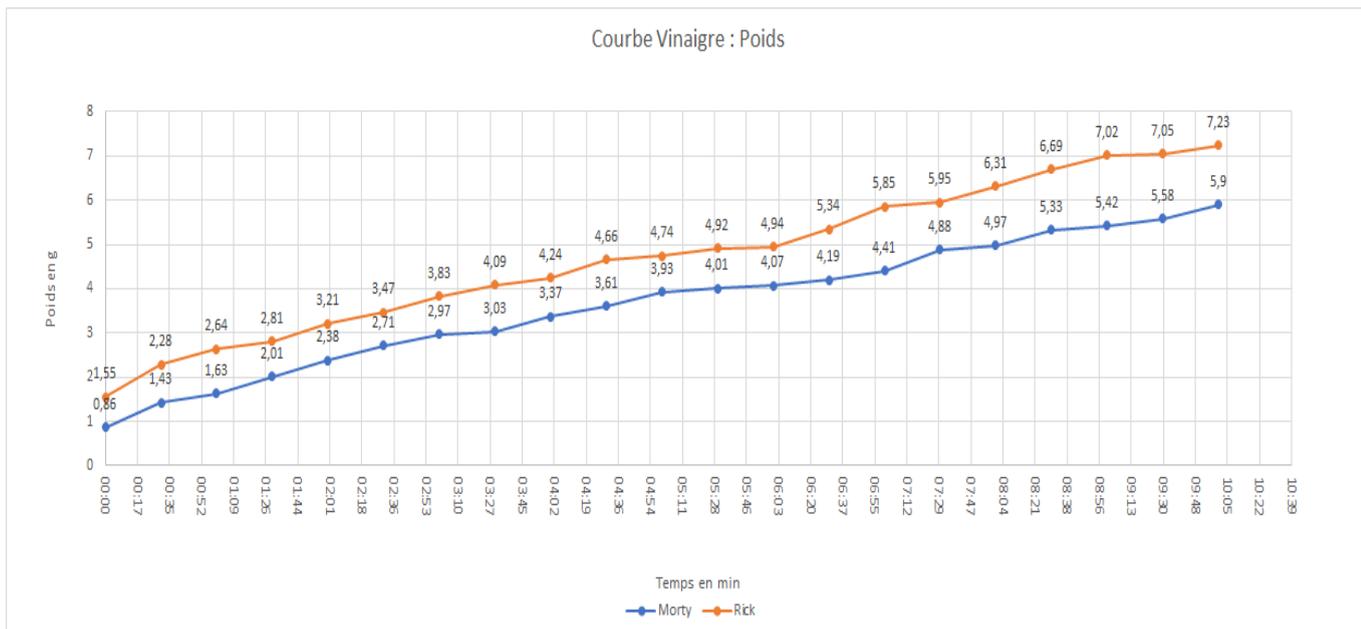


Figure 3 : Courbe d'évolution du poids des cuirs de kombucha dans le vinaigre (pH = 2)

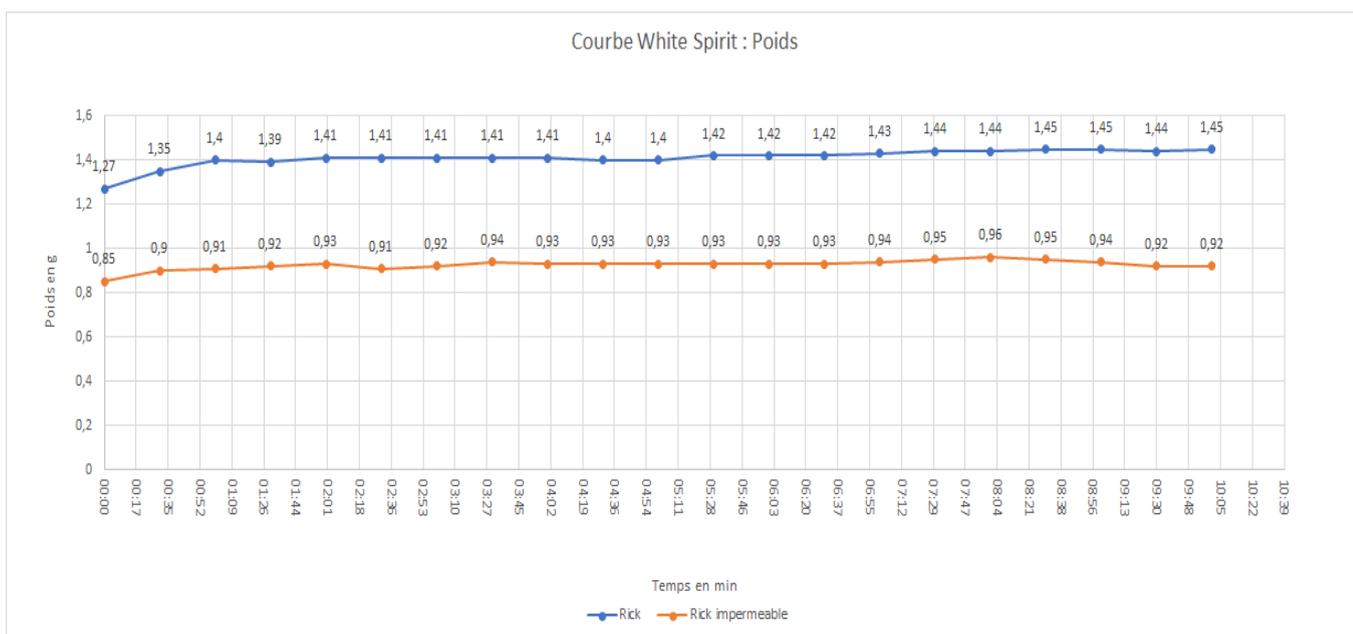


Figure 4 : Courbe d'évolution du poids des cuirs de kombucha dans le White Spirit (pH = 12)

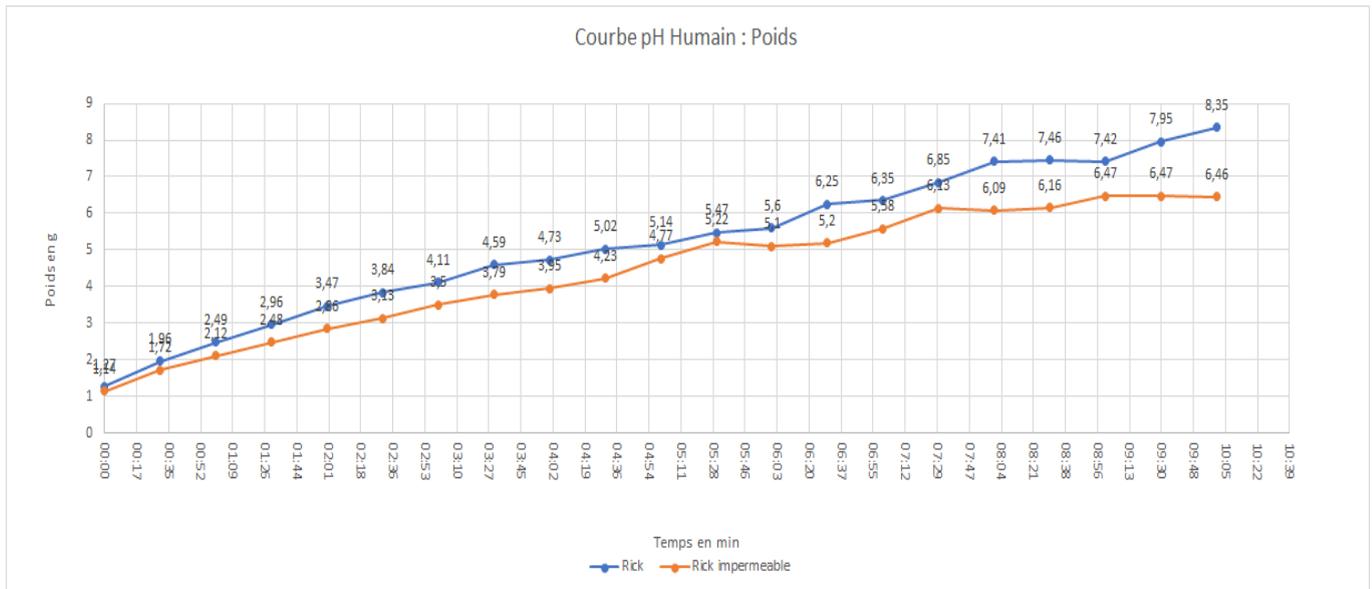


Figure 5 : Courbe d'évolution du poids des cuirs de kombucha dans le café (pH = 5, équivalent sueur et peau)

Annexe 3

Formule de torsion pour un rectangle

$$\theta = \frac{M_t}{G.I_G}$$

θ : angle de torsion

M_t : moment de torsion

I_G : moment quadratique de torsion --> dépend de la section

G : module de cisaillement (ou module de Coulomb) --> dépend du matériau

• Déterminer I_G et G :

$$G = \frac{Fl}{A\Delta x} = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

F : force appliquée sur la surface A

A : surface de l'échantillon

Δx : longueur de différence de déplacement

E : module d'Young

ν : coefficient de Poisson

$$\sigma = E\varepsilon \rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon : \text{l'allongement relatif ou la déformation} \rightarrow \varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0}$$

l : longueur obtenue

l_0 : longueur initiale

$$\sigma : \text{la contrainte} \rightarrow \sigma = \frac{F}{S}$$

F : l'intensité de la force

S : la surface normale ; la section initiale

$$v = \frac{1 - \frac{l}{l_0}}{\frac{L}{L_0} - 1} = \frac{\text{rétrécissement transversal relatif}}{\text{allongement longitudinal relatif}}$$

L : largeur obtenue

L_0 : largeur initiale

- Dans le cas d'une section rectangulaire :

$$I_G = \frac{bh}{12} (b^2 + h^2)$$

b : base ou longueur de l'échantillon

h : hauteur ou largeur de l'échantillon

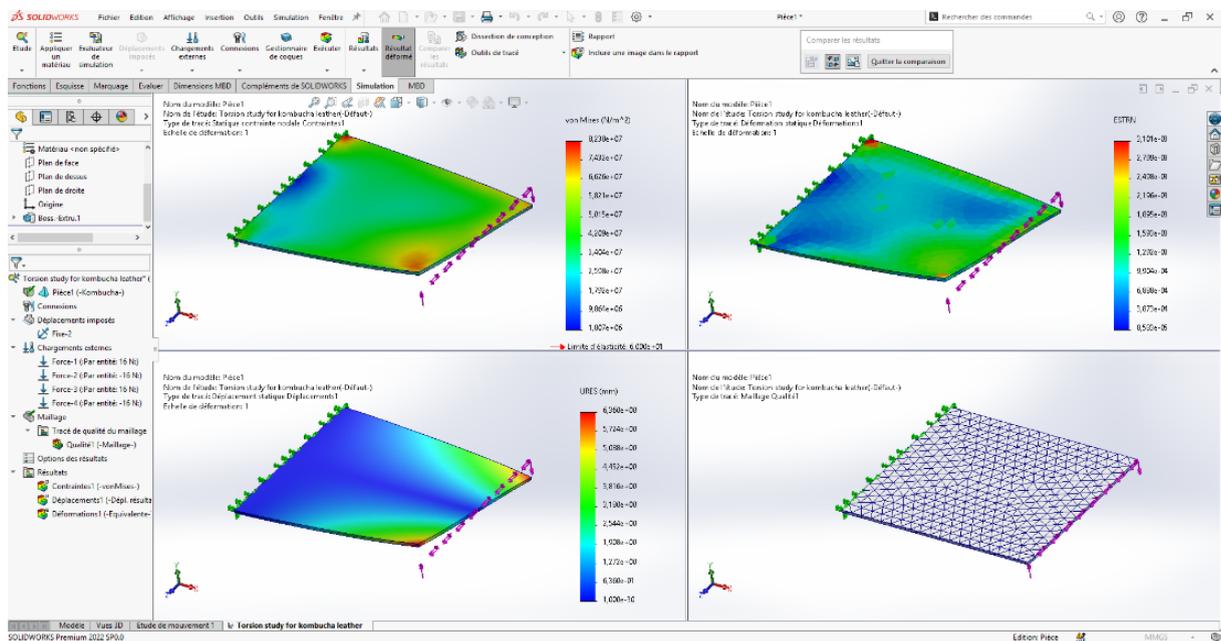


Figure 1 : Comparaison des épaisseurs post et ante expérience

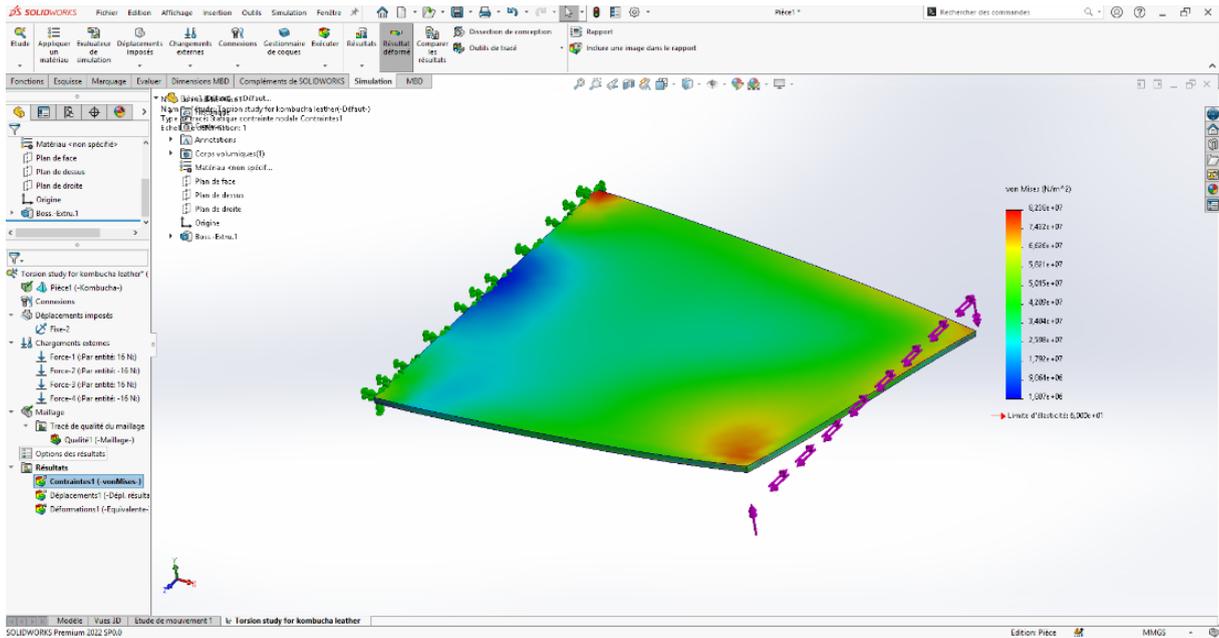


Figure 2 : Affichage générale de toutes les contraintes

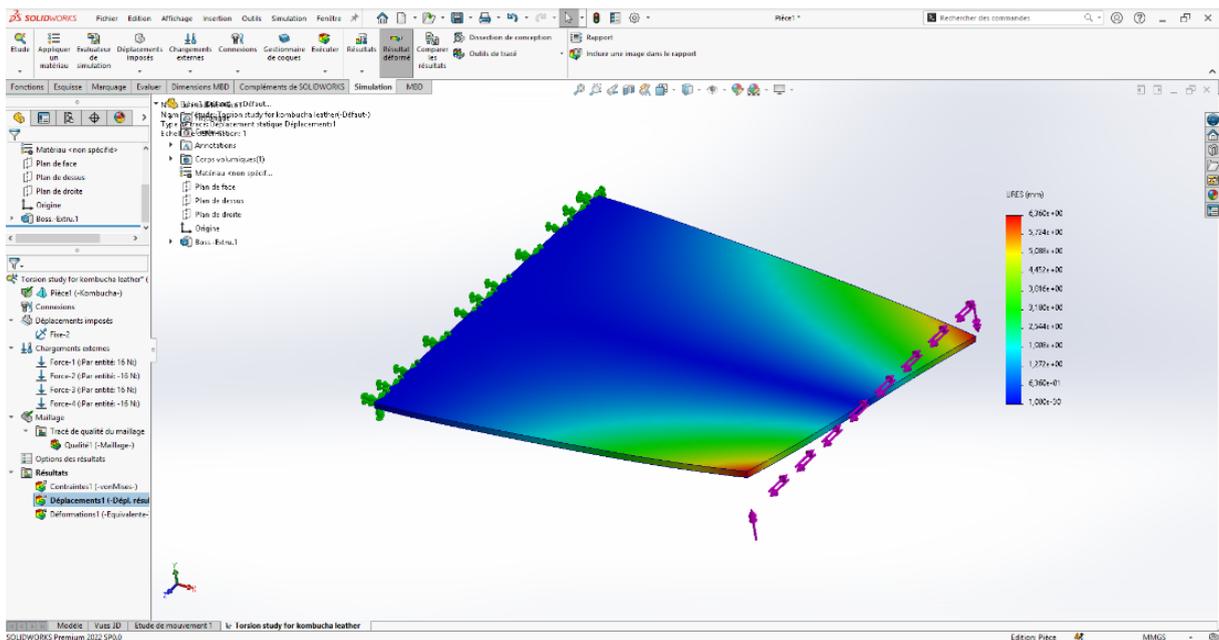


Figure 3 : Affichage des déplacements effectués lors de la torsion

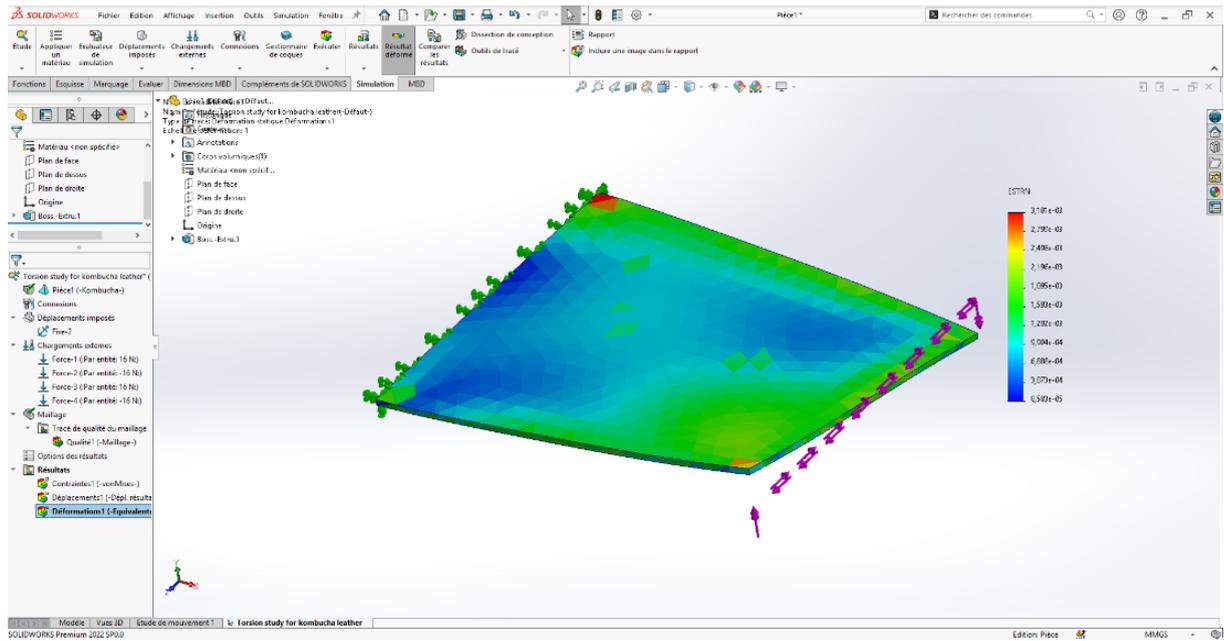


Figure 4 : Affichage des déformations subies lors de la torsion