



HAL
open science

Proposition d'études théorique et expérimental de biomatériaux à base de caséine

Faliniaina Rasoanoavya, Andrianina Rasoatahianjanahary

► **To cite this version:**

Faliniaina Rasoanoavya, Andrianina Rasoatahianjanahary. Proposition d'études théorique et expérimental de biomatériaux à base de caséine. 25e Congrès Français de Mécanique, Aug 2022, Nantes, France. hal-04280112

HAL Id: hal-04280112

<https://hal.science/hal-04280112v1>

Submitted on 13 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Proposition d'études théorique et expérimentale de biomatériaux à base de caséine

A. Faliniaina Rasoanoavy^a, Andrianina Rasoatahianahary^a

a. Université de Tananarive, fa.xspnova@yahoo.com

Résumé :

Dans le cadre de la réduction de l'énergie d'élaboration des matériaux et de développement de nouveaux matériaux, les recherches et investigations sur les biomatériaux constituent un nouvel axe de recherche. C'est l'idée principale de notre travail présenté dans cet article. Notre travail est composé d'un volet expérimental où nous avons mis en évidence un premier protocole expérimental pour l'élaboration d'un prototype de biomatériaux à base de caséine. Pour cela, nous avons pris le lait comme matière première et on récupère la caséine en la coagulant à l'aide d'une solution acide. Dans un second volet une optimisation des quantités des ingrédients employés en vue d'avoir une bonne tenue mécanique du produit a été aussi entretenue. La combinaison d'un programme en éléments finis avec l'optimisation basée sur l'algorithme génétique nous a permis d'estimer les quantités nécessaires pour la synthèse du matériau.

Mots clés : Mots clefs : Biosourcés ; Biodégradable ; Modélisation par éléments finis ; Algorithme génétique ; Poutre monoencastré

1. Introduction :

La demande en matériaux présentant des bonnes propriétés mécaniques pour différentes applications est toujours l'objectif principal des chercheurs d'aujourd'hui. La synthèse de matériaux à partir de produit organique est l'une des alternatives prometteuses. Nombreux travaux ont été déjà réalisés dans la littérature, et ont fait plusieurs objets de publications. L'idée principale de notre travail est de proposer une première technique pour l'élaboration des biomatériaux à base de caséine au sein de notre laboratoire, et ceci afin de contribuer aussi à la réduction de la pollution et de l'énergie liée à la synthèse des matériaux. Ce travail nous a fourni des résultats préliminaires sur la faisabilité de développer de nouveau type de matériau à l'issue de l'association du lait avec de l'acide organique. La technique retenue nous a permis d'avoir un nouveau matériau à base de caséine présentant une bonne propriété mécanique sur une section considérable. Nous avons en parallèle développé un programme en élément fini pour l'élasticité linéaire couplé à l'algorithme génétique en vue de déterminer une composition optimale de la quantité des produits de départ, pour une application bien spécifique.

2. Méthodologie

2.1. Aspect théorique

Soit l'équation de l'énergie de déformation mécanique donnée par la relation suivante :

$$dU = \sigma_{ij} dS_{ij} \quad (1)$$

Où σ_{ij} , S_{ij} et U correspondent respectivement à la contrainte, la déformation et l'énergie interne. Après quelques transformations mathématiques, et quelques intégrations par parties nous obtenons l'équation différentielle partielle, où N représentent les fonctions de formes et C la constante élastique.

$$[C] \frac{\partial^2 [N_u]}{\partial x_i^2} \{u\} = Ru \quad (2)$$

Par la suite afin de simplifier notre étude, nous avons utilisé la formule de Green Gauss, pour réduire l'ordre supérieure de la dérivée en ordre 1. Nous avons alors le système linéaire final suivant :

$$\int_V \left(\frac{\partial [N_u]^T}{\partial x_i} [C] \frac{\partial [N_u]}{\partial x_i} \{u\} \right) dV = \int_S \left([N_u]^T [C] \frac{\partial [N_u]}{\partial x_i} \{u\} \right) dS \quad (3)$$

L'équation finale étant :

$$[K_{uu}] \{u\} = \{\bar{f}\} \quad (4)$$

où :

$$[K_{uu}] = \int_V ([B_u]^T [C] [B_u]) dV$$

2.2. Aspect expérimental :

2.2.1. Méthode d'extraction de la caséine

La méthode d'élaboration se fait suivant le mode opératoire ci-après :

La première étape consiste à chauffer le lait. Lorsque la température de celui-ci est entre 40°C à 60°C, on verse le vinaigre blanc pour agglomérer le cailler. Une fois le vinaigre ajouté, nous avons bien remue l'ensemble pour qu'aucune particule ne se colle à la paroi du récipient de chauffage. Il est à remarquer que le lait ne doit pas atteindre son point d'ébullition le long de ce procédé.

Par la suite, vient le tamisage qui consiste à récupérer la caséine en séparant la partie caillée et la partie liquide (Petit lait). Après le tamisage, il faut rincer la pâte obtenue afin d'éliminer le maximum de graisse pour ensuite presser la pâte avec un tissu fin et éliminer ainsi le maximum d'eau et on obtient la pâte de caséine.

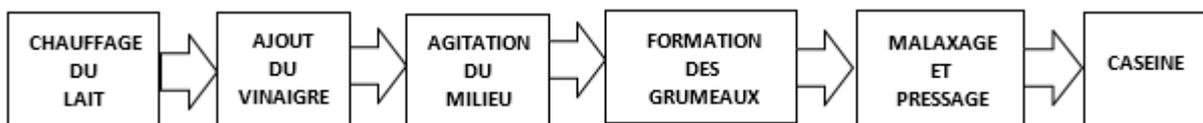


Figure 1 : méthode d'extraction de la caséine

2.2.2. Les étapes de transformation de la caséine en biomatériau

Les étapes de transformation de biomatériau à base de caséine peuvent se décomposer selon le processus suivant :

1. *Préparation de la caséine (matière première)* : la préparation doit commencer pendant que le caillé est encore malléable, c'est-à-dire qu'il est encore chaud. Il faut malaxer et pétrir la pâte afin que celle-ci soit homogène au niveau de la structure.
2. *Mise en forme : moulage et pressage, façonnage* : Une fois que la pâte aura été bien malaxée, on peut l'étaler dans un moule pour lui donner une forme spécifique. La pâte de caséine une pâte modelable à ce stade, elle peut ainsi prendre la forme voulue.
3. *Polymérisation : séchage ou cuisson* : Cette étape consiste à la déshydratation de la caséine, elle est très importante pour le durcissement du produit attendu.

Pour un meilleur résultat, il est préférable de réaliser cette étape à une température entre 40°C à 50°C. En général une semaine suffit pour une polymérisation complète. Cependant, la période varie suivant l'épaisseur de la caséine.

4. *Démoulage* : Le démoulage peut être effectué en décollant peu à peu la pièce par des tâtonnements successifs exercés sur la périphérie du moule.
5. *Finition* : La finition consiste à polir et à colorer la pièce si nécessaire.
6. *Produit fini* : On obtient ainsi *la galalithe*.

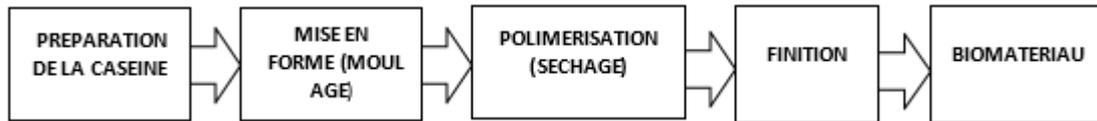


Figure 2 : les étapes de transformation de la caséine en biomatériau

2.2.3. Réalisation et essai mécanique :

Les essais mécaniques des différents échantillons ont été conduits dans notre travail via de banc d'essai « testwell ».



Figure 3 : photos des échantillons des biomatériaux

Plusieurs essais ont été réalisés afin d'avoir un intervalle de résultats. La variation de la quantité des matières premières pour ces échantillons suivant la variation des propriétés mécaniques (le module d'Young, le coefficient de Poisson et la résistance mécanique à la traction) sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

No. Echantillon	V _i (ml)	V _v (ml)	L (mm)	l (mm)	S (mm ²)	F (N)	ε _{max}	σ _{max} (Mpa)	E (Mpa)	ν
1	300	30	55	26	1430	10400	0,002	7,272727 273	3636,3 63636	0.31
2	300	35	66	26	1716	15400	0,002	8,974358 974	4487,1 79487	0.30
3	300	40	62	27	1674	10800	0,002	6,451612 903	3225,8 06452	0.33
4	300	50	48	26	1248	12400	0,002	9,935897 436	4967,9 48718	0.29
5	300	25	70	25	1750	15400	0,002	8,8	4400	0.29
6	300	20	60	35	2100	10600	0,002	5,047619 048	2523,8 09524	0.36
7	300	60	52	29	1508	10600	0,002	7,029177 719	3514,5 88859	0.31 1
8	300	15	53	27	1431	10000	0,002	6,988120 196	3494,0 60098	0.32

où V_L , V_V , L , l , S , F , ϵ_{\max} , σ_{\max} , E et correspondent respectivement aux volume du lait, le volume du vinaigre versé, la longueur de l'échantillon, la largeur de l'échantillon, le section du matériau, la force maximale supportée par le matériau, le déformation élastique maximale, la contrainte élastique maximal, le module d'Young et le coefficient de poisson.

Les valeurs issues de la caractérisation mécanique indiquent que plus la concentration en lait est en grande quantité, plus les propriétés mécaniques sont meilleures.

Dans la suite de notre travail, la simulation d'une poutre monoencastrée sous une contrainte mécanique a été entretenue. Un programme en élément fini de l'élasticité linéaire est donc développé. L'association de ce dernier avec un programme d'optimisation permet d'identifier la composition optimale des quantités des ingrédients.

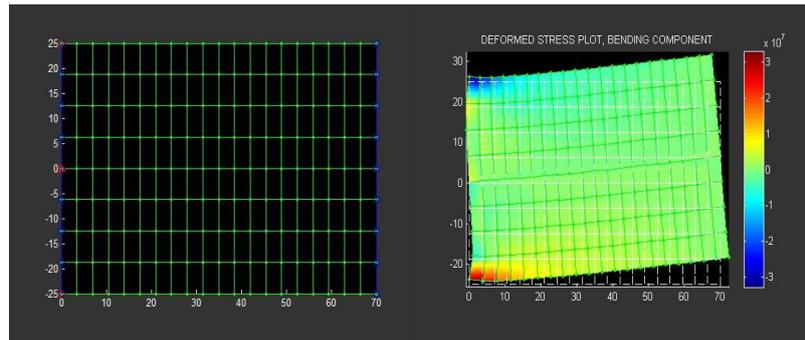
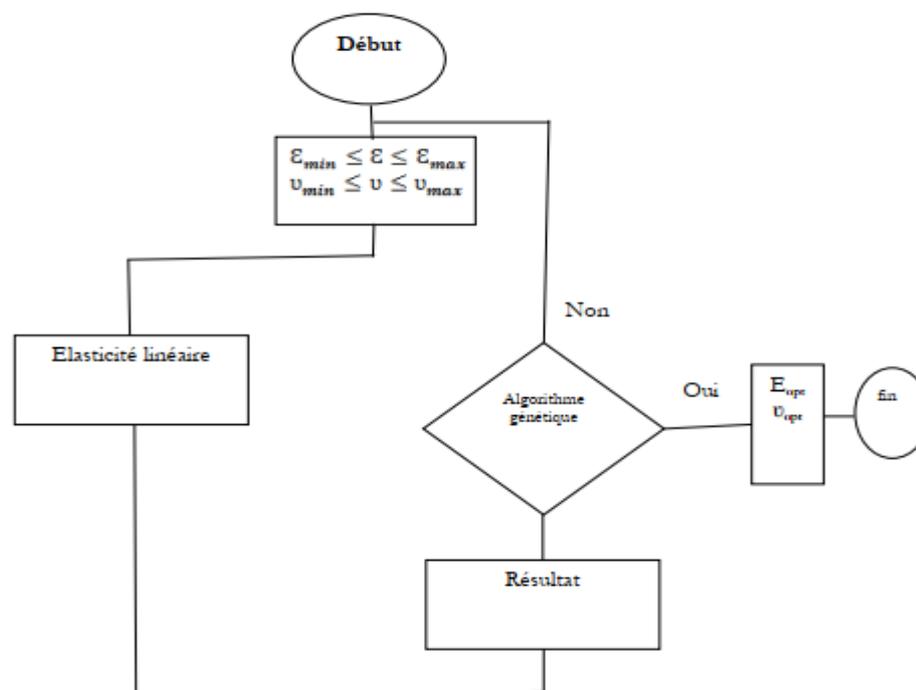


Figure 4 : graphe d'une poutre monoencastrée

L'organigramme 1 va nous permettre d'identifier E et ν correspondants à l'étude d'une poutre sous contrainte mécanique. L'avantage sur l'utilisation de ce type d'optimisation repose sur la possibilité de traitement d'un grand nombre d'échantillons. Des essais de simulation ont été alors réalisés et montre que pour la poutre monoencastrée sous contrainte 9.10^6 Pa à son extrémité, on trouve les valeurs de $E=4998046.398$ Pa et $\nu=0.15705$. Par la suite, nous pouvons déduire à partir de ces informations sur les propriétés élastiques du matériau, la composition des ingrédients, à savoir la quantité du lait et le vinaigre à mélanger au départ pour la conception du biomatériau. Après calcul, on a donc déterminé des valeurs de E et ν pour une utilisation spécifique du matériau, et à l'issue de l'identification de la composition des ingrédients de départ on trouve $V_L=300$ ml et $V_V=50$ ml ; néanmoins notre proposition de calcul peut traiter un grand nombre d'échantillons.



Organigramme 1

CONCLUSION

Le travail présenté dans cet article nous a démontré la faisabilité de la fabrication de matériaux à base de caséine présentant de bonne propriété mécanique. La disposition de deux volets expérimental et théorique nous a permis d'entretenir une analyse simultanée, permettant ainsi d'avancer notre étude. Nos premiers résultats sur les essais mécaniques démontrent qu'à une certaine composition, le biomatériau peut supporter des charges maximales de $F=15400N$. Une telle information est donc très vitale, sur les raisons principales de notre présent travail. D'autre part, le développement d'outil théorique performant sur la détermination de la composition nécessaire des matières premières, nous a beaucoup aidé sur le choix de la composition nécessaire des ingrédients, pour une application spécifique.

Dans nos proches perspectives, nous allons intégrer d'autres paramètres sur les conditions d'élaboration dans le calcul, à savoir la température et le temps de séchage, et d'éventuelles autres conditions de laboratoires. D'autre part, des essais expérimentaux supplémentaires sur l'aspect analyse microstructural de nos biomatériaux sont indispensables, à l'avenir afin de renforcer nos résultats.

Références :

- [1]F. Rasonoavy, J. H. (2019, Août 26 au 30). Etude théorique de nouvel actionneur en utilisant l'agorithme génétique et les réseaux de neurones couplés avec la modélisation par éléments finis piézoélectriques. *24ème Congrès Français de la mécanique*, pp. 2-4.
- [2]Rasoatahianjanahary, A. (2021). *Essai de fabrication de bioplastique à base de caséine*. Antananarivo.

L'auteur, Monsieur Faliniaina Rasoanoavy, né le 22 avril 1980 à Tananarive, a obtenu un diplôme de CAPEN à l'Ecole Normale Supérieure de Tananarive (filère physique chimie) en 2003, Bac+5 à la faculté des sciences à l'université de Tananarive (filère physique) en 2005, un Master Mathématique Informatique Physique et Applications, à l'université de Cergy Pontoise en 2008, et Doctorat en Sciences de l'université de Brest en 2012.

L'auteur Madame Andrianina Rasoatahianjanahary, a obtenu le diplôme de Master titre Ingénieur de l'Ecole Supérieure Polytechnique de Tananarive (2022)