



**HAL**  
open science

# Elaboration et comportement mécanique de composites à base de protéagineux

Magdalena Kristiawan, Guy Della Valle, Sofiane Guessasma

► **To cite this version:**

Magdalena Kristiawan, Guy Della Valle, Sofiane Guessasma. Elaboration et comportement mécanique de composites à base de protéagineux. 2023. hal-04671302

**HAL Id: hal-04671302**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04671302v1>**

Preprint submitted on 16 Aug 2024

**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.

## FICHE DE RECUEIL DES FAITS MARQUANTS DEPARTEMENTS/CENTRES

(Renseigner une fiche par fait marquant.

Les départements/centres peuvent choisir de faire la synthèse de plusieurs FM en une seule fiche si pertinent)

**Titre du fait marquant : Elaboration et comportement mécanique de composites à base de protéagineux**

**Catégorie:**

**Publication (indiquer le DOI)**

Imen Jebalia et al. (2022). Pulses based starch-protein composites: morphological , mechanical characterization and finite element modelling. Food Research International, 162, 112047

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112047>

**Contact(s) (nom+adresse mail, 3 max) :**

Magdalena KRISTIAWAN : [magdalena.kristiawan@inrae.fr](mailto:magdalena.kristiawan@inrae.fr)

Guy DELLA VALLE : [guy.della-valle@inrae.fr](mailto:guy.della-valle@inrae.fr)

Sofiane GUESSASMA : [sofiane.guessasma@inrae.fr](mailto:sofiane.guessasma@inrae.fr)

**Unité :** UR1268 BIA, Biopolymères Interactions Assemblages

**Département :** TRANSFORM

**Centre INRAE :** Pays de la Loire (site Nantes, La Géraudière)

**Résumé** (10 à 15 lignes max. à rédiger sous une forme exportable dans le Rapport Annuel.)

L'extrusion est un procédé souple, adapté à l'élaboration d'aliments à base de protéagineux. Outre leur densité et leur structure cellulaire, la texture de ces aliments dépend du comportement mécanique du matériau constitutif, ou pariétal. Ce matériau peut être considéré comme un composite d'amidon et de protéines, dont nous étudions ici la morphologie et les propriétés mécaniques. Des composites à base de pois sont élaborés par extrusion bi-vis. Leur morphologie est modulée par la formulation et l'énergie mécanique spécifique fournie par l'extrusion. Leurs propriétés mécaniques varient en fonction de la fraction volumique des protéines, de leurs caractéristiques morphologiques et des propriétés mécaniques locales des phases. Un modèle mécanique basé sur la méthode des éléments finis permet d'appréhender ces relations. Il met en évidence un effet important de l'interface entre les phases d'amidon et les protéines, matérialisé par une localisation du champ de contraintes. Ces résultats sont importants pour la conception raisonnée d'aliments à base de protéagineux.

**Contexte et enjeux :**

Les protéagineux (pois, lentilles, haricots ...), excellente source de protéines (20-30 % base sèche), peuvent contribuer à limiter l'impact environnemental associé à la consommation de protéines animales dans notre alimentation. La formulation de snacks expansés 100 % à base de protéagineux, est un moyen intéressant pour diversifier l'offre d'aliments à base de légumineuses. La texture de ces aliments est régie par la densité, la structure cellulaire et les propriétés mécaniques de la paroi cellulaire considérée comme un composite amidon-protéines. Dans ce contexte, le but de notre étude est de déterminer la relation entre les caractéristiques morphologiques et les propriétés mécaniques de ces composites amylo-protéiques, à base de pois, à l'état vitreux, en combinant des approches expérimentales et de modélisation numérique, à différentes échelles structurales.

**Résultats :**

Des composites à base de pois ont été élaborés par extrusion bi-vis co-rotative. Leurs caractéristiques morphologiques dépendent de la formulation et de l'énergie mécanique spécifique d'extrusion. Leurs propriétés mécaniques, déterminées à l'échelle macroscopique, varient en fonction de la fraction volumique des particules, de leurs caractéristiques morphologiques et de leurs propriétés mécaniques locales. Ces dernières ont été déterminées par des essais de nano-indentation, qui montrent que le module d'interphase varie, à teneur en eau constante, de 3 à 7

GPa.

En raison de la complexité du comportement mécanique de ces composites, et notamment du nombre de variables impliquées, nous avons déployé une approche de modélisation multi-échelle, basée sur la méthode des éléments finis (FEM), pour établir les lois constitutives des composites, en intégrant leur morphologie. À l'échelle microscopique, l'épaisseur et le module de l'interphase amidon-protéine sont prédits par la simulation du test de nano-indentation. L'essai de traction, à l'échelle macroscopique, peut alors être simulé, en intégrant la morphologie réelle et les paramètres de la loi constitutive, ainsi établie au cours des étapes précédentes. Cette loi constitutive a ensuite été validée par comparaison des résultats expérimentaux avec ceux issus de la modélisation.

L'ensemble des résultats a mis en évidence le rôle important (1) du contraste entre les propriétés mécaniques des phases, et (2) la rigidité à l'interphase sur l'hétérogénéité des contraintes à l'interface. La modélisation FEM multi-échelles a permis de comprendre les mécanismes de déformation des composites amylo-protéiques. Elle a ouvert la voie à l'optimisation des propriétés mécaniques par la conception de morphologies des composites.

#### Perspectives :

L'intégration des lois constitutives des composites dans la modélisation FEM de la mécanique des solides alvéolaires fragiles permet de concevoir des aliments solides expansés, à base de légumineuses, à la texture désirée.

#### Valorisation :

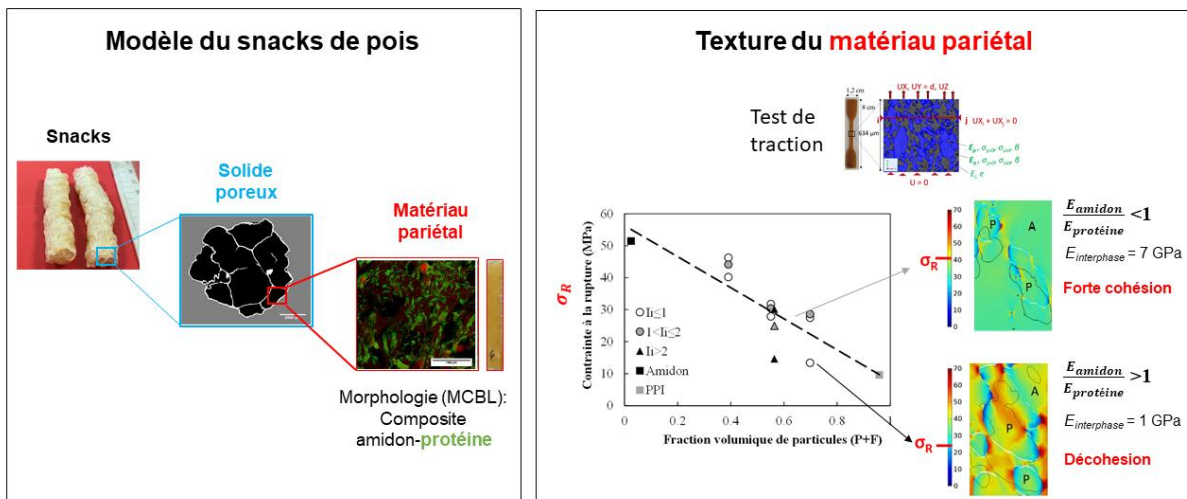
L'impact de la structure des aliments à base de légumineuses sur la digestibilité des macronutriments est maintenant étudié dans le cadre du projet LegAlim (2021-2023). A partir des données générées, nous élaborons un modèle phénoménologique de construction et déconstruction des aliments, décrivant les relations entre les variables d'extrusion, la structure, la texture, la mastication et la digestibilité, qui contribuera au développement d'une filière ingrédients à base de protéagineux.

#### Partenariat :

Région Pays de La Loire : Financement de la thèse d'Imen Jebalia (50%).

Imperial College (Londres, UK) : Maria Charalambides & Samuel A. Humphry-Baker ; propriétés locales des composites par nano-indentation.

**Photos** (au format jpg idéalement 150 ppp, avec légende, auteur de la photo, et copyright s'il y en a un)



**Figure.** Dépendance du comportement mécanique du matériau pariétal des snacks à la morphologie (l'indice d'interface amidon-protéine  $li$ ) et à la fraction volumique des phases présentant des propriétés intrinsèques et interphases différentes. La morphologie est représentée par des agrégats de protéines (vert) dispersés dans une matrice d'amidon (gris).

**Auteur :** Imen Jebalia, Anne-Laure Réguerre, Magdalena Kristiawan

