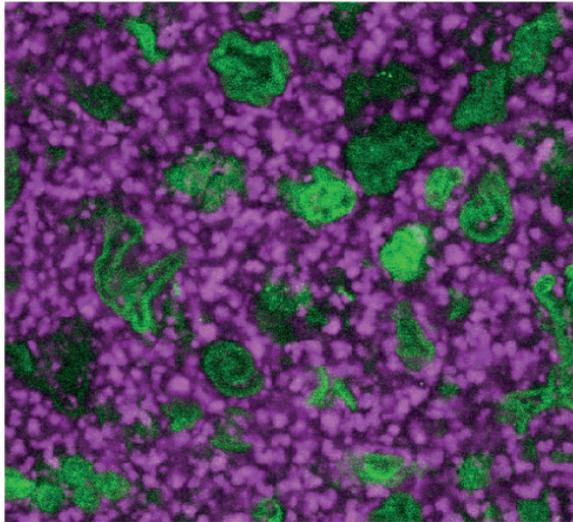


SCIENCE ET INGÉNIERIE
DES MATÉRIAUX

Sous la direction de

**Giana Almeida
et Maud Panouillé**

Ingénierie de la structure des produits alimentaires



Lavoisier
hermes

Sous la direction de
Giana Almeida et Maud Panouillé

Ingénierie de la structure des produits alimentaires

Lavoisier
hermes

edition.lavoisier.fr

Collection
Science et ingénierie des matériaux
dirigée par Bruno Vergnes
Directeur de recherches MINES ParisTech
CEMEF (Sophia Antipolis)

Composites polymères et fibres lignocellulosiques
Propriétés, transformation et caractérisation (2017)
Berzin F., coord.

Mécanique des solides indéformables (2014)
Bouzidi R., Le Van A., Thomas J.-C.

Systèmes diphasiques
Éléments fondamentaux et applications industrielle (2014)
Woillez J.

Direction éditoriale : Jean-Marc Bocabeille

Édition : Laurence Sourdillon

Composition : Patrick Leleux PAO

© 2019, Lavoisier, Paris

ISBN : 978-2-7462-4870-0

Auteurs

Cet ouvrage a été coordonné par **Giana Almeida** Ingénierie Procédés Aliments, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 91300, Massy, France et **Maud Panouillé** UMR GMPA, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850, Thiverval-Grignon, France

David Blumenthal Ingénierie Procédés Aliments, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 91300, Massy, France

Véronique Bosc Ingénierie Procédés Aliments, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 91300, Massy, France

Gérard Cuvelier Ingénierie Procédés Aliments, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 91300, Massy, France

Fabrice Ducept Ingénierie Procédés Aliments, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 91300, Massy, France

Denis Flick Ingénierie Procédés Aliments, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 91300, Massy, France

Marine Masson Ingénierie Procédés Aliments, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 91300, Massy, France

Camille Michon Ingénierie Procédés Aliments, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 91300, Massy, France

Anne Saint-Eve UMR GMPA, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850, Thiverval-Grignon, France

Isabelle Souchon UMR GMPA, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850, Thiverval-Grignon, France

Liste des acronymes

ACP	Analyse en composantes principales
AW	Activité de l'eau
DE	Dextrose Equivalent
DSC	Calorimétrie différentielle à balayage
DTS	Dominance temporelle des sensations
ESR	Échangeur de chaleur à surface raclée
FBRM	Focused Beam Reflectance Measurement
FEG	Field Emission Gun
GDL	Glucono-delta-lactone
HPC	Hydroxypropylcellulose
HPMC	Hydroxypropylmethylcellulose
IRM	Imagerie par résonance magnétique nucléaire
LISREL	Linear Structural Relations
MCBL	Microscopie confocale à balayage laser
MEB	Microscopie électronique à balayage
MEBE	Microscope électronique à balayage environnemental
MET	Microscopie électronique à transmission
ON	Ouverture numérique
PDMS	Polydiméthylsiloxane
PLS PM	Partial Least Square Path Modelling
PLS-R	Partial Least Square Regression
PP	Profil progressif
RMN	Résonance magnétique nucléaire
TI	Temps-Intensité
TPA	Analyse de profil de texture
VER	Volume élémentaire représentatif
VL	Variables latentes
VM	Variables mesurées

Table des matières

Auteur.....	III
Liste des acronymes.....	IV

Introduction

Construction des propriétés des produits alimentaires :
une approche matériaux menée à différentes échelles

1. Regarder seulement la composition des produits est insuffisant	2
<hr/>	
2. Structure des matériaux alimentaires obtenue par transformation et assemblage	4
<hr/>	
3. Dynamique de structuration des matériaux alimentaires : intérêt des démarches de simplification	7
<hr/>	
4. Conclusion : quelles questions pour comprendre la structure d'un produit fini aux différentes échelles	11
<hr/>	

Chapitre 1

Caractérisation des produits et fonctionnalités

1. Caractérisations rhéologiques : étude de cas sur différents systèmes	17
<hr/>	
1.1. Systèmes dispersés.....	19
1.2. Systèmes épaissis et propriétés d'usage.....	28
1.3. Systèmes gélifiés : exemple lié à la transformation du surimi	29

2. Caractérisation des propriétés aux interfaces	32
2.1. Propriétés interfaciales liquide/liquide ou liquide/gaz et contrôle des propriétés au cours du procédé	33
2.2. Interfaces liquide/solide ou solide/solide	41
3. Outils d'observation de la structure de produits alimentaires	49
3.1. Observation de la structure des produits alimentaires à l'aide de la microscopie optique	50
3.2. Observation de la structure des produits alimentaires à l'aide de la microscopie électronique	57
3.3. Autres méthodes de caractérisation de la structure des produits alimentaires	61
3.4. Méthodes d'analyse d'images appliquées aux produits alimentaires.....	63
4. Conclusion	66

Chapitre 2

Dynamique de la structuration dans les procédés thermomécaniques : vers une modélisation multi-échelle

1. Introduction	72
2. Produits à base d'amidon	74
2.1. Gonflement d'un granule d'amidon	74
2.2. Évolution d'une suspension d'amidon à l'échelle d'un volume élémentaire représentatif	79
2.3. Modélisation simplifiée de l'évolution d'une suspension d'amidon dans un échangeur tubulaire	81
2.4. Modélisation 2D/3D de l'évolution d'une suspension d'amidon dans un échangeur tubulaire	82
2.5. Résumé de la démarche multi-échelle	86
3. Produits contenant des protéines sériques	87

3.1. Agrégation de deux protéines	87
3.2. Modèle d'agrégation de protéines par bilan de population	88
3.3. Modélisation de l'agrégation de protéines sériques dans un échangeur tubulaire par une approche Euler/Lagrange	90
4. Sorbets et crèmes glacées	92
<hr/>	
4.1. Modèle de croissance d'un cristal de glace.....	92
4.2. Modèle de nucléation et croissance cristalline par bilan de population	94
4.3. Modélisation (0D) de la cristallisation dans une sorbetière	94
4.4. Modélisation (3D) de l'évolution de la fraction de glace dans l'échangeur à surface raclée d'un freezer.....	97
5. Produits alvéolés	99
<hr/>	
5.1. Croissance d'une bulle dans un fromage.....	99
5.2. Modèle d'expansion d'une pâte à pain lors de la cuisson.....	101
6. Mousses	104
<hr/>	
6.1. Liste des variables physiques impliquées dans le foisonnement	105
6.2. Établissement des nombres sans dimension	105
6.3. Établissement de la relation	106
7. Conclusion	111
<hr/>	

Chapitre 3

Influence de la structure des aliments sur leur déstructuration en bouche : liens avec la perception sensorielle et la digestion

1. Description du processus oral, en lien avec l'évolution des propriétés du bol alimentaire et les perceptions sensorielles	116
<hr/>	

2. Impact de la structure sur le processus oral et les perceptions sensorielles : illustrations avec différents produits alimentaires de structures variées	122
2.1. Émulsions et produits semi-liquides	122
2.2. Émulsions gélifiées.....	128
2.3. Pain.....	132
3. Perspectives : prendre en compte la déstructuration dans la formulation des aliments	139
3.1. Réduction du sucre, du sel ou de la matière grasse.....	139
3.2. Populations spécifiques	140

Chapitre 4

Pourquoi se lancer dans une démarche de formulation raisonnée pour un produit ?

1. Comprendre les liens entre les caractérisations instrumentales et sensorielles	150
2. Maîtriser ses expérimentations	153
3. Identifier les caractéristiques sensorielles du produit optimal	156
4. Vers une démarche globale	158
Conclusion	161
Index.....	163

Cet ouvrage s'intéresse à la structure des aliments, de leur conception à leur consommation. La structure d'un aliment correspond à l'organisation de ses éléments structuraux et aux relations qui existent entre eux. La connaissance et la mesure de cette structure sont primordiales pour concevoir de manière raisonnée, pour innover ou améliorer les propriétés d'usage des aliments.

Ce livre se propose tout d'abord de définir la structure des aliments à partir d'exemples précis. Il présente ensuite différentes méthodes de caractérisation couramment utilisées pour mieux comprendre la structure des aliments, des ingrédients aux produits finis, du laboratoire à la chaîne de production. Des techniques de modélisation sont également présentées, permettant de prédire la transformation du produit lors de sa fabrication. Les modifications de structure de l'aliment en bouche, à l'origine de ses propriétés sensorielles, sont considérées. Enfin, une démarche de formulation raisonnée des aliments permet d'intégrer l'ensemble des connaissances relatives à la structure des produits.

Différents exemples illustreront l'ouvrage, comme l'amidon et les produits céréaliers ou les émulsions et les mousses laitières. Ils montrent comment la compréhension et la maîtrise de la structure des aliments permettent de construire de façon raisonnée leur qualité, de la matière première jusqu'au produit fini, pour répondre aux attentes du consommateur.

Ce livre a été coordonné par *Giana Almeida*, *Ingénierie Procédés Aliments*, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay et *Maud Panouillé*, *UMR GMPA*, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay