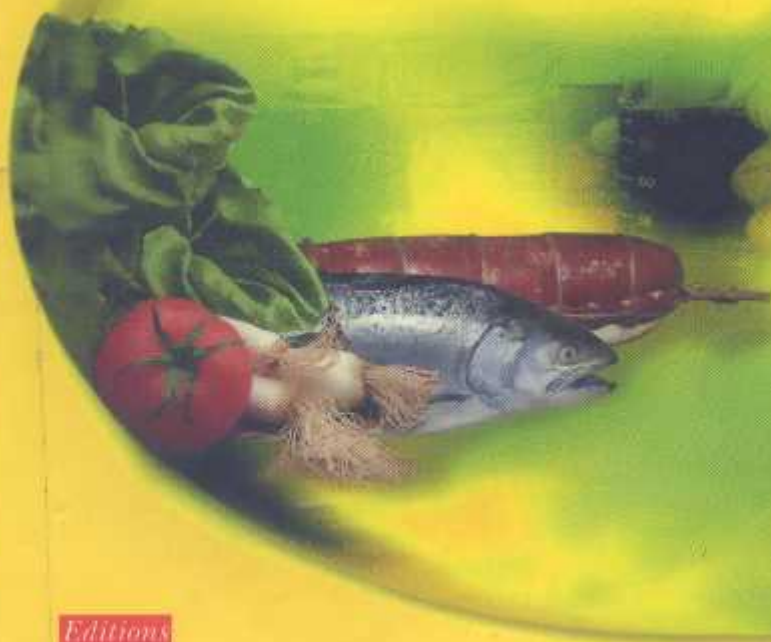


2. Technologie
des produits
alimentaires

Science des aliments

Biochimie • Microbiologie • Procédés • Produits

Romain Jeantet
Thomas Croguennec
Pierre Schuck
Gérard Brulé
coordonnateurs



Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

La maîtrise de la qualité des aliments et le développement de nouveaux produits en adéquation avec les multiples exigences du marché impliquent de la part des responsables techniques du secteur agroalimentaire une démarche de plus en plus rigoureuse. Celle-ci s'appuie notamment sur les acquis scientifiques en microbiologie et physico-chimie des aliments, et sur les technologies mises en œuvre dans leur élaboration et leur conservation.

Science des aliments — Biochimie • Microbiologie • Procédés • Produits expose l'ensemble des fondements biologiques et physico-chimiques nécessaires à la maîtrise de l'élaboration des aliments et de leur évolution suivant les conditions de conservation, ainsi que les bases thermodynamiques des procédés mis en œuvre.

- ▶ **Le volume 1, « Stabilisation biologique et physico-chimique »** décrit les phénomènes microbiologiques, biochimiques et physico-chimiques impliqués dans l'évolution de la qualité des aliments, ainsi que les procédés et moyens technologiques permettant d'en assurer la stabilité biologique et physico-chimique.
- ▶ **Le volume 2, « Technologie des produits alimentaires »** présente les bases biologiques, physico-chimiques et technologiques de l'élaboration des principaux aliments d'origine animale et végétale, ainsi que les perspectives en matière de technologie d'assemblage qu'offre le développement des ingrédients alimentaires.

Cet ouvrage, par son approche synthétique et didactique, s'adresse aux techniciens supérieurs et aux ingénieurs de l'ensemble des secteurs agroalimentaires. Il apporte également une contribution utile à la formation des étudiants des filières agroalimentaires ou biotechnologiques (BTS, IUT, licences, masters et écoles d'ingénieurs).

Romain Jeantet, Thomas Croguennec et Gérard Brulè sont tous les trois enseignants chercheurs au sein du département agroalimentaire d'Agrocampus Rennes.

Pierre Schuck est ingénieur au laboratoire de recherche en technologie laitière du centre INRA de Rennes.

Ils ont également participé à la rédaction d'*Initiation à la technologie fromagère, Les produits industriels laitiers et Génie des procédés appliqué à l'industrie laitière*, parus aux éditions Tec & Doc.

2-7430-0888-1



9 782743 008888

BL 320 / Vol 2 / 8

34177
③

Science des aliments

Biochimie — Microbiologie — Procédés — Produits

Volume 2

Technologie des produits alimentaires



Romain Jeantet
Thomas Croguennec
Pierre Schuck
Gérard Brulé

Coordonnateurs



Editions
TEC
& **DOC**

11, rue Lavoisier
75008 Paris

LONDRES - PARIS - NEW YORK

Table des matières

Introduction

De l'empirisme à la technologie raisonnée	2
De la conception de l'aliment à la technologie d'assemblage	3
De la nécessité de l'emballage et du conditionnement	4

Première partie

Biochimie et technologie des produits d'origine animale

Chapitre 1

Du lait aux produits laitiers

1. Biochimie et physico-chimie du lait	7
1.1. Matière grasse laitière	8
1.1.1. Composition et caractéristiques de la matière grasse laitière	8
1.1.2. Membrane des globules gras	10
1.2. Glucides	11
1.3. Protéines	12
1.3.1. Caséines	12
1.3.2. Structure de la micelle de caséine	14
1.3.3. Protéines sériques	15
1.4. Minéraux du lait	17
2. Bases biologiques et physico-chimiques de la transformation du lait	19
2.1. Facteurs de stabilité des globules gras	19
2.1.1. Globules gras natifs	19
2.1.2. Globules gras homogénéisés	20
2.2. Facteurs de stabilité des protéines	21
2.2.1. Influence de la température	22
2.2.2. Influence d'une concentration du lait	23
2.2.3. Influence d'une modification de l'environnement ionique	23
2.2.4. Influence d'une acidification	23
2.2.5. Influence d'un ajout de présure	24

3. Technologie des produits laitiers.....	26
3.1. Lait de consommation.....	26
3.1.1. Lait cru.....	27
3.1.2. Lait traité thermiquement.....	27
3.1.3. Lait microfiltré.....	29
3.2. Produits laitiers fermentés.....	30
3.2.1. Standardisation du lait de fabrication.....	31
3.2.2. Homogénéisation.....	31
3.2.3. Traitement thermique.....	31
3.2.4. Fermentation.....	31
3.3. Lait en poudre.....	33
3.3.1. Séchage du lait.....	33
3.3.2. Propriétés physiques des poudres de lait.....	35
3.3.3. Propriétés technologiques des poudres de lait.....	37
3.4. Fromages.....	40
3.4.1. Standardisation physico-chimique et biologique des laits.....	41
3.4.2. Coagulation.....	43
3.4.3. Égouttage.....	44
3.4.4. Affinage.....	50
3.4.5. Accidents de fromagerie et défauts des fromages.....	54
3.5. Crèmes et beurres.....	55
3.5.1. Crèmes.....	56
3.5.2. Beurres.....	57
3.5.3. Beurre NIZO.....	60

Chapitre 2

Du muscle à la viande et aux produits dérivés

1. Biochimie du muscle (animaux terrestres et poissons).....	61
1.1. Organisation et composition du muscle de viande et de poisson.....	62
1.1.1. Organisation des tissus.....	62
1.1.2. Comparaison des compositions biochimiques du muscle de la viande et du poisson.....	65
1.2. Structure du muscle.....	68
1.2.1. Cellule musculaire.....	68
1.2.2. Muscles blancs et muscles rouges.....	72
1.2.3. Tissu conjonctif.....	72
1.3. Protéines.....	72
1.3.1. Protéines du tissu musculaire.....	72
1.3.2. Protéines du tissu conjonctif.....	77
1.3.3. Autres protéines du tissu conjonctif.....	81
1.4. Glucides.....	81
1.5. Vitamines et minéraux.....	81
2. Bases biologiques et physico-chimiques de la transformation du muscle.....	82
2.1. Contraction musculaire.....	82
2.1.1. Couplage de l'excitation et de la contraction.....	82
2.1.2. Relaxation.....	82
2.1.3. Sources d'énergie de la contraction musculaire.....	83

2.2. Évolution du muscle après la mort	84
2.2.1. Transport des animaux	84
2.2.2. L'étourdissement et la mort	84
2.2.3. État pantelant ou phase d'excitabilité musculaire	85
2.2.4. La <i>rigor mortis</i> ou phase de rigidité cadavérique	86
2.2.5. Résolution de la <i>rigor mortis</i> : la maturation	90
2.2.6. Phase d'autolyse ou de putréfaction	93
3. Technologie de la viande et du poisson	93
3.1. Technologie de la viande	93
3.1.1. Fabrication du jambon	93
3.1.2. Fabrication du saucisson sec	96
3.2. Technologie du poisson	99
3.2.1. Fabrication des marinades	99
3.2.2. Fabrication du surimi	101

Chapitre 3

De l'œuf aux ovoproduits

1. L'œuf de poule, matière première de l'industrie des ovoproduits	107
1.1. Structure et composition	107
1.2. Caractéristiques biochimiques et physico-chimiques des fractions protéiques et lipidiques de l'œuf	109
1.2.1. Protéines du blanc d'œuf	109
1.2.2. Constituants protéiques du jaune d'œuf	111
1.2.3. Lipides du jaune d'œuf	113
2. Propriétés physico-chimiques des diverses fractions de l'œuf	113
2.1. Propriétés interfaciales	113
2.1.1. Propriétés moussantes du blanc d'œuf	113
2.1.2. Propriétés émulsifiantes du jaune d'œuf	115
2.2. Propriétés gélifiantes	118
2.2.1. Blanc d'œuf	118
2.2.2. Jaune d'œuf	121
3. Industrie des ovoproduits : technologies et produits	123
3.1. Décontamination des coquilles	125
3.2. Cassage et séparation du blanc et du jaune	125
3.3. Décontamination et stabilisation des ovoproduits de première transformation	126
3.3.1. Traitements thermiques	126
3.3.2. Radiations ionisantes	128
3.3.3. Diminution de l' a_w	128
3.4. Ovoproduits élaborés (seconde transformation)	129
3.5. Produits d'extraction de l'œuf	130

Deuxième partie

Biochimie et technologie des produits d'origine végétale

Chapitre 4

Du blé au pain et aux pâtes alimentaires

1. Biochimie et physico-chimie du blé	139
1.1. Composition globale	139
1.1.1. Caractéristiques histologiques du grain de blé	140
1.1.2. Structure de l'albumen amyloacé (amande)	142
1.1.3. Structure des enveloppes	142
1.1.4. Structure du germe	143
1.2. Structure et propriétés des constituants	144
1.2.1. Glucides	144
1.2.2. Protéines	148
1.2.3. Lipides	150
2. Bases biologiques et physico-chimiques de la transformation du blé	151
2.1. Élaboration de la texture	153
2.1.1. Structuration des pâtes boulangères	153
2.1.2. Structuration des pâtes alimentaires	155
2.1.3. Formage des pâtes	156
2.1.4. Expansion	157
2.1.5. Stabilisation	157
2.2. Élaboration de la couleur et de la saveur	158
2.2.1. Réactions d'oxydation	158
2.2.2. Fermentations	159
2.2.3. Réactions de Maillard et de caramélisation	159
3. Technologie de la mouture, de la panification et de la pastification du blé	160
3.1. Transformation du grain en farines et semoules	160
3.1.1. Transformation du blé tendre en farine	160
3.1.2. Transformation du blé dur en semoules	166
3.2. Panification	168
3.2.1. Valeur boulangère	168
3.2.2. Critères qualité de la valeur boulangère des blés tendres	169
3.2.3. Conduites de panification	172
3.3. Pastification	181
3.3.1. Valeur pastière	182
3.3.2. Conduites de pastification	185

— Chapitre 5

De l'orge à la bière

1. Biochimie et structure de l'orge et du malt	191
1.1. Morphologie du grain d'orge	192
1.2. Composition biochimique de l'orge	192
1.3. Composition et structure des amidons et protéines	194
1.3.1. Amidon	194

1.3.2. Protéines	194
1.4. Effet du maltage	195
1.4.1. Objectifs du maltage	195
1.4.2. Trempe	196
1.4.3. Germination	196
1.4.4. Touraillage	197
2. Bases biologiques et physico-chimiques de la transformation	198
2.1. Dégradation enzymatique des amidons et protéines	199
2.1.1. Dégradation enzymatique au cours du maltage	199
2.1.2. Dégradation enzymatique au cours du brassage	201
2.2. Fermentescibilité du moût	204
2.2.1. Objectifs de la fermentation	205
2.2.2. Modifications biochimiques	205
3. Technologie des bières	205
3.1. Étapes du maltage	205
3.1.1. Trempe	206
3.1.2. Germination	207
3.1.3. Touraillage	207
3.1.4. Dégermage et stockage du malt	208
3.2. Étapes de la fabrication de la bière	208
3.2.1. Concassage	208
3.2.2. Macération	208
3.2.3. Filtration de la maïsche	210
3.2.4. Ébullition du moût	210
3.2.5. Clarification et refroidissement du moût	211
3.2.6. Fermentation	211
3.2.7. Garde	211
3.2.8. Filtration	212
3.2.9. Stabilisation	213
3.2.10 Conditionnement	213

Chapitre 6

Des fruits aux jus de fruits et produits fermentés

1. Développement des fruits	215
1.1. Phases du développement	215
1.2. Maturation des fruits	216
1.2.1. Rôle de l'éthylène	217
1.2.2. Modification pariétale	218
1.2.3. Synthèse des composés aromatiques	219
2. Biochimie des jus de fruits	220
2.1. Pectines	220
2.1.1. Régions homogalacturonanes (HG)	221
2.1.2. Régions rhamnogalacturonanes (RG)	222
2.1.3. Quelques propriétés des pectines	222
2.2. Enzymes pectinolytiques	224
2.2.1. Pectine méthylestérases	224

2.2.2. Polygalacturonases	225
2.2.3. Lyases	226
2.2.4. Arabinanases	227
2.3. Composés amers et astringents	277
2.3.1. Limonoïdes	228
2.3.2. Flavanones	229
2.3.3. Proanthocyanidols	230
3. Technologie des jus de fruits	230
3.1. Préparation des fruits	230
3.2. Prétraitement	231
3.3. Pressage	231
3.3.1. Pressoirs discontinus	231
3.3.2. Presses à bande	232
3.3.3. Aides au pressage	232
3.3.4. Extracteurs pour agrumes	232
3.4. Traitement des jus de fruit	233
3.4.1. Stabilisation des jus troubles	233
3.4.2. Clarification des jus	236
3.4.3. Traitements de désamérisation	238
3.5. Pasteurisation, pascalisation et concentration	240
3.5.1. Pasteurisation	240
3.5.2. Traitements hautes pressions	241
3.5.3. Concentration	241
4. Cidre	242
4.1. Particularités du cidre français	242
4.2. Procédés préfermentaires	243
4.2.1. Extraction des moûts	243
4.2.2. Clarification préfermentaire	244
4.3. Action des micro-organismes	244
4.3.1. Successions de levures et fermentation	244
4.3.2. Altérations levuriennes et bactériennes	246
4.4. Interventions technologiques fermentaires et post-fermentaires	248
4.4.1. Conduite des fermentations	248
4.4.2. Opérations de conditionnement	249

Chapitre 7

Des légumes aux produits « 4^e gamme »

1. L'activité respiratoire des végétaux	252
1.1. Mesure et modélisation de l'activité respiratoire	252
1.2. Maîtrise de l'activité respiratoire	254
2. Brunissement enzymatique	255
2.1. Mécanisme et évaluation	255
2.2. Prévention du brunissement enzymatique	256
3. Les opérations unitaires de fabrication des produits « 4 ^e gamme » :	
Principaux problèmes scientifiques et techniques	257
3.1. Les matières premières : sélection des variétés et des modes de culture	259

3.2. Contrôle de la qualité de la matière première : l'agrégage	260
3.3. Parage et mélange	260
3.4. Découpe	261
3.5. Lavage et désinfection	262
3.5.1. Description des procédés traditionnels de lavage et désinfection	263
3.5.2. Procédés alternatifs au chlore	263
3.5.3. La lutte contre le développement microbien	265
3.6. Essorage et séchage	265
3.7. Pesage	266
3.8. Ensachage	266
4. Emballage sous atmosphère modifiée	267
4.1. Diffusion des gaz à travers les films d'emballage	267
4.1.1. Mesure et modélisation de la diffusion des gaz à travers les films	267
4.1.2. Les différents types de films d'emballage utilisés	268
4.2. Évolution des teneurs gazeuses dans les emballages sous atmosphère modifiée	269

Troisième partie

Propriétés et technologies des ingrédients

Chapitre 8

Propriétés fonctionnelles des ingrédients

1. Interactions avec l'eau : propriétés d'hydratation et pouvoir épaississant	279
1.1. Nature des interactions	279
1.2. Influence des constituants hydrophiles sur la disponibilité et mobilité de l'eau	280
1.3. Influence de l'hydratation sur la solubilisation, la structure et la mobilité des macromolécules	281
1.4. Influence de l'hydratation des constituants sur les propriétés rhéologiques du milieu	281
2. Interactions intermoléculaires : propriétés texturantes	282
2.1. Agrégation/gélification par déstabilisation des macromolécules ou éléments particuliers	282
2.2. Agrégation/gélification par réticulation covalente	283
2.3. Transformation sol-gel	283
2.4. Influence des cinétiques de dénaturation et d'interactions moléculaires	284
3. Propriétés interfaciales : pouvoir moussant-pouvoir émulsifiant	285
3.1. Tension interfaciale	285
3.2. Nature des substances tensioactives	287
3.3. Pouvoir émulsifiant et moussant	287
3.3.1. Pouvoir émulsifiant	287
3.3.2. Pouvoir moussant	288

Chapitre 9

Bases physico-chimiques du fractionnement et technologies associées

1. Séparation particulaire	291
1.1. Agrégation, insolubilisation, cristallisation d'éléments moléculaires	292
1.1.1. Agrégation isoélectrique, ionique, thermochimique	292
1.1.2. Insolubilisation par abaissement de la constante diélectrique du solvant	294
1.1.3. Cristallisation	294
1.2. Procédés de séparation	295
1.2.1. Décantation et centrifugation	295
1.2.2. Microfiltration	296
2. Séparation moléculaire de nature stérique	298
2.1. Réduction ou accroissement de la taille des molécules à séparer	298
2.2. Procédés de séparation	298
2.2.1. Ultrafiltration	298
2.2.2. Chromatographie d'exclusion	305
3. Séparation moléculaire de nature ionique	306
3.1. Influence des caractéristiques physico-chimiques du solvant sur la charge	306
3.2. Procédés de séparation	307
3.2.1. Électrodialyse	307
3.2.2. Chromatographie d'échange d'ions	308
4. Séparation moléculaire par affinité	311
4.1. Immobilisation des ligands	311
4.2. Procédé d'extraction	312
5. Extraction de molécules lipophiles	313
5.1. Partition moléculaire entre deux phases non miscibles	313
6. Séparation après bioconversion des molécules à éliminer	315

Chapitre 10

Bioconversion et transformations physico-chimiques.

1. Transformations biologiques	317
1.1. Agents biologiques	317
1.2. Cinétiques de bioconversion	318
1.2.1. Cinétique microbienne	318
1.2.2. Cinétique enzymatique	323
1.2.3. Cinétiques en milieu hétérogène	326
1.3. Bioréacteurs	329
1.3.1. Réacteur discontinu (batch)	330
1.3.2. Réacteur discontinu alimenté (<i>Fed batch</i>)	331
1.3.3. Réacteur continu parfaitement agité (<i>CSTR : continued stirred tank reactor</i>)	333
1.3.4. Réacteur continu à lit fixe ou à écoulement piston (<i>PFR : plug flow reactor</i>)	336
1.3.5. Réacteur PFR avec recyclage	337
1.4. Critères de choix d'un bioréacteur	338
1.4.1. Taux de conversion	338

1.4.2. Inhibitions	339
1.4.3. Modifications physico-chimiques du milieu réactionnel	339
1.5. Assemblage de bioréacteurs	339
2. Transformations physico-chimiques	341
2.1. Traitements hydrothermiques et mécaniques	342
2.2. Réticulation des macromolécules	345
2.3. Greffage de groupements fonctionnels	346
2.4. Hydrogénation	347

Chapitre 11

Mise en œuvre des techniques séparatives

1. Protéines et peptides	349
1.1. Protéines et peptides issus du lait	349
1.1.1. Concentrés de protéines totales	350
1.1.2. Caséines totales (caséines/caséinates)	352
1.1.3. Protéines solubles totales	355
1.1.4. Protéines individuelles	356
1.1.5. Peptides bioactifs	358
1.2. Extraction du lysozyme à partir du blanc d'œuf	359
1.3. Extraction de la gélatine	360
1.4. Protéines végétales	361
2. Glucides	363
2.1. Saccharose	363
2.1.1. Obtention des jus bruts	364
2.1.2. Épuration des jus	367
2.1.3. Concentration des jus par évaporation	368
2.1.4. Cristallisation du saccharose	368
2.1.5. Raffinage	371
2.1.6. Séchage	371
2.1.7. Conditionnement	372
2.1.8. Applications du saccharose et de ses dérivés en alimentaire	372
2.2. Lactose	375
2.2.1. Extraction et purification	375
2.2.2. Dérivés du lactose	377
2.3. Polysaccharides	378
2.3.1. Amidon	378
2.3.2. Carraghénanes	381
2.3.3. Alginate	383
2.3.4. Pectines	384
2.3.5. Xanthane	384
3. Lipides	386
3.1. Technologie de préparation des huiles végétales	387
3.1.1. Obtention de l'huile brute	387
3.1.2. Raffinage de l'huile brute	388
3.2. Traitements de modification des lipides	391
3.2.1. Hydrogénation	391

3.2.2. Trans-estérification	393
3.2.3. Fractionnement	395
4. Pigments et arômes	396
4.1. Nature des pigments et arômes	397
4.2. Extraction/concentration des colorants et arômes	403
4.2.1. Extraction solide/liquide	403
4.2.2. Extraction liquide/liquide	405
4.2.3. Extraction par distillation	405
4.2.4. Extraction par expression	406
4.3. Formulation	406

Quatrième partie

Emballage et conditionnement

Chapitre 12

Emballage

1. Définition et principes fondamentaux	413
2. Fonctions de l'emballage	414
2.1. Fonctions techniques de l'emballage	414
2.1.1. Contenant	414
2.1.2. Logistique	414
2.1.3. Protection	415
2.1.4. Service	416
2.2. Fonctions communication de l'emballage	417
2.2.1. Marketing	417
2.2.2. Information	418
2.2.3. Communication	418
2.3. Fonction environnementale de l'emballage	418
3. Les propriétés de l'emballage	419
3.1. Perméabilité	420
3.1.1. Principes physiques	420
3.1.2. Paramètres influents sur la perméabilité	421
3.1.3. Notion de perméabilité sélective	423
3.2. Migrations	423
3.2.1. Migrants potentiels	423
3.2.2. Types de migration	424
3.2.3. Tests de migration et réglementation	426
3.3. Autres propriétés des emballages	428
3.3.1. Résistance mécanique	428
3.3.2. Conductibilité thermique	428
3.3.3. Propriétés barrières au rayonnement	429
4. Matériaux d'emballage	429
4.1. Matériaux cellulosiques	429
4.1.1. Bois	430
4.1.2. Papiers et cartons	430

4.1.3. Cellulose moulée	432
4.2. Verre	432
4.3. Métaux	433
4.3.1. Acier	433
4.3.2. Aluminium	434
4.3.3. Les vernis de protection de l'emballage métallique	434
4.4. Plastiques	436
4.4.1. Composition	436
4.4.2. Mise en œuvre	439
4.5. Biomatériaux	440
4.5.1. Utilisation de biopolymères pour la fabrication d'emballages	440
4.5.2. Propriétés et applications des bio-emballages	440

Chapitre 13

Conditionnement

1. Conditionnement sous vide	443
2. Conditionnement sous atmosphère modifiée	445
2.1. Rôle des gaz	445
2.1.1. Azote	445
2.1.2. Dioxyde de carbone	445
2.1.3. Oxygène	446
2.1.4. Autres gaz	446
2.2. Applications	447
2.2.1. Produits secs ($a_w < 0,4-0,5$)	447
2.2.2. Produits à humidité intermédiaire ($0,4 < a_w < 0,8$)	447
2.2.3. Produits à forte humidité ($a_w > 0,8$)	447
2.3. Réglementation	449

Index	453
-------------	-----