

I. Stabilisation
biologique et
physico-chimique

Science des aliments

Biochimie • Microbiologie • Procédés • Produits

Romain Jeantet
Thomas Croguennec
Pierre Schuck
Gérard Brulé
coordonnateurs



Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

Table des matières

Introduction

Des procédés ancestraux de conservation à la naissance de l'industrie agroalimentaire	1
D'une demande quantitative à des exigences qualitatives	3
Des critères de qualité de mieux en mieux cernés	5
Saisir la demande qualitative, un défi pour l'industrie agroalimentaire	9

Première partie

L'eau et les constituants des aliments

Chapitre 1

L'eau

Introduction	13
1. Structure et état de l'eau	13
2. Propriétés de l'eau	16
2.1. Activité de l'eau (a_w)	18
2.1.1. Définition	18
2.1.2. Mesure	20
2.1.3. Isotherme de sorption	20
2.2. Transition vitreuse	26
2.2.1. Principe	26
2.2.2. Mesure et calcul	29
2.3. Diagramme de phase	31

Chapitre 2

Autres constituants des aliments

1. Glucides	33
1.1. Structure des glucides	34
1.2. Glucides en solution	36
1.2.1. Mutarotation	36

1.2.2. Solubilité des sucres	37
1.2.3. Cristallisation des sucres	38
2. Protéines	40
2.1. Structure des protéines	40
2.2. Solubilité des protéines	42
3. Lipides	44
3.1. Composition de la fraction lipidique	45
3.1.1. Lipides neutres	45
3.1.2. Phospholipides	47
3.1.3. Lipides « non saponifiables »	48
3.2. Propriétés thermiques des lipides	49
3.2.1. Propriété de fusion	49
3.2.2. Comportement de cristallisation	50
4. Vitamines	53
Références bibliographiques de la première partie	55

Deuxième partie

Agents et mécanismes de modification des aliments

Chapitre 3

Altérations microbiennes

1. Profil microbien des aliments	59
1.1. Origine des micro-organismes	59
1.1.1. Origine endogène	59
1.1.2. Origine exogène	61
1.2. Évolution des micro-organismes	68
1.2.1. Structure de l'aliment	68
1.2.2. Composition de l'aliment	68
1.2.3. Activité de l'eau	69
1.2.4. pH	70
1.2.5. Température	72
1.2.6. Potentiel d'oxydoréduction	76
1.2.7. Composés antimicrobiens	78
1.2.8. Phénomènes d'interactions	78
2. Modifications entraînant l'altération des aliments	79
2.1. Modification de la texture et de la structure	80
2.1.1. Dégradation des protéines	80
2.1.2. Production de gaz	80
2.1.3. Production de polysaccharides	80
2.2. Modifications de la saveur	81
3. Modifications entraînant un risque de pathogénicité	81
3.1. Toxi-infections alimentaires collectives	81
3.2. Principaux pathogènes et producteurs de toxine	85
3.2.1. Micro-organismes producteurs de toxines	85

3.2.2. Moisissures responsables de la production de mycotoxines	88
3.2.3. Autres micro-organismes pathogènes	89
3.2.4. Virus	92
3.2.5. Prions	93

Chapitre 4

Oxydation des lipides

Introduction	95
1. Substrats lipidiques	95
2. Mécanismes d'oxydation des lipides	96
2.1. Auto-oxydation des lipides	97
2.1.1. Initiation	97
2.1.2. Propagation	99
2.1.3. Terminaison	100
2.2. Oxydation des lipides par oxygène singulet	101
3. Principaux composés dérivés de l'oxydation des lipides	102
4. Facteurs influençant l'oxydation des lipides	104
4.1. Teneur en oxygène	104
4.2. Catalyseurs de l'oxydation des lipides	106
4.2.1. Radiations électromagnétiques	106
4.2.2. Métaux de transition	106
4.2.3. Catalyseurs enzymatiques	108
4.3. Inhibiteurs de l'oxydation des lipides	109
4.3.1. Action antiradicalaire des antioxydants	109
4.3.2. Action anticatalytique des antioxydants	111
4.4. Facteurs physico-chimiques	111
4.4.1. Activité de l'eau	111
4.4.2. pH	112
4.4.3. Température	113
5. Évaluation de la susceptibilité à l'oxydation et du niveau d'oxydation	113
5.1. Mesure de la consommation des substrats d'oxydation	115
5.2. Mesure des peroxydes formés	115
5.3. Mesure des produits de décomposition des peroxydes	116
6. Contrôle et prévention de l'oxydation des lipides	117
6.1. Stabilisation par l'emploi de moyens physiques	118
6.2. Formulation	119

Chapitre 5

Brunissement non enzymatique

Introduction	121
1. Substrats	122
2. Mécanisme du brunissement non enzymatique	123
2.1. Condensation	123
2.2. Réarrangement d'Amadori ou de Heyns	124
2.3. Décomposition des cétosamines	126
2.3.1. Formation de composés carbonylés très réactifs	126

2.3.2. Dégradation de Strecker	128
2.3.3. Fragmentation des cétosamines	130
2.4. Réactions de polymérisation	131
3. Facteurs influençant la réaction de Maillard	131
3.1. Substrats	132
3.1.1. Nature des substrats	132
3.1.2. Quantité de substrats	132
3.2. Conditions physico-chimiques	133
3.2.1. Température et temps de chauffage	133
3.2.2. pH	134
3.2.3. Activité de l'eau	134
3.3. Présence d'activateurs ou d'inhibiteurs	135
4. Conséquences du brunissement non enzymatique	135
4.1. Conséquences organoleptiques	135
4.2. Conséquences fonctionnelles	136
4.3. Conséquences nutritionnelles	136
5. Évaluation du brunissement non enzymatique	138
6. Contrôle et prévention du brunissement non enzymatique	138
6.1. Élimination des substrats	139
6.2. Facteurs physico-chimiques	139
6.3. Formulation (inhibiteurs)	140

Chapitre 6

Brunissement enzymatique

Introduction	143
1. Substrats et enzymes du brunissement	144
1.1. Substrats phénoliques	144
1.2. Enzymes du brunissement	148
2. Mécanisme du brunissement enzymatique	149
2.1. Formation de quinones	149
2.2. Réactions à partir de quinones	149
3. Facteurs influençant le brunissement enzymatique	151
3.1. Substrats	151
3.2. Conditions physico-chimiques et présence naturelle d'inhibiteurs	152
4. Conséquences du brunissement enzymatique	153
5. Évaluation du brunissement enzymatique	155
6. Contrôle, prévention du brunissement enzymatique	155
6.1. Dénaturation ou inhibition des polyphénoloxydases	156
6.2. Modification ou élimination des substrats d'oxydation	157
6.3. Action sur les produits de réaction	159

Chapitre 7

Dynamique moléculaire dans les matrices alimentaires

Introduction	163
1. Migration de l'eau et modification de la qualité des aliments	163

1.1. Migration d'eau	164
1.2. Mise en équilibre avec l'atmosphère environnante.	165
1.3. Mise en équilibre au sein d'un aliment « hétérogène »	165
1.4. Mise en équilibre suite à un changement d'état et/ou de structure.	166
2. Contrôle et prévention.	169
2.1. Facteurs thermodynamiques	169
2.2. Facteurs cinétiques	170
Références bibliographiques de la deuxième partie	173

Troisième partie

Traitements de stabilisation des aliments

Chapitre 8

Bases de la stabilisation biologique et physico-chimique des aliments

Introduction	179
1. Stabilisation biologique.	180
1.1. Destruction des agents biologiques.	181
1.2. Inhibition par baisse d' a_w	182
1.3. Inhibition chimique.	182
2. Stabilisation physico-chimique.	183

Chapitre 9

Les transferts, bases des opérations unitaires

Introduction	185
1. Transferts en mode conductif	186
1.1. Transferts de chaleur : loi de Fourier	187
1.1.1. Établissement du régime stationnaire dans une plaque infinie	187
1.1.2. Transfert de chaleur dans une plaque infinie en régime stationnaire	188
1.1.3. Transfert de chaleur dans une plaque composite en régime stationnaire ..	188
1.1.4. Transfert de chaleur en régime non stationnaire	190
1.2. Transferts de matière : loi de Fick.	195
1.3. Transferts de quantité de mouvement	196
1.3.1. Loi de Newton	196
1.3.2. Application au calcul des écoulements dans les conduites en régime laminaire : loi de Poiseuille	198
2. Transferts en mode convectif	200
2.1. Introduction à la similitude géométrique et physique : l'expérience de Reynolds .	200
2.2. Intérêt de la similitude	200
2.3. Similitude totale	202
2.4. Similitude partielle	203
2.4.1. Invariants de similitude dans le domaine de la dynamique.	203
2.4.2. Invariants de similitude dans le domaine énergétique.	204

2.5. Analyse dimensionnelle	205
2.5.1. Théorème π	205
2.5.2. Déplacement d'une sphère dans un fluide sous l'action d'une force	205
2.5.3. Perte de charge dans une conduite cylindrique	206
2.5.4. Détermination des coefficients de transfert de chaleur	209

Chapitre 10

Opérations de stabilisation biologique

1. Réfrigération et congélation	211
1.1. Définitions et principes d'action	211
1.1.1. Définitions	211
1.1.2. Influence de la température sur les réactions biochimiques et biologiques	212
1.1.3. Immobilisation de l'eau	212
1.2. Formation de la glace	213
1.2.1. Nucléation et croissance des cristaux	213
1.2.2. Température de congélation des aliments	214
1.3. Mise en œuvre	217
1.3.1. Bilan énergétique de congélation et cinétique de refroidissement	217
1.3.2. Cinétique de congélation et influence sur les produits	218
1.3.3. Modifications des aliments pendant la congélation et au cours du stockage	221
1.3.4. Décongélation	223
2. Concentration par évaporation	224
2.1. Évaporation simple effet	226
2.1.1. Principe	226
2.1.2. Production de vide	228
2.2. Réduction de la consommation d'énergie	228
2.2.1. Évaporation multiple effet	229
2.2.2. Compression des buées : thermocompression et recompression mécanique	230
3. Déshydratation	233
3.1. Séchage par ébullition	234
3.1.1. Principe	234
3.1.2. Énergie	234
3.1.3. Matériel	235
3.2. Séchage par entraînement	236
3.2.1. Thermodynamique de l'air humide	236
3.2.2. Construction du diagramme enthalpique de l'air humide	238
3.2.3. Propriétés du diagramme enthalpique	240
3.2.4. Cinétiques de séchage	241
3.2.5. Matériel	243
3.3. Lyophilisation	248
3.3.1. Principe	248
3.3.2. Étapes	249
4. Stabilisation par inhibition chimique	252

4.1. Additifs conservateurs (antibactériens, antifongiques).....	252
4.1.1. Généralités	253
4.1.2. Salage	254
4.1.3. Sucrage	256
4.1.4. Fumage	257
4.1.5. Autres molécules antiseptiques	259
4.2. Fermentations	260
5. Séparation : décantation et filtration	265
5.1. Décantation	265
5.1.1. Loi de Stokes	265
5.1.2. Décantation centrifuge	267
5.2. Filtration tangentielle	268
5.2.1. Lois de transfert de solvant	269
5.2.2. Influence des paramètres de filtration	272
6. Traitements thermiques.....	275
6.1. Destruction des micro-organismes à température constante	277
6.1.1. Cinétique de destruction microbienne à température constante	277
6.1.2. Influence de la température	278
6.1.3. Influence du milieu : ordre de grandeurs de D_0 et z	281
6.2. Cinétique d'altération des constituants à température constante	282
6.3. Traitements thermiques à température variable	285
6.4. Mise en œuvre des traitements thermiques.....	288
6.4.1. Valeurs pasteurisatrices ou stérilisatrices objectifs	288
6.4.2. Traitement en vrac	289
6.4.3. Traitement après conditionnement	295
7. Ionisation.....	299
7.1. Principe	299
7.2. Destruction des micro-organismes	300
7.3. Domaines d'application.....	301
7.4. Détection des aliments ionisés	302
8. Traitements couplés	303

Chapitre 11

Opérations de stabilisation physico-chimique

1. Aliments complexes : généralités sur les systèmes dispersés.....	305
1.1. Définitions.....	305
1.1.1. Émulsions	305
1.1.2. Mousses et émulsions foisonnées.....	305
1.2. Stabilité des émulsions	306
1.2.1. Sédimentation ou crémage	306
1.2.2. Flocculation ou aggrégation.....	308
1.2.3. Coalescence	310
1.3. Stabilité des mousses.....	311
1.3.1. Mûrissement d'Ostwald	312
1.3.2. Drainage	312
1.3.3. Désorption de l'agent moussant	312

Chapitre 13

**Évaluation des caractéristiques physico-chimiques
et de la qualité des aliments**

1. Évaluation microbiologique	352
1.1. Choix des micro-organismes à rechercher	352
1.1.1. Micro-organismes indicateurs	353
1.1.2. Micro-organismes pathogènes	356
1.2. Méthodes	356
1.2.1. Dénombrement après culture : méthode classique	356
1.2.2. Dénombrement : méthodes alternatives	358
1.2.3. Détection : méthodes classiques et rapides	359
1.3. Limites de l'évaluation microbiologique	364
2. Analyse physico-chimique et biochimique	364
2.1. Analyse de la texture par les méthodes rhéologiques	364
2.1.1. Définitions	364
2.1.2. Comportements rhéologiques	365
2.1.3. Méthodes de mesure	368
2.2. Analyse de la couleur	370
2.3. Analyse de la composition des aliments	373
Références bibliographiques de la quatrième partie	377
Index	379