

André Eck

Jean-Claude Gillis

coordonnateurs

Le fromage



3^e édition



lavoisier
TEC
&
DOC

Reflète le savoir-faire français en fromagerie, ce traité est unique au monde.

Son domaine d'investigation s'étend à tous les laits quelle que soit leur origine. Les multiples mécanismes mis en jeu sont abordés sous toutes les facettes scientifiques et technologiques (biochimie, chimie, biologie, technologie, biotechnologie). Chaque aspect est présenté par l'un des meilleurs spécialistes du moment, issu de la recherche, de l'enseignement ou de l'industrie. Ainsi, 63 auteurs ont contribué à la rédaction de cette synthèse.

Le vif succès de cet ouvrage, tant en France qu'à l'étranger, grâce à ses traductions, démontre son intérêt auprès de nombreux technologues, scientifiques et futurs techniciens.

La nouvelle édition comporte les plus récentes données sur les fromages, et son contenu développe davantage l'assurance qualité, devenue un objectif majeur de l'entreprise.

ISBN 2-7430-0150-X



9 782743 001506

TABLE DES MATIÈRES

Comité de rédaction	V
Liste des auteurs	VII
Préface — X. PAUL-RENARD	XI
Introduction — C. THOUVENOT	1

PARTIE 1

LES MÉCANISMES GÉNÉRAUX DE LA TRANSFORMATION DU LAIT EN FROMAGE

Chapitre 1

LA MICELLE DE CASÉINE ET LA COAGULATION DU LAIT	7
--	----------

G. BRÛLÉ, J. LENOIR ET F. REMEUF

1 La micelle de caséine bovine	8
1.1 Composition et propriétés	8
1.2 Caractéristiques des éléments constitutifs	9
1.3 Structure micellaire	18
1.4 Caractère dynamique de la micelle	22
1.5 Stabilité de la micelle	23

2 Mécanismes de la coagulation	24
2.1 Coagulation par acidification	24
2.2 Coagulation par action des enzymes	26
3 Caractéristiques physicochimiques comparées des micelles caprines et ovines	34
3.1 Composition en caséines ; polymorphisme	34
3.2 Caractéristiques des micelles	37
3.3 Mécanismes de la coagulation	37
Références bibliographiques	39

Chapitre 2

L'ÉGOUTTAGE DU COAGULUM	42
--------------------------------------	----

J.-P. RAMET

1 Définition et but	42
2 Mécanismes de l'égouttage	43
2.1 Coagulum obtenu par voie enzymatique	43
2.2 Coagulum obtenu par voie acide	44
2.3 Coagulum mixte	47
2.4 Phase aqueuse	48
3 Étude théorique de l'égouttage	48
3.1 Égouttage sous lactosérum	48
3.2 Égouttage en moules	49
4 Facteurs d'égouttage	50
4.1 Facteurs directs	50
4.2 Facteurs indirects	56
4.3 Facteurs liés au lait	59
5 Conclusion	60
Références bibliographiques	61

Chapitre 3

L'ACTIVITÉ DE L'EAU ET LE SALAGE DES FROMAGES	62
--	----

J. HARDY

1 L'eau liée	63
1.1 Définitions et mesure	63
1.2 Structure de l'eau dans les aliments	66
1.3 L'eau liée aux constituants du lait	67
1.4 Paramètres influençant la teneur en eau liée des fromages	68

2 L'activité de l'eau des fromages	72
2.1 Définition et mesure.....	73
2.2 Effets de l'activité de l'eau dans les aliments	74
2.3 Modification de l'activité de l'eau des fromages.....	76
3 Le salage des fromages	78
3.1 Teneur en sel des fromages - Rôles du salage	78
3.2 Mécanismes de diffusion du sel et cinétique de son absorption	79
3.3 Perte d'eau provoquée par le salage.....	81
3.4 Migration et équilibrage du sel pendant l'affinage	81
3.5 Les saumures de fromagerie	82
Références bibliographiques	84

Chapitre 4

LA BIOCHIMIE DE L'AFFINAGE	86
† C. CHOISY, M. DESMAZEAUD, J.-C. GRIPON, G. LAMBERET, J. LENOIR	
1 L'affinage, un processus biochimique complexe	86
2 Le substrat	87
3 Les agents de l'affinage	90
3.1 Les enzymes naturelles du lait	90
3.2 Les enzymes coagulantes	94
3.3 Les enzymes microbiennes	100
4 Les facteurs de l'affinage	111
4.1 L'aération et la composition de l'atmosphère	111
4.2 L'activité de l'eau	112
4.3 La température	116
4.4 Le pH	119
5 Évolution des constituants	121
5.1 La fermentation du lactose et les transformations de l'acide citrique et des lactates	121
5.2 L'hydrolyse des triglycérides et les transformations des acides gras	125
5.3 La dégradation des protéines et les transformations des acides aminés	132
6 Les incidences de l'affinage sur les caractères des pâtes fromagères	142
7 Perspectives d'évolution des technologies, l'accélération de l'affinage	149
7.1 Additions d'enzymes exogènes	150
7.2 Additions de levains atténués.....	151
7.3 Potentialités offertes par le génie génétique	151
Références bibliographiques	153

PARTIE 2

LA PRÉPARATION DU CAILLÉ**Chapitre 5****LES AGENTS DE TRANSFORMATION DU LAIT** 165

J.-P. RAMET

1 La présure et les enzymes coagulantes	165
1.1 La présure	166
1.2 Autres enzymes coagulantes	167
1.3 Caractérisation de la composition et de l'activité des préparations coagulantes	172
1.4 Spécifications et statuts réglementaires des préparations enzymatiques utilisées en fromagerie	172
1.5 Conclusion	173
Références bibliographiques	174

G. CANTÉRI

2 Les levains lactiques	175
2.1 Définition et caractéristiques générales	175
2.2 Classification des bactéries lactiques	176
2.3 Les différents types de levains	176
2.4 Les différentes formes d'ensemencement	182
2.5 Les critères de choix des souches	184
2.6 La production des levains lactiques dans l'industrie fromagère	190
Références bibliographiques	195

M. C. CHOPIN

3 Les bactériophages	196
3.1 Principales propriétés des phages	196
3.2 Origine des phages dans les usines	198
3.3 Moyens de protection contre l'action des phages	198
3.4 Conclusion	200
Références bibliographiques	201

Chapitre 6**LE LAIT DE FROMAGERIE** 202

J. RICHARD, M. DESMAZEAUD

1 La flore microbienne du lait cru destiné à la fromagerie	202
1.1 Principaux groupes microbiens importants en fromagerie	202
1.2 Origine des micro-organismes du lait cru	203

1.3 Développement des micro-organismes dans le lait cru	205
1.4 Les enzymes des bactéries psychrotrophes et leur rôle en fromagerie	209
Références bibliographiques	210
M. DESMAZEAUD	
2 Aptitude du lait au développement de la flore lactique	212
2.1 Influence des propriétés physiques du lait	213
2.2 Utilisation du lactose comme source d'énergie	214
2.3 Importance des matières azotées non protéiques du lait	216
2.4 Utilisation des protéines du lait	218
2.5 Importance des vitamines du lait	220
2.6 Facteurs du lait défavorables au développement des bactéries lactiques	220
2.7 Influence du traitement thermique du lait.....	225
Références bibliographiques	227
J. LENOIR, F. REMEUF, N. SCHNEID	
3 L'aptitude du lait à la coagulation par la présure	229
3.1 Les paramètres de l'aptitude du lait à la coagulation	229
3.2 Les facteurs de la coagulation inhérents au lait	230
3.3 Le caractère global du comportement du lait vis-à-vis de la présure	238
3.4 Influence des traitements technologiques préalables	240
3.5 Comportement des laits de chèvre et de brebis	251
Références bibliographiques	254
4 La préparation du lait	257
J. HERMIER, O. CERF, J.-L. MAUBOIS, J.-L. BERGÈRE, M. DESMAZEAUD	
4.1 La préparation du lait sur le plan microbiologique	257
J.-L. MAUBOIS, J. LENOIR, F. REMEUF, N. SCHNEID	
4.2 La préparation des laits sur le plan physicochimique	274
Références bibliographiques	294
J. FRANKINET	
5 Utilisation du lait cru	298
J. LENOIR, F. REMEUF, N. SCHNEID	
6 La mise en œuvre de lait en poudre	301
6.1 Les modalités de fabrication des poudres	301
6.2 Les effets des traitements de transformation sur les composants du lait	302
6.3 Les effets du stockage des poudres	305
6.4 La reconstitution du lait à partir de poudre	305
6.5 Les caractères physicochimiques des laits reconstitués	306