



Le fromage

4^e édition

JEAN-CLAUDE GILLIS, ANDRÉ AYERBE
Coordonnateurs



Lavoisier
TEC & DOC

Chez le même éditeur

Initiation à la technologie fromagère (2^e Éd.)

R. Jeantet, T. Croguennec, G. Garric, G. Brulé, 2017

Conception hygiénique de matériel et nettoyage-désinfection pour une meilleure sécurité en industrie agroalimentaire

M.-N. Bellon-Fontaine, T. Bénézech, K. Boutroux, C. Hermon, 2016

Risques microbiologiques alimentaires

M. Naïtali, L. Guillier, F. Dubois-Brissonnet, 2017

La transformation fromagère caprine fermière – Bien fabriquer pour mieux valoriser ses fromages de chèvres

M. Pradal, 2012

Les poudres laitières et alimentaires

P. Schuck, A. Dolivet, R. Jeantet, 2012

Génie des procédés appliqués à l'industrie laitière (2^e Éd.)

R. Jeantet, G. Brulé, G. Delaplace, 2011

Les critères microbiologiques des denrées alimentaires : Réglementation, agents microbiens, autocontrôle

É. Dromigny, 2011

Bactéries lactiques – De la génétique aux ferments

G. Corrieu, F.-M. Luquet, 2008

Les produits laitiers

R. Jeantet, T. Croguennec, M. Mahaut, P. Schuck, G. Brulé, 2^e éd., 2008

Fondements physicochimiques de la technologie laitière

T. Croguennec, R. Jeantet, G. Brulé, 2008

Grand dictionnaire illustré de parasitologie médicale et vétérinaire

J. Euzéby, 2008

Pour plus d'informations sur nos publications :



newsletters.lavoisier.fr/9782743023157

Coordonné par

JEAN-CLAUDE GILLIS

Ingénieur agronome
Ancien Chef du Service scientifique,
technique et réglementaire d'ATLA

ANDRÉ AYERBE

Docteur en Nutrition
Ancien Directeur d'ARILAIT Recherches, CNIEL

Le fromage

4^e édition

Préface de Didier Lincet

L*avoisier*
TEC & DOC

editions.lavoisier.fr

Direction éditoriale : Fabienne Roulleaux

Édition : Brigitte Peyrot

Fabrication : Estelle Perez-Le Du

Composition et couverture : Nord Compo, Villeneuve-d'Ascq

© 2018, Lavoisier, Paris
ISBN : 978-2-7430-2315-7

LISTE DES AUTEURS

- Elmira Arab-Tehrany**, Professeur, Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules, Université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy.
- André Ayerbe**, Docteur en Nutrition, ancien Directeur d'ARILAIT Recherches, Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière (CNIEL).
- Sylvie Banon**, Professeur des Universités, Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules, ENSAIA, Université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy.
- Éric Beuvier**, Directeur de l'Unité de Recherche en Technologie et Analyses Laitières (URTAL), INRA Poligny.
- Maggy Bieulac Scott**, ancienne Directrice de l'Observatoire CNIEL des Habitudes Alimentaires (OCHA).
- Erwan Billet**, Directeur de Hydiac, Rennes.
- Jean-François Boudier**, ancien Directeur scientifique, Ingrédia Arras.
- Branger Alain**, Agrégé de Biochimie Génie biologique, Inspecteur pédagogique Biochimie-microbiologie-génie alimentaire.
- Jean-Jacques Bret**, Ingénieur agronome, ancien Directeur du Comité Interprofessionnel du Gruyère de Comté.
- Gérard Brulé**, Professeur émérite, Agrocampus Ouest, Rennes.
- Gérard Calbrix**, Directeur des Affaires économiques, ATLA, Paris.
- Gilbert Canteri**, Directeur de recherche, Fromagerie de l'Ermitage, Bulgnéville.
- Olivier Cerf**, Professeur honoraire, École nationale vétérinaire d'Alfort.
- Isabelle Chablain**, Docteur en Physicochimie des bioproduits, Voiron.
- Maryse Chambre**, ancien Chef de service Veille, Fromageries Bel.
- Yves Chilliard**, Directeur de recherche, Chargé de mission INRA, UMR 1213 Herbivores, Saint Genès Champanelle.
- Jean-Claude Collin**, ancien Ingénieur de recherche INRA.
- Georges Corrieu**, Ingénieur docteur, Directeur de recherches INRA, UMR Génie et microbiologie des procédés alimentaires, Thiverval Grignon.
- Thomas Croguennec**, Professeur en Physicochimie des bioproduits, Agrocampus Ouest, Rennes.
- Catherine Denis**, Responsable de projets Microbiologie, ACTALIA Sécurité des Aliments.
- Nathalie Desmasures**, Professeur des Universités, EA 4651 Aliments, Bioprocédés, Toxicologie, Environnements. Directrice du GIS AOP Laitières de Normandie, Université de Caen Normandie.
- Stéphane Desobry**, Professeur des Universités, Physico-chimie des Aliments, Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules, Université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy.
- Sylviane Dragacci**, Directrice de recherche, ANSES – Laboratoire de sécurité des aliments, Maisons-Alfort et Boulogne-sur-Mer.

Didier Dupont, Directeur de recherche INRA, UMR 1253 Science et Technologie du Lait et de l'Œuf (STLO), Équipe Bioactivité et Nutrition, Agrocampus Ouest, Rennes.

Hélène Falentin, Ingénieure de recherche INRA, UMR 1253 Science et Technologie du Lait et de l'Œuf (STLO), Rennes.

Choreh Farrokh, Docteur-Ingénieur en Sciences alimentaires, Ingénieur IESIEL, Adjointe au Directeur des Affaires scientifiques et techniques et en charge de la sécurité sanitaire au Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière (CNIEL), Paris.

Bernard Faye, ancien Chef du programme Productions animales, Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD).

Anne Ferlay, Chercheuse INRA, UMR 1213 Herbivores, Saint-Genès Champanelle.

Jacques Frankinet, ancien Directeur Qualité Groupe Lactalis (1992-2006).

Sébastien Fraud, PhD Microbiologie Moléculaire, Associate R&D Principal Scientist, General Mills Yoplait.

Valérie Gagnaire, Chargée de recherche INRA, UMR 1253 Science et Technologie du Lait et de l'Œuf (STLO), Rennes.

Jean-Pierre Gallacier, ancien Conseiller scientifique et technique, Cesson-Sévigné.

Frédéric Gaucheron, Direction des Affaires scientifiques et techniques, Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière (CNIEL), Paris.

Jean-Claude Gillis, Ingénieur agronome, ancien Chef du Service scientifique, technique et réglementaire de l'Association de la Transformation Laitière Française (ATLA), Paris.

Thierry Guerin, Chef du Département Contaminants chimiques des Aliments, ANSES, Laboratoire de Sécurité des Aliments de Maisons-Alfort et de Boulogne-sur-Mer.

Jean-Pierre Guyonnet, Ingénieur agronome INAPG, Académie d'Agriculture de France, membre correspondant.

Pascale Hébel, Directrice du Pôle Consommation et Entreprise, CREDOC, Paris.

Sandra Helinck, Maître de conférences, AgroParisTech, Paris.

Bertrand Henriot, Directeur technique, Fromageries Arnaud/Juraflore, Poligny.

Frédéric Hommet, Chef de l'Unité Pesticides et Biotoxines marines, ANSES, Laboratoire de Sécurité des Aliments de Maisons-Alfort et de Boulogne-sur-Mer.

Gérard Humbert, Ingénieur de recherches, Université de Lorraine.

Chanthadary Inthavong, Chef d'Unité adjoint Pesticides et Biotoxines marines, ANSES, Laboratoire de Sécurité des Aliments de Maisons-Alfort et de Boulogne-sur-Mer.

Françoise Irlinger, Ingénieur de recherche INRA – AgroParisTech, UMR Génie et Microbiologie des Procédés Alimentaires, Thiverval Grignon.

Sylvie Issanchou, Directrice de recherche INRA, Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Université Bourgogne Franche-Comté, Dijon.

Romain Jeantet, Professeur en Génie des procédés et Technologie laitière, Agrocampus Ouest, Rennes.

Jean-René Kerjean, Responsable scientifique, ACTALIA Produits Laitiers.

Marie-Noëlle Leclercq-Perlat, Ingénieur de recherche INRA, UMR Génie et Microbiologie des Procédés alimentaires, Thiverval-Grignon.

- Christelle Lopez**, Chercheur INRA, UMR 1253 Science et Technologie du Lait et de l'Œuf (STLO), Rennes.
- Sylvie Lortal**, Directrice de recherche INRA, Département Microbiologie et Chaîne alimentaire, Rennes.
- Pierre Guy Marnet**, Professeur d'Université, Agrocampus Ouest, Rennes.
- Bruno Martin**, Ingénieur de recherche INRA, UMR 1213 Herbivores, Saint-Genès Champanelle.
- Christophe Martin**, Ingénieur Analyses sensorielles INRA, Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Université Bourgogne Franche-Comté.
- Jean-Louis Maubois**, Professeur, Directeur de Recherches CE, INRA, Rennes.
- Huguette Meyer-Caron**, Ingénieur ENSAIA, ancienne Directrice Sécurité des Aliments et Nutrition.
- Marie-Caroline Michalski**, Directrice de recherche INRA, Laboratoire CarMeN – Laboratoire de Recherche en Cardiovasculaire Métabolisme Diabétologie et Nutrition, Lyon.
- Valérie Michel**, Responsable du pôle Microbiologie laitière, ACTALIA Produits Laitiers.
- Bernard Mietton**, Ingénieur des Techniques agricoles, Formateur en Technologie fromagère, Responsable R&D, École Nationale de l'Industrie Laitière et des Biotechnologies (ENILBIO), Poligny.
- Sylvain Moineau**, Professeur titulaire, Département de Biochimie, de Microbiologie et de Bio-informatique, Université Laval, Québec, Canada.
- Véronique Monnet**, INRA, UMR Microbiologie de la chaîne alimentaire pour la santé (MICALIS).
- Marie-Christine Montel**, Directrice de recherche INRA, Unité de Recherches fromagères, Université Clermont-Auvergne.
- Luc Morelon**, Ingénieur agronome, INA.
- Michel Nedellec**, Conseiller technologique, ACTALIA Produits Laitiers.
- Marina Nicolas**, Responsable de l'équipe Biotoxines marines, ANSES – Laboratoire de sécurité des aliments, Maisons-Alfort et Boulogne-sur-Mer.
- Éric Notz**, Directeur du Centre Technique des Fromages Comtois (CTFC), Poligny.
- Daniel Picque**, Ingénieur de recherche INRA, UMR Génie et Microbiologie des Procédés Alimentaires, AgroParisTech.
- Michel Place**, Ingénieur AGRI et Ingénieur ENSAIA Nancy, ancien Directeur Qualité Groupe 3A, ancien Président de la Commission Sécurité alimentaire du CNIEL, actuel Président du LIP.
- Romain Richoux**, Chargé d'études, ACTALIA Produits Laitiers.
- Michel Roche**, Ingénieur agronome, AgroParisTech.
- Sébastien Roustel**, Directeur Recherche & Développement, École Nationale de l'Industrie Laitière et des Biotechnologies (ENILBIO), Poligny.
- Denis Roy**, Professeur titulaire, Science des aliments, Université Laval, Québec, Canada.
- Laura Sanchez-Gonzalez**, Maître de conférences, Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules, Université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy.

Joël Scher, Professeur, Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules, ENSAIA/L-INP, Université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy.

Yvette Soustre, PhD Nutrition, Directeur Nutrition, Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière (CNIEL), Paris.

Éric Spinnler, Professeur de Technologies alimentaires, AgroParisTech.

Valérie Stahl, Chef de projets en Microbiologie alimentaire, Aérial, Illkirch.

Fanny Tenenhaus-Aziza, Docteur en Biostatistiques, Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière (CNIEL), Paris.

Anne Thierry, Chargée de recherche INRA, UMR 1253 Science et Technologie du Lait et de l'Œuf (STLO), Agrocampus Ouest, Rennes.

Emmanuel Treuil, Docteur en Droit, Directeur Droit alimentaire, Groupe Savencia Saveurs & Spécialités, Viroflay.

Philippe Trossat, Directeur du Pôle Cecalait, ACTALIA, Poligny.

Sylvie Turgeon, Professeure titulaire, Directrice de l'Institut sur la Nutrition et les Aliments Fonctionnels (INAF), Université Laval, Québec, Canada.

Michel Vieille, Ingénieur agronome INA et ENESAD, ancien Formateur à l'École Nationale de l'Industrie Laitière et des Biotechnologies (ENILBIO), Poligny, et Université de Besançon.

SOMMAIRE

<i>Préface</i>	XXXIII
<i>Avant-propos</i>	XXXV

Partie 1 Histoire

CHAPITRE 1

Histoire des fromages (M. Bieulac Scott, B. Faye)	3
1. Introduction	3
2. Origines du fromage au Néolithique : découvertes et preuves récentes	3
3. Fromage dans l'Antiquité : maîtrise de la fabrication	5
4. Au Moyen Âge, une première Europe des fromages	6
5. Développement du commerce international des fromages au XVII ^e siècle	8
6. Un aliment au statut symbolique complexe	10
7. Fromage, gastronomie et identité culturelle française	12
8. XIX ^e siècle : l'essor des sciences, des techniques et de l'industrie	13
9. Pasteur, Duclaux et les effets de la « révolution pasteurienne »	17
10. Retour aux fromages de terroir en France au tournant du XX ^e siècle	18
11. Appellations d'origine, dénominations et définitions : une question récurrente	19
12. Les Trente Glorieuses : la quête de la diversité et de la qualité	20
13. Du fromage de toutes espèces sur toutes les tables du monde	23

Partie 2 Aspects réglementaires

CHAPITRE 2

Le fromage – Définitions/Réglementation (J.-P. Gallacier)	31
1. Définition française	31
2. Définitions internationales	32
3. Fromages définis	35
3.1. Définition française	35
3.2. Définition internationale	35
4. Fromages fondus	38
4.1. Définition française	38
4.2. Définition internationale	39
5. Fromages de lactosérum	40
5.1. Définition française	40
5.2. Définition internationale	40
6. Spécialités fromagères	41
6.1. Définition française	41
6.2. Définition internationale	41
7. Spécialités fromagères fondues	41
7.1. Définition française	41
7.2. Définition internationale	42
8. Étiquetage des fromages	42
8.1. Réglementation française	42
8.2. Norme Codex	44

CHAPITRE 3

Fromages sous signe de qualité (AOP, IGP, labels, conformité)	47
Fromages d'appellation d'origine protégée (AOP) et fromages à indication géographique protégée (IGP) (J.-J. Bret)	47
1. Genèse de la protection AOP-IGP : un long parcours juridique	50
1.1. Racines millénaires	50
1.2. Première protection juridique française du nom à partir du ^{xx} e siècle	51
1.3. Premier règlement européen protégeant le nom des AOP obtenu en 1992	51
1.4. Premières tentatives d'obtention d'une protection mondiale au ^{xxi} e siècle	52
2. Obtention d'une protection AOP ou IGP	53
2.1. Le projet AOP-IGP est avant tout suspendu à une forte mobilisation locale	53
2.2. Indispensable réflexion collective sur toutes les caractéristiques de l'AOP-IGP	55
3. Protection du nom	57
3.1. La protection porte sur un nom géographique ou sur un nom spécifique à un lieu	57
3.2. La récupération du nom d'un produit qui s'est récemment « évadé » n'est pas impossible	57
3.3. Le règlement européen protège les AOP-IGP contre les usurpations, imitations	58
4. Zone géographique : disparité, chevauchement	59
4.1. Protection d'entités administratives portant sur des zones à dimension très variable	59
4.2. Zones de fromage AOP-IGP qui s'interpénètrent	59
4.3. Réductions de zone	60
5. Cahier des charges et lien au terroir	60
5.1. Le cahier des charges est la clef de voûte de l'AOP-IGP	60
5.2. Le lien au terroir forme un tout	61
5.3. Nécessaire actualisation des cahiers des charges	61
5.4. De la spécificité du cahier des charges de chaque AOP-IGP	62
5.5. Lait cru	62
6. Contrôle	63
7. Conclusion	64
Autres signes d'identification collective (M. Roche)	65
1. Au niveau européen	65
1.1. « Spécialité traditionnelle garantie »	65
1.2. Produit de montage	68
2. Au niveau français	68
2.1. Label Rouge	68
2.2. Certification de conformité produit	70
2.3. Produit Pays	71
2.4. Fermier	71
3. Aux niveaux français et européen : le « bio » (fromages issus de l'agriculture biologique)	72
3.1. Conclusion	73

Partie 3 Science et technologie

CHAPITRE 4

Du lait au fromage : aspects biochimiques	77
Éléments de biochimie laitière (R. Jeantet, T. Croguennec)	77
1. Lactose	78
1.1. Structure du lactose	78
1.2. Propriétés du lactose	78
2. Matière grasse laitière	79
2.1. Triglycérides du lait	80

2.2. Membrane des globules gras	81
2.3. Propriétés de la matière grasse laitière	84
3. Protéines	85
3.1. Caséines	86
3.2. Propriétés d'autoassociation des caséines	89
3.3. Protéines solubles	90
4. Minéraux	91
5. Vitamines	93
Micelles de caséines et dynamique ionique (F. Gaucheron)	96
1. Propriétés physico-chimiques des caséines	96
1.1. Pouvoir chélatant des caséines	97
1.1.1. Phosphorylation des caséines	97
1.1.2. Interactions caséines-cations	98
1.2. Particularités de la caséine κ	99
2. Micelle de caséines dans sa phase solvante	100
2.1. Micelle de caséines	100
2.1.1. Composition minéralo-protéique	100
2.1.2. Caractéristiques colloïdales	101
2.1.3. Images microscopiques	102
2.1.4. Modèles micellaires	103
2.2. Phase solvante du lait	105
2.3. Distribution des minéraux entre phases micellaire et soluble : les équilibres salins	106
2.3.1. Distribution minérale au pH du lait	106
2.3.2. Modifications des équilibres minéraux en fonction des conditions physico-chimiques	107
3. Micelle de caséines de laits d'autres espèces (chèvre, brebis, bufflonne et dromadaire)	109
3.1. Lait de chèvre	110
3.2. Lait de brebis	111
3.3. Lait de bufflonne	111
3.4. Lait de dromadaire	112
Coagulation du lait (G. Brulé, J.-L. Maubois)	116
1. Coagulation isoélectrique	117
1.1. Modifications physicochimiques de la micelle au cours de l'acidification	117
1.2. Influences des paramètres de coagulation sur les caractéristiques des gels	120
1.2.1. Traitements thermiques des laits	120
1.2.2. Traitements d'homogénéisation	122
1.2.3. Température et cinétique d'acidification	122
1.2.4. Addition de chélatant calcique	124
2. Coagulation enzymatique	124
2.1. Modélisation de la coagulation présure	125
2.1.1. Hydrolyse enzymatique	125
2.1.2. Agrégation des micelles de caséines	126
2.1.3. Réticulation	127
2.2. Facteurs de la coagulation présure	127
2.2.1. Influence des conditions physicochimiques	128
2.2.2. Influence des traitements technologiques	131
3. Thermogélification	134
CHAPITRE 5	
Production du lait pour le fromage	137
Facteurs de variation de la qualité fromagère du lait (B. Martin, Y. Chilliard, A. Ferlay)	137
1. Effets des caractéristiques des animaux	138
1.1. Effets des caractéristiques génétiques des animaux	138

1.1.1. Espèce	138
1.1.2. Race	138
1.2. Stade physiologique	143
1.3. État sanitaire	144
2. Effets des facteurs environnementaux	145
2.1. Saison	145
2.2. Pratiques de traite	146
3. Effets de l'alimentation	147
3.1. Aspects quantitatifs	147
3.2. Aspects qualitatifs	148
3.2.1. Nature des fourrages	148
3.2.2. Quantité et nature des aliments concentrés	150
4. Possibilités d'amélioration de la qualité fromagère du lait	151
Traite et qualité du lait (P.-G. Marnet)	156
1. Historique rapide du développement de la traite mécanique et principes de base	157
2. Animaux traités à la machine dans le monde	163
3. Impacts physiologiques de la traite mécanique	164
4. Bases physiques de la traite mécanique	165
5. Composants de la machine à traire et effets sur la collecte du lait et sa qualité	166
5.1. Système de vide	166
5.2. Système de pulsation	168
5.3. Effets mécaniques de la machine à traire sur la qualité du lait	168
5.3.1. Actions spécifiques des faisceaux et des manchons trayeurs	169
5.3.2. Actions spécifiques au niveau de la pompe de reprise	171
5.3.3. Matériels optionnels et suivi de qualité du lait	171
5.4. Salles et stalles de traite	174
5.5. Matériel de collecte et de refroidissement du lait	176
5.6. Systèmes de lavage des installations de traite	177
6. Pratiques de traite	179
7. Conduites de traite	182
7.1. Réduire la fréquence de traite pour travailler moins	182
7.2. Augmenter la fréquence de traite pour optimiser la production (3 traites ou plus par jour)	183
8. Conclusion	184
Utilisation du lait cru (J. Frankinet)	190
1. Définition du lait cru	190
2. Production des fromages au lait cru	191
3. Exigences réglementaires et contraintes de production	191
3.1. Germes indésirables	192
3.2. Maladies transmissibles à l'homme	192
3.3. Germes contaminants potentiellement dangereux	192
3.4. Conditions de stockage, collecte et transport	192
 CHAPITRE 6	
Le lait, matière première de la transformation en fromage (J.-L. Maubois)	195
1. Épuration microbiologique	195
1.1. Traitements thermiques – Lois de destruction thermique des microorganismes	195
1.2. Bactofugation	197
1.3. Microfiltration 1,4 µm ou 0,8 µm sur membrane	198
2. Ajustement de la teneur en matière grasse du lait de fabrication	200
3. Ajustement de la teneur en protéines totales du lait	201
4. Ajustement de la teneur en caséine micellaire du lait de fabrication	203

5. Modifications de la phase aqueuse du lait de fabrication	204
6. Teneur en gaz dissous	206
CHAPITRE 7	
Les agents de la transformation du lait en fromages	209
<i>Présures et enzymes coagulantes</i> (J.-C. Collin, G. Humbert)	209
1. Origine et composition enzymatique de la présure	210
1.1. Généralités sur les protéases abomasales	210
1.2. Synthèses et sécrétions des protéases abomasales	210
1.3. Activation et caractérisations fonctionnelles	210
2. Divers procédés de fabrication de la présure	211
2.1. Introduction	211
2.2. Présure sur « recuite »	211
2.3. Présures liquides	212
2.4. Présure solide ou en poudre	213
2.5. Présure en pâte	213
3. Substituts de la présure	214
3.1. Enzymes d'origine animale	214
3.2. Enzymes d'origine végétale	215
3.3. Enzymes d'origine microbienne	216
3.4. Chymosine produite par génie génétique	218
4. Caractérisation de la composition et de l'activité des présures	219
4.1. Historique	219
4.2. Pourcentage d'activité coagulante respectivement imputable à la chymosine et à la pepsine bovine	219
4.3. Expression de l'activité enzymatique des présures	220
4.3.1. En milligrammes de chymosine et de pepsine bovines actives/litre	220
4.3.2. En IMCU	220
4.4. Analyse qualitative des présures	221
4.5. Identification des chymosines produites par génie génétique	221
4.6. Analyse des enzymes coagulantes résiduelles dans les fromages	222
5. Conclusion	222
<i>Écosystèmes microbiens d'acidification et d'affinage</i>	224
1. Levains lactiques (G. Canteri, V. Monnet)	224
1.1. Définition et caractéristiques générales	225
1.2. Classification des bactéries lactiques	225
1.3. Approches « omiques »	226
1.4. Différents types de levains	228
1.4.1. Levains mésophiles	228
1.4.2. Levains lactiques thermophiles	230
1.5. Différentes formes d'ensemencement	231
1.5.1. Levains traditionnels	232
1.5.2. Production en cuve à levains	232
1.5.3. Ensemencement direct	232
1.6. Critères de choix des souches	233
1.6.1. Activité acidifiante	233
1.6.2. Croissance dans les laits industriels	234
1.6.3. Risque phagique	235
1.6.4. Activité protéolytique	236
1.6.5. Production de composants de saveur et de gaz	236
1.6.6. Autolyse	238

1.6.7. Production d'exopolysaccharides	238
1.6.8. Interaction avec d'autres germes et avec la matrice fromagère	239
1.7. Production des levains lactiques dans l'industrie fromagère	240
1.7.1. Milieux de culture	240
1.7.2. Paramètres de la fermentation	241
1.7.3. Locaux et équipement	242
1.7.4. Traitements thermiques des milieux de culture	243
1.7.5. Inoculation de la cuve à levain	243
1.7.6. Concentration des levains	243
1.8. Contrôle de l'activité des ferments lactiques en fromagerie	244
1.8.1. Méthodes de contrôle de l'activité acidifiante	244
1.8.2. Cultures aromatiques – Test du diacétyle	244
1.8.3. Test de production de gaz	244
1.9. Aspects économiques	244
2. Bactéries lactiques non acidifiantes : NSLAB (S. Helinck, F. Irlinger)	246
2.1. Biodiversité microbienne : les espèces trouvées dans les fromages	246
2.1.1. Lactobacilles	246
2.1.2. Autres genres	247
2.2. Caractéristiques générales des NSLAB	247
2.2.1. Conditions de croissance	247
2.2.2. Statut « QPS »	248
2.2.3. Étude des génomes	248
2.2.4. Résistance aux phages	248
2.2.5. Interactions microbiennes	249
2.3. Propriétés des NSLAB	249
2.3.1. Texture	249
2.3.2. Activité protéolytique	249
2.3.3. Production d'amines biogènes	250
2.3.4. Production de composés d'arômes	250
2.3.5. Production de composés antimicrobiens	251
2.3.6. Propriétés santé	251
2.4. Forme et utilisation des ferments d'affinage	252
3. Microorganismes d'affinage : levures, moisissures et bactéries (N. Desmasures, F. Irlinger)	255
3.1. Espèces microbiennes susceptibles d'intervenir au cours de l'affinage des fromages	256
3.1.1. Flore fongique	256
3.1.2. Bactéries d'affinage	260
3.1.3. Bilan des genres et des espèces détectées dans les fromages	268
3.1.4. Espèces issues de l'environnement de la fromagerie et ayant un impact sur la technologie du fromage	269
3.2. Stratégie d'adaptation à l'habitat fromage des microorganismes d'affinage	269
3.2.1. Processus évolutifs dans le fromage	269
3.2.2. Facteurs impliqués dans la croissance des microorganismes à la surface et au cœur du fromage : exemple des pâtes molles	270
3.3. Aptitudes technologiques développées par la communauté microbienne fromagère	272
3.3.1. Pigmentation et texture	272
3.3.2. Activité désacidifiante	273
3.3.3. Catabolisme des acides aminés et production d'arômes	274
3.3.4. Lipolyse, catabolisme des acides gras et production d'arômes	276
3.3.5. Activités antimicrobiennes des flores d'affinage	280
3.3.6. Propriétés probiotiques	282
3.4. Conclusion	283

Phages (S. Fraud, S. Moineau)	293
1. Généralités	293
2. Problématique des bactériophages dans l'industrie laitière	295
2.1. Détection et caractérisation des phages des bactéries lactiques	297
2.2. Méthodes microbiologiques	297
2.2.1. Méthodes microbiologiques indirectes	297
2.2.2. Méthodes microbiologiques directes	298
2.3. Méthodes moléculaires	298
3. Moyens de lutte contre les bactériophages	298
3.1. Rotation des ferments	298
3.2. Nettoyage/désinfection	299
4. Perspectives	301
Communautés microbiennes des laits crus et fromages au lait cru (M.-C. Montel, E. Beuvier)	303
1. Quelles sont les populations microbiennes acteurs de la transformation et de l'affinage ?	304
1.1. Lait	304
1.2. D'où viennent les microorganismes du lait ?	305
1.3. Comment les pratiques de production du lait influent-elles sur les équilibres des grands groupes microbiens des laits ?	307
1.3.1. Effet facteurs amont	307
1.3.2. Réfrigération des laits et transport	307
1.3.3. Du lait de ferme au lait de cuve	308
2. Quel devenir des communautés microbiennes des laits crus en cours de process fromager ?	308
3. Rôle des communautés microbiennes des laits crus sur les qualités des fromages	309
3.1. Rôle des communautés microbiennes sur les caractéristiques sensorielles : comparaison de fromages aux laits cru – pasteurisé – microfiltré	309
3.2. Diversité microbienne génératrice de diversité sensorielle	311
3.3. Contribution à l'effet barrière vis-à-vis des pathogènes	312
4. Conclusion	313
Métagénomique des fromages au lait cru et impact des procédés (H. Falentin, S. Lortal)	316
1. Révolution des approches moléculaires dites cultures indépendantes	316
2. Avancées récentes sur les laits fermentés et les fromages au lait cru	317
2.1. Métagénomique 16S et description de l'écosystème	317
2.2. Origine des flores et flux microbien	317
2.3. Impact des procédés	317
3. Perspectives et intégration avec les autres « omiques »	318
 CHAPITRE 8	
Pratiques et techniques fromagères des différentes familles de fromages	321
Du lait au fromage : les fondamentaux technologiques (B. Mietton, I. Chablain)	321
1. Différentes étapes de la transformation fromagère	321
1.1. Préparation des laits	323
1.2. Coagulation	323
1.3. Égouttage	325
1.4. Salage	330
1.5. Affinage : le concept de fromage bioréacteur	332
2. Caractérisation des fromages et éléments de technologie fromagère comparée	333
2.1. Caractérisation au démoulage ou après salage	333
2.1.1. Estimateurs de l' a_w	333
2.1.2. Estimateurs de la capacité tampon	335

2.1.3. Estimateurs de fermentescibilité	337
2.1.4. pH	338
2.1.5. Potentiel redox.	338
2.2. Caractérisation des fromages à l'affinage	340
3. Classification des fromages et descriptif des grandes familles de fromages	341
3.1. Au niveau réglementaire	341
3.2. Au niveau technologique	343
3.3. Descriptif des grandes familles de fromages	345
3.3.1. Fromages lactiques frais ou blancs	345
3.3.2. Famille des pâtes molles	347
3.3.3. Sous-famille des bleus et/ou des pâtes persillées	348
3.3.4. Famille des fromages à pâte pressée	351
3.3.5. Famille des fromages à pâte pressée demi-cuite	352
3.3.6. Famille des fromages à pâte pressée cuite	353
3.3.7. Famille des fromages à pâte filée	354
Gestion et optimisation de la coagulation (B. Mietton, I. Chablain)	321
1. Contrôle et qualification de la coagulation enzymatique des laits	360
2. Gestion et optimisation des facteurs intrinsèques ou conditions de coagulation	362
2.1. Effets liés à la préparation enzymatique coagulante	362
2.1.1. Effets de la nature de la préparation enzymatique	362
2.1.2. Effets de la composition en sel des préparations enzymatiques	363
2.1.3. Effets de la dose d'enzyme coagulante	364
2.2. Effets du pH	366
2.3. Effets de la température	367
3. Gestion et optimisation des facteurs liés à la composition du lait	368
3.1. Composition chimique	368
3.1.1. Teneur en matière grasse	368
3.1.2. Teneur en protéines	368
3.1.3. Taille des micelles et composition en protéines	370
3.2. Teneur en minéraux et environnement ionique	371
3.3. Traitements physiques appliqués lors de la préparation du lait	372
3.3.1. Réfrigération	372
3.3.2. Traitements thermiques	373
3.3.3. Homogénéisation	374
Gestion et optimisation de l'égouttage (B. Mietton, I. Chablain)	379
1. Caractéristiques d'égouttage des différents gels	379
1.1. Gels lactique et présure	379
1.2. Répartition de l'eau dans les gels mixtes	379
1.3. Porosité et perméabilité des gels	381
2. Gestion de l'égouttage	382
2.1. Caractéristiques de l'égouttage des différentes familles de fromages	382
2.2. Descripteurs de la dynamique d'égouttage	382
2.2.1. Paramètres d'état	384
2.2.2. Paramètres de contrôle	384
3. Facteurs d'égouttage	385
3.1. Facteurs d'égouttage des gels lactiques	385
3.1.1. Facteurs d'égouttage des gels lactiques liés au lait	385
3.1.2. Facteurs d'égouttage des gels lactiques liés au processus	386
3.2. Facteurs d'égouttage des gels mixtes et présure	388
3.2.1. Facteurs d'égouttage des gels mixtes et présure liés au lait	388
3.2.2. Facteurs d'égouttage des gels mixtes et présure liés au processus	389

3.2.3. Facteurs biochimiques de l'égouttage des gels mixtes et présure	394
4. Maîtrise de la composition des fromages au démoulage	397
Gestion et optimisation du filage (B. Mietton, I. Chablain)	401
1. Description et évolution de la matrice fromagère lors du filage	401
2. Facteurs affectant le filage	402
2.1. Minéralisation calcique et pH	402
2.2. Température de filage	403
2.3. Quantité d'eau apportée	404
2.4. Actions mécaniques	404
2.5. Apport de sel	404
3. Opérations post-filage	405
3.1. Formage	405
3.2. Refroidissement	405
3.3. Salage	405
3.4. Conditionnement	405
Gestion et optimisation du salage (R. Richoux, B. Mietton)	406
1. Teneur en sel des fromages	406
2. Fonctionnalités du salage	406
2.1. Réduction de l'activité de l'eau	406
2.2. Complément d'égouttage et formation de la croûte	408
2.3. Impact sur les équilibres minéraux et le pouvoir tampon	408
2.4. Effet sur les caractéristiques organoleptiques des fromages	408
3. Mécanismes du salage	409
3.1. Prise de sel	409
3.2. Diffusion du sel dans la masse	411
4. Différentes technologies de salage	411
4.1. Saumurage	411
4.2. Salage par injection de saumure	413
4.3. Salage à sec en surface	413
4.4. Salage à sec dans la masse	414
5. Réduction de la teneur en sel des fromages	415
Technologies à base de préfromage liquide (J.-L. Maubois)	417
1. Principes du procédé MMV	418
2. Équipements d'ultrafiltration sur membrane	419
3. Paramètres de mise en œuvre de l'ultrafiltration	419
4. Propriétés des préfromages liquides et technologies d'ajustement	419
4.1. Minéralisation	419
4.2. Rhéologie	421
4.3. Coagulation par la présure	421
4.4. Métabolisme de l'écosystème d'acidification et d'affinage	422
5. Variétés de fromages fabriqués à partir de PFL	422
5.1. Fromages à pâte fraîche	422
5.2. Fromages à pâte molle	423
5.3. Fromages à pâte persillée	424
6. Autres utilisations en transformation fromagère des PFL	425
 CHAPITRE 9	
Affinage des fromages	429
Biochimie de l'affinage : les phénomènes enzymatiques et microbiens (V. Gagnaire, E. Spinnler, A. Thierry)	429
1. Devenir du lactose et du citrate	430

2. Protéolyse	431
2.1. Phénomène général	431
2.2. Enzymes coagulantes	433
2.3. Enzymes endogènes du lait	434
2.4. Enzymes des bactéries lactiques utilisées comme levain	437
2.5. Enzymes des microorganismes d'affinage	439
2.6. Rôle de la protéolyse dans les changements de texture et de flaveur	440
2.7. Impact de la teneur en sel sur la protéolyse	442
3. Lipolyse	443
3.1. Transformation des lipides du lait au cours de l'affinage	443
3.2. Degré de lipolyse selon la variété de fromage	444
3.3. Agents lipolytiques des fromages	445
4. Production de composés d'arôme	448
4.1. Composés volatils et composés d'arôme	448
4.2. Catabolisme des acides aminés	448
4.2.1. Bactéries lactiques	449
4.2.2. Microorganismes d'affinage	451
4.3. Catabolisme des acides gras	452
4.4. Synthèse d'esters par estérification des acides gras ou alcoololyse des triglycérides	453
5. Autres aspects	454
5.1. Couleur	454
5.2. Ouverture	455
6. Conclusion	456
<i>Cinétiques d'affinage, évolutions microbiologiques et biologiques</i> (G. Corrieu, M.-N. Leclercq-Perlat, D. Picque)	466
1. Cinétiques microbiennes et incidences physico-chimiques	467
2. Protéolyse et lipolyse	475
3. Évolution des caractéristiques qualitatives des fromages	479
4. Conclusion	484
<i>Technologie comparée de l'affinage de différents fromages</i> (B. Mietton, E. Notz, I. Chablain)	486
1. Exemples d'évolution d'écosystèmes fromagers au cours de l'affinage	487
1.1. Profils microbiologiques de fromages à pâte molle	487
1.1.1. Profils microbiologiques de fromages à pâte molle à croûte fleurie et lavée	487
1.1.2. Profils microbiologiques de fromages à pâte molle pressée à croûte lavée	487
1.1.3. Profils microbiologiques de fromages à pâte persillée	487
1.2. Profils microbiologiques de fromages à pâte pressée non cuite et demi-cuite	487
1.3. Profils microbiologiques de fromages à pâte pressée cuite	491
2. Évolution de profils biochimiques de fromages durant l'affinage	492
2.1. Évolution des sucres, lactates et citrates de fromages durant l'affinage	492
2.1.1. Évolution des sucres et lactates de fromages à pâte molle	492
2.1.2. Teneurs en lactates de fromages à pâte persillée	493
2.1.3. Évolution des sucres, lactates et citrates de fromages à pâte pressée non cuite et demi-cuite	493
2.1.4. Évolution des sucres, lactates et citrates de fromages à pâte pressée cuite	493
2.2. Évolution de la matière grasse des fromages durant l'affinage	494
2.2.1. Lipolyse dans des fromages à pâte pressée non cuite et demi-cuite	494
2.2.2. Évolution de la matière grasse des fromages à pâte pressée cuite	496
2.3. Évolution de l'azote des fromages durant l'affinage	497
2.3.1. Évolution de la protéolyse de fromages à pâte molle et de pâtes persillées	497
2.3.2. Évolution de la protéolyse des fromages à pâte pressée non cuite et demi-cuite	499
2.3.3. Profils protéolytiques de fromages à pâte pressée cuite	500

3. Conduite de l'affinage des fromages : les cycles d'affinage	500
3.1. Cycle d'affinage : définition	500
3.2. Paramètres à gérer lors de l'affinage des fromages	502
3.2.1. Temps	502
3.2.2. Température	502
3.2.3. Humidité relative et vitesse de l'air	504
3.2.4. Teneur en gaz (O ₂ , CO ₂ et NH ₃) : taux de renouvellement de l'air	507
4. Affinage des différents fromages et leurs fonctionnalités	511
4.1. Conduites d'affinage des fromages à pâte molle	511
4.1.1. Pâtes molles mixtes à croûte fleurie	511
4.1.2. Pâtes molles mixtes à croûte lavée	511
4.2. Conduites d'affinage des fromages à pâte persillée (« bleus »)	513
4.3. Conduites d'affinage des fromages à pâte pressée	515
4.3.1. Fromages à pâte pressée présentant des ouvertures	515
4.3.2. Fromages à pâte pressée sans ouvertures	517
5. Conclusion	518

CHAPITRE 10

Comment maîtriser ces écosystèmes complexes au niveau de l'entreprise ?

(D. Roy, J.-L. Maubois)	523
1. Gestion de la qualité technologique	524
1.1. Classification des fromages	524
1.2. Composition des fromages	524
1.3. Paramètres clés de la fabrication fromagère	526
1.4. Rôle des caractéristiques du fromage et de son environnement	526
1.4.1. pH et acidité	527
1.4.2. Potentiel d'oxydoréduction	527
1.4.3. Activité de l'eau	528
1.4.4. Paramètres technologiques du fromage bioréacteur	529
2. Gestion du microbiote	529
2.1. Microbiote du fromage	529
2.2. Interactions microbiennes	532
2.2.1. Antagonisme	533
2.2.2. Communication intercellulaire	534
2.2.3. Métabiose	535
2.3. Écologie des fromages	536
2.3.1. Cas du fromage cheddar	536
2.3.2. Cas du fromage cantal	539
2.3.3. Cas du fromage camembert	539
2.3.4. Cas du fromage emmental	540
3. Conclusion	540

CHAPITRE 11

Cas particuliers : autres produits fromagers

<i>Fromages fondus</i> (S. Roustel, M. Chambre, H. Meyer-Caron)	545
1. Introduction	545
1.1. Définition	545
1.2. Historique	546
1.3. Données économiques et marché	546
1.3.1. Évolution historique	546
1.3.2. Régulateur de marché	547
1.3.3. Produit international	547

1.3.4. Faculté d'adaptation	547
1.3.5. Périmètre d'extension	547
1.4. Modernité et qualité du produit	548
1.4.1. Toutes les formes	548
1.4.2. Grande facilité de consommation	548
1.4.3. Conservation aisée	548
1.5. Introduction à la technologie et à la physico-chimie des fromages fondus	549
2. Ingrédients utilisés en fabrication	550
2.1. Fromages et caillés frais	550
2.2. Autres matières premières laitières	551
2.2.1. Autres sources protéiques	551
2.2.2. Matière grasse laitière	552
2.2.3. « Préfonte »	552
2.3. Autres ingrédients	553
2.3.1. Ingrédients d'aromatisation	553
2.3.2. Matières premières végétales	553
2.3.3. Succédanés de matière grasse	553
2.3.4. Eau	554
2.3.5. Additifs alimentaires	554
2.4. Additifs technologiques	555
2.4.1. Sels de l'acide phosphorique : les phosphates	555
2.4.2. Sels de l'acide citrique : les citrates	556
2.4.3. Mode d'emploi	557
2.4.4. Rôles et conséquences	557
2.4.5. Voies de recherche pour la substitution des sels de fonte	558
3. Physico-chimie de la fonte	559
3.1. Échange ionique	559
3.2. « Peptisation » ou désintégration partielle du réseau protéique et hydratation	560
3.3. Émulsification dont la résultante est le krémage	561
3.4. Stabilisation de la structure	561
4. Technologie de fabrication	563
4.1. Sélection et préparation des matières premières	563
4.2. Mélange, cuisson et fonte	563
4.3. Stabilisation thermique de la pâte	564
4.4. Krémage : ajustement de la consistance	565
4.5. Conditionnement du fromage fondu	566
4.6. Refroidissement du produit fini	566
5. Principaux facteurs intervenants sur les caractéristiques des produits finis	567
5.1. Effets des fromages	567
5.1.1. Teneur en extrait sec total	568
5.1.2. Quantitatif et qualitatif protéiques	568
5.1.3. Niveau de minéralisation	569
5.2. Teneur en lactose	569
5.3. Sels de fonte	569
5.3.1. Solubilisation des protéines et séquestration du calcium	569
5.3.2. Ajustement du pH	569
5.3.3. Fonction antimicrobienne	569
5.3.4. Effets sur les propriétés sensorielles	570
5.3.5. Comparatif citrates/phosphates/polyphosphates	570
5.4. pH	570
5.5. Facteurs du procédé intervenant sur les caractéristiques du produit fini	570
5.6. Type de cuiseur	571
5.6.1. Température de fonte	571

5.6.2. Temps de fonte	571
5.6.3. Vitesse de cisaillement pendant la fonte	571
5.6.4. Vitesse de refroidissement post-conditionnement	572
6. Principaux défauts rencontrés	572
6.1. Présence de cristaux	572
6.2. Présence de colorations	572
6.3. Présence de défauts de texture et de tenue du produit	573
6.4. Amertume	573
6.5. Défauts microbiologiques	573
7. Exemples pratiques d'application	574
7.1. Cream cheese	574
7.2. Fromages fondus tartinables	577
8. Nutrition	578
9. Conclusion	579
Fromages de lactosérum (J.-L. Maubois, B. Mietton, A. Ayerbe)	581
1. Définition	581
2. Composition des lactosérums	582
3. Facteurs de dénaturation des protéines sériques	583
4. Procédés de fabrication	584
4.1. Fabrication par thermocoagulation-acidification	584
4.2. Fabrication par concentration	584
5. Principaux fromages de lactosérum	585
6. Caractéristiques des fromages de lactosérum	586
7. Avenir des fromages de lactosérum	586
Fromages à base de poudres (J.-F. Boudier)	587
1. Fabrications fromagères à partir de poudres de lait	588
1.1. Matières premières	588
1.1.1. Eau	588
1.1.2. Poudres de lait	588
1.1.3. Matières grasses	589
1.2. Préparation du lait de fromagerie recombiné : opération de prétraitement	589
2. Évolution de la fabrication de fromage à partir de poudre	590
Spécialités fromagères (E. Treuil)	592
1. Spécialités fromagères, un concept créé pour répondre aux innovations n'entrant pas dans la définition réglementaire française du fromage	593
2. Prise en compte du concept de spécialité fromagère dans la réglementation européenne sur les additifs	595
2.1. Flou réglementaire entourant l'utilisation des additifs dans les spécialités fromagères dans le cadre de la directive européenne de 1989	595
2.2. Reconnaissance de la catégorie « spécialité fromagère » dans la réglementation européenne sur les additifs en 2011	597
3. Spécialités fromagères, un concept international	598
4. Conclusion	600
CHAPITRE 12	
Rendement fromager (J.-R. Kerjean)	601
1. Introduction	601
1.1. Mesure du rendement fromager – Le rendement fromager comme objectif	601
1.2. Correction du rendement fromager par l'extrait sec	602
2. Mesure du rendement	602
3. Correction du rendement par l'extrait sec	602

4. Rendement et récupération matières	603
5. Conditions de validité du rendement fromager	604
5.1. Organisation des essais sur le rendement fromager et remarques statistiques	604
5.2. Équilibre du bilan poids	605
6. Préviation du rendement	607
7. Cas des fromages obtenus par ultrafiltration du lait (procédé MMV)	609
8. Exemples de paramètres influant sur le rendement fromager	609
9. Conclusion	611

CHAPITRE 13

Défauts des fromages affinés (J.-R. Kerjean)	615
1. Introduction	615
2. Organisation du chapitre	617
3. Exemples de défauts à explication relativement simple	618
3.1. Fermentation butyrique	618
3.1.1. Diagnostic et signes de la fermentation butyrique	618
3.1.2. Analyse des causes de la fermentation butyrique (étiologie)	619
3.1.3. Voies thérapeutiques pour remédier à la fermentation butyrique	620
3.2. Exemples de défauts technologiques	623
3.2.1. Manque d'égouttage	623
3.2.2. Manque de soudure en cheddar	623
3.3. Défauts de couleur	623
3.4. Défauts de flaveur	623
3.4.1. Amertume	623
3.4.2. Fromage rance	624
3.4.3. Flaveur de savon	624
3.4.4. Arôme de pomme de terre	625
3.4.5. Styrène	625
4. Exemples de défauts à explication complexe	625
4.1. Défauts d'ouverture et lainure	625
4.1.1. Diagnostic des défauts d'ouverture et de lainure	625
4.1.2. Mécanismes de l'ouverture et explication des défauts	625
4.1.3. Applications pratiques : comment ces trois conditions expliquent-elles les défauts des fromages à ouverture ?	626
4.2. Texture pâteuse (insuffisamment ferme) ou texture trop ferme	629
4.3. Défauts de croûtage	629
4.3.1. Exemple de défaut de croûtage en pâte molle à croûte fleurie	629
4.3.2. Exemples de défauts de morge en fromage à croûte lavée	631
4.4. Couleur rose	632
4.5. Cristaux de lactates	632
5. Exemples de quelques problèmes méthodologiques dans l'analyse des causes des défauts fromagers et la thérapeutique	633
5.1. Morge collante de l'appenzell	633
5.2. Défaut de brunissement à cœur du grana	633
5.3. Croûte piquée de l'emmental	633
5.3.1. Diagnostic	633
5.3.2. Étiologie	634
5.3.3. Thérapeutique	635
6. Conclusions sur les défauts fromagers	635
6.1. Note sur le caractère épisodique de certains défauts fromagers	635
6.2. Nécessité d'une définition technique des défauts et de leur mesure	636

6.3. Quelques caractéristiques du raisonnement des défauts fromagers	637
6.4. Systèmes expert, intelligence artificielle et modélisation des défauts	638

CHAPITRE 14

Matériaux de conditionnement et d'emballage (S. Banon, L. Sanchez-Gonzalez,

E. Arab-Tehrany, J. Scher, S. Desobry)	645
1. Matériaux d'emballage fromagers	645
2. Conservation du fromage pour le choix de l'emballage adapté	647
2.1. Perméabilité aux gaz de l'emballage	648
2.2. Perméabilité à la vapeur d'eau (PVE)	649
2.2.1. Phase d'absorption d'eau par l'emballage	650
2.2.2. Phase de désorption d'eau par l'emballage	650
2.3. Lumière	650
2.4. Aspects microbiologiques	651
3. Exemples d'emballages fromagers du marché	651
4. Emballages en développement	656
4.1. Évolution des emballages	656
4.2. Emballages fromagers « actifs » et/ou « intelligents »	656
5. Transferts emballage-fromage : réglementation et migrations	656
5.1. Solvants résiduels	657
5.2. Monomères de matériaux d'emballage	658
5.3. Additifs divers	658
5.4. Suivi des composés ajoutés dans les emballages actifs	658
5.5. Environnement et recyclage	659
6. Conclusion	659

CHAPITRE 15

Contrôles chimiques et microbiologiques (A. Branger, P. Trossat)

.....	661
1. Principes généraux des méthodes d'analyse	662
1.1. Statuts des méthodes d'analyse	662
1.2. Critères analytiques	663
1.3. Interprétation des résultats analytiques en contrôle	664
1.3.1. Contrôle par méthode de référence	664
1.3.2. Contrôle par une méthode rapide ou alternative	664
1.3.3. Cas des méthodes microbiologiques	665
2. Détermination de la teneur en matière sèche et en matière grasse	665
2.1. Échantillonnage	665
2.2. Méthodes de référence	666
2.2.1. Dosage de la matière sèche	666
2.2.2. Dosage de la matière grasse	667
2.3. Méthodes de routine	667
2.3.1. Spectroscopie infrarouge	667
2.3.2. Autres méthodes	667
3. Analyses microbiologiques	668
3.1. Développement des flores de contamination	668
3.2. Prélèvements	668
3.3. Contrôle des critères officiels	669
3.4. Contrôles technologiques	669
4. Contrôle de la qualité des analyses	671
4.1. Matériaux de référence	671
4.2. Essais interlaboratoires d'aptitude	671
5. Conclusion	672

CHAPITRE 16

Valorisation des coproduits de la transformation fromagère (lactosérum, perméats, etc.)

(J.-L. Maubois)	675
1. Utilisation du lactosérum entier	677
2. Prétraitement des lactosérums	678
3. Déminéralisation des lactosérums	678
4. Séparation des protéines	680
5. Valorisation de l'ultrafiltrat de lactosérum	682
6. Séparation et valorisation du lactose	683

CHAPITRE 17

Aspects techniques et industriels**Nettoyage et désinfection en fromagerie** (O. Cerf, E. Billet)

1. Définitions, objectifs	687
2. Conditions pour que le NDSN soit efficace	687
3. Produits et procédés d'application	688
4. Controverse sur l'alternance des désinfectants	690
5. Emploi du bois	690
6. Validation, surveillance, vérification	690

Conception et climatisation des locaux de fabrication et d'affinage

1. Conception des locaux de fabrication et d'affinage (B. Henriot)	691
1.1. Rappel des enjeux	691
1.2. Budget	692
1.3. Implantation	692
1.4. Équipements	693
1.5. Bâtiment	694
1.6. Énergies	695
1.7. Conclusion	695
2. Climatisation des locaux de fabrication et d'affinage (M. Vieille)	696
2.1. Quelques connaissances préalables sur l'air humide	696
2.1.1. Teneur en vapeur d'eau de l'air	696
2.1.2. Saturation de l'air	696
2.1.3. Humidité relative ou « hygrométrie »	696
2.1.4. Point ou température de rosée	697
2.1.5. Température « humide »	698
2.2. Paramètres de l'air à régler dans les locaux d'affinage et solutions techniques mises en œuvre	698
2.2.1. Température	698
2.2.2. Humidité relative ou hygrométrie	699
2.2.3. Vitesse et diffusion de l'air	700
2.2.4. Teneur en gaz de l'air	701
2.2.5. Propreté de l'air	702
2.3. Matériels de conditionnement d'air dans les locaux d'affinage	703
2.3.1. Caves d'affinage de petite dimension	703
2.3.2. Caves d'affinage de dimension moyenne à grande	703
2.4. Salles de ressuyage et de séchage	706
2.5. Salle de salage	706
2.6. Salles d'égouttage en moules	706
2.7. Salles de conditionnement des fromages	707
2.8. Salle de fabrication	707

Mesures et automatisation des procédés fromagers (G. Corrieu, D. Picque)	707
1. Outils de mesure et de pilotage	708
1.1. Capteurs	709
1.1.1. Automatisation et fiabilisation d'opérations séquentielles	710
1.1.2. Caractérisation de l'environnement des produits	710
1.1.3. Caractérisation des produits	710
1.2. Outils de pilotage	710
1.2.1. Automates programmables	710
1.2.2. PC et logiciels de supervision	711
1.2.3. Évolution vers le contrôle à distance	711
2. Automatisation des principales opérations	712
2.1. Mécanisation et conduite des opérations séquentielles	712
2.2. Préparation des laits	712
2.2.1. Caractérisation et standardisation des laits	712
2.2.2. Caractérisation des agents biologiques de transformation	713
2.3. Coagulation et transformation des caillés	714
2.3.1. Détermination de l'instant de coagulation, raffermissement du caillé	715
2.3.2. Décaillage et égouttage	717
2.4. Affinage des fromages	717
3. Conclusion générale	723
Manutention et transferts en fromagerie (J.-C. Gillis, G. Corrieu)	725
1. Contraintes imposées par le produit et sa technologie	726
1.1. Respect des caractères physico-chimiques et morphologiques du fromage	726
1.2. Respect des contraintes bactériologiques et sanitaires	727
1.3. Respect des contraintes d'environnement	727
1.4. Respect des caractéristiques du procédé de fabrication	727
2. Contraintes imposées par le matériel	727
3. Grandes opérations de manutention	728
3.1. Déplacement	729
3.2. « Arrangement »	729
3.3. Retournement	729
4. Solutions techniques	730
4.1. Convoyeurs	730
4.2. Palans	730
4.3. Chariots transporteurs	730
4.4. Chaînes à godets	731
4.5. Appareils spécifiques	731
4.6. Machines spéciales	731
5. Les problèmes qui restent à résoudre	731
6. Conclusion	732
Organisation de l'entreprise et de la production (L. Morelon)	733
1. Données élémentaires sur l'économie fromagère	733
1.1. Quelques données statistiques simples	733
1.2. Vision rapide de l'univers fromager mondial	733
1.3. Définition générale du produit	734
1.3.1. Produit fragile, à protéger	734
1.3.2. Maîtrise nécessaire de la chaîne du froid	734
1.3.3. Produit exigeant en distribution : la gestion des dates de durabilité minimale et la maîtrise bactériologique	735
1.3.4. Produit à haute valeur nutritionnelle pour son prix	735
1.4. Différents circuits de distribution	736
1.5. Fromage à la coupe et en libre-service	736

1.6. Fromages fermiers : spécificités et positionnement économique	736
2. Contraintes économiques de la production du fromage	737
2.1. Main-d'œuvre	737
2.1.1. Savoir-faire fromager et gestion des horaires	737
2.1.2. Rythmes annuels de la production	738
2.1.3. Sécurité	739
2.2. Investissements nécessaires à la production de fromage	739
2.2.1. Zone de collecte et contraintes de la qualité du lait	739
2.2.2. Taille des fromageries modernes et traditionnelles	740
2.2.3. Dimensionnement des équipements	740
2.3. Différents enjeux économiques	741
2.3.1. Rendements fromagers	741
2.3.2. Gestion de l'énergie	741
2.3.3. Gestion de l'eau	742
2.3.4. Évolutions récentes : cycles de production, de nettoyage	742

Partie 4 Consommation

CHAPITRE 18

Connaissance, notoriété et usages du fromage par le consommateur (M. Roche)	745
1. Technique de fabrication et type de pâte	745
2. Type de lait utilisé	745
2.1. Vache	746
2.2. Brebis	746
2.3. Chèvre	747
2.4. Bufflonne	747
2.5. Chamelle, yak	747
2.6. Fromage au lait de mélange	748
3. Modes de consommation	748
3.1. Le fromage consommé sans préparation particulière	749
3.2. Le fromage consommé en tant qu'ingrédient culinaire	749
3.2.1. Le fromage peut être utilisé à froid	749
3.2.2. Le fromage peut être utilisé à chaud	749
3.3. Les sauces	750
4. Instants de consommation	750
5. Formes et formats	751
5.1. Étymologie	751
5.2. Du bouton de culotte à la grande meule d'emmental	752
5.3. Formes cylindriques ou parallélépipédiques	753
5.4. Autres formes	753
5.5. Attributs distinctifs	753
5.6. La forme « détruite »	753
6. Couleurs et structure	754
6.1. Couleurs	754
6.2. Structure	754
6.3. Texture	755
6.4. Arômes et aromates	755
7. Texture et mode de mise en œuvre	755
7.1. Outils de découpe du fromage	755
7.2. La façon de découper les fromages	755
7.3. Fromages à tartiner	757
7.4. Fromages à fondre	757

8. Richesse en calcium	757
9. Durée de conservation et mode de conservation	757
9.1. La DLC, date limite de consommation	759
9.2. La DDM, date de durabilité minimale	760
10. Qualités fonctionnelles	760
11. Propriété de la dénomination	760
11.1. Propriété collective	761
11.1.1. Dans le monde	761
11.1.2. En Europe	761
11.1.3. En France	761
11.2. Propriété privée	761
12. Consommation de fromage	762
12.1. Consommation dans le monde	763
12.2. Consommation de fromage en France	763
13. Fromages et culture	764
13.1. Vins et fromages	765
13.2. Tourisme et fromages	766
13.3. Expressions	766
13.4. Citations	767
14. Cheese analog, substitut de fromage, tofu	767

CHAPITRE 19

Mesure, compréhension et maîtrise des thermofonctionnalités des fromages affinés

(J.-R. Kerjean)	769
1. Méthodes de mesure des thermofonctionnalités	770
2. Rôle de la matière grasse des fromages dans les thermofonctionnalités	771
2.1. Introduction	771
2.2. Rôle de la matière grasse dans le processus de fonte	772
2.3. Quelques résultats importants sur les interactions entre matière grasse et thermofonctionnalités des fromages	773
2.3.1. Mobilité de la matière grasse	773
2.3.2. Conséquences de la mobilité de la matière grasse sur l'étalement, le filant et la texture du fromage après fonte	775
3. Influence de la protéolyse sur les thermofonctionnalités des fromages affinés	777
3.1. Étalement	777
3.2. Filant	777
3.3. Coloration	778
3.4. Texture après fonte	778
3.5. Minéraux et autres moyens de contrôle de la texture	779
3.6. Minéraux	779
3.7. pH	780
4. Aptitudes culinaires des fromages de chèvre	780
5. Modélisation des aptitudes culinaires	780
6. Conclusion	782

Partie 5 Qualité

CHAPITRE 20

Introduction : définition de la qualité (O. Cerf, C. Farrokh, Y. Soustre)	787
---	-----

CHAPITRE 21

Analyse sensorielle du fromage (S. Issanchou, C. Martin)	789
1. Analyse descriptive et méthodes alternatives	789
1.1. Analyse descriptive quantitative	789
1.2. Méthodes alternatives au profil descriptif quantitatif	793
1.2.1. Profil Libre Choix et Profil Flash	793
1.2.2. Profil Qualitatif	794
1.2.3. Méthodes non verbales : Tri Libre et Napping	795
2. Méthodes temporelles	796
2.1. Méthode temps-intensité	796
2.2. Méthode de Dominance Temporelle des Sensations (DTS)	797
2.3. Méthode « CATA répété »	798
3. Exemples d'application de l'analyse sensorielle	798
3.1. Saveur de fromages français	798
3.2. Effet de différents paramètres de production sur les caractéristiques sensorielles des fromages	800
3.2.1. Effet de la pasteurisation	802
3.2.2. Effet de la réduction du taux de matière grasse	802
3.2.3. Effet de la réduction du chlorure de sodium	805
4. Appréciation des fromages	806
4.1. Essais hédoniques	806
4.2. Notation par rapport à l'idéal	808
4.3. Mesures temporelles d'appréciation	809
4.4. Appréciation des fromages et caractéristiques sensorielles	809
4.5. Aversion pour les fromages	811
5. Association vin-fromage et bière-fromage	811
6. Conclusion et perspectives	814

CHAPITRE 22

Les fromages sous l'angle nutrition-santé	819
Composition et intérêt nutritionnel des fromages (J.-L. Maubois, Y. Soustre, A. Ayerbe)	819
1. Matières azotées	820
2. Lipides	821
3. Lactose	821
4. Minéraux	822
5. Vitamines	822
6. Écosystèmes microbiens	823
7. Conclusion	823
Fromage et santé (Y. Soustre, A. Ayerbe)	826
1. Fromage et diabète de type 2	827
2. Fromage, maladies cardiovasculaires et facteurs de risques	829
2.1. AGS laitiers et MCV	829
2.2. Fromage et MCV	830
2.3. Fromage et hypertension	831
2.4. Fromage et hypercholestérolémie	832
2.5. Fromage et inflammation	832
2.6. Les fromages, une explication au paradoxe français ?	833
3. Fromage et syndrome métabolique	835
4. Fromage et poids	836
5. Fromage et os	836
6. Fromages, dénutrition, cognition et personnes âgées	837

Impact des technologies sur les caractéristiques nutrition santé des fromages	841
1. Introduction (S. Turgeon)	841
2. Lipides (C. Lopez, M.-C. Michalski)	843
2.1. Impact des technologies sur les structures lipidiques	844
2.1.1. Les globules gras recouverts de leur membrane biologique	844
2.1.2. Devenir des globules gras dans les fromages : évolutions structurales	845
2.1.3. Cristallisation de la matière grasse laitière dans les fromages	847
2.2. Matière grasse laitière dans les fromages : quel impact des technologies fromagères sur la digestion, l'absorption et le devenir postprandial des lipides ?	848
2.2.1. Structure des lipides dans les fromages : impact sur la digestion et le devenir postprandial	848
2.2.2. Structure des fromages : impact sur la digestion et le devenir postprandial	852
2.3. Conclusion et perspectives	857
3. Protéines (S. Turgeon, D. Dupont)	863
3.1. Chez l'adulte, le lait coagule dans l'estomac	864
3.2. Caséines et protéines sériques : des comportements différents lors de la digestion et modulés par les traitements thermiques	865
3.3. Les cinétiques de digestion du lait et des gels laitiers sont différentes à composition identique	867
3.4. Des centaines de peptides bioactifs sont libérés dans la lumière de l'intestin grêle au cours de la digestion	869
3.5. L'allergénicité des protéines laitières est-elle liée à leur digestibilité ? Est-elle modifiée par les traitements thermiques ?	872
3.6. Que savons-nous du processus de digestion du fromage ?	874
4. Écosystèmes d'acidification et d'affinage et valeur santé des fromages (A. Ayerbe, J.-L. Maubois)	879
4.1. Effets probiotiques	880
4.2. Modulation du microbiote	880
4.3. Biosynthèse de vitamines	880
4.4. Production de biopeptides	881
4.5. Conclusion	881
5. Quelques informations sur les intérêts nutritionnels des minéraux des fromages (F. Gaucheron)	882
5.1. Calcium et phosphore	884
5.2. Magnésium et oligoéléments	885
5.2.1. Magnésium	886
5.2.2. Cuivre et zinc	886
5.2.3. Fer	886
5.2.4. NaCl	886
Fromages, nutrition et santé : perspectives de recherches (J.-L. Maubois, Y. Soustre)	887

CHAPITRE 23

Hygiène : sécurité et salubrité	891
Introduction : maîtrise de la sécurité sanitaire (C. Farrokh, O. Cerf)	891
Maîtrise des contaminants biologiques (O. Cerf, C. Farrokh, F. Tenenhaus-Aziza)	891
1. Principes de base	891
2. Origine de la contamination microbiologique et les moyens de maîtrise	893
2.1. Animal	894
2.2. Exploitation agricole	897
2.3. Collecte	898
2.4. Fromagerie	898

2.5. Distribution	899
2.6. Consommation	899
3. Appréciation des risques sanitaires	899
3.1. Analyse des risques	899
3.2. Application de l'AQR aux fromages	900
3.3. Utilisation de l'AQR par les autorités sanitaires	900
3.4. Utilisation de l'AQR par les professionnels	901
3.5. Outils disponibles	902
Maîtrise des contaminants chimiques	904
1. Toxines de moisissures (mycotoxines) (S. Dragacci, M. Nicolas)	904
1.1. Qu'est-ce qu'une mycotoxine ?	904
1.2. Contamination indirecte des fromages par l'utilisation d'un lait contaminé	905
1.3. Contamination directe des fromages par des moisissures de l'environnement	906
1.4. Contamination par adjonction d'herbes ou d'épices	907
1.5. Réglementation et techniques d'analyse	907
1.6. Techniques de dosage de l'aflatoxine M ₁ dans les fromages	907
2. Pesticides (C. Inthavong, F. Hommet)	909
2.1. Aspects réglementaires	909
2.2. Plan de surveillance et de contrôle en France	911
2.3. Niveau de la contamination des pesticides dans les produits laitiers	912
2.4. Méthodes d'analyse de pesticides	913
2.4.1. Les méthodes conventionnelles	913
2.4.2. Les méthodes à large spectre de type QuEChERS	913
2.5. Conclusion	914
3. Éléments-traces métalliques (T. Guerin)	915
3.1. Généralités	915
3.2. Plomb	916
3.3. Cadmium	917
3.4. Mercure	917
3.5. Arsenic	918
3.6. Réglementation européenne	919
3.7. Méthodes d'analyses	919
Détermination de la durée de vie microbiologique des fromages (C. Denis, V. Michel, M. Place, V. Stahl)	921
1. Aspects réglementaires	921
1.1. Définitions	921
1.2. Réglementation relative à la sécurité sanitaire des aliments	922
1.3. Plan de maîtrise sanitaire et DVM	922
2. Méthodologie de détermination de la DVM	923
2.1. Microorganismes pathogènes et flores d'altération potentielles	923
2.2. Informations utiles à la détermination de la DVM	924
2.3. Autres outils disponibles	925
2.3.1. Test de vieillissement	925
2.3.2. Test de croissance	925
2.3.3. Microbiologie prévisionnelle	926
2.4. Utilisation de la microbiologie prévisionnelle,	926
3. Détermination de la DVM : application aux fromages	927
CHAPITRE 24	
L'assurance de la qualité et la traçabilité	931

Assurance qualité et systèmes de management de la qualité (M. Nedellec)	931
1. Systèmes de management de la qualité	931
1.1. Définitions	931
1.1.1. Qualité	931
1.1.2. Assurance qualité	932
1.1.3. Politique qualité	932
1.2. Systèmes de management de la qualité et référentiels	932
1.2.1. La norme ISO 9001	933
1.2.2. La norme ISO 22000	934
1.2.3. FSSC 22000	935
1.2.4. Le référentiel IFS Food	936
1.2.5. Le référentiel BRC Food	937
2. Mise en place d'un système de management de la qualité ISO 9001	938
2.1. Le système documentaire	938
2.2. Ressources humaines et compétences	939
2.3. Les audits	939
3. Certification ISO 9001	940
4. Autres référentiels	940
Traçabilité des fromages (J.-P. Guyonnet)	941
1. Traçabilité : définition, objectifs, réglementation, principes de mise en place	941
1.1. Définition	941
1.2. Objectifs	941
1.2.1. Répondre aux obligations réglementaires en matière de sécurité du consommateur	941
1.2.2. Répondre aux besoins d'informations de l'entreprise, de ses clients et de ses partenaires	942
1.2.3. Suivi des principes de précaution	942
1.3. Réglementation	942
1.4. Principes de mise en place	943
2. Spécificités de l'application en fromagerie	943
2.1. L'objectif sécurité en fromagerie et ses conséquences en traçabilité	943
2.2. Autres objectifs	944
2.2.1. Vis-à-vis des consommateurs	944
2.2.2. Pour l'entreprise, vis-à-vis des partenaires	944
2.3. Traçabilité de l'approvisionnement en laits à fromages	944
2.4. Enregistrements nécessaires à la fabrication des fromages	946
2.5. Lots de fromage, numéro de lot	947
2.6. Marquage	948
2.7. Outils de traçabilité	948
3. Traçabilité des fromages illustrée par quelques cas concrets	948
3.1. Une pâte molle au lait pasteurisé de type camembert « industriel »	948
3.2. Un fromage à pâte pressée cuite AOP	954
3.3. Une pâte molle au lait cru de type brie	956
4. La traçabilité, un outil précieux en fromagerie	961

Partie 6 Perspectives

CHAPITRE 25

Perspectives économiques laitières (G. Calbrix)	965
1. Production laitière dans le monde	965
2. Évolution récente de la production	966

3. Évolution des prix du lait départ ferme	967
4. Cours mondiaux des produits laitiers	968
5. Échanges mondiaux de produits laitiers	969
6. Prévisions de production laitière mondiale	969

CHAPITRE 26

Perspectives de la production fromagère (G. Calbrix)	971
1. Production fromagère dans le monde	971
2. Production fromagère française	971
3. Évolution des prix des fromages	973
4. Échanges mondiaux de fromages	974
5. Perspectives sur le marché des fromages	976

CHAPITRE 27

Perspectives de la consommation du fromage (P. Hébel)	977
1. Le fromage, marqueur du modèle alimentaire à la française	977
1.1. Marqueur des repas conviviaux et longs	977
1.2. Associé à des repas plus structurés	978
2. Une nouvelle place dans un modèle qui se simplifie	979
3. Perspectives	980

Index	983
--------------------	------------

PRÉFACE

« *E*n faire tout un fromage ! » Cette expression populaire bien française, du début du ^{XX}^e siècle, signifie qu'en partant d'un produit simple (en apparence !), le lait, on peut obtenir un aliment très (trop) élaboré, nécessitant un savoir-faire certain, le fromage. Les Anglais parlent d'une tempête dans une tasse de thé pour exprimer la même chose. Chaque nation possède ses produits emblématiques et le fromage est bien un produit culturel de la France.

En réalité, depuis le Néolithique, nous retrouvons des traces de fabrication de fromages, au Moyen-Orient et tout autour de la Mer méditerranée ; nos ancêtres n'ont jamais cessé de chercher le meilleur moyen de conserver le lait de leurs animaux. L'homme avait compris, par empirisme, toute la richesse nutritionnelle contenue dans le lait et donc dans le fromage, qui en est une forme de « concentré ».

Quelle leçon donnée par tant d'ingéniosité, développée au fil des siècles ! Et la France s'est distinguée depuis 2000 ans par la qualité de ses fromages et leur diversité (Pline l'Ancien parle déjà des fromages remarquables de la Gaule.)

Depuis le ^{XIX}^e siècle, les progrès scientifiques dans tous les domaines, notamment en microbiologie, chimie et physique, ont permis de mieux comprendre et d'expliquer les mécanismes en action dans le procédé millénaire de fabrication d'un fromage.

Au fur et à mesure que les connaissances scientifiques progressent, la complexité grandit ; en premier lieu celle de la composition du lait et ensuite de toutes les réactions permettant de passer d'un liquide blanc à un produit ou plutôt à une multitude de produits, dont l'utilisation sort parfois de la simple chaîne alimentaire. Grâce aux nouvelles technologies, nous découvrons le monde de l'infiniment petit, la génomique nous éclaire sur le comportement des bactéries, sans lesquelles il n'existerait pas de fromages ; les études épidémiologiques complétées par l'expérimentation confortent les hypothèses relatives à la valeur nutritionnelle des fromages.

Cet ouvrage, dont la 1^{re} édition est sortie en 1984, constitue à lui seul une bibliothèque dédiée au fromage. Merci à Jean-Claude Gillis et André Ayerbe pour leur implication à coordonner tous les auteurs et leur participation à l'écriture de la quatrième édition de ce livre.

Je les remercie de m'associer modestement à cet ouvrage et je veux rendre hommage à mes professeurs de l'ENIL de Poligny (promotion 1983) dont certains participent à son écriture, pour leur rôle important dans la transmission des connaissances auprès de milliers de jeunes fromagers qui constituent les forces vives de notre belle filière laitière.

Enfin, n'oublions jamais que le fromage est un produit vivant (les fromagers le savent très bien), varié, et surtout que c'est un produit élaboré par l'homme, pour l'homme, pour se nourrir et, au-delà, pour son plaisir.

Didier Lincet
Président de la Fromagerie Lincet

AVANT-PROPOS

Le *Fromage*, publié une première fois en 1984 sous la coordination d'André Eck puis, une dizaine d'années plus tard, sous celle du même André Eck et de Jean-Claude Gillis, ouvrage qui était devenu une véritable référence sur le sujet, est réédité ici pour la quatrième fois ; il est également disponible en ligne.

Il peut paraître très ambitieux de vouloir présenter, en quelques centaines de pages, l'essentiel des connaissances aujourd'hui disponibles sur un produit élaboré par l'homme depuis plusieurs millénaires. Cependant, entourés des meilleurs experts et spécialistes que compte le monde francophone, nous avons estimé disposer de tous les atouts pour présenter, sous son angle scientifico-technique, ce produit exceptionnel qui participe à notre identité : LE FROMAGE.

Certes, de nombreux livres, souvent très bien documentés et illustrés, sous toutes les latitudes et dans toutes les langues, évoquent, recensent, présentent et décrivent les fromages et les recettes qui leur sont associées. Ils traitent alors, à juste titre, des traditions et des usages qui ont conduit telle ou telle population à le consommer comme aliment de base, comme aliment festif ou encore comme ingrédient culinaire. Ce sont autant de modalités que de civilisations, voire de communautés, coexistant depuis la nuit des temps auprès de mammifères : vaches, bufflonnes, chèvres, brebis, rennes pour ne citer que les plus représentatifs.

Notre démarche ne s'inscrit absolument pas dans cette perspective. Se limitant aux connaissances scientifiques et techniques les plus actuelles, elle se veut en quelque sorte « universelle » puisqu'elle fait référence aux fondamentaux et aux lois de la biochimie et de la physico-chimie aujourd'hui les mieux établies concernant la transformation du lait en fromages, et aux conséquences qui en résultent.

Cependant, compte tenu, d'une part, des préoccupations grandissantes des consommateurs en matière d'alimentation et, d'autre part, des interrogations des autorités de santé publique relatives aux relations possibles entre les régimes alimentaires et la santé, nous avons élargi le spectre de nos acquis actuels. Ainsi, nous avons souhaité mettre à disposition du public le plus large – étudiants, enseignants, chercheurs, laitiers fromagers, industriels, techniciens, ingénieurs... – un ouvrage se déroulant autour d'une ligne conductrice allant de l'histoire aux modes de consommation actuels et à leurs possibles évolutions.

La trentaine de chapitres qui y sont consacrés s'articule autour de six grandes parties :

- Histoire
- Aspects réglementaires
- Science et technologie
- Consommation
- Qualité
- Perspectives

Près d'une centaine de personnalités parmi les mieux reconnues du monde de la recherche, de l'industrie, de l'interprofession laitière, d'organismes publics ou privés, ont bien voulu répondre à nos sollicitations et nous les en remercions chaleureusement, comme nous remercions Monsieur Didier Lincet d'avoir rédigé la préface.

Ces remerciements sincères vont également et tout particulièrement au Comité de rédaction et de lecture constitué, autour de nous, de MM. Gallacier, Maubois et Mietton. Nous

ne saurions oublier les Fédérations professionnelles laitières, FNIL et FNCL sous l'égide d'ATLA dont le concours a été précieux ni, bien sûr, les éditions Lavoisier sans l'initiative desquelles rien n'eût été possible.

Il est probable qu'une prochaine édition ait à considérer davantage certains aspects que nous avons volontairement occultés : produits « de synthèse », substituts purement végétaux, etc.

Mais LE FROMAGE ne doit pas être dénaturé ! Puissent les connaissances scientifiques ici exposées contribuer à mieux le défendre plutôt qu'à mieux l'imiter !

Jean-Claude Gillis et André Ayerbe



Cet ouvrage constitue LA référence pour les industriels de la transformation laitière, mais aussi pour les fromageries artisanales voulant améliorer ou diversifier leurs produits. Il intéressera également les étudiants, enseignants, chercheurs, techniciens, ingénieurs du secteur agro-alimentaire.

Le fromage est un produit connu et élaboré par l'homme depuis des millénaires. Il est lié à la domestication des espèces laitières et à la connaissance empirique de la richesse nutritionnelle du lait, la transformation du lait en fromage répondant au besoin de conservation de cet aliment.

Le Fromage réunit l'essentiel des connaissances aujourd'hui disponibles sur ce produit, qu'il aborde sous l'angle scientifique-technique. Ainsi, les fondamentaux et les lois de la biochimie et de la physico-chimie les mieux établies actuellement concernant la transformation du lait en fromage sont-ils présentés et analysés. La 4^e édition de ce traité intègre également la réglementation spécifique à ce

produit laitier, les préoccupations grandissantes des consommateurs en matière d'alimentation et les nouveaux modes de consommation, les interrogations des autorités de santé publique relatives aux relations possibles entre les régimes alimentaires et la santé, les évolutions à venir.

Les chapitres s'articulent ainsi autour de six grandes parties :

- Histoire
- Aspects réglementaires
- Science et technologie
- Consommation
- Qualité
- Perspectives

Jean-Claude GILLIS est Ingénieur agronome, ancien Chef du Service scientifique, technique et réglementaire de l'Association de la Transformation Laitière Française (ATLA), Paris.

André AYERBE est Docteur en Nutrition, ancien Directeur d'ARILAIT Recherches, Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière (CNIEL), Paris.

Plus de 80 co-auteurs, personnalités parmi les mieux reconnues du monde de la recherche, de l'industrie, de l'interprofession laitière, d'organismes publics ou privés, ont participé à la rédaction de cette 4^e édition.

