



# Le fromage

4<sup>e</sup> édition

JEAN-CLAUDE GILLIS, ANDRÉ AYERBE

Coordonnateurs



**L**avoisier  
TEC & DOC

## Chez le même éditeur

*Initiation à la technologie fromagère (2<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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](http://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<sup>e</sup> 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

<b>Histoire des fromages</b> (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 <sup>e</sup> siècle .....	8
6. Un aliment au statut symbolique complexe .....	10
7. Fromage, gastronomie et identité culturelle française .....	12
8. XIX <sup>e</sup> 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 <sup>e</sup> 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

<b>Le fromage – Définitions/Réglementation</b> (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

<b>Fromages sous signe de qualité (AOP, IGP, labels, conformité)</b> .....	47
<b>Fromages d'appellation d'origine protégée (AOP) et fromages à indication géographique protégée (IGP) (J.-J. Bret)</b> .....	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 <sup>xx</sup> 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 <sup>xxi</sup> 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
<b>Autres signes d'identification collective (M. Roche)</b> .....	65
1. Au niveau européen .....	65
1.1. « Spécialité traditionnelle garantie » .....	65
1.2. Produit de montagne .....	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

<b>Du lait au fromage : aspects biochimiques</b> .....	77
<b>Éléments de biochimie laitière (R. Jeantet, T. Croguennec)</b> .....	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
<b>Micelles de caséines et dynamique ionique (F. Gaucheron) .....</b>	<b>96</b>
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 $\kappa$ .....	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
<b>Coagulation du lait (G. Brulé, J.-L. Maubois) .....</b>	<b>116</b>
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
<b>CHAPITRE 5</b>	
<b>Production du lait pour le fromage .....</b>	<b>137</b>
<b>Facteurs de variation de la qualité fromagère du lait (B. Martin, Y. Chilliard, A. Ferlay) .....</b>	<b>137</b>
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
<b>Traite et qualité du lait (P.-G. Marnet) .....</b>	<b>156</b>
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
<b>Utilisation du lait cru (J. Frankinet) .....</b>	<b>190</b>
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	
<b>Le lait, matière première de la transformation en fromage (J.-L. Maubois) .....</b>	<b>195</b>
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	
<b>Les agents de la transformation du lait en fromages</b> .....	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

<b>Phages</b> (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
<b>Communautés microbiennes des laits crus et fromages au lait cru</b> (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
<b>Métagénomique des fromages au lait cru et impact des procédés</b> (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	
<b>Pratiques et techniques fromagères des différentes familles de fromages</b> .....	321
<b>Du lait au fromage : les fondamentaux technologiques</b> (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
<b>Gestion et optimisation de la coagulation</b> (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
<b>Gestion et optimisation de l'égouttage</b> (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
<b>Gestion et optimisation du filage</b> (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
<b>Gestion et optimisation du salage</b> (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
<b>Technologies à base de préfromage liquide</b> (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	
<b>Affinage des fromages</b> .....	429
<b>Biochimie de l'affinage : les phénomènes enzymatiques et microbiens</b> (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
<b><i>Cinétiques d'affinage, évolutions microbiologiques et biologiques</i></b> (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
<b><i>Technologie comparée de l'affinage de différents fromages</i></b> (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 <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> et NH <sub>3</sub> ) : 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
<b>Fromages de lactosérum (J.-L. Maubois, B. Mietton, A. Ayerbe) .....</b>	<b>581</b>
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
<b>Fromages à base de poudres (J.-F. Boudier) .....</b>	<b>587</b>
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
<b>Spécialités fromagères (E. Treuil) .....</b>	<b>592</b>
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	
<b>Rendement fromager (J.-R. Kerjean) .....</b>	<b>601</b>
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

<b>Défauts des fromages affinés (J.-R. Kerjean) .....</b>	<b>615</b>
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 saveur .....	623
3.4.1. Amertume .....	623
3.4.2. Fromage rance .....	624
3.4.3. Saveur 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,**

<b>E. Arab-Tehrany, J. Scher, S. Desobry) .....</b>	<b>645</b>
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)**

<b>.....</b>	<b>661</b>
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

<b>Mesures et automatisation des procédés fromagers</b> (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
<b>Manutention et transferts en fromagerie</b> (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
<b>Organisation de l'entreprise et de la production</b> (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

<b>Connaissance, notoriété et usages du fromage par le consommateur (M. Roche) .....</b>	<b>745</b>
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. Farrok, Y. Soustre) .....	787
--	-----

## CHAPITRE 21

<b>Analyse sensorielle du fromage</b> (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

<b>Les fromages sous l'angle nutrition-santé</b>	819
<b>Composition et intérêt nutritionnel des fromages</b> (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
<b>Fromage et santé</b> (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

<b><i>Impact des technologies sur les caractéristiques nutrition santé des fromages</i></b> .....	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
<b><i>Fromages, nutrition et santé : perspectives de recherches</i></b> (J.-L. Maubois, Y. Soustre) .....	887

## CHAPITRE 23

<b>Hygiène : sécurité et salubrité</b> .....	891
<b><i>Introduction : maîtrise de la sécurité sanitaire</i></b> (C. Farrokh, O. Cerf) .....	891
<b><i>Maîtrise des contaminants biologiques</i></b> (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
<b>Maîtrise des contaminants chimiques</b> .....	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 <sub>1</sub> 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
<b>Détermination de la durée de vie microbiologique des fromages</b> (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

<b>Assurance qualité et systèmes de management de la qualité</b> (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
<b>Traçabilité des fromages</b> (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

<b>Perspectives économiques laitières</b> (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	
<b>Perspectives de la production fromagère (G. Calbrix) .....</b>	<b>971</b>
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	
<b>Perspectives de la consommation du fromage (P. Hébel) .....</b>	<b>977</b>
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
<b>Index .....</b>	<b>983</b>

## PRÉFACE

---

« *E*n faire tout un fromage ! » Cette expression populaire bien française, du début du <sup>XX</sup><sup>e</sup> 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 <sup>XIX</sup><sup>e</sup> 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<sup>re</sup> 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

---

**L**e *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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> édition.

