



HAL
open science

Initiation à la technologie laitière

Romain Jeantet, Thomas Croguennec, Gilles Garric, Gérard Brulé

► **To cite this version:**

Romain Jeantet, Thomas Croguennec, Gilles Garric, Gérard Brulé. Initiation à la technologie laitière. Editions Tec & Doc Lavoisier, 2^{ème} édition, 210 p., 2017, 978-2743022617. hal-01522982

HAL Id: hal-01522982

<https://hal.science/hal-01522982v1>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

Romain Jeantet ▾ Thomas Croguennec
Gilles Garric ▾ Gérard Brulé

INITIATION À LA TECHNOLOGIE FROMAGÈRE

2^e édition



Lavoisier
TEC & DOC

Chez le même éditeur

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

M. Pradal, 2012

Les poudres laitières et alimentaires

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

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

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

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

É. Dromigny, 2011

Les produits laitiers

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

Science des aliments : Biochimie - Microbiologie - Procédés - Produits

Volume 1 : Technologie des produits alimentaires

R. Jeantet, T. Croguennec, P. Schuck, G. Brulé, 2006

Science des aliments : Biochimie - Microbiologie - Procédés - Produits

Volume 2 : Stabilisation biologique et physico-chimique

R. Jeantet, T. Croguennec, P. Schuck, G. Brulé, 2006

Pour plus d'informations sur nos publications :



newsletters.lavoisier.fr/9782743022617

Romain Jeantet

Professeur en Génie des procédés
et technologie laitière
Agrocampus Ouest

Thomas Croguennec

Professeur en Physicochimie
des bioproduits
Agrocampus Ouest

Gilles Garric

Ingénieur de Recherches
INRA Rennes

Gérard Brulé

Professeur émérite
Agrocampus Ouest

Initiation à la technologie fromagère

2^e édition

Direction éditoriale : Fabienne Roulleaux
Édition : Brigitte Peyrot
Fabrication : Estelle Perez-Le Du
Composition et couverture : Patrick Leleux PAO, Caen

Table des matières

Avant-propos	XI
---------------------------	----

Chapitre 1

Le lait	1
1. Physicochimie et biochimie du lait	1
1.1. Composition du lait	1
1.2. Quelques propriétés physicochimiques du lait	4
1.2.1. Masse volumique à 20 °C	4
1.2.2. Viscosité à 20 °C	4
1.2.3. Point de congélation	4
1.2.4. pH et acidité	4
1.2.5. État de l'eau	4
2. Constituants	5
2.1. Lipides	5
2.1.1. Composition de la matière grasse du lait	5
2.1.2. Structure du globule gras	7
2.1.3. Évolution biochimique, chimique et physique de la matière grasse	10
2.2. Matières azotées	11
2.2.1. Caséines	12
2.2.2. Protéines solubles ou azote protéique non caséinique	18
2.2.3. Matières azotées non protéiques (NPN)	18
2.3. Minéraux du lait	18
2.4. Lactose	20
2.5. Vitamines	21
2.6. Enzymes	22

Chapitre 2

Généralités sur la technologie fromagère	23
1. Classification et réglementation	24
2. Standardisation physicochimique et biologique des laits	28
3. Coagulation	30
3.1. Coagulation acide	30
3.2. Coagulation par voie enzymatique	31
3.3. Coagulation mixte	31
4. Égouttage	31
4.1. Facteurs d'égouttage des gels lactique et présure	31
4.2. Bilan matière, rendements et taux de récupération	33
4.3. Cinétiques d'égouttage et d'acidification : diversité fromagère	34
4.4. Découplage des cinétiques d'égouttage et d'acidification	36

5. Affinage	37
5.1. Substrats	38
5.2. Agents d'affinage	38
5.2.1. Enzymes du lait	38
5.2.2. Enzymes coagulantes	38
5.2.3. Enzymes d'origine microbienne	38
5.3. Influence de l'affinage sur la saveur des fromages	39
6. Accidents de fromagerie et défauts des fromages	40
6.1. Défauts de coagulation et d'égouttage	40
6.2. Défauts d'affinage	41
6.2.1. Défauts de texture et gonflements	41
6.2.2. Défauts d'aspect (croûtage et moisissures indésirables)	41
6.2.3. Défauts de saveur et d'arôme	41

Chapitre 3

Préparation des laits de fromagerie	43
1. Standardisation physicochimique	43
1.1. Standardisation en matières azotées protéiques des laits	44
1.1.1. Élimination de l'eau par évaporation, ou par osmose inverse	48
1.1.2. Concentration par nanofiltration	49
1.1.3. Concentration par ultrafiltration	49
1.1.4. Enrichissement du lait en caséinates	50
1.1.5. Enrichissement du lait en caséine native par microfiltration	50
1.2. Standardisation en matière grasse des laits	50
1.2.1. Standardisation quantitative	50
1.2.2. Standardisation qualitative	52
1.3. Équilibres salins du lait, ajustement du pH et teneur en lactose	53
1.3.1. Équilibres salins	53
1.3.2. pH d'emprésurage	57
1.3.3. Lactose	58
2. Standardisation biologique	59
2.1. Laits réfrigérés	59
2.2. Schémas technologiques	61
2.3. Bactéries lactiques	61
2.4. Les différentes formes d'ensemencement	63
2.4.1. Levains traditionnels	64
2.4.2. Cuve à levains	64
2.4.3. Ensemencement direct des laits de fabrication	65

Chapitre 4

Coagulation	67
1. Mécanismes de coagulation	68
1.1. Coagulation par acidification (isoélectrique)	68
1.1.1. Modifications physicochimiques de la micelle au cours de l'acidification	68
1.1.2. Influence des paramètres de coagulation sur les caractéristiques des gels	70
1.2. Coagulation enzymatique	73
1.2.1. Enzymes coagulantes	73

1.2.2. Modélisation de la coagulation présure	75
1.2.3. Facteurs de la coagulation présure	78
1.3. Thermogélification	86
2. Suivi de la coagulation	86
2.1. Méthode visuelle	86
2.2. Méthodes physiques	86
2.2.1. Méthodes rhéologiques	86
2.2.2. Méthodes de comptage particulaire	87
2.2.3. Méthode ultrasonique	87
2.2.4. Méthodes optiques	88
2.3. Méthode chimique	88
2.4. Méthode thermique	88

Chapitre 5

Égouttage du coagulum	89
1. Mécanisme de l'égouttage	89
1.1. Égouttage du coagulum acide	89
1.2. Égouttage du coagulum présure	89
1.3. Égouttage du coagulum mixte	90
2. Facteurs d'égouttage	90
2.1. Traitements technologiques du lait	91
2.2. Paramètres de coagulation	91
2.3. Traitements physiques en cuve	92
2.3.1. Tranchage	92
2.3.2. Brassage	93
2.3.3. Chauffage	93
2.4. Moulage/pressage	94
2.5. Acidification	95
2.6. Salage	98
3. Caractéristiques physicochimiques des différentes classes de fromages après salage suivant les modalités d'égouttage	98
3.1. Caillés lactiques	99
3.2. Caillés mixtes à dominante lactique	99
3.3. Caillés mixtes à caractère présure dominant	100
3.4. Caillés présures	100
4. Rendements fromagers	101

Chapitre 6

Affinage des fromages	103
1. Salage	103
1.1. Techniques de salage	103
1.2. A_w et activités biologiques	107
2. Agents d'affinage	109
2.1. Enzymes naturelles du lait	109
2.1.1. Plasmine	110
2.1.2. Lipase	110
2.1.3. Autres enzymes	111
2.2. Présure	111
2.3. Agents microbiens des fromages	112

2.3.1. Bactéries lactiques	115
2.3.2. Bactéries propioniques (<i>Propionibacterium</i>)	115
2.3.3. Microcoques et bactéries corynéformes	116
2.3.4. Levures	116
2.3.5. Moisissures	117
2.4. Principaux systèmes enzymatiques d'origine microbienne	117
2.4.1. Enzymes protéolytiques	119
2.4.2. Lipases	120
2.4.3. Systèmes actifs sur les acides aminés	122
2.4.4. Systèmes actifs sur les acides gras	123
3. Contrôle de l'affinage	123
3.1. Température	124
3.2. pH	126
3.3. Activité de l'eau (a_w)	127
3.4. Aération et composition de l'atmosphère	128
4. Évolution des constituants du caillé	131
4.1. Fermentation du lactose et transformations de l'acide lactique	131
4.2. Lipolyse et dégradation des acides gras	133
4.3. Protéolyse et dégradation des acides aminés	136
4.4. Dynamique minérale	138
5. Influence de l'affinage sur la flaveur des fromages	139
5.1. Fromages de type pâte fraîche	140
5.2. Fromages à pâte molle à croûte fleurie	141
5.3. Pâtes molles à croûte lavée	141
5.4. Fromages à pâte persillée	141
5.5. Fromages à pâte pressée	142
5.6. Fromages à pâte pressée cuite	143

Chapitre 7

Accidents de fromagerie et défauts des fromages	145
1. Défauts de coagulation et d'égouttage	145
1.1. Facteurs d'inhibition et substances stimulantes du lait cru	145
1.1.1. Facteurs inhibiteurs naturels du lait cru	145
1.1.2. Influence des substances stimulantes et du traitement thermique sur la croissance des bactéries lactiques	147
1.1.3. Facteurs exogènes	148
1.2. Facteurs affectant la coagulation et l'égouttage	149
1.2.1. Laits de mammite	149
1.2.2. Laits réfrigérés	149
2. Défauts d'affinage	152
2.1. Défauts de texture et de gonflements	152
2.1.1. Pâte sèche	152
2.1.2. Pâte coulante	152
2.1.3. Fromage sans ouverture	152
2.1.4. Fromage lainé	152
2.1.5. Fromage trop ouvert	153
2.1.6. Gonflements précoces	153
2.1.7. Gonflements tardifs ou gonflements butyriques	153
2.2. Défauts d'aspect et de croûtage	154
2.2.1. Accidents du « bleu »	155

2.2.2. « Poil de chat »	155
2.2.3. « Graisse » ou « peau de crapaud »	155
2.2.4. Autres défauts d'origine fongique	155
2.2.5. Défauts dus aux bactéries	156
2.2.6. Croûte cartonneuse	156
2.3. Défauts de saveur et d'arôme	156
2.3.1. Défauts de saveur et d'amertume	156
2.3.2. Goût de rance	157
2.3.3. Autres défauts de flaveur	159

Chapitre 8

Technologies comparées des grands types de fromages	161
1. Les grandes familles de fromages	161
1.1. Fromages frais	161
1.1.1. Technologie traditionnelle	161
1.1.2. Technologie MMV	165
1.1.3. Qualités nutritionnelles des fromages frais	165
1.2. Pâtes molles à croûte fleurie ou lavée	165
1.2.1. Coagulation	170
1.2.2. Moulage	170
1.2.3. Affinage	172
1.3. Pâtes persillées	172
1.4. Fromages à pâte pressée	174
1.4.1. Pâtes pressées non cuites (PPNC)	175
1.4.2. Pâtes pressées cuites (PPC)	175
1.5. Pâtes dures	177
1.6. Pâtes filées	178
1.7. Fromages fondus	179
2. Qualités nutritionnelles et hygiéniques	180
2.1. Intérêt nutritionnel	180
2.2. Qualité hygiénique	181
3. Perspectives d'évolution	187
3.1. Déterminants de la texture	187
3.1.1. Teneurs et caractéristiques des protéines et lipides	188
3.1.2. Maîtrise des pH de coagulation et des caillés au démoulage	188
3.1.3. Degré de minéralisation des caillés	191
3.2. Production d'arôme en phase liquide	192
3.3. Exemples de découplages	192
3.3.1. Spécialités de type pâte pressée	193
3.3.2. Spécialités de type pâte molle tartinable	193
Conclusion	195
Bibliographie	197
Index	205

Avant-propos

Le lait, sécrétion des glandes mammaires qui se déclenche à la parturition des femelles mammifères, est le premier aliment du jeune qui vient de naître et l'aliment le mieux adapté à ses besoins physiologiques ; les caractéristiques de cette sécrétion varient au cours des premiers jours suivant la naissance et diffèrent selon les espèces. Le lait est l'aliment de choix du nourrisson, non seulement parce qu'il apporte l'énergie et les éléments indispensables à sa croissance, mais aussi parce qu'il contient des prébiotiques et des éléments aux propriétés immunostimulantes qui aident le jeune à s'adapter à son nouvel environnement. Dans toutes les cultures et civilisations, le lait a acquis un caractère sacré car il est un don de la nature indispensable à la survie de l'espèce.

Le lait, par ses grandes qualités nutritionnelles, a toujours été considéré comme un aliment à part entière, mais sa consommation a souvent été limitée en raison de sa grande instabilité. En outre, l'élevage fut longtemps freiné dans son développement car il ne permettait pas de bien valoriser les terres cultivables ; l'activité pastorale s'implanta essentiellement dans les régions agricoles défavorisées par les conditions climatiques et pédologiques. L'irrégularité de la production, par son caractère saisonnier, et la grande fragilité du produit ont incité les producteurs à rechercher des formes de report des éléments essentiels du lait. C'est dans ce contexte que sont apparues il y a plusieurs millénaires les premières transformations fromagères. L'homme s'aperçut rapidement que la déstabilisation du lait par maturation ou par ajout de sécrétion gastrique facilitait l'expulsion de l'eau et créait des conditions favorables à la conservation. Au cours des siècles, sur la base d'observations, les hommes de l'art qu'étaient les fromagers ont su trouver des conditions de fabrication générant une très grande diversité de texture, de goût et d'arômes que les progrès de la science laitière permettent aujourd'hui d'expliquer en partie.

Au cours du xx^e siècle, nous avons assisté à une véritable révolution aussi bien dans les techniques d'élevage (sélection, reproduction, alimentation) que dans celles de transformation ; il en a résulté des gains de productivité importants et une nette amélioration de la qualité de l'ensemble des produits laitiers, ce qui a contribué à accroître la consommation du lait de différents mammifères et de ses dérivés. Les principales espèces exploitées dans le monde sont la vache (4/5^e de la production), la bufflonne (1/10^e de la production), la brebis et la chèvre. Seule une partie de ces laits est consommée en l'état ; le reste est transformé en produits fermentés, en fromages, en beurre et ingrédients (lactose, caséines, matière grasse anhydre) ;

une des caractéristiques de l'ensemble de ces produits transformés est la faible teneur en eau par rapport à celle du lait (Figure 1).

Cet ouvrage est une présentation des différentes technologies mises en œuvre dans la transformation du lait en fromage. Les acquis de la science laitière de ces dernières années nous permettent de mieux comprendre les mécanismes physico-chimiques et biologiques impliqués dans cette transformation, et de proposer au technologue une démarche raisonnée pour parvenir à une plus grande maîtrise de la qualité des produits élaborés.

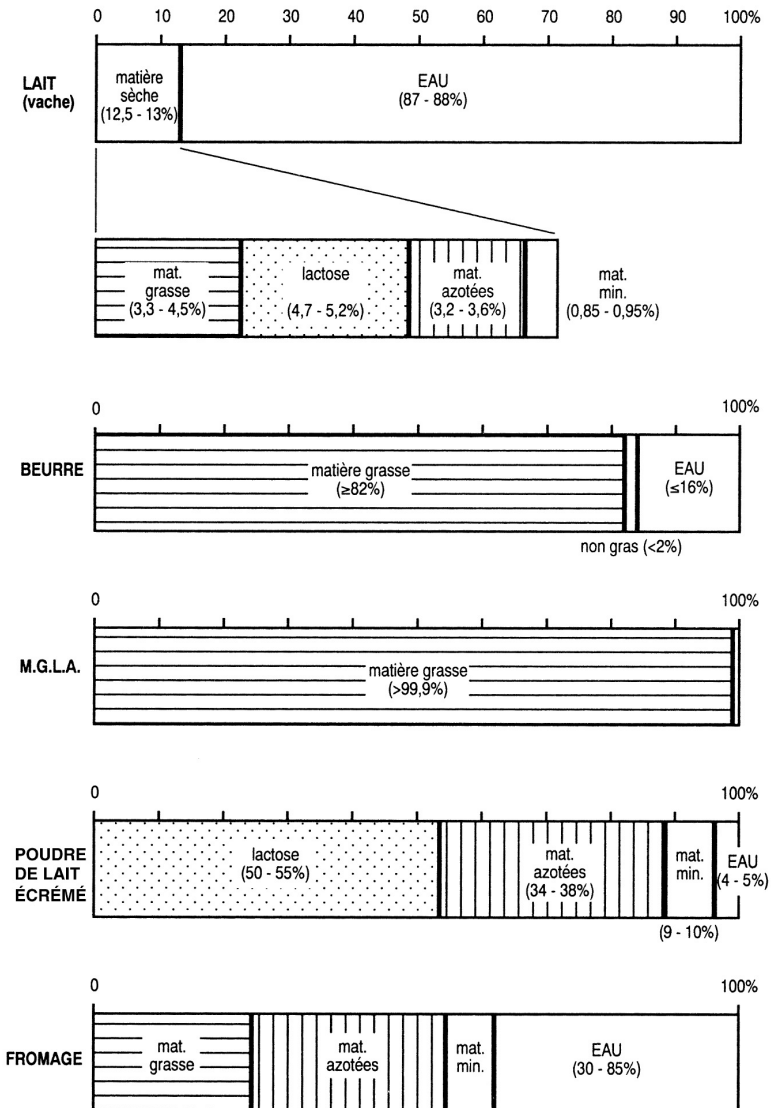


Figure 1. « Silhouette analytique » des produits laitiers (d'après Alais, 1984 et Mietton et al., 1994).

INITIATION À LA TECHNOLOGIE FROMAGÈRE

2^e édition

Le livre

Initiation à la technologie fromagère présente les principales étapes de la transformation fromagère, de la coagulation du lait à l'affinage des fromages obtenus selon les principales voies technologiques. En s'appuyant sur les acquis de la science laitière, il permet de mieux appréhender et comprendre les mécanismes physicochimiques et biologiques impliqués aux différentes étapes de cette transformation.

Cette 2^e édition intègre les dernières connaissances en matière de composition et de structure des constituants du lait. Par ailleurs, la réorganisation du texte permet de mieux illustrer les liens entre physicochimie laitière, paramètres technologiques appliqués et caractéristiques des fromages obtenus.

L'analyse des causes des défauts de coagulation, d'égouttage et d'affinage conduit à l'identification des leviers pour parvenir à une plus grande maîtrise de la qualité des produits élaborés.

Les auteurs

Romain Jeantet, **Thomas Croguennec** et **Gérard Brulé** sont enseignants à Agrocampus Ouest (Rennes). **Gilles Garric** est ingénieur de recherches à l'INRA (Rennes).

Le public

Cet ouvrage synthétique s'adresse aux techniciens et ingénieurs de l'industrie laitière ainsi qu'aux étudiants des filières agroalimentaires (BTS industries agroalimentaires, IUT génie biologique, licences professionnelles et écoles d'ingénieurs spécialisées en agroalimentaire, etc.).

