

Science et technologie du lait

Sous la direction de
Jean-Christophe Vuillemard

3^e édition

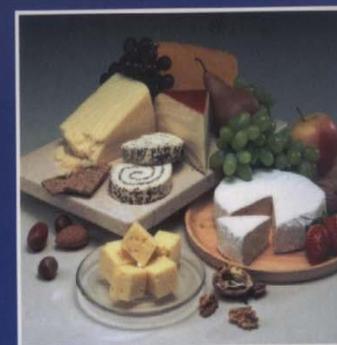
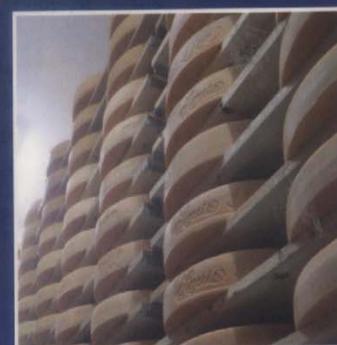
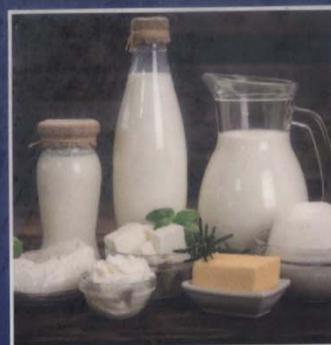
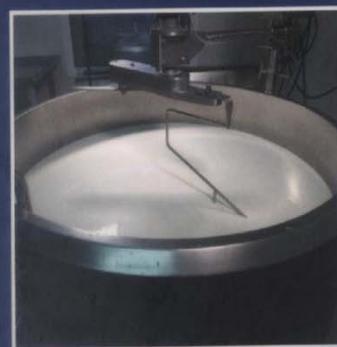


TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES AUTEURS	XXIX	1.2.6 Les vitamines.....	27
CHAPITRE 1		1.3 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES	
COMPOSITION ET PROPRIÉTÉS		ET CHIMIQUES DU LAIT	28
PHYSICOCHIMIQUES DU LAIT	1	1.3.1 Masse volumique et densité du lait.....	28
JEAN-CHRISTOPHE VUILLEMARD		1.3.2 Point de congélation	29
1.1 COMPOSITION DU LAIT	1	1.3.3 Point d'ébullition.....	29
1.2 STRUCTURE ET PROPRIÉTÉS DES		1.3.4 Acidité du lait.....	29
PRINCIPAUX CONSTITUANTS DU LAIT	4	1.3.4.1 Acidité titrable	29
1.2.1 L'eau.....	4	1.3.4.2 pH.....	31
1.2.2 La matière grasse.....	4	1.4 LES CONTAMINANTS DU LAIT	31
1.2.2.1 Les lipides simples.....	5	1.4.1 Microorganismes	31
1.2.2.2 Les lipides complexes.....	7	1.4.2 Cellules somatiques	32
1.2.2.3 La fraction insaponifiable	8	1.4.3 Résidus d'antibiotiques.....	33
1.2.2.4 Propriétés physiques des matières		1.4.4 Résidus d'antiseptiques	33
grasses.....	9	1.4.5 Eau.....	33
1.2.2.5 Altérations de la matière grasse	10	1.5 LE PAIEMENT DU LAIT	33
Lipolyse.....	10	1.5.1 Production mensuelle.....	34
Oxydation.....	11	1.5.2 Production permise	34
Saponification	11	1.5.3 Production hors quota.....	34
1.2.3 Les protéines.....	11	1.5.4 Excédent de solides non gras.....	34
1.2.3.1 Les caséines	12	1.5.5 Autres facteurs	35
1.2.3.2 La micelle de caséines	16	1.5.6 Pénalités.....	35
1.2.3.3 Les protéines du lactosérum	18	1.5.7 Primes.....	35
1.2.3.4 Transformations physicochimiques		RÉFÉRENCES	36
des protéines.....	19		
Effet de l'acidification	19	CHAPITRE 2	
Effet de la chaleur.....	20	OPÉRATIONS UNITAIRES	
Effet de la présure	21	ET NOTIONS DE GÉNIE INDUSTRIEL	
Effet des sels	21	LAITIER APPLIQUÉES	37
1.2.3.5 Les enzymes.....	21	LAURENT BAZINET, SCOTT BENOIT,	
Les hydrolases.....	22	YVES POULIOT ET FRANÇOIS CASTAIGNE	
Les oxydoréductases.....	23	INTRODUCTION	37
1.2.4 Le lactose	23	2.1 LES BILANS DE MATIÈRE	39
1.2.4.1 Structure	23	2.1.1 Principe du bilan de matière.....	39
1.2.4.2 Propriétés physiques	24	2.1.1.1 Définitions générales et base	
1.2.4.3 Transformations chimiques.....	24	de calcul.....	39
1.2.5 Les minéraux	25	2.1.1.2 Bilan de matière global.....	40
1.2.5.1 Les équilibres salins.....	26	2.1.1.3 Bilan de matière sur les	
1.2.5.2 Rôles technologiques.....	27	composants.....	40

SCIENCE ET TECHNOLOGIE DU LAIT

2.1.1.4	Bilan de matière pour les solides non gras	42	2.3.4	Types de pompes	66
2.1.2	Bilan de matière impliqué dans la concentration par évaporation et dans le séchage	42	2.3.4.1	Les pompes centrifuges.....	66
2.1.2.1	Concentration	42	2.3.4.2	Les pompes volumétriques.....	66
2.1.2.2	Séchage.....	43	2.3.4.3	La pompe à piston.....	67
2.1.3	Bilan de matière dans les mélanges de produits	43	2.3.4.4	La pompe à engrenage	67
2.2	BILAN D'ÉNERGIE ET TRANSFERT DE CHALEUR.....	44	2.3.4.5	Pompe péristaltique.....	68
2.2.1	La chaleur.....	44	2.3.4.6	Pompe à vis excentrée.....	68
2.2.1.1	La chaleur massique (C_p)	44	2.4	CENTRIFUGATION.....	68
2.2.1.2	Chaleur latente (C_l).....	47	2.4.1	Principes de centrifugation.....	68
2.2.2	Bilans d'énergie	47	2.4.2	Écrémage	71
2.2.3	Les transferts de chaleur	49	2.4.3	Standardisation	72
2.2.3.1	Transferts de chaleur stationnaires et non stationnaires	49	2.4.3.1	Méthode du carré de Pearson	73
2.2.3.2	Transfert de chaleur par conduction.....	50	2.4.3.2	Méthode algébrique	74
	Transfert par conduction à travers la paroi d'un tuyau	51	2.4.4	Clarification.....	75
	Transfert de chaleur par conduction à travers des couches successives	51	2.4.5	Bactofugation.....	75
2.2.3.3	Transfert de chaleur par convection	53	2.4.6	Décantation	77
	Cas de transferts de chaleur combinés à travers une paroi entourée de deux fluides	53	2.5	HOMOGENÉISATION.....	77
	Cas de transferts de chaleur combinés (convection-conduction) à travers la paroi d'un tuyau.....	56	2.5.1	Facteurs influençant la stabilité des émulsions	77
2.3	ÉCOULEMENT ET POMPAGE	59	2.5.2	Opération d'homogénéisation.....	78
2.3.1	Écoulement.....	59	2.5.2.1	L'homogénéisation.....	78
2.3.2	Bilan massique	60	2.5.2.2	L'homogénéisateur	79
2.3.3	Bilan d'énergie mécanique	60	2.5.2.3	Autres effets de l'homogénéisation.....	79
2.3.3.1	Évaluation de l'énergie cinétique (EC)	61	2.6	PASTEURISATION ET STÉRILISATION	80
2.3.3.2	Évaluation de l'énergie perdue par friction (ΣF)	61	2.6.1	Les échangeurs de chaleur.....	81
			2.6.1.1	Principe de fonctionnement.....	81
			2.6.1.2	Récupération de chaleur	83
			2.6.1.3	Différents types d'échangeurs de chaleur	83
				Les échangeurs de chaleur à plaques	83
				Les échangeurs de chaleur à spirales	84
				Les échangeurs de chaleur à surface raclée.....	84
				Les échangeurs de chaleur tubulaires.....	84

TABLE DES MATIÈRES

2.6.2	Cinétique de destruction des microorganismes en fonction du temps et de la température	85	2.8.4	Séchage par atomisation.....	103
2.6.2.1	Destruction des microorganismes en fonction de la durée du traitement thermique	85	2.8.4.1	Principe d'un séchoir atomiseur.....	103
2.6.2.2	Destruction des microorganismes en fonction de la température	85	2.8.4.2	Temps de séchage.....	105
2.6.3	Stérilisation	86	2.9	RÉFRIGÉRATION ET CONGÉLATION.....	111
2.6.4	Pasteurisation.....	87	2.9.1	Production de froid.....	111
2.7	CONCENTRATION PAR ÉVAPORATION.....	88	2.9.1.1	Installations frigorifiques	112
2.7.1	Théorie	89	2.9.2	Congélation.....	113
2.7.1.1	Les bilans d'énergie et de matière dans un évaporateur à un effet	89	2.9.2.1	Formation des cristaux de glace	113
2.7.1.2	Les bilans de matière et de chaleur dans un évaporateur à multiples effets.....	91	2.9.2.2	Thermodynamique de la congélation.....	114
2.7.2	Thermocompression et recompression mécanique des vapeurs.....	93	2.9.2.3	Procédés de congélation	116
2.7.2.1	La thermocompression.....	93	2.10	LES PROCÉDÉS DE SÉPARATIONS MEMBRANAIRES	117
2.7.2.2	La recompression mécanique.....	93	2.10.1	Séparation par différence de pression.....	117
2.7.3	Les types d'évaporateurs.....	94	2.10.1.1	Principes de base.....	117
2.7.3.1	Évaporateur à flot grimpant	94	2.10.1.2	Notions élémentaires.....	117
2.7.3.2	Évaporateurs à flot descendant ou flot tombant.....	94	2.10.1.3	Caractéristiques des membranes et des modules de filtration	119
2.7.3.3	Évaporateur à plaques	94	2.10.1.4	Modes opératoires	120
2.7.3.4	Évaporateurs à surface raclée.....	95	2.10.1.5	Contrôle de l'encrassement	123
2.8	SÉCHAGE PAR ATOMISATION DES FLUIDES LAITIERS	95		Concentration de polarisation	123
2.8.1	Notions générales sur les mélanges air-vapeur d'eau	96		Colmatage	124
2.8.1.1	Humidité relative.....	96		Adsorption.....	124
2.8.1.2	Teneur en eau de l'air	96	2.10.1.6	Applications des procédés de séparation baromembranaire.....	126
2.8.1.3	Température du thermomètre humide	97		Concentration des protéines du lactosérum par ultrafiltration	126
2.8.1.4	Enthalpie de l'air humide.....	98		Préconcentration du lait de fromagerie	130
2.8.1.5	Utilisation du diagramme enthalpique de l'air humide.....	98		Épuration bactérienne du lait par microfiltration (MF)	131
2.8.2	Bilan de matière et d'énergie dans un sécheur par entraînement d'air	101		Dessalement du lactosérum par nanofiltration (NF).....	132
2.8.3	Séchage par entraînement d'air et vitesse de séchage.....	102	2.10.2	Séparation par différence de potentiel électrique.....	134
			2.10.2.1	Les membranes ioniques : principe de dilution-concentration et transfert de masse	135
			2.10.2.2	Les membranes bipolaires : transformation de l'eau en acide et base	137

2.10.2.3. Applications	139	3.2.3 Les méthodes d'évaluation de l'impact environnemental.....	158
Déméralisation d'effluents laitiers	139	3.3 L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE (ACV) COMME MÉTHODE D'ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	160
Production d'acides et déacidification.....	140	3.3.1 Principes de l'ACV	160
Production de fractions protéiques enrichies	141	3.3.2 Norme et séries de normes ISO 14040....	161
Préparation de caséines et caséinates	141	3.3.3 Méthodologie.....	161
Délipidation de concentrats de protéines du lactosérum	142	3.3.3.1 L'unité fonctionnelle.....	161
2.11 TECHNOLOGIES ÉMERGENTES.....	142	3.3.3.2 Le système à l'étude et les objectifs	161
2.11.1 Traitements thermiques – micro-ondes et radiofréquences.....	142	3.3.3.3 L'inventaire des flux (ICV)	162
2.11.2 Traitements lumineux – les ultraviolets.....	144	3.3.3.4 Analyse des impacts.....	162
2.11.3 Traitements électriques – les champs électriques pulsés.....	145	3.3.3.5 Interprétation des résultats.....	164
2.11.4 Traitements soniques – les ultrasons.....	146	2.3.4 Limites de l'ACV	164
2.11.5 Hautes pressions hydrostatiques	147	3.4 LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA TRANSFORMATION DU LAIT	165
2.11.6 Nouvelles technologies de séchage	148	3.4.1 Généralités.....	165
2.11.6.1 Centritherm	148	3.4.2 Flux de ressources et d'émissions en industrie de la transformation du lait	165
2.11.6.2 Poudre sans tour.....	149	3.4.2.1 Consommation énergétique	166
RÉFÉRENCES ET LECTURES		Les procédés thermiques.....	166
RECOMMANDÉES	150	Les procédés baromembranaires..	167
CHAPITRE 3		Le transport, la distribution et l'entreposage (réfrigération et congélation)	168
ÉCOEFFICIENCE DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DU LAIT : PRINCIPES, MÉTHODOLOGIES ET APPLICATIONS	155	3.4.2.2 Consommation d'eau potable et production d'eaux usées	168
YVES POULIOT, ALAIN DOYEN, LAURENT BAZINET, SERGEY MIKHAYLIN, SCOTT BENOIT, MANUELE MARGNI		3.4.2.3 Pertes de matières premières et génération de coproduits.....	170
3.1 INTRODUCTION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE EN TRANSFORMATION DU LAIT	155	3.4.2.4 Les emballages	171
3.2 CONCEPTS ET PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'ÉCOEFFICIENCE	155	3.4.2.5 Les indicateurs de performance d'écocoefficiency en industrie laitière	172
3.2.1 L'écocoefficiency: un concept introduit par le Conseil mondial des affaires pour le développement durable.....	156	3.5 CONCLUSION	172
3.2.2 L'évaluation de l'écocoefficiency selon la norme ISO 14045.....	156	RÉFÉRENCES	173

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 4

LES LAITS DE CONSOMMATION 175

GABRIEL REMONDETTO ET YVES SOUCY
AVEC LA COLLABORATION DE MARTINE SURPRENANT

4.1 LES LAITS PASTEURISÉS.....	175	4.3 LES LAITS STÉRILISÉS UHT	194
4.1.1 Réception.....	175	4.3.1 Procédés de fabrication.....	195
4.1.2 Clarification.....	175	4.3.2 Conditionnement aseptique (briques, bouteilles)	195
4.1.3 Écrémage	177	4.3.3 Altérations des laits UHT et mesures de prévention.....	197
4.1.4 Standardisation et addition de vitamines	177	4.3.4 Avantages du procédé UHT	198
4.1.5 Homogénéisation.....	179	4.4 LES CRÈMES	199
4.1.6 Pasteurisation.....	181	4.4.1 Crèmes légères.....	200
4.1.7 Emballages et conditionnement.....	182	4.4.1.1 Homogénéisation	200
4.1.7.1 Les types d'emballages	182	4.4.1.2 Pasteurisation	200
4.1.7.2 Le conditionnement.....	182	4.4.1.3 Stérilisation UHT	200
4.1.7.3 Principaux problèmes rencontrés avec les différents types d'emballages.....	183	4.4.2 Crème à fouetter.....	201
Emballages de carton.....	183	4.4.3 Crème plastique.....	201
Emballages de film plastique.....	185	4.5 LAITS CONCENTRÉS LIQUIDES.....	201
Autres types d'emballages.....	186	4.5.1 Stabilité du lait à la chaleur	202
4.1.8 Entreposage	187	4.5.2 Fabrication du lait évaporé.....	203
4.1.9 Altérations microbiennes et défauts sensoriels du lait de consommation.....	187	4.5.2.1 Épreuve de qualité	204
4.2 AUTRES LAITS PASTEURISÉS	188	4.5.2.2 Standardisation du lait.....	204
4.2.1 Le lait microfiltré et le lait lactofugé	188	4.5.2.3 Préchauffage.....	204
4.2.2 Le lait sans lactose.....	190	4.5.2.4 Concentration par évaporation	204
4.2.3 Les laits aromatisés.....	191	4.5.2.5 Homogénéisation	205
4.2.4 Les boissons lactées spécialisées.....	191	4.5.2.6 Refroidissement, standardisation finale et addition de sels stabilisants	205
4.2.4.1 Boisson lactée enrichie en calcium.....	192	4.5.2.7 Mise en boîte	206
4.2.4.2 Boisson lactée enrichie en oméga-3.....	192	4.5.2.8 Stérilisation.....	206
4.2.4.3 Boisson lactée enrichie en antioxydants.....	192	4.5.2.9 Traitement UHT	206
4.2.4.4 Boisson lactée enrichie en probiotiques	193	4.5.2.10 Contrôle de la qualité.....	206
4.2.4.5 Boisson lactée enrichie en prébiotiques	193	4.5.3 Fabrication du lait concentré sucré	206
4.2.5 Lait biologique	194	4.5.3.1 Épreuve de qualité	207
		4.5.3.2 Standardisation du lait.....	207
		4.5.3.3 Préchauffage.....	207
		4.5.3.4 Concentration par évaporation	207
		4.5.3.5 Refroidissement et cristallisation ...	207
		4.5.3.6 Mise en boîte et entreposage.....	208
		4.5.3.7 Défauts	208
		4.5.4 Production de dulce de leche.....	209
		RÉFÉRENCES.....	210

CHAPITRE 5

LES PRODUITS LAITIERS FERMENTÉS 213

CLAUDE P. CHAMPAGNE, MARIE-CLAUDE GENTÈS,
ÉMILIE DESFOSSÉS-FOUCAULT

5.1	VARIÉTÉ DE LAITS FERMENTÉS	213	5.4	PROBIOTIQUES	233
5.2	LÉGISLATION	213	5.4.1	Les espèces	233
5.3	CULTURES LACTIQUES	214	5.4.2	Incorporation dans les produits laitiers fermentés	234
5.3.1	Les espèces utilisées et quelques éléments de leur métabolisme	214	5.5	FABRICATION DES YOGOURTS FERMES ET BRASSÉS	236
5.3.1.1	Cultures mixtes ou cultures définies	215	5.5.1	Qualité du lait	237
5.3.1.2	Température	216	5.5.2	Standardisation du lait	237
5.3.1.3	Métabolites	217	5.5.2.1	Rôle des solides totaux	237
5.3.1.4	Arômes	217	5.5.2.2	Matière grasse	237
5.3.1.5	Oxygène	218	5.5.2.3	Enrichissement en protéines	237
5.3.1.6	Activité de l'eau	218		Poudre de lait écrémé	237
5.3.1.7	Activité protéolytique	219		Caséinate	239
5.3.1.8	Production de polysaccharides	219		Protéines du lactosérum	239
5.3.1.9	Associations	220		Évaporation du lait	239
5.3.1.10	Antagonismes	220		La filtration du lait	239
5.3.2	Les cultures lactiques commerciales	220	5.5.2.4	Sucres et édulcorants	239
5.3.2.1	Critères de sélection	222	5.5.2.5	Stabilisants	240
5.3.3	Propagation et ensemencement direct	222	5.5.2.6	Paramètres à respecter	240
5.3.4	Préparation des ferments dans l'usine de transformation	222	5.5.3	L'homogénéisation	240
5.3.4.1	FPSU : milieu de culture	224	5.5.3.1	Effets sur la matière grasse	240
5.3.4.2	FPSU : traitement thermique du milieu de culture	226	5.5.3.2	Effets sur les protéines	240
5.3.4.3	FPSU : inoculation	226	5.5.4	Traitement thermique	242
5.3.4.4	FPSU : température d'incubation	227	5.5.4.1	Effet sur les microorganismes	242
5.3.4.5	FPSU : sélection de la base de neutralisation	228	5.5.4.2	Effet sur la texture (consistance et viscosité), le goût et la couleur	242
5.3.4.6	FPSU : suivi du pH	228	5.5.4.3	Rôle du temps de retenue	242
5.3.4.7	FPSU : le temps d'incubation	228	5.5.5	Fermentation	242
5.3.4.8	FPSU : entreposage	229	5.5.5.1	Pratiques industrielles	243
5.3.4.9	FPSU : erreurs dans la préparation des ferments	229	5.5.5.2	Acidification	243
5.3.5	Ensemencement direct du bassin de fabrication (EDBF)	231	5.5.5.3	Production d'exopolysaccharides (EPS)	244
			5.5.5.4	Flaveurs	244
			5.5.5.5	Protéolyse	244
			5.5.6	Étapes post-fermentation	244
			5.5.6.1	Yogourt nature ferme	244
			5.5.6.2	Yogourt brassé	245
			5.6	YOGOURTS GRECS	248

TABLE DES MATIÈRES

5.7	AUTRES PRODUITS LAITIERS FERMENTÉS	250	6.3.4	Incidence des traitements thermiques....	265
5.7.1	Les yogourts à boire	250	6.3.5	Rétablissement de l'aptitude du lait à la fermentation et à la coagulation.....	266
5.7.2	Le kéfir.....	251	6.4	STANDARDISATION DU LAIT DE FROMAGERIE	266
5.7.2.1	Ses caractéristiques.....	251	6.4.1	Variation de la composition du lait	266
5.7.2.2	Son ferment.....	251	6.4.2	Standardisation et enrichissement	268
5.7.2.3	Sa fermentation.....	251	6.4.2.1	Standardisation.....	268
5.7.3	La crème sure	252	6.4.2.2	Enrichissement.....	269
5.7.3.1	Ses caractéristiques.....	252	6.4.2.3	Conséquences de l'enrichissement sur le procédé de fabrication.....	269
5.7.3.2	Le procédé.....	252	6.5	PARTICULARITÉS DES FABRICATIONS ARTISANALES.....	270
5.7.3.3	Son ferment et sa fermentation.....	252	6.6	CULTURES LACTIQUES – FERMENTS LACTIQUES.....	272
5.7.4	Le koumis	252	6.6.1	Principales souches et types de culture utilisés.....	273
5.7.4.1	Ses caractéristiques.....	252	6.6.1.1	Cultures lactiques offertes sur le marché.....	275
5.7.4.2	Son ferment et sa fermentation.....	252	6.6.2	Les cultures d'affinage	275
5.7.5	Le babeurre fermenté	253	6.6.2.1	Les bactéries lactiques « non ferment » (BLNF).....	275
5.7.5.1	Ses caractéristiques.....	253	6.6.2.2	Les bactéries corynéformes	276
5.7.5.2	Son ferment et sa fermentation.....	253	6.6.2.3	Les microcoques	276
5.7.6	Boissons lactières avec probiotiques	253	6.6.2.4	Le genre Propionibacterium.....	276
RÉFÉRENCES.....		254	6.6.2.5	Les moisissures	277
			6.6.2.6	Les levures.....	278
CHAPITRE 6			6.6.3	Les bactériophages.....	279
LES FROMAGES.....	259		6.6.3.1	Définition et propagation.....	279
DANIEL ST-GELAIS			6.6.3.2	Prévention contre les phages	281
AVEC LA COLLABORATION DE GAÉTAN BÉLANGER,				Rotation des ferments	281
ANNIE CARON, SOPHIE TURCOT, SYLVAIN MOINEAU				Ferments mixtes.....	281
ET PATRICK-TIRARD COLLET				Pratiques industrielles	282
6.1	HISTORIQUE.....	259	6.6.3.3	Résistance des ferments lactiques aux phages.....	282
6.2	DÉFINITION.....	259		Systèmes antiphages des bactéries lactiques	282
6.3	APTITUDE DU LAIT À LA TRANSFORMATION FROMAGÈRE	260			
6.3.1	Rôle des principaux constituants	260			
6.3.1.1	L'eau	260			
6.3.1.2	La matière grasse	261			
6.3.1.3	L'azote total (caséines, protéines du lactosérum, azote non protéique) ...	261			
6.3.1.4	Le lactose	263			
6.3.1.5	Les minéraux.....	264			
6.3.2	Incidence du pouvoir tampon	264			
6.3.3	Incidence de l'entreposage au froid.....	264			

SCIENCE ET TECHNOLOGIE DU LAIT

6.7 TRANSFORMATION DU LAIT EN FROMAGE	283	6.8 PRINCIPALES CATÉGORIES DE FROMAGES.....	301
6.7.1 Principes généraux.....	283	6.8.1 Classification des fromages.....	301
6.7.2 Principales étapes du procédé de fabrication.....	283	6.8.1.1 Selon le type de lait.....	302
6.7.2.1 La maturation du lait.....	283	6.8.1.2 Selon la teneur en matière grasse du lait.....	302
6.7.2.2 La coagulation du lait.....	284	6.8.1.3 Selon le mode de coagulation du lait.....	302
Coagulation par voie enzymatique	284	6.8.1.4 Selon la fermeté du fromage.....	302
Substituts de la présure.....	287	6.8.1.5 Selon le mode d'affinage et l'aspect extérieur et intérieur des fromages	302
Coagulation par voie acide (coagulation lactique).....	288	6.8.1.6 La classification à critères multiples.....	305
Caractéristiques comparées des deux gels.....	289	6.8.2 Quelques types de fromages.....	305
6.7.2.3 Égouttage.....	289	6.8.2.1 Fromages frais.....	305
Facteurs d'égouttage.....	290	Fromage cottage.....	305
6.7.2.4 Prépressage.....	292	La ricotta.....	307
6.7.2.5 Salage.....	292	6.8.2.2 Pâte molle : un exemple, le camembert.....	309
6.7.2.6 Pressage.....	293	La fabrication du camembert.....	310
6.7.2.7 Affinage.....	293	La fabrication traditionnelle.....	310
Principaux agents et substrats de l'affinage.....	295	La fabrication industrielle.....	312
Fermentation du lactose et de ses dérivés.....	295	Les pâtes stabilisées.....	312
Protéolyse.....	295	6.8.2.3 Pâtes persillées.....	313
Lipolyse.....	296	6.8.2.4 Pâte pressée : un exemple, le cheddar.....	315
Facteurs de l'affinage.....	296	La fabrication du cheddar.....	315
La température.....	297	6.8.2.5 Pâte pressée cuite : un exemple, l'emmental.....	318
L'humidité.....	297	La fabrication de l'emmental.....	319
Le potentiel hydrogène (pH).....	297	La formation des ouvertures.....	321
L'atmosphère.....	298	6.8.2.6 Pâte filée - la mozzarella.....	322
6.7.3 Rendements fromagers.....	298	La fabrication de la mozzarella.....	323
6.7.3.1 Calcul du rendement fromager.....	298	Effet du filage et de l'entreposage.	323
6.7.3.2 Contrôle du rendement et origine des pertes.....	299	6.8.2.7 Cas particulier : les fromages fondus.....	324
Pertes en eau.....	299	La chimie de la fonte des fromages.....	325
Pertes en matière grasse.....	299	Les ingrédients.....	325
Pertes en protéines.....	301	La transformation.....	327
Pertes de fines particules de caillé.....	301	Les défauts.....	329
Pertes liées à l'entreposage du lait	301	6.8.2.8 Lait de chèvre et de brebis.....	329
Méthodes de contrôle du rendement fromager.....	301		

6.9	PRINCIPAUX PROBLÈMES EN FABRICATION	
	FROMAGÈRE	330
6.9.1	Défauts liés à la qualité et aux traitements du lait	330
6.9.2	Défauts liés à la coagulation et à l'égouttage	331
6.9.2.1	Fabrications lactiques	331
	Coagulation lente ou inexistante....	331
	Caillé gélatineux	331
	Caillé spongieux	331
6.9.2.2	Fabrications présure	331
	Caillage lent	331
	Caillé feuilleté	331
6.9.2.3	Défauts d'humidité	331
	Caillé trop humide	332
	Caillé trop sec	332
6.9.2.4	Défauts d'acidité	332
	Contrôle de l'acidité	332
6.9.3	Défauts liés à l'affinage	333
6.9.3.1	Problèmes des croûtes fleuries	333
6.9.3.2	Problèmes des croûtes lavées	333
	Croûte gluante	333
	Croûte à développement lent	333
6.9.3.3	Mauvaises saveurs	333
	Amertume	334
	Goût de rancidité	334
	Saveurs fruitées et atypiques	334
6.9.3.4	Problèmes de texture en fin d'affinage	334
	Texture farineuse ou sèche	334
	Pâte coulante	334
	Pâte sablonneuse	334
6.9.3.5	Problèmes d'ouvertures de la pâte	335
	Gonflement précoce	335
	Gonflement tardif	335
	Ouvertures mécaniques	335
	Ouvertures atypiques des fromages de type suisse	335
	RÉFÉRENCES	336

CHAPITRE 7

BEURRE ET FRACTIONS DE MATIÈRE GRASSE LAITIÈRE..... 339

PAUL ANGERS, GINETTE VIAU ET MICHEL POULIOT

7.1	LA MATIÈRE GRASSE DU LAIT	339
7.2	FABRICATION DU BEURRE EN DISCONTINU... ..	340
7.2.1	Préparation de la crème	341
7.2.1.1	Désacidification de la crème	341
7.2.1.2	Pasteurisation et refroidissement ..	342
7.2.1.3	Maturation physique	343
7.2.2	Barattage de la crème	344
7.2.2.1	Principe du barattage	344
7.2.2.2	Types de barattes	344
7.2.2.3	Température de barattage	345
7.2.2.4	Addition de colorant	345
7.2.2.5	Mode de barattage	345
7.2.2.6	Salage	346
7.2.2.7	Malaxage	346
7.3	FABRICATION DU BEURRE EN CONTINU	347
7.3.1	Fabrication par flottation ou agglomération	347
7.3.1.1	Procédé Fritz	347
7.3.2	Fabrication par concentration	348
7.3.3	Fabrication par émulsion ou combinaison	349
7.3.3.1	Procédé Cherry Burrell (Gold'n Flow)	349
7.3.3.2	Procédé Kraft	349
7.3.4	Avantages et limites de la fabrication en continu	349
7.4	EMBALLAGE ET ENTREPOSAGE DU BEURRE	350
7.4.1	Emballage	350
7.4.2	Refroidissement et entreposage	350
7.5	RENDEMENT EN BEURRERIE	351
7.6	ÉVALUATION DE LA QUALITÉ	352
7.6.1	Défauts de saveur	352
7.6.2	Défauts de consistance et de texture	353

7.6.3 Défauts de couleur.....	353	8.2.3 Calculs de formulation.....	368
7.6.4 Dispersion inégale de l'eau.....	354	8.2.4 Exemples de composition de quelques produits.....	368
7.7 BEURRES SPÉCIAUX ET PRODUITS ASSOCIÉS	355	8.3 INGRÉDIENTS UTILISÉS EN FABRICATION	373
7.7.1 Beurre de culture.....	355	8.3.1 Ingrédients d'origine laitière	373
7.7.2 Beurre foisonné	356	8.3.1.1 Sources d'ESDL.....	373
7.7.3 Beurre hypocalorique	356	8.3.1.2 Sources de matière grasse laitière ..	373
7.7.4 Beurre avec phytostérols et oléobeurres	356	8.3.2 Ingrédients d'origine végétale.....	373
7.7.5 Beurre sans lactose	357	8.3.2.1 Sources de matière grasse	373
7.7.6 Beurre clarifié ou beurre de ghee.....	357	8.3.2.2 Glucides et édulcorants	373
7.7.7 Beurre en poudre.....	357	8.3.2.3 Cacao et chocolat.....	373
7.8 HUILE DE BEURRE ET FRACTIONNEMENT.....	357	8.3.2.4 Fruits et dérivés	374
7.8.1 Fabrication de l'huile de beurre	357	8.3.2.5 Alcools.....	374
7.8.2 Fractionnement de l'huile de beurre.....	358	8.3.3 Œufs et ovoproduits	374
7.8.2.1 Technologie de cristallisation fractionnée par voie sèche.....	359	8.3.4 Inclusions et décors divers	374
7.8.3 Utilisations des fractions d'huile de beurre	359	8.3.5 Ferments lactiques.....	374
RÉFÉRENCES	361	8.3.6 Additifs	375
		8.3.6.1 Émulsifiants.....	375
		8.3.6.2 Épaississants, gélifiants et stabilisants	375
		8.3.6.3 Colorants.....	375
		8.3.6.4 Arômes.....	375
CHAPITRE 8		8.4 TECHNOLOGIE DE FABRICATION :	
PRODUITS LAITIERS GLACÉS	363	OPÉRATIONS ET MATÉRIEL	375
JEAN-LUC BOUTONNIER		8.4.1 Préparation du mélange à glacer	375
AVEC LA COLLABORATION DE H. DOUGLAS GOFF ET		8.4.1.1 Dosage des ingrédients et agitation	377
PATRICK TIRARD-COLLET		8.4.1.2 Homogénéisation	377
8.1 PRÉSENTATION DES PRODUITS LAITIERS GLACÉS.....	363	8.4.1.3 Pasteurisation et réfrigération	377
8.1.1 Réglementation.....	363	8.4.1.4 Maturation du mélange	377
8.1.2 Composition chimique.....	363	8.4.2 Transformation du mélange en produits laitiers glacés	378
8.1.3 Structure.....	365	8.4.2.1 Foisonnement du mélange.....	378
8.2 GRANDES RÈGLES DE LA FORMULATION.....	366	8.4.2.2 Glaçage du mélange.....	378
8.2.1 Principaux composants de l'extrait sec des glaces.....	366	8.4.2.3 Mécanismes intervenant durant le passage au présurgélateur	379
8.2.1.1 Extrait sec dégraissé lactique (ESDL)	366	8.4.2.4 Conditionnement.....	380
8.2.1.2 Matière grasse.....	367	8.4.2.5 Surgélation finale	382
8.2.1.3 Glucides	367	8.4.3 Entreposage et commercialisation.....	383
8.2.2 Deux constituants fondamentaux des produits laitiers glacés.....	368		
8.2.2.1 Air.....	368		
8.2.2.2 Eau.....	368		

TABLE DES MATIÈRES

8.5	CONTRÔLE DE LA QUALITÉ.....	383	9.2.3	Propriétés technologiques.....	403
8.5.1	Matières premières.....	383	9.2.3.1	Interaction avec l'eau.....	404
8.5.2	En cours de fabrication.....	385		Propriétés de reconstitution.....	404
8.5.3	Produits finis.....	385		Solubilité.....	404
8.6	PRINCIPAUX DÉFAUTS DES PRODUITS LAITIERS			Capacité de rétention d'eau.....	405
	GLACÉS.....	385	9.2.3.2	Formation de gels.....	406
	RÉFÉRENCES.....	388	9.2.3.3	Propriétés interfaciales.....	407
				Formation des films protéiques	
				aux interfaces.....	407
				Stabilité des émulsions et des	
				mousses.....	408
				Propriétés interfaciales des	
				concentrés obtenus par	
				ultrafiltration.....	409
				Propriétés interfaciales des	
				coprécipités.....	409
			9.2.4	Utilisations.....	410
			9.2.4.1	Produits laitiers.....	410
			9.2.4.2	Produits alimentaires	
				transformés.....	410
			9.3	LES PRODUITS À BASE DE CASÉINES.....	411
			9.3.1	Techniques de fabrication.....	411
			9.3.1.1	Les caséines acides et les caséines	
				présure.....	411
				Précipitation par acidification.....	411
				Précipitation par coagulation	
				enzymatique.....	412
				Égouttage du précipité.....	413
				Lavage du caillé.....	413
				Séchage.....	414
			9.3.1.2	Les caséinates.....	415
			9.3.1.3	Fractionnement des caséines.....	416
			9.3.1.4	Hydrolysats de caséines.....	417
			9.3.2	Composition des dérivés de caséines.....	418
			9.3.3	Propriétés technologiques.....	419
			9.3.3.1	Interaction avec l'eau.....	419
			9.3.3.2	Propriétés interfaciales.....	420
			9.3.4	Utilisations.....	421
			9.3.4.1	Produits laitiers et d'imitation.....	421
			9.3.4.2	Produits céréaliers.....	421
			9.3.4.3	Produits carnés.....	421

CHAPITRE 9

LES INGRÉDIENTS LAITIERS..... 389

MICHEL BRITTEN ET GABRIEL REMONDETTO

9.1	LES POUDRES DE LAIT.....	389
9.1.1	Techniques de fabrication.....	389
9.1.1.1	Poudre de lait entier.....	389
9.1.1.2	Poudre de lait entier à fort	
	pourcentage de gras libre.....	391
9.1.1.3	Poudre de lait écrémé.....	393
9.1.2	Composition des poudres de lait.....	395
9.1.2.1	Composition de la poudre de lait	
	entier.....	395
9.1.2.2	Composition de la poudre de lait	
	écrémé.....	396
9.1.3	Propriétés technologiques.....	396
9.1.3.1	Propriétés technologiques	
	des poudres de lait entier.....	396
9.1.3.2	Propriétés technologiques des	
	poudres de lait écrémé.....	397
9.1.4	Utilisations.....	397
9.1.4.1	Utilisation de la poudre de lait	
	entier.....	397
9.1.4.2	Utilisation de la poudre de lait	
	écrémé.....	398
9.2	LES CONCENTRÉS DE PROTÉINES TOTALES ..	398
9.2.1	Techniques de fabrication.....	398
9.2.1.1	Coprécipitation.....	399
9.2.1.2	Séparation par membranes.....	399
9.2.2	Composition des concentrés de	
	protéines totales.....	403

TABLE DES MATIÈRES

10.2.3.1 Dureté de l'eau.....	452	10.4 ASSAINISSEMENT	459
10.2.3.2 pH.....	452	10.4.1 Assainissement thermique – Vapeur et eau chaude	459
10.2.3.3 Présence de métaux	452	10.4.2 Assainissement physique – Rayons ultraviolets.....	460
10.2.3.4 Contamination microbiologique.....	452	10.4.3 Assainissement chimique.....	460
10.2.4 Mode d'application des produits de nettoyage.....	452	10.4.3.1 Mode d'action des assainisseurs chimiques.....	460
10.2.4.1 Nettoyage manuel	453	10.4.3.2 Évaluation des assainisseurs chimiques	462
10.2.4.2 Nettoyage par pulvérisation ou aspersion	453	10.4.3.3 Conditions d'utilisation	462
10.2.4.3 Nettoyage à la mousse ou au gel.....	453	10.4.4 Surveillance et vérification des procédures de lavage et d'assainissement	462
10.2.4.4 Nettoyage par trempage ou immersion.....	453	10.5 CONTRÔLE DES INSECTES ET DES RONGEURS	462
10.2.4.5 Nettoyage en place (NEP) ou Cleaning in place (CIP).....	453	10.6 SYSTÈMES DE NETTOYAGE EN PLACE (NEP).....	462
10.3 PRODUITS DE NETTOYAGE.....	453	10.6.1 Séquence de nettoyage	463
10.3.1 TACT	453	10.6.2 Types de systèmes NEP	463
10.3.1.1 Température.....	453	10.6.2.1 NEP à utilisation unique.....	464
10.3.1.2 Action mécanique.....	454	10.6.2.2 NEP à réutilisation	464
10.3.1.3 Concentration	454	10.6.3 Séquence des étapes.....	464
10.3.1.4 Temps de contact.....	454	10.6.4 Liens avec le programme HACCP	470
10.3.2 Produits de nettoyage	454	10.6.5 Entretien des NEP.....	470
10.3.2.1 Produits de nettoyage acides	455	10.7 EXERCICE	470
Acides minéraux.....	455	RÉFÉRENCES.....	471
Acides organiques	456		
10.3.2.2 Produits de nettoyage alcalins.....	456	CHAPITRE 11	
Alcalins forts.....	457	RÉGLEMENTATION	
Alcalins moyens.....	457	DES PRODUITS LAITIERS.....	473
Alcalins doux	457		
Alcalins chlorés.....	457	GERMAINE FORKWA, WALTER LOZANO ET JEAN-CHRISTOPHE VUILLEMARD	
10.3.2.3 Enzymes	457	11.1 PRINCIPES DE LA RÉGLEMENTATION	473
10.3.2.4 Peroxyde d'hydrogène.....	457	11.1.1 Généralités	473
10.3.2.5 Additifs de lavage	457	11.1.1.1 Législation et réglementation alimentaires.....	473
Agents de surface.....	458	Portée de la législation alimentaire	473
Agents séquestrants et chélatants	458		
Solvants.....	458		
Antimoussants	458		
Agents dispersants.....	458		
Inhibiteurs de corrosion.....	458		

SCIENCE ET TECHNOLOGIE DU LAIT

11.1.1.2 Lois, règlements et lignes directrices.....	473	12.1.1 Voyage à travers les âges	483
Qu'est-ce qu'une loi ?	473	12.1.2 Composition du lait en fonction des besoins des espèces.....	483
Qu'est-ce qu'un règlement ?.....	473	12.1.3 Valeur nutritive du lait et des produits laitiers	484
Qu'est-ce qu'une ligne directrice ?	474	12.1.4 Les besoins quotidiens en nutriments et les recommandations nutritionnelles	486
11.1.2 Organismes régissant la sécurité alimentaire au Canada	474	12.2 LES NUTRIMENTS DU LAIT	486
11.1.2.1 Santé Canada	475	12.2.1 Protéines.....	488
11.1.2.2 Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA).....	475	12.1.1.1 Allergies aux protéines laitières	489
11.1.2.3 Le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ).....	477	12.2.2 Calcium.....	490
11.1.3 Systèmes pour la sécurité et la qualité des aliments (Safety Quality Food System)....	477	12.2.3 Vitamines	491
11.1.3.1 Initiative mondiale de la sécurité des aliments (IMSA) ou Global Food Safety Initiative (GFSI)	478	12.2.4 Matière grasse	491
11.1.3.2 IFS (International Food Standard)	479	12.2.5 Lactose	492
11.1.3.3 Safe Quality Food (SQF).....	479	12.3 LES « EFFETS SANTÉ » DU LAIT ET DES PRODUITS LAITIERS	493
11.1.3.4 Comment choisir un programme de qualité ?.....	479	12.3.1 Syndrome métabolique	493
11.2 NORMES ET RÈGLEMENTS DANS LE SECTEUR DES PRODUITS LAITIERS	479	12.3.2 Gestion du poids et obésité	494
11.2.1 Règlement sur les aliments et drogues....	479	12.3.3 Hypertension	496
11.2.2 Code national sur les produits laitiers	479	12.3.4 Maladies cardiovasculaires.....	497
11.2.3 Règlement sur les produits laitiers	480	12.3.5 Diabète.....	499
11.3 APERÇU DES LOIS OU RÈGLEMENTS RÉGISSANT L'EXPORTATION OU L'IMPORTATION.....	480	12.3.6 Santé osseuse.....	500
11.3.1 Réglementation de l'exportation.....	480	12.3.7 Cholestérol.....	500
11.3.2 Réglementation de l'importation.....	481	12.3.8 Allergies	500
RÉFÉRENCES	482	12.3.9 Système immunitaire	501
CHAPITRE 12		12.3.10 Cancer	501
LE LAIT ET LA SANTÉ.....	483	12.3.10.1 Cancer colorectal	501
JEAN AMIOT, GABRIELA BAYARRES ET JEAN-CHRISTOPHE VUILLEMARD		12.3.10.2 Cancer du sein	501
12.1 IMPORTANCE DU LAIT EN NUTRITION HUMAINE	483	12.3.10.3 Cancer de la prostate	501
		12.4 LES EFFETS SANTÉ DES PROBIOTIQUES.....	502
		12.4.1 Diarrhées	503
		12.4.2 Entérocolite nécrosante	503
		12.4.3 Pouchite	503
		12.4.4 Dermate atopique.....	503
		12.4.5 Syndrome du côlon irritable	503
		12.4.6 Ulcères	503
		RÉFÉRENCES	505