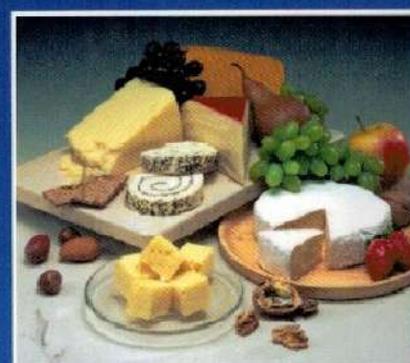
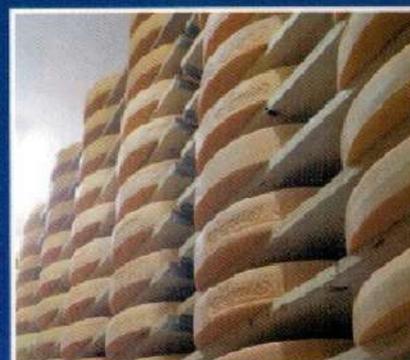
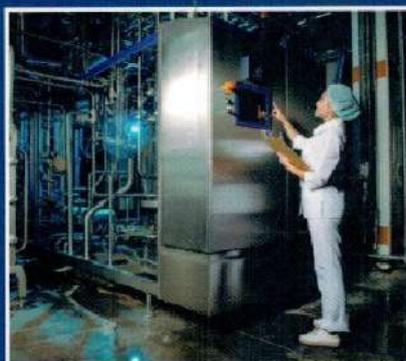


Science et technologie du lait

Sous la direction de
Jean-Christophe Vuillemard

3^e édition



Science et technologie du lait



3^e édition

Sous la direction de
Jean-Christophe Vuillemand

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES AUTEURS	XXIX		
CHAPITRE 1			
COMPOSITION ET PROPRIÉTÉS PHYSICOCHIMIQUES DU LAIT	1		
JEAN-CHRISTOPHE VUILLEMARD			
1.1 COMPOSITION DU LAIT	1	1.2.6 Les vitamines	27
1.2 STRUCTURE ET PROPRIÉTÉS DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS DU LAIT	4	1.3 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DU LAIT	28
1.2.1 L'eau	4	1.3.1 Masse volumique et densité du lait.....	28
1.2.2 La matière grasse	4	1.3.2 Point de congélation.....	29
1.2.2.1 Les lipides simples.....	5	1.3.3 Point d'ébullition.....	29
1.2.2.2 Les lipides complexes	7	1.3.4 Acidité du lait.....	29
1.2.2.3 La fraction insaponifiable	8	1.3.4.1 Acidité titrable	29
1.2.2.4 Propriétés physiques des matières grasses.....	9	1.3.4.2 pH.....	31
1.2.2.5 Altérations de la matière grasse	10	1.4 LES CONTAMINANTS DU LAIT	31
Lipolyse.....	10	1.4.1 Microorganismes	31
Oxydation.....	11	1.4.2 Cellules somatiques	32
Saponification	11	1.4.3 Résidus d'antibiotiques.....	33
1.2.3 Les protéines.....	11	1.4.4 Résidus d'antiseptiques	33
1.2.3.1 Les caséines	12	1.4.5 Eau.....	33
1.2.3.2 La micelle de caséines.....	16	1.5 LE PAIEMENT DU LAIT	33
1.2.3.3 Les protéines du lactosérum	18	1.5.1 Production mensuelle.....	34
1.2.3.4 Transformations physicochimiques des protéines.....	19	1.5.2 Production permise	34
Effet de l'acidification	19	1.5.3 Production hors quota.....	34
Effet de la chaleur	20	1.5.4 Excédent de solides non gras.....	34
Effet de la présure	21	1.5.5 Autres facteurs.....	35
Effet des sels	21	1.5.6 Pénalités.....	35
1.2.3.5 Les enzymes.....	21	1.5.7 Primes.....	35
Les hydrolases.....	22	RÉFÉRENCES.....	36
Les oxydoréductases	23	CHAPITRE 2	
1.2.4 Le lactose	23	OPÉRATIONS UNITAIRES	
1.2.4.1 Structure	23	ET NOTIONS DE GÉNIE INDUSTRIEL	
1.2.4.2 Propriétés physiques.....	24	LAITIER APPLIQUÉES	37
1.2.4.3 Transformations chimiques.....	24	LAURENT BAZINET, SCOTT BENOIT, YVES POULIOT ET FRANÇOIS CASTAIGNE	
1.2.5 Les minéraux	25	INTRODUCTION	37
1.2.5.1 Les équilibres salins.....	26	2.1 LES BILANS DE MATIÈRE.....	39
1.2.5.2 Rôles technologiques.....	27	2.1.1 Principe du bilan de matière.....	39
		2.1.1.1 Définitions générales et base de calcul.....	39
		2.1.1.2 Bilan de matière global.....	40
		2.1.1.3 Bilan de matière sur les 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	HOMOGÉNÉISATION.....	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	Concentration des fluides laitiers par osmose inversée (OI).....	133
		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

SCIENCE ET TECHNOLOGIE DU LAIT

2.10.2.3. Applications	139	3.2.3 Les méthodes d'évaluation de l'impact environnemental.....	158
Déminéralisation 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
		Le transport, la distribution et l'entreposage (réfrigération et congélation)	168
CHAPITRE 3		3.4.2.2 Consommation d'eau potable et production d'eaux usées	168
ÉCOEFFICIENCE DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DU LAIT : PRINCIPES, MÉTHODOLOGIES ET APPLICATIONS	155	3.4.2.3 Pertes de matières premières et génération de coproduits.....	170
YVES POULIOT, ALAIN DOYEN, LAURENT BAZINET, SERGEY MIKHAYLIN, SCOTT BENOIT, MANUELE MARGNI		3.4.2.4 Les emballages	171
3.1 INTRODUCTION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE EN TRANSFORMATION DU LAIT	155	3.4.2.5 Les indicateurs de performance d'écoefficiente en industrie laitière	172
3.2 CONCEPTS ET PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'ÉCOEFFICIENCE	155	3.5 CONCLUSION	172
3.2.1 L'écoefficiente: un concept introduit par le Conseil mondial des affaires pour le développement durable.....	156	RÉFÉRENCES.....	173
3.2.2 L'évaluation de l'écoefficiente selon la norme ISO 14045	156		

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 bactofugé.....	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

CHAPITRE 5

LES PRODUITS LAITIERS

FERMENTÉS 213

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

5.1	VARIÉTÉ DE LAITS FERMENTÉS.....	213
5.2	LÉGISLATION	213
5.3	CULTURES LACTIQUES	214
5.3.1	Les espèces utilisées et quelques éléments de leur métabolisme.....	214
5.3.1.1	Cultures mixtes ou cultures définies.....	215
5.3.1.2	Température.....	216
5.3.1.3	Métabolites.....	217
5.3.1.4	Arômes.....	217
5.3.1.5	Oxygène	218
5.3.1.6	Activité de l'eau.....	218
5.3.1.7	Activité protéolytique.....	219
5.3.1.8	Production de polysaccharides	219
5.3.1.9	Associations.....	220
5.3.1.10	Antagonismes	220
5.3.2	Les cultures lactiques commerciales	220
5.3.2.1	Critères de sélection.....	222
5.3.3	Propagation et ensemencement direct... ..	222
5.3.4	Préparation des ferments dans l'usine de transformation.....	222
5.3.4.1	FPSU : milieu de culture.....	224
5.3.4.2	FPSU : traitement thermique du milieu de culture	226
5.3.4.3	FPSU : inoculation	226
5.3.4.4	FPSU : température d'incubation....	227
5.3.4.5	FPSU : sélection de la base de neutralisation.....	228
5.3.4.6	FPSU : suivi du pH	228
5.3.4.7	FPSU : le temps d'incubation	228
5.3.4.8	FPSU : entreposage	229
5.3.4.9	FPSU : erreurs dans la préparation des ferments	229
5.3.5	Ensemencement direct du bassin de fabrication (EDBF)	231

5.4	PROBIOTIQUES	233
5.4.1	Les espèces	233
5.4.2	Incorporation dans les produits laitiers fermentés	234
5.5	FABRICATION DES YOGOURTS FERMES ET BRASSÉS.....	236
5.5.1	Qualité du lait	237
5.5.2	Standardisation du lait	237
5.5.2.1	Rôle des solides totaux.....	237
5.5.2.2	Matière grasse.....	237
5.5.2.3	Enrichissement en protéines	237
	Poudre de lait écrémé	237
	Caséinate	239
	Protéines du lactosérum.....	239
	Évaporation du lait.....	239
	La filtration du lait	239
5.5.2.4	Sucres et édulcorants	239
5.5.2.5	Stabilisants.....	240
5.5.2.6	Paramètres à respecter.....	240
5.5.3	L'homogénéisation	240
5.5.3.1	Effets sur la matière grasse.....	240
5.5.3.2	Effets sur les protéines.....	240
5.5.4	Traitement thermique	242
5.5.4.1	Effet sur les microorganismes	242
5.5.4.2	Effet sur la texture (consistance et viscosité), le goût et la couleur	242
5.5.4.3	Rôle du temps de retenue.....	242
5.5.5	Fermentation	242
5.5.5.1	Pratiques industrielles.....	243
5.5.5.2	Acidification.....	243
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

6.9 PRINCIPAUX PROBLÈMES EN FABRICATION FROMAGÈRE.....	330	CHAPITRE 7	
6.9.1 Défauts liés à la qualité et aux traitements du lait.....	330	BEURRE ET FRACTIONS DE MATIÈRE GRASSE LAITIÈRE.....	339
6.9.2 Défauts liés à la coagulation et à l'égouttage.....	331	PAUL ANGERS, GINETTE VIAU ET MICHEL POULIOT	
6.9.2.1 Fabrications lactiques.....	331	7.1 LA MATIÈRE GRASSE DU LAIT.....	339
Coagulation lente ou inexistante...	331	7.2 FABRICATION DU BEURRE EN DISCONTINU...	340
Caillé gélatineux.....	331	7.2.1 Préparation de la crème.....	341
Caillé spongieux.....	331	7.2.1.1 Désacidification de la crème.....	341
6.9.2.2 Fabrications présure.....	331	7.2.1.2 Pasteurisation et refroidissement...	342
Caillage lent.....	331	7.2.1.3 Maturation physique.....	343
Caillé feuilleté.....	331	7.2.2 Barattage de la crème.....	344
6.9.2.3 Défauts d'humidité.....	331	7.2.2.1 Principe du barattage.....	344
Caillé trop humide.....	332	7.2.2.2 Types de barattes.....	344
Caillé trop sec.....	332	7.2.2.3 Température de barattage.....	345
6.9.2.4 Défauts d'acidité.....	332	7.2.2.4 Addition de colorant.....	345
Contrôle de l'acidité.....	332	7.2.2.5 Mode de barattage.....	345
6.9.3 Défauts liés à l'affinage.....	333	7.2.2.6 Salage.....	346
6.9.3.1 Problèmes des croûtes fleuries.....	333	7.2.2.7 Malaxage.....	346
6.9.3.2 Problèmes des croûtes lavées.....	333	7.3 FABRICATION DU BEURRE EN CONTINU.....	347
Croûte gluante.....	333	7.3.1 Fabrication par flottation ou agglomération.....	347
Croûte à développement lent.....	333	7.3.1.1 Procédé Fritz.....	347
6.9.3.3 Mauvaises saveurs.....	333	7.3.2 Fabrication par concentration.....	348
Amertume.....	334	7.3.3 Fabrication par émulsion ou combinaison.....	349
Goût de rancidité.....	334	7.3.3.1 Procédé Cherry Burrell (Gold'n Flow).....	349
Saveurs fruitées et atypiques.....	334	7.3.3.2 Procédé Kraft.....	349
6.9.3.4 Problèmes de texture en fin d'affinage.....	334	7.3.4 Avantages et limites de la fabrication en continu.....	349
Texture farineuse ou sèche.....	334	7.4 EMBALLAGE ET ENTREPOSAGE DU BEURRE.....	350
Pâte coulante.....	334	7.4.1 Emballage.....	350
Pâte sablonneuse.....	334	7.4.2 Refroidissement et entreposage.....	350
6.9.3.5 Problèmes d'ouvertures de la pâte.....	335	7.5 RENDEMENT EN BEURRERIE.....	351
Gonflement précoce.....	335	7.6 ÉVALUATION DE LA QUALITÉ.....	352
Gonflement tardif.....	335	7.6.1 Défauts de saveur.....	352
Ouvertures mécaniques.....	335	7.6.2 Défauts de consistance et de texture.....	353
Ouvertures atypiques des fromages de type suisse.....	335		
RÉFÉRENCES.....	336		

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 oléobourres	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 : OPÉRATIONS ET MATÉRIEL.....	375
PRODUITS LAITIERS GLACÉS.....	363	8.4.1 Préparation du mélange à glacer.....	375
JEAN-LUC BOUTONNIER		8.4.1.1 Dosage des ingrédients et agitation.....	377
AVEC LA COLLABORATION DE H. DOUGLAS GOFF ET		8.4.1.2 Homogénéisation.....	377
PATRICK TIRARD-COLLET		8.4.1.3 Pasteurisation et réfrigération.....	377
8.1 PRÉSENTATION DES PRODUITS LAITIERS GLACÉS.....	363	8.4.1.4 Maturation du mélange.....	377
8.1.1 Réglementation.....	363	8.4.2 Transformation du mélange en produits laitiers glacés.....	378
8.1.2 Composition chimique.....	363	8.4.2.1 Foisonnement du mélange.....	378
8.1.3 Structure.....	365	8.4.2.2 Glaçage du mélange.....	378
8.2 GRANDES RÈGLES DE LA FORMULATION.....	366	8.4.2.3 Mécanismes intervenant durant le passage au présurgélateur.....	379
8.2.1 Principaux composants de l'extrait sec des glaces.....	366	8.4.2.4 Conditionnement.....	380
8.2.1.1 Extrait sec dégraissé lactique (ESDL).....	366	8.4.2.5 Surgélation finale.....	382
8.2.1.2 Matière grasse.....	367	8.4.3 Entreposage et commercialisation.....	383
8.2.1.3 Glucides.....	367		
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
8.5	CONTRÔLE DE LA QUALITÉ.....	383			
8.5.1	Matières premières.....	383			
8.5.2	En cours de fabrication.....	385			
8.5.3	Produits finis.....	385			
8.6	PRINCIPAUX DÉFAUTS DES PRODUITS LAITIERS				
	GLACÉS.....	385			
RÉFÉRENCES.....		388			
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			

9.4 LES PRODUITS DU LACTOSÉRUM	422	9.6 LE LACTOSE.....	437
9.4.1 Techniques de fabrication	423	9.6.1 Technique de fabrication et composition.....	438
9.4.1.1 Séchage du lactosérum	423	9.6.1.1 Dérivés du lactose	439
Poudre de lactosérum.....	424	9.6.1.2 Produits de fermentation du lactose.....	440
9.4.1.2 Concentration des protéines du lactosérum par dénaturation thermique.....	424	9.6.2 Propriétés technologiques et activités biologiques	440
9.4.1.3 Concentration des protéines du lactosérum par ultrafiltration	426	9.6.2.1 Lactose	440
Concentrés à forte teneur protéique et isolats de protéines.....	426	9.6.2.2 Dérivés du lactose	441
9.4.1.4 Séparation des protéines sériques..	429	9.6.3 Utilisations.....	441
α -lactalbumine et β -lactoglobuline	429	9.6.3.1 Utilisations dans les produits alimentaires.....	442
Lactoferrine et lactoperoxydase....	429	9.6.3.2 Applications nutritionnelles et pharmaceutiques.....	442
Glycomacropéptide.....	430	9.7 LES CONCENTRÉS DE MINÉRAUX.....	442
Hydrolysats enzymatiques	430	9.7.1 Fabrication de concentrés de minéraux..	442
9.4.2 Composition des produits de protéines sériques.....	430	9.7.2 Propriétés.....	443
9.4.3 Propriétés technologiques.....	431	9.7.3 Utilisations.....	443
9.4.3.1 Interactions avec l'eau.....	431	RÉFÉRENCES	444
9.4.3.2 Formation de gels.....	432	CHAPITRE 10	
9.4.3.3 Propriétés interfaciales	432	HYGIÈNE ET SALUBRITÉ DANS	
9.4.4 Utilisations.....	433	L'INDUSTRIE LAITIÈRE.....	447
9.4.4.1 Produits laitiers.....	433	PASCAL BONNET ET RENÉ TARDIF	
9.4.4.2 Produits alimentaires transformés.	434	10.1 MESURES PRÉVENTIVES RELATIVES À	
9.5 LES FRACTIONS DE LIPIDES COMPLEXES.....	434	L'ORGANISATION ET À LA CONCEPTION DE	
9.5.1 Techniques de fabrication	434	L'ENTREPRISE.....	447
9.5.1.1 Sources de lipides complexes.....	434	10.1.1 Aménagement extérieur de l'usine	447
9.5.1.2 Fractions brutes de lipides complexes	435	10.1.2 Aménagement intérieur de l'usine.....	448
9.5.1.3 Purification des lipides complexes.	436	10.1.2.1 Ventilation	448
9.5.2 Composition des fractions de lipides complexes	436	10.1.2.2 Surfaces	448
9.5.3 Propriétés technologiques.....	436	10.1.2.3 Sols.....	448
9.5.4 Utilisations.....	437	10.1.2.4 Murs.....	449
9.5.4.1 Applications alimentaires.....	437	10.1.2.5 Plafonds.....	449
9.5.4.2 Applications cosmétiques, nutritionnelles et médicales.....	437	10.1.3 Gestion des flux.....	449
		10.2 NETTOYAGE.....	450
		10.2.1 Nature des résidus.....	450
		10.2.2 Nature des surfaces.....	450
		10.2.3 Qualité de l'eau	451

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	CHAPITRE 11		
10.3.2.2	Produits de nettoyage alcalins.....	456	RÉGLEMENTATION		
	Alcalins forts.....	457	DES PRODUITS LAITIERS.....	473	
	Alcalins moyens.....	457	GERMAINE FORKWA, WALTER LOZANO		
	Alcalins doux	457	ET JEAN-CHRISTOPHE VUILLEMARD		
	Alcalins chlorés.....	457	11.1	PRINCIPES DE LA RÉGLEMENTATION	473
10.3.2.3	Enzymes	457	11.1.1	Généralités	473
10.3.2.4	Peroxyde d'hydrogène.....	457	11.1.1.1	Législation et réglementation alimentaires.....	473
10.3.2.5	Additifs de lavage	457		Portée de la législation alimentaire	473
	Agents de surface.....	458			
	Agents séquestrants et chélatants	458			
	Solvants.....	458			
	Antimoussants	458			
	Agents dispersants.....	458			
	Inhibiteurs de corrosion.....	458			

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 Dermatite atopique.....	503
		12.4.5 Syndrome du côlon irritable	503
		12.4.6 Ulcères.....	503
		RÉFÉRENCES.....	505

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

CHAPITRE 1

Figure 1.1. Membrane du globule de matière grasse	6
Figure 1.2. Structure des phospholipides	9
Figure 1.3. Lipolyse d'un triglycéride	11
Figure 1.4. Saponification d'un triglycéride	12
Figure 1.5. Photographie d'une micelle de caséines	14
Figure 1.6. Représentation d'une phosphocaséine	15
Figure 1.7a. Schéma d'une micelle de caséines.....	17
Figure 1.7b. Assemblage de sous-micelles en micelle	17
Figure 1.8. Pontage de deux sous-micelles par le phosphate de calcium.....	18
Figure 1.9. Effet de l'acidification sur les micelles de caséine	20
Figure 1.10. Formation d'un lien disulfure entre la β -lactoglobuline et la micelle de caséines	21
Figure 1.11. Équilibres salins entre le phosphate et le calcium.....	27
Figure 1.12. Acidité naturelle, acidité développée et acidité titrable du lait	30
Tableau 1.1. État physicochimique des principaux constituants du lait de vache.....	1
Tableau 1.2. Composition générale du lait de vache.....	2
Tableau 1.3. Composition moyenne du lait de différentes espèces animales.....	2
Tableau 1.4. Différents termes utilisés pour définir les fractions du lait	3
Tableau 1.5. Composition lipidique du lait	5
Tableau 1.6. Symboles, proportions et points de fusion des principaux acides gras du lait.....	7
Tableau 1.7. Composition en lipides complexes de la matière grasse laitière	8
Tableau 1.8. Principaux indices et constantes de la matière grasse du lait	10
Tableau 1.9. Concentration et pourcentage des protéines du lait.....	13

Tableau 1.10. Principales caractéristiques des caséines	14
Tableau 1.11. Composition moyenne des micelles de caséine	16
Tableau 1.12. Caractéristiques des protéines du lactosérum	19
Tableau 1.13. Composition du lait en minéraux	25
Tableau 1.14. Répartition du phosphore et du calcium dans le lait	25
Tableau 1.15. Teneur moyenne des principales vitamines du lait	28
Tableau 1.16. Constituants responsables de l'acidité naturelle du lait.....	29
Tableau 1.17. Flore indigène du lait cru.....	31
Tableau 1.18. Principales dégradations d'origine microbienne du lait et des produits laitiers	32

CHAPITRE 2

Figure 2.1. Schéma de synthèse des opérations utilisées en industrie laitière pour la fabrication de produits et sous-produits laitiers	38
Figure 2.2. Fabrication de lait écrémé en poudre à partir de lait entier.....	40
Figure 2.3. Schéma représentant les conditions de fonctionnement de l'écrémeuse.....	41
Figure 2.4. Représentation graphique de la conduction dans un corps solide en régime stationnaire	50
Figure 2.5. Couches successives à travers lesquelles s'effectue le transfert de chaleur.....	52
Figure 2.6. Paroi entourée de deux fluides.....	54
Figure 2.7. Tuyau représenté en coupe	57
Figure 2.8. Système dans lequel est pompé le lait pour l'exemple ci-joint.....	63
Figure 2.9. Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge	67
Figure 2.10. Principe de fonctionnement d'une pompe à piston	67

Figure 9.13. Évolution de la composition du lactosérum.....	425
Tableau 9.1. Exigences canadiennes de composition des poudres de lait Canada n° 1 et Canada n° 2	395
Tableau 9.2. Composition de la poudre de lait entier	396
Tableau 9.3. Composition de la poudre de lait écrémé.....	396
Tableau 9.4. Classification des poudres de lait écrémé selon leur teneur en protéines sériques non dénaturées	397
Tableau 9.5. Composition moyenne des concentrés de protéines totales de lait.....	402
Tableau 9.6. Composition moyenne des principaux produits de caséines	418
Tableau 9.7. Composition moyenne des lactosérums doux et acide	422
Tableau 9.8. Composition moyenne des principaux produits de protéines sériques	430
Tableau 9.9. Composition moyenne d'un extrait brut de lipides complexes.....	435
Tableau 9.10. Composition moyenne des produits de lactose commerciaux	437

CHAPITRE 10

Figure 10.1. Type de souillure selon la surface.....	452
Figure 10.2. Rôle de l'agent mouillant dans la solution de lavage.....	454
Figure 10.3. Schéma d'un système NEP à utilisation unique	463
Figure 10.4. Schéma d'un système NEP à réutilisation	465
Tableau 10.1. Caractéristiques des différents résidus alimentaires.....	451
Tableau 10.2. Classification de la dureté de l'eau.....	452
Tableau 10.3. Type de produits de lavage à utiliser en fonction des résidus.....	454
Tableau 10.4. Propriétés des produits de lavage acides et alcalins.....	456

Tableau 10.5. Problèmes dus à une procédure de nettoyage insatisfaisante.....	459
Tableau 10.6. Caractéristiques des principaux assainisseurs	461
Tableau 10.7. Lavage par une solution alcaline dans un NEP à utilisation unique	464
Tableau 10.8. Lavage avec une solution alcaline dans un NEP à réutilisation.....	465
Tableau 10.9. Séquence des étapes d'un lavage alcalin	466
Tableau 10.10. Séquence des étapes d'assainissement d'un réservoir	468
Tableau 10.11. Instruments à étalonner ou à inspecter.....	469

CHAPITRE 12

Tableau 12.1. Composition du lait de différentes espèces	483
Tableau 12.2. Apports nutritionnels recommandés (ANR) en calcium selon l'âge et le sexe.....	484
Tableau 12.3. Contenu en nutriments de trois portions du lait et produits laitiers du GAC	485
Tableau 12.4. Contribution de trois portions de lait et produits laitiers aux valeurs quotidiennes de certains minéraux et certaines vitamines pour des personnes âgées d'au moins quatre ans	485
Tableau 12.5. Pourcentage de la contribution des produits laitiers à l'apport quotidien en nutriments des Canadiens	486
Tableau 12.6. Propriétés des principaux nutriments du lait.....	487
Tableau 12.7. Valeur nutritionnelle des protéines du lait.....	488
Tableau 12.8. Allégations non spécifiques à la souche acceptées pour les probiotiques.....	502

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 2.46. Comparaison des procédés traditionnel et MMV pour la fabrication fromagère	130	Tableau 2.11. Composition et coefficients de rejets	128
Figure 2.47. Procédé de fabrication de lait longue conservation par microfiltration	132	Tableau 2.12. Ultrafiltration de lactosérum doux pour la production de CPL.....	128
Figure 2.48. Production et traitement d'eau de procédé à partir de fluides laitiers	134	Tableau 2.13. Effet de la diafiltration sur la composition du CPL	129
Figure 2.49. Principe de fonctionnement d'un module d'électrodialyse de type filtre-presse	135	Tableau 2.14. Composition du perméat et du rétentat après concentration du lactosérum par nanofiltration (FCV = 3,85).....	133
Figure 2.50. Principe de dilution-concentration au sein d'un module d'électrodialyse..	136	Tableau 2.15. Longueurs d'onde et fréquences de quelques rayonnements électromagnétiques.....	143
Figure 2.51. Phénomène de concentration de polarisation en électrodialyse	138	Tableau 2.16. Coefficients de pertes diélectriques de quelques produits laitiers à 20 °C pour un rayonnement de 2450 MHz....	144
Figure 2.52. Principe de fonctionnement de l'EDMBP et des membranes bipolaires	139	Tableau 2.17. Longueurs d'onde des trois types de rayonnements ultraviolets	145
Tableau 2.1. Chaleur massique (Cp en J/kg.°C) de produits laitiers et matériaux communs	45	Tableau 2.18. Fréquences des ondes sonores.....	148
Tableau 2.2. Conductivité thermique (W/m.°C) de différents matériaux	51	CHAPITRE 3	
Tableau 2.3. Coefficient de friction (Kf) de certains éléments de tuyauterie	62	Figure 3.1. Les piliers du développement durable	155
Tableau 2.4. Valeur de D et de Z pour certains microorganismes.....	88	Figure 3.2. Présentation des cinq étapes de l'évaluation de l'écocoefficiencé selon la norme ISO 14045	157
Tableau 2.5. Point de congélation approximatif de produits laitiers	113	Figure 3.3. Les différentes étapes de la réalisation d'une analyse de cycle de vie et les applications directes des interprétations	160
Tableau 2.6. Domaines de fractionnement des membranes utilisées en technologie laitière	118	Figure 3.4. Schématisation des processus et des limites d'un système à l'étude et identification des flux de ressources (intrants) et d'émissions (extrants) provenant de l'environnement ou rejetés dans celui-ci et utilisés ou produits par le système	161
Tableau 2.7. Définition de quelques paramètres opératoires en séparations par membranes	119	Figure 3.5. Diagramme de processus simplifié comparatif de deux procédés de production de caséinates.....	162
Tableau 2.8. Caractéristiques des matériaux membranaires	120		
Tableau 2.9. Configurations membranaires disponibles commercialement.....	121		
Tableau 2.10. Utilisation des procédés de séparation baromembranaire en industrie laitière	127		

- Figure 3.6. Contribution de chaque processus du cycle de vie pour chacune des catégories de dommages calculée selon la méthode IMPACT 2002+ pour l'exemple comparatif de deux procédés de production de caséinate de sodium 163
- Figure 3.7. Impact par catégorie intermédiaire de dommages calculé selon la méthode IMPACT 2002+ pour l'exemple comparatif de deux procédés de production de caséinate de sodium 163
- Figure 3.8. Frontières des sous-systèmes du cycle de vie des produits laitiers 164
- Figure 3.9. Impact environnemental comparé de la production et de la transformation du lait 165
- Figure 3.10. Indicateurs environnementaux pour 1 litre de lait emballé en brique alimentaire et en bouteille de polyéthylène à haute densité (PEHD) 170
- Tableau 3.1. La consommation énergétique des évaporateurs et des séchoirs 167
- Tableau 3.2. Énergie requise selon le mode de transport 169
- Tableau 3.3. Indicateurs clés d'écocoefficience en transformation laitière 171
- CHAPITRE 4**
- Figure 4.1. Coupe transversale d'un séparateur clarificateur..... 176
- Figure 4.2. Représentation schématique d'un système de standardisation automatisée du lait..... 178
- Figure 4.3. Tête d'homogénéisateur à deux valves 178
- Figure 4.4. Vanne d'homogénéisation Micro-Gap SPX APV 178
- Figure 4.5. Distribution des diamètres des globules gras en fonction du type d'homogénéisation 180
- Figure 4.6. Fabrication de lait pasteurisé avec microfiltration du lait écrémé 189
- Figure 4.7. Hydrolyse enzymatique du lactose 190
- Figure 4.8. Fabrication de lait stérilisé UHT par injection directe de vapeur 196
- Figure 4.9. Fabrication de lait UHT par stérilisation indirecte 197
- Figure 4.10. Effet du couple temps-température sur la destruction des microorganismes et la perte d'activité des enzymes et des nutriments 199
- Figure 4.11. Temps de coagulation du lait écrémé à 140 °C en fonction du pH 203
- Figure 4.12. Temps de coagulation du lait écrémé concentré (20 % de solides) à 120 °C en fonction du pH 203
- Figure 4.13. Schéma du procédé de fabrication du lait évaporé..... 205
- Figure 4.14. Schéma du procédé de fabrication du lait condensé sucré..... 208
- Tableau 4.1. Exigences légales des laits concentrés au Canada 203
- Tableau 4.2. Changements physicochimiques du lait durant le chauffage..... 204
- Tableau 4.3. Défauts des laits évaporés et causes potentielles 207
- Tableau 4.4. Défauts du lait condensé sucré et causes potentielles 209
- CHAPITRE 5**
- Figure 5.1. Principales voies métaboliques de l'utilisation du lactose par les cultures mésophiles et thermophiles des laits fermentés..... 216
- Figure 5.2. Production de ferments lactiques en contrôle de pH..... 218
- Figure 5.3. Association entre *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. 219
- Figure 5.4. Schéma du métabolisme complémentaire de *Streptococcus thermophilus* et de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* dans le lait..... 220
- Figure 5.5. Quelques formats de ferments commerciaux..... 221