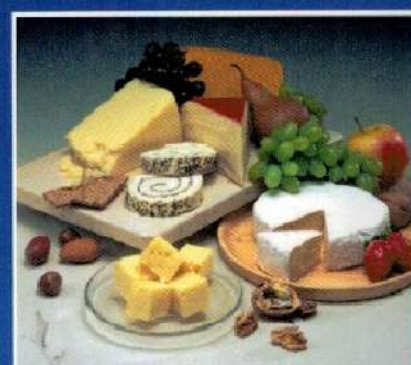
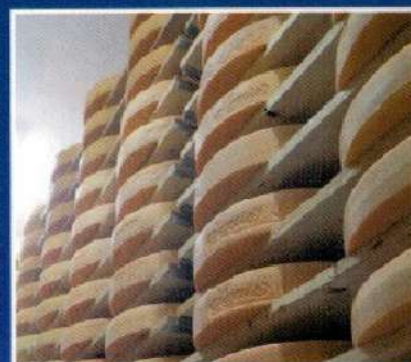
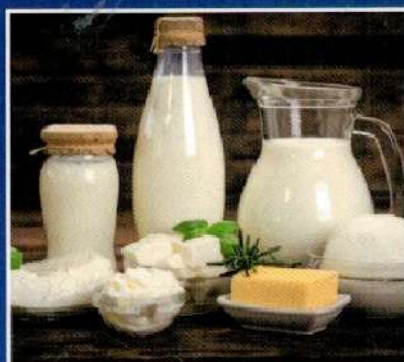
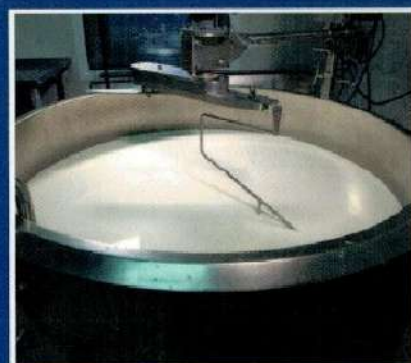
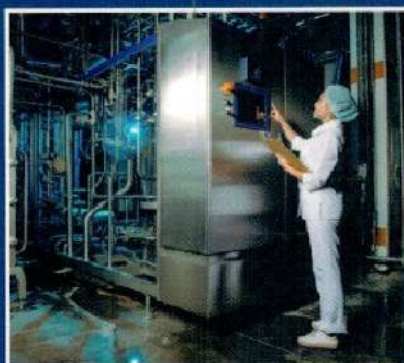


# Science et technologie du lait

Sous la direction de  
**Jean-Christophe Vuillemard**

3<sup>e</sup> édition



# Science et technologie du lait



3<sup>e</sup> édition

Sous la direction de  
Jean-Christophe Vuillemard

# TABLE DES MATIÈRES

<b>LISTE DES AUTEURS</b>	<b>XXIX</b>		
<b>CHAPITRE 1</b>			
<b>COMPOSITION ET PROPRIÉTÉS PHYSICOCHIMIQUES DU LAIT .....</b>	<b>1</b>		
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	<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>36</b>
Les oxydoréductases .....	23	<b>CHAPITRE 2</b>	
1.2.4 Le lactose .....	23	<b>OPÉRATIONS UNITAIRES</b>	
1.2.4.1 Structure .....	23	<b>ET NOTIONS DE GÉNIE INDUSTRIEL</b>	
1.2.4.2 Propriétés physiques.....	24	<b>LAITIER APPLIQUÉES .....</b>	<b>37</b>
1.2.4.3 Transformations chimiques.....	24	LAURENT BAZINET, SCOTT BENOIT, YVES POULIOT ET FRANÇOIS CASTAIGNE	
1.2.5 Les minéraux .....	25	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>37</b>
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	<b>BILAN D'ÉNERGIE ET TRANSFERT DE CHALEUR.....</b>	<b>44</b>	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	<b>CENTRIFUGATION.....</b>	<b>68</b>
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	<b>HOMOGÉNÉISATION.....</b>	<b>77</b>
	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	<b>ÉCOULEMENT ET POMPAGE .....</b>	<b>59</b>	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	<b>PASTEURISATION ET STÉRILISATION .....</b>	<b>80</b>
2.3.3.2	Évaluation de l'énergie perdue par friction ( $\Sigma F$ ) .....	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	<b>2.9 RÉFRIGÉRATION ET CONGÉLATION.....</b>	<b>111</b>
2.6.4 Pasteurisation.....	87	2.9.1 Production de froid.....	111
<b>2.7 CONCENTRATION PAR ÉVAPORATION.....</b>	<b>88</b>	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	<b>2.10 LES PROCÉDÉS DE SÉPARATIONS MEMBRANAIRES .....</b>	<b>117</b>
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 grim pant .....	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
<b>2.8 SÉCHAGE PAR ATOMISATION DES FLUIDES LAITIERS .....</b>	<b>95</b>	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
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
		Le transport, la distribution et l'entreposage (réfrigération et congélation) .....	168
<b>CHAPITRE 3</b>		3.4.2.2 Consommation d'eau potable et production d'eaux usées .....	168
<b>ÉCOEFFICIENCE DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DU LAIT : PRINCIPES, MÉTHODOLOGIES ET APPLICATIONS .....</b>	<b>155</b>	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



# 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 laitières avec probiotiques .....	253	6.6.2.4 Le genre Propionibacterium.....	276
RÉFÉRENCES.....	254	6.6.2.5 Les moisissures .....	277
<b>CHAPITRE 6</b>		6.6.2.6 Les levures.....	278
<b>LES FROMAGES.....</b>	<b>259</b>	6.6.3 Les bactériophages.....	279
DANIEL ST-GELAIS		6.6.3.1 Définition et propagation.....	279
AVEC LA COLLABORATION DE GAÉTAN BÉLANGER,		6.6.3.2 Prévention contre les phages.....	281
ANNIE CARON, SOPHIE TURCOT, SYLVAIN MOINEAU		Rotation des ferments .....	281
ET PATRICK-TIRARD COLLET		Ferments mixtes.....	281
6.1 HISTORIQUE.....	259	Pratiques industrielles.....	282
6.2 DÉFINITION.....	259	6.6.3.3 Résistance des ferments lactiques aux phages.....	282
6.3 APTITUDE DU LAIT À LA TRANSFORMATION FROMAGÈRE .....	260	Systèmes antiphages des bactéries lactiques .....	282
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		

## 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

<b>6.9 PRINCIPAUX PROBLÈMES EN FABRICATION FROMAGÈRE.....</b>	<b>330</b>	<b>CHAPITRE 7</b>	
6.9.1 Défauts liés à la qualité et aux traitements du lait.....	330	<b>BEURRE ET FRACTIONS DE MATIÈRE GRASSE LAITIÈRE.....</b>	<b>339</b>
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		
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>336</b>		

# SCIENCE ET TECHNOLOGIE DU LAIT

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
<b>CHAPITRE 8</b>		8.4 TECHNOLOGIE DE FABRICATION : OPÉRATIONS ET MATÉRIEL.....	375
<b>PRODUITS LAITIERS GLACÉS.....</b>	<b>363</b>	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			
<b>CHAPITRE 9</b>					
<b>LES INGRÉDIENTS LAITIERS..... 389</b>					
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			

<b>9.4 LES PRODUITS DU LACTOSÉRUM .....</b>	<b>422</b>	<b>9.6 LE LACTOSE.....</b>	<b>437</b>
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
$\alpha$ -lactalbumine et $\beta$ -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	<b>9.7 LES CONCENTRÉS DE MINÉRAUX.....</b>	<b>442</b>
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	<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>444</b>
9.4.3.2 Formation de gels.....	432	<b>CHAPITRE 10</b>	
9.4.3.3 Propriétés interfaciales .....	432	<b>HYGIÈNE ET SALUBRITÉ DANS</b>	
9.4.4 Utilisations.....	433	<b>L'INDUSTRIE LAITIÈRE.....</b>	<b>447</b>
9.4.4.1 Produits laitiers.....	433	PASCAL BONNET ET RENÉ TARDIF	
9.4.4.2 Produits alimentaires transformés.	434	<b>10.1 MESURES PRÉVENTIVES RELATIVES À</b>	
<b>9.5 LES FRACTIONS DE LIPIDES COMPLEXES.....</b>	<b>434</b>	<b>L'ORGANISATION ET À LA CONCEPTION DE</b>	
9.5.1 Techniques de fabrication .....	434	<b>L'ENTREPRISE.....</b>	<b>447</b>
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
		<b>10.2 NETTOYAGE.....</b>	<b>450</b>
		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	<b>CHAPITRE 11</b>		
10.3.2.2	Produits de nettoyage alcalins.....	456	<b>RÉGLEMENTATION</b>		
	Alcalins forts.....	457	<b>DES PRODUITS LAITIERS.....</b>	<b>473</b>	
	Alcalins moyens.....	457	GERMAINE FORKWA, WALTER LOZANO ET JEAN-CHRISTOPHE VUILLEMARD		
	Alcalins doux .....	457	11.1	PRINCIPES DE LA RÉGLEMENTATION .....	473
	Alcalins chlorés.....	457	11.1.1	Généralités .....	473
10.3.2.3	Enzymes .....	457	11.1.1.1	Législation et réglementation alimentaires.....	473
10.3.2.4	Peroxyde d'hydrogène.....	457		Portée de la législation alimentaire .....	473
10.3.2.5	Additifs de lavage .....	457			
	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
<b>CHAPITRE 12</b>		12.3.10 Cancer .....	501
<b>LE LAIT ET LA SANTÉ.....</b>	<b>483</b>	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 $\beta$ -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	<b>CHAPITRE 3</b>	
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'écocoefficiance 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 4.8.	Fabrication de lait stérilisé UHT par injection directe de vapeur ..... 196
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 4.9.	Fabrication de lait UHT par stérilisation indirecte ..... 197
Figure 3.8.	Frontières des sous-systèmes du cycle de vie des produits laitiers ..... 164	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 3.9.	Impact environnemental comparé de la production et de la transformation du lait ..... 165	Figure 4.11.	Temps de coagulation du lait écrémé à 140 °C en fonction du pH ..... 203
Figure 3.10.	Indicateurs environnementaux pour 1 litre de lait emballé en brique alimentaire et en bouteille de polyéthylène à haute densité (PEHD) ..... 170	Figure 4.12.	Temps de coagulation du lait écrémé concentré (20 % de solides) à 120 °C en fonction du pH ..... 203
Tableau 3.1.	La consommation énergétique des évaporateurs et des séchoirs ..... 167	Figure 4.13.	Schéma du procédé de fabrication du lait évaporé..... 205
Tableau 3.2.	Énergie requise selon le mode de transport ..... 169	Figure 4.14.	Schéma du procédé de fabrication du lait condensé sucré..... 208
Tableau 3.3.	Indicateurs clés d'écocoefficience en transformation laitière ..... 171	Tableau 4.1.	Exigences légales des laits concentrés au Canada ..... 203
<b>CHAPITRE 4</b>		Tableau 4.2.	Changements physicochimiques du lait durant le chauffage..... 204
Figure 4.1.	Coupe transversale d'un séparateur clarificateur..... 176	Tableau 4.3.	Défauts des laits évaporés et causes potentielles ..... 207
Figure 4.2.	Représentation schématique d'un système de standardisation automatisée du lait..... 178	Tableau 4.4.	Défauts du lait condensé sucré et causes potentielles ..... 209
Figure 4.3.	Tête d'homogénéisateur à deux valves 178	<b>CHAPITRE 5</b>	
Figure 4.4.	Vanne d'homogénéisation Micro-Gap SPX APV ..... 178	Figure 5.1.	Principales voies métaboliques de l'utilisation du lactose par les cultures mésophiles et thermophiles des laits fermentés..... 216
Figure 4.5.	Distribution des diamètres des globules gras en fonction du type d'homogénéisation ..... 180	Figure 5.2.	Production de ferments lactiques en contrôle de pH..... 218
Figure 4.6.	Fabrication de lait pasteurisé avec microfiltration du lait écrémé ..... 189	Figure 5.3.	Association entre <i>Streptococcus thermophilus</i> et <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> . ..... 219
Figure 4.7.	Hydrolyse enzymatique du lactose ..... 190	Figure 5.4.	Schéma du métabolisme complémentaire de <i>Streptococcus thermophilus</i> et de <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> dans le lait..... 220
		Figure 5.5.	Quelques formats de ferments commerciaux..... 221