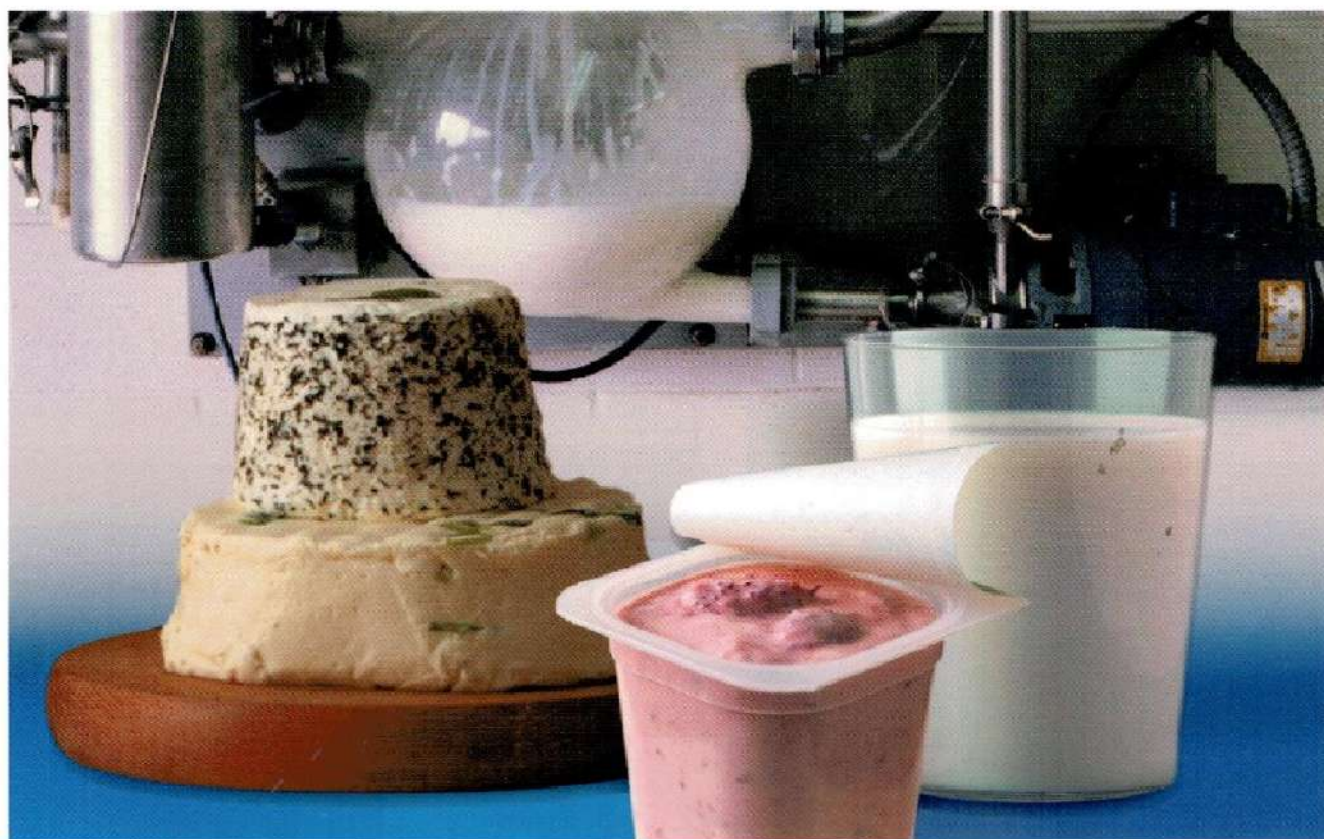


Romain Jeantet • Thomas Croguennec  
Michel Mahaut • Pierre Schuck • Gérard Brulé

# Les produits laitiers

2<sup>e</sup> édition



Editions  
**TEC**  
& **DOC**

*Lavoisier*

2-637-10-1

2-637-10-1



# Les produits laitiers

**Romain Jeantet**

Professeur en génie des procédés et technologie laitière à Agrocampus Rennes.

**Thomas Croguennec**

Maitre de conférences en physicochimie des bioproduits à Agrocampus Rennes.

**Michel Mahaut**

Ingénieur de recherche INRA.

**Pierre Schuck**

Ingénieur de recherches à l'unité mixte de recherche sciences et technologie du lait et de l'œuf de l'INRA (Rennes).

**Gérard Brulé**

Professeur émérite en physicochimie des bioproduits à Agrocampus Rennes.

**Editions  
TEC  
& DOC**

11, rue Lavoisier  
75008 Paris

# Table des matières

Avant-propos .....	III
--------------------	-----

## Chapitre 1

<b>Laits de consommation .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Critères de fabrication et de commercialisation des laits .....</b>	<b>1</b>
1.1. Critères hygiéniques d'ordre microbiologique .....	1
1.2. Critères nutritionnels .....	2
1.2.1. Lactose .....	3
1.2.2. Protéines .....	4
1.2.3. Matière grasse .....	7
1.2.4. Minéraux .....	9
1.2.5. Vitamines .....	10
1.3. Maîtrise de la qualité .....	10
1.4. Influence des traitements sur la valeur nutritionnelle du lait .....	10
1.4.1. Chauffage .....	11
1.4.2. Rayonnements .....	11
1.4.3. Oxydation .....	11
<b>2. Laits boissons .....</b>	<b>11</b>
2.1. Lait cru .....	12
2.2. Lait microfiltré .....	12
2.3. Laits traités thermiquement .....	13
2.3.1. Lait pasteurisé conditionné .....	13
2.3.2. Laits de longue conservation .....	14
2.4. Laits concentrés .....	17
2.4.1. Lait concentré non sucré .....	18
2.4.2. Lait concentré sucré .....	18

2.5. Laits spéciaux . . . . .	18
2.5.1. Laits infantiles . . . . .	18
2.5.2. Laits supplémentés . . . . .	20
2.5.3. Laits modifiés . . . . .	20
2.5.4. Lait biologique . . . . .	21
2.5.5. Les boissons lactées . . . . .	21

### *Chapitre 2*

<b>Laits fermentés et desserts lactés . . . . .</b>	<b>23</b>
1. Yaourt . . . . .	23
1.1. Technologie du yaourt . . . . .	24
1.1.1. Préparation et traitement du lait . . . . .	24
1.1.2. Fermentation . . . . .	26
1.1.3. Conditionnement . . . . .	30
1.2. Accidents de fabrication . . . . .	30
1.2.1. Défauts d'apparence et de texture . . . . .	30
1.2.2. Défauts de goût . . . . .	30
1.3. Intérêts nutritionnels et « thérapeutiques » du yaourt . . . . .	31
2. Laits fermentés par une flore acidifiante autre que celle du yaourt . . . . .	33
2.1. Laits issus de fermentations lactiques . . . . .	33
2.2. Produits issus de fermentations lactiques et alcooliques . . . . .	34
3. Desserts lactés frais . . . . .	34
3.1. Agents texturants . . . . .	35
3.2. Technologie de fabrication des desserts lactés . . . . .	35

### *Chapitre 3*

<b>Fromage . . . . .</b>	<b>37</b>
1. Standardisation physicochimique et biologique des laits . . . . .	38
2. Coagulation . . . . .	39
2.1. Coagulation acide . . . . .	39
2.2. Coagulation par voie enzymatique . . . . .	40
2.3. Coagulation mixte . . . . .	40
3. Égouttage . . . . .	41
3.1. Facteurs d'égouttage des gels lactique et présure . . . . .	41
3.2. Bilan matière, rendements et taux de récupération . . . . .	43
3.3. Cinétiques d'égouttage et d'acidification : diversité fromagère . . . . .	43
3.4. Découplage des cinétiques d'égouttage et d'acidification . . . . .	49

4. L'affinage .....	50
4.1. Les substrats .....	51
4.2. Les agents d'affinage .....	51
4.2.1. Enzymes du lait .....	51
4.2.2. Enzymes coagulants .....	51
4.2.3. Enzymes d'origine microbienne .....	51
4.3. Influence de l'affinage sur la flaveur des fromages .....	52
5. Les accidents de fromagerie et les défauts des fromages .....	53
5.1. Les défauts de coagulation et d'égouttage .....	53
5.2. Les défauts d'affinage .....	54
5.2.1. Défauts de texture et gonflements .....	54
5.2.2. Défauts d'aspect .....	54
5.2.3. Défauts de saveur et d'arôme .....	54

### *Chapitre 4*

<b>Crème et beurre .....</b>	<b>57</b>
1. Crème .....	57
1.1. Obtention des crèmes .....	57
1.1.1. Écrémage spontané ou crémage .....	57
1.1.2. Écrémage centrifuge .....	58
1.2. Préparation des crèmes de consommation .....	60
1.2.1. Crème pasteurisée .....	60
1.2.2. Crème UHT .....	63
1.2.3. Crème fouettée .....	63
1.3. Valeur nutritionnelle .....	63
2. Beurres .....	63
2.1. Définition et dénominations .....	64
2.1.1. Définition .....	64
2.1.2. Dénominations .....	64
2.2. Technologie traditionnelle du beurre .....	65
2.2.1. Préparation de la crème .....	66
2.2.2. Maturation .....	67
2.2.3. Passage de la crème au beurre .....	70
2.3. Autres procédés .....	76
2.3.1. Procédé NIZO .....	76
2.3.2. Procédé par cristallisation (Alpha Blend) .....	77
2.3.3. Produits nouveaux .....	78
2.4. Rendement .....	80
2.4.1. Facteur de rendement ou « overun » .....	81
2.4.2. Rendement beurrier .....	81
2.4.3. Bilan matière grasse ou rendement réel .....	82

2.5. Défauts et altérations du beurre . . . . .	82
2.5.1. Défauts . . . . .	82
2.5.2. Altérations de la matière grasse laitière . . . . .	83
2.6. Coproduits de la beurrerie . . . . .	83
2.6.1. Babeurre . . . . .	84
2.6.2. Eaux de lavage du beurre . . . . .	85
2.7. Qualités nutritionnelles du beurre . . . . .	85

### *Chapitre 5*

<b>Glaces et crème glacées . . . . .</b>	<b>87</b>
1. Matières premières . . . . .	88
1.1. Matière grasse . . . . .	88
1.2. Extrait sec dégraissé du lait (ESD) . . . . .	88
1.3. Substances sucrantes . . . . .	89
1.4. Stabilisants . . . . .	89
1.4.1. Les hydrocolloïdes . . . . .	89
1.4.2. Les émulsifiants . . . . .	90
1.5. Œufs . . . . .	90
1.6. Fruits, arômes et colorants . . . . .	90
1.7. Additifs chimiques . . . . .	90
2. Technologie de fabrication . . . . .	91
2.1. Mélange, homogénéisation et pasteurisation . . . . .	92
2.2. Maturation . . . . .	92
2.3. Glaçage ou précongélation et foisonnement . . . . .	92
2.4. Formage . . . . .	93
2.5. Congélation . . . . .	93
2.6. Conditionnement-emballage . . . . .	94
2.7. Stockage et distribution . . . . .	95
3. Mécanismes physicochimiques . . . . .	95
3.1. Description des différents états de dispersion dans le mix . . . . .	95
3.2. Effets du glaçage et de la congélation . . . . .	95
3.2.1. Sous refroidissement . . . . .	96
3.2.2. Nucléation . . . . .	96
3.2.3. Croissance des cristaux . . . . .	97
3.3. Foisonnement . . . . .	98
4. Composition et valeur nutritionnelle . . . . .	99
5. Produits particuliers . . . . .	99
5.1. Glace au yaourt . . . . .	99
5.2. Glaces diététiques . . . . .	100
5.3. Produits à base de substituts du lait écrémé . . . . .	100

## Chapitre 6

<b>Produits déshydratés</b> .....	<b>101</b>
1. Présentation générale des opérations .....	101
1.1. Concentration par ESV .....	101
1.1.1. Principes .....	101
1.1.2. Matériel .....	104
1.1.3. Énergie .....	105
1.1.4. Intérêt de la concentration par ESV .....	109
1.2. Séchage .....	109
1.2.1. Séchage sur cylindres chauffants .....	110
1.2.2. Séchage par pulvérisation .....	112
2. Qualité des produits laitiers déshydratés .....	122
2.1. Propriétés biochimiques et physicochimiques .....	123
2.1.1. Teneur en eau .....	123
2.1.2. État de l'eau .....	124
2.1.3. Modifications des protéines .....	129
2.2. Propriétés microbiologiques .....	132
2.3. Propriétés technologiques .....	132
2.4. Propriétés nutritionnelles .....	132
2.5. Propriétés d'usage .....	134
2.5.1. Taille des particules .....	134
2.5.2. Masse volumique .....	134
2.5.3. Propriétés d'hydratation .....	135
2.5.4. Écoulement-éboulement .....	139
2.5.5. Exemples de propriétés fonctionnelles .....	141

## Chapitre 7

<b>Ingédients protéiques</b> .....	<b>143</b>
1. Concentrés de protéines lactières .....	144
1.1. Coprécipités .....	144
1.2. Concentrés de protéines de lait par ultrafiltration .....	145
2. Caséines et caséinates .....	147
2.1. Fabrication .....	147
2.1.1. Caséine acide .....	147
2.1.2. Caséinates solubles .....	149
2.1.3. Paracaséinate de calcium (caséine présure) .....	150
2.1.4. Phosphocaséinates natifs (PPCN) .....	151
2.1.5. Caséines individuelles .....	152

2.2. Composition et valeur nutritionnelle des caséines et caséinates . . .	152
2.3. Utilisation des caséines et caséinates . . . . .	154
2.3.1. Caséine présure . . . . .	154
2.3.2. Caséines acides . . . . .	154
2.3.3. Caséinates. . . . .	155
3. Concentration et séparation des protéines de lactosérum . . . . .	156
3.1. Concentrés et isolats de protéines de lactosérum. . . . .	156
3.2. Séparation de l' $\alpha$ -lactalbumine de la $\beta$ -lactoglobuline . . . . .	159
3.3. Lactopéroxydase et lactoferrine . . . . .	160
4. Fragmentation des protéines et séparation des peptides . . . . .	161
4.1. Hydrolyse enzymatique des protéines en réacteurs à membrane. . .	161
4.1.1. Production de phosphopeptides . . . . .	162
4.1.2. Production de peptides bioactifs à partir des caséines individuelles. . . . .	164

### *Chapitre 8*

<b>Lactose . . . . .</b>	<b>165</b>
1. Extraction / purification du lactose . . . . .	166
1.1. Séparation et extraction des éléments non glucidiques . . . . .	167
1.2. Séparation après cristallisation. . . . .	168
2. Hydrolyse du lactose . . . . .	169
2.1. Hydrolyse chimique . . . . .	170
2.2. Hydrolyse enzymatique . . . . .	170
2.2.1. Procédé d'hydrolyse par enzyme libre. . . . .	170
2.2.2. Procédé d'hydrolyse par enzyme fixée . . . . .	170
2.2.3. Réacteur à membrane. . . . .	170
3. Propriétés des principaux dérivés chimiques et enzymatiques du lactose	172
3.1. Produits à lactose hydrolysé. . . . .	172
3.2. Lactulose . . . . .	172
3.3. Lactosyl urée . . . . .	173
3.4. Lactitol . . . . .	173
3.5. Acide lactobionique . . . . .	173
4. Bioconversion du lactose. . . . .	173
4.1. Fermentation aérobie : production de levures. . . . .	174
4.2. Fermentation anaérobie . . . . .	175
4.2.1. Éthanol . . . . .	175
4.2.2. Méthane . . . . .	175
4.2.3. Acides organiques . . . . .	176
<b>Conclusion . . . . .</b>	<b>177</b>
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>179</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>183</b>