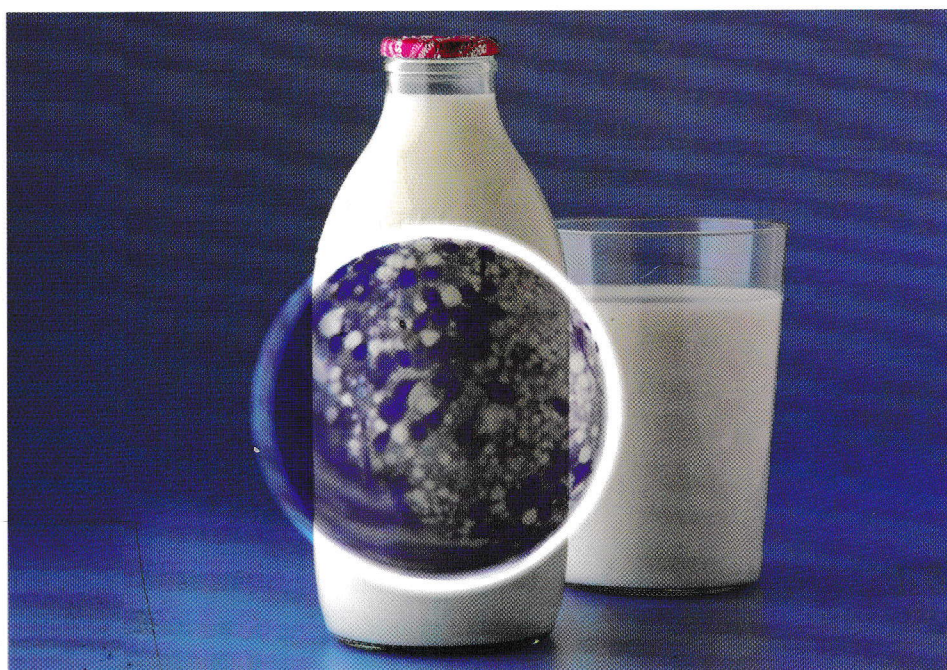


Thomas Croguennec • Romain Jeantet
Gérard Brulé

Fondements physicochimiques de la technologie laitière



Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

À l'interface de la science du lait et de la technologie des produits laitiers, *Fondements physicochimiques de la technologie laitière* décrit de façon synthétique les principales caractéristiques physicochimiques des constituants du lait qui permettent d'expliquer leurs comportements au cours des divers traitements technologiques.

En mobilisant les acquis les plus récents de la science du lait et en développant une démarche raisonnée, les techniciens peuvent mieux comprendre et appréhender les mécanismes impliqués dans l'élaboration des produits laitiers tels que les procédés d'extraction et de purification, mieux maîtriser les étapes successives de transformation du lait et optimiser ainsi la production.

Cet ouvrage est destiné aux ingénieurs et techniciens de l'industrie laitière exerçant des activités en production ou en recherche et développement ainsi qu'aux étudiants des filières agroalimentaires (niveau master et écoles ingénieurs). Il s'adresse également à toute personne souhaitant élargir ses connaissances dans la compréhension des mécanismes physicochimiques intervenant dans les opérations de transformation du lait.

Thomas Croguennec, Romain Jeantet et Gérard Brulé enseignent tous les trois au sein du département agroalimentaire d'Agrocampus Rennes. Ils ont également participé à la rédaction de *Produits laitiers* (2^e édition), *Initiation à la technologie laitière*, *Génie des procédés appliqué à l'industrie laitière* ainsi que *Sciences des aliments*, parus aux éditions Tec & Doc.

978-2-7430-1033-1



9 782743 010331

BI

10

écennies,
r tant au
ifiques et
nt permis
la qualité
s dans la
canismes
nt permis
ecture des
persés du
ditions du
logiques.
ont forte-
mmation
us du lait

naissances
acun des
ent ou en
et expli-
exploiter
ngénieurs
chnologie
cune des
aisonnée,
optimiser

Table des matières

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

Chapitre 1

Composition et caractéristiques physicochimiques des laits	1
1. Composition et facteurs de variation	1
1.1. Influence des espèces et des races	1
1.2. Influence du stade de lactation	3
1.3. Influence de l'alimentation et de la saison	4
1.4. Influence de l'état sanitaire	5
2. Propriétés physicochimiques du lait	5
2.1. Masse volumique	6
2.2. Pression osmotique, points de congélation et d'ébullition	7
2.3. Acidité (pH, acidité titrable)	8
2.4. Potentiel d'oxydoréduction	8

Chapitre 2

Le lactose	11
1. Structure	11
2. Pouvoir sucrant	12
3. Pouvoir réducteur	13
4. Mutarotation	16
4.1. Suivi de la mutarotation	16
4.2. Cinétique de mutarotation	17
4.3. Équilibre thermodynamique	18
4.4. Effets des conditions physicochimiques	
sur la mutarotation	18
4.4.1. Température	18
4.4.2. pH	18
4.4.3. Autres paramètres physicochimiques	19

5. Solubilité	19
6. Cristallisation	21
6.1. Mécanisme de cristallisation	22
6.1.1. Nucléation	23
6.1.2. Croissance des cristaux	26
6.1.3. Cristaux de lactose	28
6.2. Extraction/purification du lactose	28
6.2.1. Extraction et purification du lactose par cristallisation	30
6.2.2. Production du lactose spray	31
6.3. Cristallisation dans les produits laitiers concentrés	32
6.3.1. Fabrication des poudres de lactosérum	34
6.3.2. Lait concentré sucré	35
7. Stabilité du lactose amorphe	35
7.1. Température de transition vitreuse	37
7.2. Stabilité des produits laitiers déshydratés : poudres de lait	38
7.3. Stabilité des produits laitiers congelés : crèmes glacées	40
8. Dérivés du lactose	41
8.1. Modifications enzymatiques	41
8.2. Modifications physicochimiques	43
8.2.1. Lactulose	43
8.2.2. Lactitol	43
8.2.3. Acide lactobionique	43
8.2.4. Lactosyl urée	44
8.3. Produits de fermentation	44

Chapitre 3

La matière grasse laitière	45
1. Composition de la matière grasse laitière	45
1.1. Triacylglycerols	45
1.2. Glycérides partiels et acides gras libres	48
1.3. Phospholipides	48
1.4. Insaponifiable	49
2. Membrane du globule gras	49
2.1. Membrane native des globules gras	49
2.1.1. Composition	49
2.1.2. Structure	50
2.1.3. Caractéristiques	51
2.2. Influence des traitements technologiques sur la membrane des globules gras	51
2.2.1. Exposition à l'air	52
2.2.2. Cisaillements	52
2.2.3. Traitements thermiques	53

19	3. Propriétés physiques de la matière grasse	54
21	3.1. Propriétés thermiques (cristallisation/fusion).	54
22	3.1.1. Polymorphisme des triacylglycérols	54
23	3.1.2. Propriétés de cristallisation des triacylglycérols	56
26	3.1.3. Profil thermique de la matière grasse laitière.	58
28	3.2. Fractionnement de la matière grasse	60
28	3.3. Tartinabilité des beurres.	62
30	4. Propriétés chimiques de la matière grasse.	64
31	4.1. Lipolyse	64
32	4.2. Oxydation	65
34	4.2.1. Initiation.	66
35	4.2.2. Propagation	66
35	4.2.3. Terminaison	66
37	4.2.4. Facteurs influençant l'oxydation de la matière grasse laitière	67
38	5. Stabilité de l'émulsion laitière.	68
40	5.1. Crémage	68
41	5.1.1. Crémage naturel.	68
41	5.1.2. Écrémage centrifuge	69
43	5.1.3. Effet de l'homogénéisation	69
43	5.2. Floculation/coalescence	71
43	5.3. Coalescence partielle	72
43	5.3.1. Principe de la coalescence partielle	72
44	5.3.2. Coalescence partielle et émulsions foisonnées	73
44	5.4. Inversion de phase	74

Chapitre 4

45	Les protéines du lait	77
45	1. Propriétés générales des protéines	77
45	1.1. Définition du point isoélectrique des protéines	77
48	1.2. Solubilité et hydratation	80
48	1.3. Dénaturation	82
49	1.4. Propriétés interfaciales.	82
49	2. Composition protéique des laits	83
49	3. Caséines.	84
49	3.1. Caractéristiques physicochimiques des caséines	84
50	3.2. Autoassociation des caséines	87
51	3.3. Structure et propriétés des micelles de caséines	89
51	3.3.1. Caractéristiques physiques	89
52	3.3.2. Modèles de structure des micelles de caséines	90
52	3.3.3. Dynamique de la micelle	93
53	3.3.4. Stabilité des micelles	94

3.4. Extraction/séparation des caséines	94
3.4.1. Caséines acides	94
3.4.2. Caséine présure	95
3.4.3. Caséinates.	96
3.4.4. Séparation des caséines	96
3.5. Propriétés fonctionnelles des caséinates	97
3.5.1. Solubilité	97
3.5.2. Propriétés de texturation	98
3.5.3. Propriétés interfaciales.	98
4. Protéines solubles	99
4.1. Caractéristiques physicochimiques des protéines solubles	99
4.1.1. β -lactoglobuline	100
4.1.2. α -lactalbumine	101
4.1.3. Sérum albumine	102
4.1.4. Lactoferrine	102
4.1.5. Immunoglobulines	103
4.2. Extraction/séparation des protéines solubles	103
4.2.1. Extraction par insolubilisation	104
4.2.2. Extraction par ultrafiltration.	104
4.2.3. Extraction par chromatographie en échange d'ions.	104
4.2.4. Séparation des protéines solubles	104
4.3. Propriétés fonctionnelles des protéines sériques	105
4.3.1. Solubilité	106
4.3.2. Propriétés thermogélifiantes	106
4.3.3. Propriétés interfaciales	107
5. Enzymes	107
5.1. Hydrolases	107
5.1.1. Protéase alcaline ou plasmine (EC 3.4.21.7)	107
5.1.2. Lipase (EC 3.1.1.3)	108
5.1.3. Phosphatase alcaline (EC 3.1.3.1)	108
5.2. Oxydoréductases	109
5.2.1. Xanthine oxydase (EC 1.2.3.2)	109
5.2.2. Lactoperoxydase (EC 1.11.1.7)	109

Chapitre 5

Les minéraux du lait	111
1. Composition et facteurs de variation	111
2. Répartition des minéraux entre les différentes phases du lait	112

94	3. Concentration des différentes espèces ioniques	113
94	4. Équilibres ioniques et facteurs de variation	115
95	4.1. Influence du pH	116
96	4.2. Influence de la température	118
96	4.3. Influence de l'addition d'espèces ioniques.	120
97	5. Dynamique de la micelle	120
97	6. Rôle des minéraux et conséquences	
98	dans le traitement et la transformation	
98	des fluides laitiers	122
99	6.1. Traitements thermiques des fluides laitiers	122
99	6.1.1. Encrassement des échangeurs	122
100	6.1.2. Destabilisation du lait	123
101	6.2. Concentration et séchage des fluides laitiers	123
102	6.2.1. Concentration par évaporation et par ultrafiltration	123
102	6.2.2. Séchage	124
103	6.3. Transformation du lait en fromage	125
103	6.3.1. Acidification (effet tampon)	125
104	6.3.2. Coagulation enzymatique	128
104	6.3.3. Égouttage et caractéristiques des caillés	128
104	6.3.4. Affinage	129

Chapitre 6

107	Stabilité des micelles de caséines	131
107	1. Destabilisation thermique des micelles de caséines	131
107	1.1. Modifications thermiques des constituants du lait	132
108	1.1.1. Dégradation du lactose	132
108	1.1.2. Dénaturation des protéines	132
109	1.1.3. Solubilité des sels phosphocalciques	133
109	1.2. Agrégation thermique des micelles de caséines	133
109	2. Destabilisation isoélectrique	136
111	2.1. Modifications physicochimiques de la micelle de caséines	
111	au cours de l'acidification	136
111	2.2. Influence des paramètres de coagulation	
112	sur les caractéristiques des gels	139
	2.2.1. Traitements thermiques des laits	139
	2.2.2. Homogénéisation	140
	2.2.3. Température et cinétique d'acidification	141
	2.2.4. Addition de chélatant calcique	143