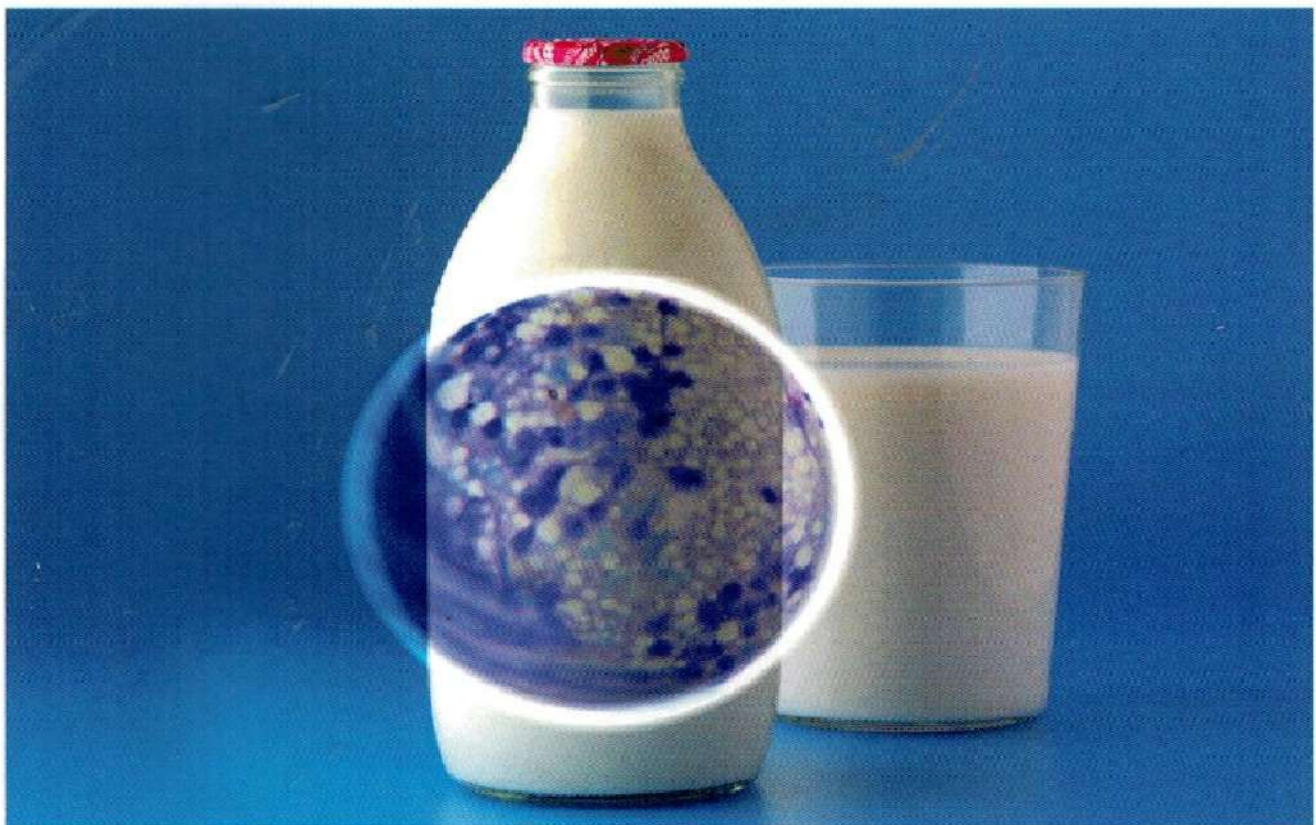


Thomas Croguennec • Romain Jeantet
Gérard Brulé

Fondements physicochimiques de la technologie laitière



Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

2-637-11-1



Fondements physicochimiques de la technologie laitière

Thomas Croguennec

Maître de conférences en physicochimie des bioproduits
à Agrocampus Rennes.

Romain Jeantet

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

Gérard Brulé

Professeur émérite à Agrocampus Rennes.

Editions
TEC
& **DOC**

11, rue Lavoisier
75008 Paris

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

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

Chapitre 4

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

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

Chapitre 6

Stabilité des micelles de caséines	131
1. Déstabilisation thermique des micelles de caséines	131
1.1. Modifications thermiques des constituants du lait	132
1.1.1. Dégradation du lactose	132
1.1.2. Dénaturation des protéines	132
1.1.3. Solubilité des sels phosphocalciques	133
1.2. Agrégation thermique des micelles de caséines	133
2. Déstabilisation isoélectrique	136
2.1. Modifications physicochimiques de la micelle de caséines au cours de l'acidification	136
2.2. Influence des paramètres de coagulation 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

3. Déstabilisation enzymatique	143
3.1. Modélisation de la coagulation présure	143
3.1.1. Hydrolyse enzymatique	144
3.1.2. Agrégation des micelles de caséines	145
3.1.3. Réticulation	146
3.2. Les facteurs de la coagulation présure	147
3.2.1. Influence des conditions physicochimiques	147
3.2.2. Influence des traitements technologiques	151
Bibliographie	155