

Michel Mahaut • Romain Jeantet • Gérard Brulé

Initiation à la technologie fromagère



Editions
TEC
& **DOC**

Cet ouvrage présente les principales étapes de l'industrie fromagère, de la coagulation du lait à l'affinage des grandes familles de fromages.

En s'appuyant sur les récents acquis de la science laitière, *Initiation à la technologie fromagère* permet de mieux appréhender les mécanismes physicochimiques et biologiques impliqués dans les transformations successives du lait. Il permet ainsi une plus grande maîtrise de la qualité des produits élaborés, notamment par l'analyse des accidents de fromagerie et des défauts de coagulation, d'égouttage et d'affinage les plus fréquents.

Cet ouvrage synthétique s'adresse aux techniciens de l'industrie laitière ainsi qu'aux étudiants des filières agroalimentaires (BTS industries agroalimentaires, IUT génie biologique, option industries alimentaires et biologiques, écoles d'ingénieurs en agroalimentaire...).

Michel Mahaut, Romain Jeantet et Gérard Brulé enseignent tous les trois au sein du département Agroalimentaire de l'École nationale supérieure agronomique de Rennes. Ils sont également les auteurs d'un deuxième ouvrage consacré aux *Produits industriels laitiers* (Éditions Tec & Doc, 2000).

2-7430-0408-8



9782743004087

Table des matières

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

Chapitre 1 Le lait

1. Sécrétion du lait.....	1
2. Physicochimie et biochimie du lait	2
2.1. Composition du lait.....	2
2.2. Quelques propriétés physico-chimiques du lait	5
2.2.1. Masse volumique à 20 °C	5
2.2.2. Viscosité à 20 °C.....	5
2.2.3. Point de congélation.....	5
2.2.4. pH et acidité	5
2.2.5. État de l'eau.....	5
3. Constituants.....	6
3.1. Lipides.....	6
3.1.1. Composition de la matière grasse du lait	6
3.1.2. Structure du globule gras.....	8
3.1.3. Évolution biochimique et chimique de la matière grasse.....	10
3.2. Matières azotées	11
3.2.1. Caséines.....	12
3.2.2. Protéines solubles ou azote protéique non caséinique	17
3.2.3. Matières azotées non protéiques (NPN).....	17
3.2.4. Minéraux du lait	17
3.2.5. Lactose	18
3.2.6. Vitamines	20
3.2.7. Enzymes	20

Chapitre 2

Généralités sur la technologie fromagère

1. Standardisation physicochimique et biologique des laits.....	24
2. Coagulation	25
2.1. Coagulation acide.....	25
2.2. Coagulation par voie enzymatique.....	25
2.2.1. Phase primaire	25
2.2.2. Phase secondaire	26
2.2.3. Phase tertiaire	26
2.3. Coagulation mixte	26
3. Égouttage.....	26
3.1. Égouttage du gel lactique	26
3.2. Égouttage du gel présure et du gel mixte	27
4. Affinage.....	27
4.1. Substrat.....	28
4.2. Agents d'affinage	28
4.3. Influence de l'affinage sur la flaveur des fromages	29
5. Accidents de fromagerie et défauts des fromages.....	29
5.1. Défauts de coagulation et d'égouttage	30
5.2. Défauts d'affinage.....	30
5.2.1. Défauts de texture et de gonflements	30
5.2.2. Défauts d'aspect et de croûtage.....	30
5.2.3. Défauts de saveur et d'arôme	31

Chapitre 3

Préparation des laits de fromagerie

1. Standardisation physicochimique.....	34
1.1. Standardisation en matières azotées protéiques des laits	34
1.1.1. Élimination de l'eau par évaporation ou par osmose inverse.....	39
1.1.2. Concentration par nanofiltration	39
1.1.3. Concentration par ultrafiltration.....	39
1.1.4. Enrichissement du lait en caséinates	40
1.1.5. Enrichissement du lait en caséine native par microfiltration	40
1.2. Standardisation en matière grasse des laits	40
1.3. Équilibres salins du lait, ajustement du pH et teneur en lactose	42
1.3.1. Équilibres salins	42
1.3.2. pH d'emprésurage	46
1.3.3. Lactose	46
2. Standardisation biologique.....	48
2.1. Laits réfrigérés	48
2.2. Schémas technologiques	50
2.3. Bactéries lactiques.....	51

24	2.4. Formes d'ensemencement.....	51
25	2.4.1. Levains traditionnels.....	52
25	2.4.2. Ensemencement en cuve à levain.....	53
25	2.4.3. Ensemencement direct des laits de fabrication.....	54

Chapitre 4 Coagulation

26	1. Méthodes de mesure.....	56
26	1.1. Méthode visuelle.....	56
26	1.2. Méthodes physiques.....	56
27	1.2.1. Méthodes rhéologiques.....	56
27	1.2.2. Méthodes de comptage particulaire.....	57
28	1.2.3. Méthode ultrasonique.....	57
28	1.2.4. Méthodes optiques.....	57
29	1.3. Méthode chimique.....	57
29	1.4. Méthode thermique.....	58
30	2. Coagulation proprement dite.....	58
30	2.1. Stabilité de la micelle.....	58
30	2.2. Coagulation du lait par acidification.....	59
30	2.2.1. Mécanisme de la coagulation acide.....	59
31	2.2.2. Facteurs de la coagulation acide.....	59
	2.3. Coagulation du lait par voie enzymatique.....	61
	2.3.1. Enzymes coagulantes.....	61
	2.3.2. Mécanisme de la coagulation enzymatique.....	64
	2.3.3. Facteurs de la coagulation enzymatique du lait.....	66

Chapitre 5 Égouttage du coagulum

34	1. Mécanisme de l'égouttage.....	77
34	1.1. Égouttage du coagulum acide.....	77
39	1.2. Égouttage du coagulum présure.....	78
39	1.3. Égouttage du coagulum mixte.....	78
40	2. Facteurs d'égouttage.....	79
40	2.1. Tranchage.....	79
42	2.2. Brassage.....	81
42	2.3. Chauffage.....	82
46	2.4. Pressage.....	82
46	2.5. Acidification.....	83
48	2.6. Autres facteurs.....	85
48	2.6.1. Dose de présure.....	85
50	2.6.2. Traitement thermique du lait.....	85
51	2.6.3. Homogénéisation.....	85

2.7. Salage	86
2.7.1. Rôle du salage	86
2.7.1. Mécanismes de diffusion du sel	89
2.7.3. Saumures de fromagerie	92
3. Caractéristiques physicochimiques des différentes classes de fromages	95
3.1. Caillés lactiques	97
3.2. Caillés mixtes à dominante lactique	97
3.3. Caillés mixtes à caractère présure dominant	97
3.4. Caillés présure	97
4. Rendements fromagers	97

Chapitre 6

Affinage

1. Substrat	101
2. Agents d'affinage	102
2.1. Enzymes naturelles du lait	102
2.1.1. Plasmine	102
2.1.2. Lipase	103
2.1.3. Autres enzymes	103
2.2. Présure	103
2.3. Grands groupes microbiens des fromages	105
2.3.1. Bactéries lactiques	105
2.3.2. Bactéries propioniques (<i>Propionibacterium</i>)	108
2.3.3. Microcoques et bactéries corynéformes	108
2.3.4. Levures	109
2.3.5. Moisissures	109
2.4. Principaux systèmes enzymatiques d'origine microbienne	112
2.4.1. Enzymes protéolytiques	113
2.4.2. Lipases	113
2.4.3. Systèmes actifs sur les acides aminés	115
2.4.4. Systèmes actifs sur les acides gras	116
3. Contrôle de l'affinage	116
3.1. Température	116
3.2. pH	118
3.3. Activité de l'eau (a_w)	120
3.4. Aération et composition de l'atmosphère	122
4. Évolution des constituants du caillé	123
4.1. Fermentation du lactose et transformations de l'acide lactique	123
4.2. Lipolyse et dégradation des acides gras	126
4.3. Protéolyse et dégradation des acides aminés	129
4.4. Dynamique minérale	130
5. Influence de l'affinage sur la flaveur des fromages	131
5.1. Fromages de type pâte fraîche	132
5.2. Fromages à pâte molle à croûte fleurie	132
5.3. Pâtes molles à croûte lavée	133

5.4. Fromages à pâte persillée	133
5.5. Fromages à pâte pressée.....	133
5.6. Fromages à pâte pressée cuite	134

Chapitre 7

Accidents de fromagerie et défauts des fromages

1. Défauts de coagulation et d'égouttage	137
1.1. Facteurs d'inhibition et substances stimulantes du lait cru	138
1.1.1. Facteurs inhibiteurs naturels du lait cru	138
1.1.2. Influence des substances stimulantes et du traitement thermique sur la croissance des bactéries lactiques.....	138
1.1.3. Facteurs exogènes	139
1.2. Facteurs affectant la coagulation et l'égouttage.....	140
1.2.1. Laits de mammite	141
1.2.2. Laits réfrigérés.....	143
2. Défauts d'affinage	143
2.1. Défauts de texture et de gonflements	143
2.1.1. Pâte sèche	143
2.1.2. Pâte coulante	144
2.1.3. Fromage sans ouverture	144
2.1.4. Fromage lainé.....	144
2.1.5. Fromage trop ouvert.....	144
2.1.6. Gonflements précoces	145
2.1.7. Gonflements tardifs ou gonflements butyriques	145
2.2. Défauts d'aspect et de croûtage.....	146
2.2.1. Accidents du « bleu »	146
2.2.2. « Poil de chat »	147
2.2.3. « Graisse » ou « peau de crapaud ».....	147
2.2.4. Autres défauts d'origine fongique.....	147
2.2.5. Défauts dus aux bactéries.....	148
2.2.6. Croûte cartonneuse.....	148
2.3. Défauts de saveur et d'arôme	148
2.3.1. Défauts de saveur et d'amertume	148
2.3.2. Goût de rance	149
2.3.3. Autres défauts de flaveur.....	150

Chapitre 8

Technologies comparées des grands types de fromages

1. Grandes familles de fromages	154
1.1. Fromages frais.....	154
1.1.1. Technologie.....	155
1.1.2. Qualités nutritionnelles des fromages frais	160

1.2. Pâtes molles à croûte fleurie ou lavée	160
1.3. Pâtes persillées	167
1.4. Fromages à pâte pressée	167
1.5. Pâtes dures	168
1.6. Pâtes filées	173
1.7. Fromages fondus	173
2. Qualités nutritionnelles et hygiéniques	176
2.1. Intérêt nutritionnel	176
2.2. Qualité hygiénique	177
3. Classification	177
3.1. Classification didactique	177
3.2. Classification technologique	177
3.3. Classification officielle	179
Bibliographie	181
Index	187