

Romain Jeantet ▾ Thomas Croguennec
Gilles Garric ▾ Gérard Brulé

INITIATION À LA TECHNOLOGIE FROMAGÈRE

2^e édition



Lavoisier
TEC & DOC

2-637-4-1

2-637-4-1



**Initiation à la technologie
fromagère**

Table des matières

| | |
|---|----|
| Avant-propos | XI |
| Chapitre 1 | |
| Le lait | 1 |
| 1. Physicochimie et biochimie du lait | 1 |
| 1.1. Composition du lait | 1 |
| 1.2. Quelques propriétés physicochimiques du lait | 4 |
| 1.2.1. Masse volumique à 20 °C | 4 |
| 1.2.2. Viscosité à 20 °C | 4 |
| 1.2.3. Point de congélation | 4 |
| 1.2.4. pH et acidité | 4 |
| 1.2.5. État de l'eau | 4 |
| 2. Constituants | 5 |
| 2.1. Lipides | 5 |
| 2.1.1. Composition de la matière grasse du lait | 5 |
| 2.1.2. Structure du globule gras | 7 |
| 2.1.3. Évolution biochimique, chimique et physique de la matière grasse | 10 |
| 2.2. Matières azotées | 11 |
| 2.2.1. Caséines | 12 |
| 2.2.2. Protéines solubles ou azote protéique non caséinique | 18 |
| 2.2.3. Matières azotées non protéiques (NPN) | 18 |
| 2.3. Minéraux du lait | 18 |
| 2.4. Lactose | 20 |
| 2.5. Vitamines | 21 |
| 2.6. Enzymes | 22 |
| Chapitre 2 | |
| Généralités sur la technologie fromagère | 23 |
| 1. Classification et réglementation | 24 |
| 2. Standardisation physicochimique et biologique des laits | 28 |
| 3. Coagulation | 30 |
| 3.1. Coagulation acide | 30 |
| 3.2. Coagulation par voie enzymatique | 31 |
| 3.3. Coagulation mixte | 31 |
| 4. Égouttage | 31 |
| 4.1. Facteurs d'égouttage des gels lactique et présure | 31 |
| 4.2. Bilan matière, rendements et taux de récupération | 33 |
| 4.3. Cinétiques d'égouttage et d'acidification : diversité fromagère | 34 |
| 4.4. Découplage des cinétiques d'égouttage et d'acidification | 36 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5. | Affinage | 37 |
| 5.1. | Substrats | 38 |
| 5.2. | Agents d'affinage | 38 |
| 5.2.1. | Enzymes du lait | 38 |
| 5.2.2. | Enzymes coagulantes | 38 |
| 5.2.3. | Enzymes d'origine microbienne | 38 |
| 5.3. | Influence de l'affinage sur la saveur des fromages | 39 |
| 6. | Accidents de fromagerie et défauts des fromages | 40 |
| 6.1. | Défauts de coagulation et d'égouttage | 40 |
| 6.2. | Défauts d'affinage | 41 |
| 6.2.1. | Défauts de texture et gonflements | 41 |
| 6.2.2. | Défauts d'aspect (croûtage et moisissures indésirables) | 41 |
| 6.2.3. | Défauts de saveur et d'arôme | 41 |

Chapitre 3

| | |
|---|----|
| Préparation des laits de fromagerie | 43 |
| 1. Standardisation physicochimique | 43 |
| 1.1. Standardisation en matières azotées protéiques des laits | 44 |
| 1.1.1. Élimination de l'eau par évaporation, ou par osmose inverse | 48 |
| 1.1.2. Concentration par nanofiltration | 49 |
| 1.1.3. Concentration par ultrafiltration | 49 |
| 1.1.4. Enrichissement du lait en caséinates | 50 |
| 1.1.5. Enrichissement du lait en caséine native par microfiltration | 50 |
| 1.2. Standardisation en matière grasse des laits | 50 |
| 1.2.1. Standardisation quantitative | 50 |
| 1.2.2. Standardisation qualitative | 52 |
| 1.3. Équilibres salins du lait, ajustement du pH et teneur en lactose | 53 |
| 1.3.1. Équilibres salins | 53 |
| 1.3.2. pH d'emprésurage | 57 |
| 1.3.3. Lactose | 58 |
| 2. Standardisation biologique | 59 |
| 2.1. Laits réfrigérés | 59 |
| 2.2. Schémas technologiques | 61 |
| 2.3. Bactéries lactiques | 61 |
| 2.4. Les différentes formes d'ensemencement | 63 |
| 2.4.1. Levains traditionnels | 64 |
| 2.4.2. Cuve à levains | 64 |
| 2.4.3. Ensemencement direct des laits de fabrication | 65 |

Chapitre 4

| | |
|--|----|
| Coagulation | 67 |
| 1. Mécanismes de coagulation | 68 |
| 1.1. Coagulation par acidification (isoélectrique) | 68 |
| 1.1.1. Modifications physicochimiques de la micelle au cours de l'acidification | 68 |
| 1.1.2. Influence des paramètres de coagulation sur les caractéristiques des gels | 70 |
| 1.2. Coagulation enzymatique | 73 |
| 1.2.1. Enzymes coagulantes | 73 |

| | |
|---|----|
| 1.2.2. Modélisation de la coagulation présure | 75 |
| 1.2.3. Facteurs de la coagulation présure | 78 |
| 1.3. Thermogélification | 86 |
| 2. Suivi de la coagulation | 86 |
| 2.1. Méthode visuelle | 86 |
| 2.2. Méthodes physiques | 86 |
| 2.2.1. Méthodes rhéologiques | 86 |
| 2.2.2. Méthodes de comptage particulaire | 87 |
| 2.2.3. Méthode ultrasonique | 87 |
| 2.2.4. Méthodes optiques | 88 |
| 2.3. Méthode chimique | 88 |
| 2.4. Méthode thermique | 88 |

Chapitre 5

| | |
|---|-----|
| Égouttage du coagulum | 89 |
| 1. Mécanisme de l'égouttage | 89 |
| 1.1. Égouttage du coagulum acide | 89 |
| 1.2. Égouttage du coagulum présure | 89 |
| 1.3. Égouttage du coagulum mixte | 90 |
| 2. Facteurs d'égouttage | 90 |
| 2.1. Traitements technologiques du lait | 91 |
| 2.2. Paramètres de coagulation | 91 |
| 2.3. Traitements physiques en cuve | 92 |
| 2.3.1. Tranchage | 92 |
| 2.3.2. Brassage | 93 |
| 2.3.3. Chauffage | 93 |
| 2.4. Moulage/pressage | 94 |
| 2.5. Acidification | 95 |
| 2.6. Salage | 98 |
| 3. Caractéristiques physicochimiques des différentes classes de fromages après salage suivant les modalités d'égouttage | 98 |
| 3.1. Caillés lactiques | 99 |
| 3.2. Caillés mixtes à dominante lactique | 99 |
| 3.3. Caillés mixtes à caractère présure dominant | 100 |
| 3.4. Caillés présures | 100 |
| 4. Rendements fromagers | 101 |

Chapitre 6

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Affinage des fromages | 103 |
| 1. Salage | 103 |
| 1.1. Techniques de salage | 103 |
| 1.2. A_w et activités biologiques | 107 |
| 2. Agents d'affinage | 109 |
| 2.1. Enzymes naturelles du lait | 109 |
| 2.1.1. Plasmine | 110 |
| 2.1.2. Lipase | 110 |
| 2.1.3. Autres enzymes | 111 |
| 2.2. Présure | 111 |
| 2.3. Agents microbiens des fromages | 112 |

| | |
|---|-----|
| 2.3.1. Bactéries lactiques | 115 |
| 2.3.2. Bactéries propioniques (<i>Propionibacterium</i>) | 115 |
| 2.3.3. Microcoques et bactéries corynéformes | 116 |
| 2.3.4. Levures | 116 |
| 2.3.5. Moisissures | 117 |
| 2.4. Principaux systèmes enzymatiques d'origine microbienne | 117 |
| 2.4.1. Enzymes protéolytiques | 119 |
| 2.4.2. Lipases | 120 |
| 2.4.3. Systèmes actifs sur les acides aminés | 122 |
| 2.4.4. Systèmes actifs sur les acides gras | 123 |
| 3. Contrôle de l'affinage | 123 |
| 3.1. Température | 124 |
| 3.2. pH | 126 |
| 3.3. Activité de l'eau (a_w) | 127 |
| 3.4. Aération et composition de l'atmosphère | 128 |
| 4. Évolution des constituants du caillé | 131 |
| 4.1. Fermentation du lactose et transformations de l'acide lactique | 131 |
| 4.2. Lipolyse et dégradation des acides gras | 133 |
| 4.3. Protéolyse et dégradation des acides aminés | 136 |
| 4.4. Dynamique minérale | 138 |
| 5. Influence de l'affinage sur la flaveur des fromages | 139 |
| 5.1. Fromages de type pâte fraîche | 140 |
| 5.2. Fromages à pâte molle à croûte fleurie | 141 |
| 5.3. Pâtes molles à croûte lavée | 141 |
| 5.4. Fromages à pâte persillée | 141 |
| 5.5. Fromages à pâte pressée | 142 |
| 5.6. Fromages à pâte pressée cuite | 143 |

Chapitre 7

| | |
|--|------------|
| Accidents de fromagerie et défauts des fromages | 145 |
| 1. Défauts de coagulation et d'égouttage | 145 |
| 1.1. Facteurs d'inhibition et substances stimulantes du lait cru | 145 |
| 1.1.1. Facteurs inhibiteurs naturels du lait cru | 145 |
| 1.1.2. Influence des substances stimulantes et du traitement thermique sur la croissance des bactéries lactiques | 147 |
| 1.1.3. Facteurs exogènes | 148 |
| 1.2. Facteurs affectant la coagulation et l'égouttage | 149 |
| 1.2.1. Laits de mammite | 149 |
| 1.2.2. Laits réfrigérés | 149 |
| 2. Défauts d'affinage | 152 |
| 2.1. Défauts de texture et de gonflements | 152 |
| 2.1.1. Pâte sèche | 152 |
| 2.1.2. Pâte coulante | 152 |
| 2.1.3. Fromage sans ouverture | 152 |
| 2.1.4. Fromage lainé | 152 |
| 2.1.5. Fromage trop ouvert | 153 |
| 2.1.6. Gonflements précoces | 153 |
| 2.1.7. Gonflements tardifs ou gonflements butyriques | 153 |
| 2.2. Défauts d'aspect et de croûtage | 154 |
| 2.2.1. Accidents du « bleu » | 155 |

| | |
|---|-----|
| 2.2.2. « Poil de chat » | 155 |
| 2.2.3. « Graisse » ou « peau de crapaud » | 155 |
| 2.2.4. Autres défauts d'origine fongique | 155 |
| 2.2.5. Défauts dus aux bactéries | 156 |
| 2.2.6. Croûte cartonneuse | 156 |
| 2.3. Défauts de saveur et d'arôme | 156 |
| 2.3.1. Défauts de saveur et d'amertume | 156 |
| 2.3.2. Goût de rance | 157 |
| 2.3.3. Autres défauts de flaveur | 159 |

Le lait

Chapitre 8

| | |
|---|-----|
| Technologies comparées des grands types de fromages | 161 |
| 1. Les grandes familles de fromages | 161 |
| 1.1. Fromages frais | 161 |
| 1.1.1. Technologie traditionnelle | 161 |
| 1.1.2. Technologie MMV | 165 |
| 1.1.3. Qualités nutritionnelles des fromages frais | 165 |
| 1.2. Pâtes molles à croûte fleurie ou lavée | 165 |
| 1.2.1. Coagulation | 170 |
| 1.2.2. Moulage | 170 |
| 1.2.3. Affinage | 172 |
| 1.3. Pâtes persillées | 172 |
| 1.4. Fromages à pâte pressée | 174 |
| 1.4.1. Pâtes pressées non cuites (PPNC) | 175 |
| 1.4.2. Pâtes pressées cuites (PPC) | 175 |
| 1.5. Pâtes dures | 177 |
| 1.6. Pâtes filées | 178 |
| 1.7. Fromages fondus | 179 |
| 2. Qualités nutritionnelles et hygiéniques | 180 |
| 2.1. Intérêt nutritionnel | 180 |
| 2.2. Qualité hygiénique | 181 |
| 3. Perspectives d'évolution | 187 |
| 3.1. Déterminants de la texture | 187 |
| 3.1.1. Teneurs et caractéristiques des protéines et lipides | 188 |
| 3.1.2. Maîtrise des pH de coagulation et des caillés au démoulage | 188 |
| 3.1.3. Degré de minéralisation des caillés | 191 |
| 3.2. Production d'arôme en phase liquide | 192 |
| 3.3. Exemples de découplages | 192 |
| 3.3.1. Spécialités de type pâte pressée | 193 |
| 3.3.2. Spécialités de type pâte molle tartinable | 193 |
| Conclusion | 195 |
| Bibliographie | 197 |
| Index | 205 |