

# MICROBIOLOGIE ALIMENTAIRE

## 2 Les fermentations alimentaires

Coordonnateurs  
**C.M. BOURGEOIS**  
**J.P. LARPENT**

Collection Sciences &  
Techniques Agro-Alli-  
mentaires sous l'égide de  
l'Association pour la Pro-  
motion Industrie Agricul-  
ture et sous le haut  
patronage du Ministère  
de la Recherche et de la  
Technologie et du Minis-  
tère de l'Agriculture et  
des Forêts

*lavoisier*  
**TEC**  
&  
**DOC**

apria

Cet ouvrage en deux tomes présente l'ensemble des implications alimentaires des microorganismes. Le tome 1 traite de «**L'aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaires**». Le tome 2 concerne «**Les fermentations alimentaires**», c'est-à-dire la contribution positive irremplaçable que les microorganismes apportent à notre alimentation. Pour prendre conscience de l'importance de leur rôle, il suffit de se demander ce que serait la gastronomie française sans le pain, le vin et le fromage ?

Ce tome 2, rédigé par 28 spécialistes, présente d'abord brièvement les principaux groupes de microorganismes responsables des fermentations alimentaires, bactéries lactiques, levures et moisissures.

Puis les principales fermentations sont étudiées, fermentations de produits végétaux d'abord, fermentations de produits animaux, ensuite.

Enfin sont abordés quelques aspects très actuels de l'utilisation fermentaire des microorganismes : les saveurs, l'antibiologie, l'immobilisation, le génie génétique.



# Table des matières

Avant-propos . . . . .	VII		
Liste des auteurs . . . . .	IX		
<hr/>			
<b>Partie I - LES MICROORGANISMES DES FERMENTATIONS.</b> . . . . .	<b>1</b>		
<hr/>			
<b>Chap. 1 - LES BACTERIES LACTIQUES - J.P. LARPENT</b> . . . . .	<b>3</b>		
1 - Généralités . . . . .	3		
2 - Streptococcaceae . . . . .	7		
2.1. Streptococcus . . . . .	7		
2.2. Leuconostoc . . . . .	7		
2.3. Pediococcus . . . . .	10		
3 - Lactobacillaceae . . . . .	11		
3.1. Streptobacterium . . . . .	12		
3.2. Thermobacterium . . . . .	12		
3.3. Betabacterium . . . . .	13		
Bibliographie . . . . .	15		
<b>Chap. 2 - LES LEVURES - J.M. BELIN</b> . . . . .	<b>17</b>		
1 - Position systématique et caractères généraux . . . . .	17		
1.1. Morphologie . . . . .	17		
1.2. Cytologie . . . . .	18		
1.3. Classification . . . . .	19		
2 - Physiologie . . . . .	20		
2.1. Reproduction . . . . .	20		
2.2. Nutrition et métabolisme . . . . .	21		
3 - Génétique . . . . .	25		
3.1. Cycles biologiques . . . . .	25		
3.2. Types sexués . . . . .	27		
3.3. Amélioration des souches . . . . .	27		
Bibliographie . . . . .	29		
		<b>Chap. 3 - LES MOISSISSURES - C. MOREAU</b> . . . . .	<b>31</b>
		1 - Introduction . . . . .	31
		2 - Moisissures en fromagerie et charcuterie . . . . .	31
		2.1. Penicillium camberti . . . . .	31
		2.2. Penicillium roqueforti . . . . .	33
		2.3. Geotrichum candidum . . . . .	34
		2.4. Moisissures des fromages à pâte pressée . . . . .	34
		2.5. "Starters" utilisés en charcu- terie . . . . .	35
		3 - Moisissures utilisées dans des préparations culinaires exotiques (Extrême-Orient et Afrique) . . . . .	35
		3.1. Principales moisissures . . . . .	35
		3.2. Substrats et éléments de base . . . . .	36
		3.3. Principales préparations culinaires . . . . .	40
		3.4. Boissons . . . . .	40
		3.5. Divers . . . . .	40
		4 - Moisissures et additifs alimentaires . . . . .	41
		4.1. Acides organiques . . . . .	41
		4.2. Production industrielle d'enzymes . . . . .	41
		4.3. Additifs divers . . . . .	46
		4.4. Autres interventions de moisissures utiles dans l'alimentation . . . . .	46
		5 - Technologie . . . . .	47
		6 - Conclusions . . . . .	47
		Bibliographie . . . . .	48

Partie II - LES FERMENTATIONS DE PRODUITS VEGETAUX . . . . . 51

Chap. 1 - LES FERMENTATIONS PANAIRES - M. MALINEAU, M. ARNOUX . . . . . 53

1 - Introduction . . . . . 53

1.1. Histoire de la fermentation panair . . . . . 53

1.2. Le système fermentaire mis en oeuvre . . . . . 54

2 - La flore des levains . . . . . 54

2.1. Données quantitatives sur la flore des levains . . . . . 54

2.2. Données qualitatives sur la flore des levains . . . . . 55

3 - La fermentation dans la fabrication du pain . . . . . 57

3.1. La farine : composition . . . . . 57

3.2. Les propriétés de la farine . . . . . 57

3.3. Le diagramme de fabrication et les différentes techniques . . . . . 58

3.4. Métabolisme de la levure de boulangerie dans la pâte à pain . . . . . 59

4 - La production de levure de boulangerie . . . . . 63

5 - Evolutions actuelles et prévisibles . . . . . 64

Bibliographie . . . . . 66

Chap. 2 - LA BRASSERIE - C.M. BOURGEOIS, P. MAFART . . . . . 67

1 - Historique . . . . . 67

2 - La fabrication . . . . . 68

2.1. Les matières premières . . . . . 68

2.2. Le brassage . . . . . 69

2.3. Le moût . . . . . 69

2.4. La fermentation . . . . . 70

2.5. Les évolutions récentes et en cours de la technologie de fabrication . . . . . 70

3 - La mise en oeuvre et le comportement des levures . . . . . 71

3.1. La propagation . . . . . 71

3.2. La fermentation primaire . . . . . 71

3.3. La fermentation secondaire . . . . . 74

4 - Caractérisation, sélection et amélioration des souches de levures . . . . . 74

4.1. La caractérisation et la sélection des souches . . . . . 75

4.2. L'amélioration des souches . . . . . 77

5 - Les problèmes de contamination . . . . . 79

6 - Conclusion . . . . . 80

Bibliographie . . . . . 81

Chap. 3 - LA VINIFICATION - B. DUTEURTRE . . . . . 83

1 - Introduction . . . . . 83

2 - Composition et propriétés des substrats de fermentation . . . . . 84

3 - Mise en oeuvre industrielle des fermentations . . . . . 85

3.1. La fermentation alcoolique . . . . . 85

3.2. La fermentation melolactique . . . . . 88

3.3. La seconde fermentation alcoolique . . . . . 92

4 - Les contaminations en oenologie . . . . . 97

Bibliographie . . . . . 100

Chap. 4 - LA CIDRERIE - J.-F. DRILLEAU . . . . . 103

1 - Généralités . . . . . 103

2 - Quelques substrats fermentaires . . . . . 105

2.1. Composés azotés . . . . . 105

2.2. Composés phénoliques . . . . . 106

3 - Microflore de la fermentation . . . . . 106

3.1. Levures . . . . . 106

3.2. Bactéries lactiques . . . . . 107

4 - Rôle de la microflore . . . . . 108

4.1. Action des levures . . . . . 108

4.2. Action des bactéries lactiques . . . . . 109

5 - Perspectives . . . . . 110

Bibliographie . . . . . 111

Chap. 5 - LES BOISSONS DISTILLEES - C. JOURET . . . . . 113

1 - Introduction . . . . . 113

2 - Les substrats de fermentations . . . . . 114

3 - Les microorganismes impliqués . . . . . 115

4 - Mise en oeuvre industrielle de la fermentation . . . . . 117

Bibliographie . . . . . 120

*Chap. 6 - LE VINAIGRE -*  
*C. DIVIES . . . . . 121*

1 - Introduction . . . . . 121

2 - Les utilisations du vinaigre et la production . . . . . 121

3 - Les procédés . . . . . 122

3.1. Le procédé dit d'Orléans . . . . . 123

3.2. Le procédé dit rapide . . . . . 123

3.3. La culture immergée . . . . . 124

3.4. Les cellules immobilisées . . . . . 127

4 - Les bactéries acétiques . . . . . 127

4.1. Classification . . . . . 127

4.2. Métabolisme . . . . . 128

4.3. Souches . . . . . 131

4.4. Génétique . . . . . 131

4.5. Physiologie . . . . . 131

5 - Conclusion . . . . . 132

*Bibliographie . . . . . 133*

*Chap. 7 - LES LEGUMES FERMENTES -*  
*J. LE GUERN . . . . . 137*

1 - Principe de la fermentation - Mise en oeuvre . . . . . 137

1.1. Principe . . . . . 137

1.2. Déroulement de la fermentation . . . . . 138

1.3. Les espèces microbiennes . . . . . 139

2 - Quelques exemples de fermentation spontanée . . . . . 140

2.1. Fabrication de la choucroute . . . . . 140

2.2. Production d'olives fermentées . . . . . 141

3 - Utilisation d'un ferment sélectionné . . . . . 142

3.1. Qualités d'un ferment sélectionné . . . . . 143

3.2. Expérimentation de fermentations lactiques végétales en culture pure . . . . . 145

4 - Amélioration des procédés - Perspectives . . . . . 146

*Bibliographie . . . . . 148*

*Chap. 8 - L'ENSILAGE DES VEGETAUX - Ph. GOUET . . . . . 150*

1 - Introduction . . . . . 150

2 - La microflore des fourrages sur pied . . . . . 150

3 - Evolution fermentaire et bactériologique des ensilages . . . . . 151

3.1. Composition et évolution du substrat . . . . . 151

3.2. Evolution quantitative et qualitative de la microflore . . . . . 154

3.3. Lactobacillus et Streptococcus . . . . . 155

3.4. Bactéries nuisibles . . . . . 156

4 - Facteurs contrôlant la croissance bactérienne . . . . . 157

4.1. La température . . . . . 157

4.2. La concentration en glucides et leur disponibilité . . . . . 157

4.3. Le pouvoir tampon . . . . . 157

4.4. L'élévation du taux de matière sèche . . . . . 158

5 - Agents de conservation . . . . . 158

*Bibliographie . . . . . 159*

*Chap. 9 - LES ALIMENTS FERMENTES A BASE DE SOJA - S. GAUTHIER, J. DE PRENEUF, M. ROCHEMAN . . . . . 160*

1 - Sauce de soja . . . . . 161

2 - Miso . . . . . 163

3 - Tofu sufu et meitauza . . . . . 166

4 - Natto . . . . . 167

5 - Tempeh . . . . . 168

6 - Lait de soja fermenté . . . . . 170

*Bibliographie . . . . . 174*

*Chap. 10 - LE GARI - G. CHUZEL, D. GRIFFON . . . . . 175*

1 - La fabrication traditionnelle du gari . . . . . 175

1.1. Généralités . . . . . 175

1.2. Le procédé traditionnel . . . . . 175

1.3. Le produit fini . . . . . 175

2 - Toxicité du manioc . . . . . 177

2.1. Caractère cyanogénétique du manioc . . . . . 177

2.2. Dégradation des glucosides cyanogénétiques . . . . . 179

2.3. Détoxification du manioc . . . . . 179

2.4. Toxicologie . . . . . 180

3 - La fermentation traditionnelle . . . . . 181

3.1. Approche biologique . . . . . 181

3.2. Conditions de fermentations . . . . . 182

3.3. Influence sur la détoxification . . . . . 183

4 - Perspectives . . . . . 184

*Bibliographie . . . . . 186*

Partie III - LES FERMENTATIONS DES PRODUITS ANIMAUX . . . . . 189

Chap. 1 - LES YAOURTS ET LES LAITS FERMENTES - J. HERMIER, J.P. ACCOLAS . . . . . 191

1 - Le yaourt . . . . . 192

1.1. Composition et propriétés du lait en tant que substrat de la fermentation du yaourt . . . 192

1.2. Mise en oeuvre industrielle de la fermentation du yaourt . . . 193

1.3. Produits à base de yaourt . . . 197

1.4. Caractérisation, sélection et amélioration des souches de bactéries du yaourt . . . . . 197

2 - Les autres laits fermentés . . . 199

2.1. Boissons lactiques alcoolisées . . . . . 200

2.2. Laits fermentés mettant en oeuvre des bactéries lactiques mésophiles . . . . . 201

2.3. Les laits fermentés contenant des bactéries d'origine intestinale . . . . . 202

3 - Perspectives . . . . . 202

Bibliographie . . . . . 204

Chap. 2 - LES FROMAGES A PÂTE FRAICHE, MOLLE, PRESSEE OU PERSILLÉE - J.P. LARPENT . . . . . 206

1 - Divers types de fromages . . . . . 207

1.1. Les fromages frais . . . . . 207

1.2. Les fromages à pâte molle . . . 208

1.3. Les fromages à pâte pressée demi-cuite et non cuite . . . . . 211

1.4. Les fromages à pâte persillée . 212

2 - Ferments microbiens . . . . . 215

2.1. Cultures de ferments lactiques. 215

2.2. Les divers types de ferments laitiers . . . . . 216

3 - Rôle des microorganismes dans la fabrication des produits laitiers . . . . . 223

3.1. Glucides et substances proches . . . . . 223

3.2. Lipides . . . . . 224

3.3. Protides . . . . . 224

3.4. Quelques exemples de ferments . 225

4 - Sensibilité aux bactériophages . 226

4.1. Effets de bactériophages . . . 226

4.2. L'origine des phages . . . . . 229

4.3. Moyens de défense . . . . . 229

Bibliographie . . . . . 231

Chap. 3 - LES FROMAGES A PÂTE PRESSEE, CUITE - J.F. CHAMBA, F. PROST . . . . . 242

1 - Introduction . . . . . 242

2 - La fermentation lactique . . . . 242

2.1. Les bactéries lactiques thermophiles . . . . . 242

2.2. Fermentation lactique et technologie fromagère . . . . . 243

2.3. Mise en oeuvre industrielle de la fermentation lactique . . . . . 246

3 - La fermentation propionique . . 249

3.1. Caractères généraux des bactéries propioniques . . . . . 249

3.2. La fermentation propionique et la formation de l'ouverture . . . . . 249

3.3. Mise en oeuvre industrielle . . 249

3.4. Perspectives d'avenir . . . . . 249

Bibliographie . . . . . 255

Chap. 4 - LES PRODUITS CARNES, FERMENTES - J.P. LARPENT . . . . . 247

1 - Les microorganismes des viandes et leurs effets . . . . . 247

1.1. Lipolyse . . . . . 247

1.2. Protéolyse . . . . . 248

1.3. Microorganismes verdissants . . 248

1.4. Altérations diverses . . . . . 248

2 - Les ferments . . . . . 248

2.1. Les lactobacilles . . . . . 249

2.2. Les pédiococques . . . . . 249

2.3. Les micrococccocées . . . . . 250

3 - L'activité des ferments . . . . . 251

3.1. Evolution des microorganismes au cours de la maturation . . . 251

3.2. Action sur le pH . . . . . 251

3.3. Aromatisation . . . . . 252

4 - Les ferments de surface . . . . . 252

Bibliographie . . . . . 255

Chap. 5 - LES PRODUITS DE LA PECHE FERMENTES - T. IN . . . . . 252

1 - Produits traditionnels . . . . . 252

1.1. Europe . . . . . 252

1.2. Asie . . . . . 252

2 - Produits modernes . . . . . 252

2.1. Les ensilages biologiques . . . 252

2.2. Produits élaborés fermentés . . 252

3 - Aspects biochimiques . . . . . 252

3.1. Protéolyse associée . . . . . 252

3.2. La fermentation microbienne . . . . .	260
3.3. Le rôle du sel . . . . .	260
4 - Intérêt de la fermentation des produits de la pêche . . . . .	261
Bibliographie . . . . .	262

Partie IV - PERSPECTIVES . . . . . 263

Chap. 1 - LA MAITRISE DES FLAVEURS - M. DESMAZEAUD, J. ADDA . . . . . 265

1 - Nécessité d'approfondir nos connaissances des groupes de molécules impliquées . . . . .	266
1.1. Cas des pyrrolines . . . . .	266
1.2. Cas des produits soufrés . . . . .	267
1.3. Cas des alcools . . . . .	267
2 - Nécessité d'approfondir nos connaissances des métabolismes conduisant aux composés aromatiques . . . . .	267
2.1. Cas des produits soufrés . . . . .	269
2.2. Cas des composés à noyaux aromatiques . . . . .	270
3 - Maîtrise des arômes, par la maîtrise des microorganismes . . . . .	272
3.1. Problème général des levains . . . . .	272
3.2. Production des métabolismes secondaires . . . . .	275
4 - Maîtrise des arômes par l'utilisation d'enzymes . . . . .	275
5 - Elimination des arômes et des goûts defectueux . . . . .	277
5.1. Défauts d'arômes dus aux microorganismes . . . . .	277
5.2. Maîtrise de l'anertume . . . . .	277
Bibliographie . . . . .	280

Chap. 2 - PROPRIETES ANTI-MICROBIENNES DES BACTERIES LACTIQUES - E. BELIARD, D. THIAULT . . . . . 282

1 - Introduction . . . . .	282
2 - Activité antimicrobienne due à la production d'acides organiques . . . . .	282
2.1. Effet de l'acidification . . . . .	283
2.2. Effets spécifiques . . . . .	283
3 - Activité antimicrobienne due au peroxyde d'hydrogène . . . . .	284
3.1. Formation du peroxyde par les bactéries lactiques . . . . .	284

3.2. Action sur les microorganismes . . . . .	285
4 - Autres inhibiteurs non spécifiques . . . . .	286

5 - Les bactériocines et la nisine . . . . .	287
5.1. Définition . . . . .	287
5.2. La nisine . . . . .	288
5.3. Les bactériocines . . . . .	291

6 - Conclusion . . . . .	293
Bibliographie . . . . .	294

Chap. 3 - LES MICROORGANISMES IMMOBILISES - C. DIVIES . . . . . 298

1 - Les techniques d'immobilisation . . . . .	299
1.1. L'adsorption . . . . .	299
1.2. La liaison covalente . . . . .	301
1.3. La floculation . . . . .	302
1.4. L'inclusion . . . . .	302
1.5. Rétention par procédés membranaires . . . . .	302
2 - Contraintes cinétiques des microbes immobilisés sous forme incluse et réacteurs utilisables . . . . .	303
3 - Comportement des levures et des bactéries lactiques sous forme incluse . . . . .	305
4 - Les applications industrielles . . . . .	309
4.1. La fermentation melolactique (F.M.L.) . . . . .	309
4.2. La production d'acide lactique . . . . .	309
4.3. La fabrication des produits laitiers fermentés . . . . .	310
4.4. La prise de mousse selon la méthode champenoise . . . . .	311
4.5. Réalisation de la fermentation alcoolique et élaboration de boissons effervescentes . . . . .	314
5 - Conclusion . . . . .	315
Bibliographie . . . . .	316

Chap. 4 - LES PERSPECTIVES OUVERTES A L'INDUSTRIE PAR LE GENIE GENETIQUE DES BACTERIES LACTIQUES - G. NOVEL . . . . . 319

1 - Introduction. Les deux voies de l'amélioration des souches microbiennes : mutation - variation et transfert génétique . . . . .	319
---	-----