

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
Mohamed GHOUL	
<b>Introduction</b> . . . . .	3
Mohamed GHOUL	
<b>Partie 1. Les procédés enzymatiques en industries agro-alimentaires</b> . . . . .	5
<b>Introduction de la partie 1.</b> . . . . .	7
Isabelle CHEVALOT	
<b>Chapitre 1. Caractéristiques générales des enzymes</b> . . . . .	11
Isabelle CHEVALOT, Mohamed GHOUL et Seraphim PAPANIKOLAOU	
1.1. Notion de catalyse . . . . .	11
1.2. Notion de spécificité . . . . .	13
1.3. Nomenclature . . . . .	13
1.4. Mécanisme de la catalyse enzymatique . . . . .	15
1.5. Cinétique enzymatique à un substrat . . . . .	17
1.6. Effets de l'environnement sur l'activité . . . . .	19
1.6.1. Effet du pH sur l'activité enzymatique . . . . .	20
1.6.2. Effet de la température sur l'activité enzymatique. . . . .	20
1.6.3. Effet des inhibiteurs sur l'activité enzymatique . . . . .	21

1.7. Cinétique enzymatique à plus d'un substrat . . . . .	24
1.7.1. Mécanisme séquentiel ordonné . . . . .	24
1.7.2. Mécanisme séquentiel au hasard . . . . .	25
1.7.3. Mécanisme ping-pong . . . . .	25

**Chapitre 2. Classification des enzymes utilisées en agro-alimentaire . . . . . 27**

Latifa CHEBIL et Mohamed GHOUL

2.1. Les oxydoréductases (CE1) . . . . .	28
2.2. Les transférases (CE2) . . . . .	28
2.3. Les hydrolases (CE3) . . . . .	29
2.4. Les lyases (CE4) . . . . .	30
2.5. Les isomérases (CE5) . . . . .	31
2.6. Les ligases (CE6) . . . . .	31

**Chapitre 3. Mode d'action des principales enzymes utilisées en agro-alimentaire . . . . . 33**

Catherine HUMEAU, Mohamed GHOUL et Seraphim PAPANIKOLAOU

3.1. Les enzymes impliquées dans la réaction de la dégradation de l'amidon . . . . .	33
3.2. Les enzymes impliquées dans la dégradation des substrats lignocellulosiques. . . . .	35
3.3. Les enzymes impliquées dans la dégradation des substrats de type pectine. . . . .	39
3.4. Les enzymes impliquées dans la dégradation des substrats lipidiques . . . . .	42
3.5. Les enzymes impliquées dans la dégradation des protéines . . . . .	43

**Chapitre 4. La production d'enzymes pour des applications alimentaires . . . . . 47**

Mohamed GHOUL et Seraphim PAPANIKOLAOU

4.1. Les amylases . . . . .	48
4.2. Les pullulases . . . . .	51
4.3. Les lignocellulases . . . . .	51
4.4. Les pectinases . . . . .	56

4.5. Les lipases . . . . .	59
4.6. Les protéases . . . . .	61
4.7. Conclusion . . . . .	65
<b>Chapitre 5. Voies d'amélioration des procédés enzymatiques . . .</b>	<b>67</b>
Isabelle CHEVALOT et Catherine HUMEAU	
5.1. Ingénierie enzymatique . . . . .	67
5.1.1. Méthodes d'ingénierie enzymatique . . . . .	68
5.1.2. Amélioration de la stabilité des enzymes . . . . .	75
5.1.3. Amélioration de la spécificité et de la sélectivité enzymatique . .	86
5.1.4. Amélioration des performances catalytiques . . . . .	92
5.2. Ingénierie de procédés . . . . .	98
5.2.1. Introduction . . . . .	98
5.2.2. Technologie d'immobilisation des enzymes . . . . .	98
5.2.3. Procédés enzymatiques assistés par micro-ondes ou ultrasons . .	110
5.2.4. Intensification de procédés . . . . .	113
<b>Chapitre 6. Principaux procédés enzymatiques en industries agro-alimentaires . . . . .</b>	<b>117</b>
Latifa CHEBIL et Mohamed GHOUL	
6.1. Boulangerie et pâtisserie . . . . .	117
6.2. Malterie et brasserie . . . . .	121
6.2.1. Malterie . . . . .	121
6.2.2. Brasserie . . . . .	122
6.3. Amidon et ses dérivés . . . . .	124
6.4. Lait . . . . .	126
6.5. Matières grasses . . . . .	130
6.6. Produits carnés et marins . . . . .	134
6.6.1. Produits carnés . . . . .	134
6.6.2. Produits marins . . . . .	135
6.7. Arômes et additifs . . . . .	137
6.8. Jus de fruits et vins . . . . .	140
6.8.1. Jus de fruits . . . . .	140
6.8.2. Vins . . . . .	144
<b>Bibliographie de la partie 1 . . . . .</b>	<b>147</b>

<b>Partie 2. Bactéries lactiques et bifidobactéries, source d'aliments fermentés</b> . . . . .	177
<b>Introduction de la partie 2.</b> . . . . .	179
Marie-Bénédictte ROMOND	
<b>Chapitre 7. Bactéries lactiques et bifidobactéries.</b> . . . . .	181
Jennifer BURGAIN et Marie-Bénédictte ROMOND	
7.1. Notions taxonomiques et définition de « probiotique » . . . . .	181
7.2. Marché des probiotiques et allégation santé. . . . .	184
7.3. Les prébiotiques . . . . .	185
7.3.1. Définition. . . . .	185
7.3.2. Prébiotiques, synbiotiques et allégations santé. . . . .	186
<b>Chapitre 8. Bifidobactéries : de la bactérie commensale aux probiotiques et métabiotiques/postbiotiques.</b> . . . . .	189
Frank PIVA et Marie-Bénédictte ROMOND	
8.1. Taxonomie et aspects écologiques des bifidobactéries commensales : découverte et critères d'identification . . . . .	189
8.1.1. Répartition des espèces bifides chez l'être humain et chez l'animal . . . . .	199
8.1.2. Distribution topographique et cinétique chez l'être humain . . . . .	200
8.1.3. Innocuité et activité en santé . . . . .	202
8.2. Production de probiotiques et métabiotiques/postbiotiques. . . . .	205
8.2.1. Besoins nutritionnels des bifidobactéries : utilisation d'oligosaccharides complexes et production d'exopolysaccharides . . . . .	205
8.2.2. Technologie de concentration et de conservation des probiotiques vivants (sélection de souches, encapsulation). . . . .	208
8.3. Applications en industrie . . . . .	210
8.3.1. Producteurs de ferments et caractéristiques des produits commercialisés . . . . .	210
8.3.2. Les produits biotechnologiques vivants et les contraintes de la Pharmacopée européenne. . . . .	212

8.4. Perspectives de développement et d'innovation : métabiotiques/ postbiotiques (lipoprotéines bifides), cibles thérapeutiques . . . . .	213
8.4.1. Bactériocines bifides et conservation des aliments . . . . .	223

## **Chapitre 9. Lactobacilles : sélection des souches et effets probiotiques . . . . .**

Jennifer BURGAIN et Marie-Bénédictte ROMOND

9.1. Espèces, identité des souches et origine . . . . .	227
9.2. Physiologie des souches probiotiques . . . . .	229
9.3. Impact des lactobacilles sur la santé digestive . . . . .	231
9.3.1. Effets généraux sur la santé . . . . .	231
9.3.2. Mécanismes d'action sur le système digestif . . . . .	232
9.3.3. <i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i> GG (LGG) (nouvelle nomenclature) . . . . .	236
9.3.4. <i>Lacticaseibacillus casei</i> et <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> (nouvelle nomenclature) . . . . .	237
9.3.5. <i>Lactobacillus acidophilus</i> ( <i>Lb. acidophilus</i> ) . . . . .	238

## **Chapitre 10. Procédés d'encapsulation . . . . .**

Jennifer BURGAIN, Joël SCHER et Claire GAIANI

10.1. Définition et buts de l'encapsulation . . . . .	241
10.2. Atomisation . . . . .	243
10.3. Extrusion . . . . .	247
10.4. Émulsification . . . . .	248
10.5. Enrobage . . . . .	250

## **Chapitre 11. Matrices d'encapsulation . . . . .**

Jennifer BURGAIN, Joël SCHER et Claire GAIANI

11.1. Polysaccharides . . . . .	253
11.2. Protéines . . . . .	255
11.3. Adhésion des bactéries aux matériaux d'encapsulation . . . . .	256
11.4. Conclusion . . . . .	260

## **Chapitre 12. Aliments fermentés . . . . .**

Frank PIVA et Marie-Bénédictte ROMOND

12.1. Les aliments fermentés traditionnels . . . . .	262
12.2. Les nouvelles approches fermentaires . . . . .	271

<b>Bibliographie de la partie 2</b> . . . . .	273
<b>Conclusion</b> . . . . .	311
Mohamed GHOUL	
<b>Liste des auteurs</b> . . . . .	313
<b>Index</b> . . . . .	315