

sous la direction de
Djamel DRIDER • Hervé PRÉVOST

BACTÉRIES LACTIQUES

*Physiologie, Métabolisme,
Génomique et Applications industrielles*

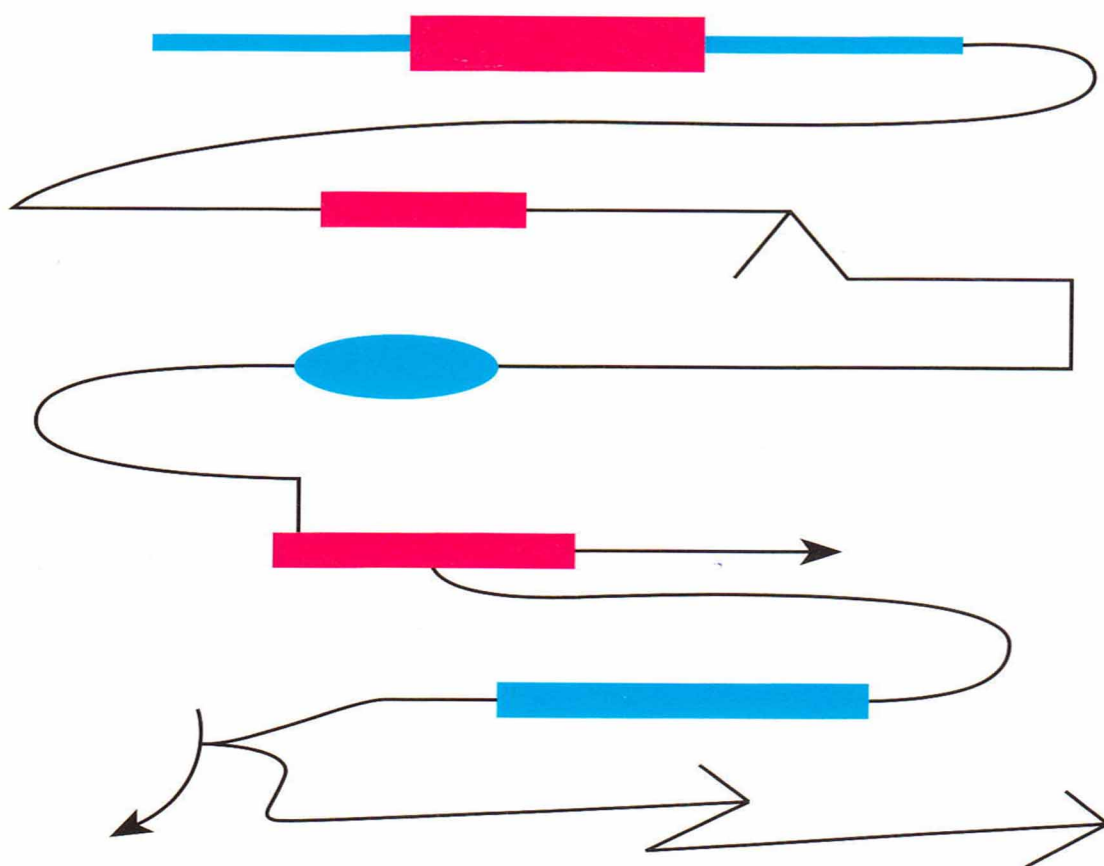


Table des matières

Préface Dr. Alexandra GRUSS	V
--	---

Chapitre I Introduction

Les bactéries lactiques : historique et perspectives

<i>Jean François CHAMBA</i>	1
1. Avant-propos	1
2. De la préhistoire au XIX ^e siècle	1
3. Du XIX ^e siècle à nos jours	5

Chapitre II Métabolisme des bactéries lactiques

Les acides aminés

<i>Véronique MONNET</i>	15
1. Exigences en acides aminés des bactéries lactiques	15
2. Nutrition azotée	16
2.1. La protéase de paroi et la protéolyse extracellulaire	16
2.2. Le transport des acides aminés et des peptides dans la bactérie	19
2.3. Les peptidases et la protéolyse intracellulaire	21
3. Le catabolisme des acides aminés	22
3.1. Voies de production d'énergie	22
3.2. Voies de production de molécules aromatiques	23
4. Conclusion	26

Devenir du carbone

<i>Pascal LOUBIÈRE et Muriel COCAIGN-BOUSQUET</i>	29
1. Interconnexion entre les flux de carbone, d'azote et de soufre	29
2. Transport des sucres	30
2.1. Systèmes perméase et PTS	31
2.2. Système d'entrée en fonction du sucre	32
2.3. Régulation de l'entrée des sucres	33
3. Les voies métaboliques centrales	35

4. Les voies métaboliques en aval du pyruvate	38
5. Régulation des enzymes clés de la glycolyse et du métabolisme du pyruvate	39
6. Les enzymes limitantes du métabolisme	43

Le citrate

<i>Sadjia BEKAL, Yanath BELGUESMIA, Djamel DRIDER, Hervé PREVOST</i>	51
1. Rôle du métabolisme du citrate dans l'industrie laitière	52
2. Voies métaboliques de l'utilisation du citrate	53
3. Le cométabolisme d'un sucre et du citrate chez les bactéries lactiques	55
4. Voie alternative du métabolisme de l'acide citrique	57
5. Protéines clés du métabolisme de l'acide citrique	57
5.1. Les citrate permeases	59
5.2. Les citrate lyases	60
5.2.1. Relation structure-fonction de la citrate lyase	61
5.2.2. Biosynthèse du groupement prosthétique	63
5.2.3. Protéines modulant l'activité de la citrate lyase	63
5.3. Les oxaloacétate décarboxylases	66
6. Organisation des gènes impliqués dans le métabolisme du citrate chez les bactéries lactiques	67

La production d'exopolysaccharides

<i>Gisèle LaPOINTE</i>	71
1. Introduction	71
2. Les applications alimentaires et non-alimentaires des EPS	74
3. La structure des exopolysaccharides	77
4. La biosynthèse des exopolysaccharides	79
5. L'organisation et la régulation des gènes codant pour la biosynthèse des EPS	85
6. Les facteurs affectant la production des exopolysaccharides	88
Conclusion	96

Les bactériocines : de la synthèse aux applications

<i>Ségolène CALVEZ, Yanath BELGUESMIA, Gilles KERGOURLAY, Hervé PRÉVOST et Djamel DRIDER</i>	99
Introduction	99
1. Bactériocines de classe I	100
1.1. Caractéristiques	100
1.2. Modes d'action	102
1.2.1. Modes d'action des lantibiotiques du groupe nisine ..	102
1.2.2. Modes d'action des lantibiotiques du groupe lacticine 481	103
1.2.3. Modes d'action des lantibiotiques du groupe mersacidine	104
1.2.4. Modes d'action des lantibiotiques du groupe cinnamycine	104
1.2.5. Modes d'action des lantibiotiques du groupe lactocine S	104

1.2.6.	Modes d'action des lantibiotiques à deux composants	104
1.2.7.	Relations structure/fonction	104
1.3.	Biosynthèse	106
1.3.1.	Organisation génétique	106
1.3.2.	Synthèse et Sécrétion	107
1.3.3.	Immunité	108
1.3.4.	Régulation de l'expression	108
2.	Bactériocines de classe III	109
3.	Bactériocines de classe II	110
3.1.	Bactériocines de classe IIc	110
3.1.1.	Caractéristiques	110
3.1.2.	Mode d'action	110
3.2.	Bactériocines de classe IIb	111
3.2.1.	Caractéristiques	111
3.2.2.	Mode d'action	111
3.2.3.	Relations structure/fonction	112
3.2.4.	Biosynthèse	112
3.3.	Bactériocines de classe IIa	113
3.3.1.	Caractéristiques	113
3.3.2.	Modes d'action	114
3.3.3.	Relations structure/fonction	117
3.3.4.	Biosynthèse	120

Chapitre III Les réponses adaptatives

Les réponses aux stress technologiques et environnementaux

Abdellah BENACHOUR, Nicolas SAUVAGEOT, Vianney PICHEREAU,

Jean-Christophe GIARD	127
Introduction	127
Conclusion	154

Les réponses adaptatives des bactéries lactiques au potentiel rédox

Rémy Cachon	161
1. Introduction	161
2. L'état redox des milieux biologiques	163
3. Paramètres de variation du Eh des milieux de culture des bactéries lactiques	164
3.1. Le pH	164
3.2. La composition chimique du milieu	164
3.3. Les traitements technologiques les modes de conditionnement	165
3.4. L'activité réductrice des bactéries lactiques	166
4. Impact biologique du redox	168
4.1. Impact du redox sur le métabolisme et la physiologie des bactéries lactiques	168
4.2. Impact du rédox sur la survie des bactéries lactiques	169
5. Conclusion	170

Les bactériophages

<i>Hélène DEVEAU, Steve LABRIE et Sylvain MOINEAU</i>	173
1. Les bactériophages	173
2. Les bactériophages et les fermentations industrielles	173
3. La classification des bactériophages	175
4. La multiplication des phages : de l'adsorption à la lyse	176
4.1. Adsorption du phage et éjection de son ADN	178
4.2. Recircularisation, réplication et transcription de l'ADN du phage	178
4.3. Formation de nouveaux virions	179
4.4. La lysogénie	181
5. Les phages infectant les bactéries lactiques	182
6. La lutte contre les phages en industrie	184
7. Détection des phages de bactéries lactiques	186
7.1. Méthodes de détection microbiologiques	186
7.1.1. Les méthodes indirectes	186
7.1.2. Les méthodes directes	187
7.2. Méthodes moléculaires de détection	187
7.2.1. Méthode immunologique	187
7.2.2. Méthode PCR	187
7.2.3. Méthode d'hybridation ADN-ADN de type Southern ..	187
8. Diversité des bactériophages isolés en industrie	188
9. La rotation de ferments à l'ère des biotechnologies	188
10. Les mécanismes de résistance aux phages présents naturellement chez la bactérie	189
10.1. Inhibition de l'adsorption et de la pénétration de l'ADN	189
10.2. Systèmes de restriction/modification	189
10.3. Mécanisme d'avortement de l'infection (Abi)	191
11. Les mécanismes d'immunité et d'exclusion des phages	192
12. Les mécanismes artificiels de résistance aux phages	193
13. Conclusion	194

Chapitre IV Génétique, Génomes et Transcriptome**Organisation et évolution des génomes des bactéries lactiques
agroalimentaires**

<i>Nathalie LEBLOND-BOURGET et Gérard GUÉDON</i>	199
1. Introduction	199
2. Structure des génomes	200
2.1. Chromosome	200
2.2. Taille des génomes et efficacité de codage	201
2.3. Opérons ribosomiques et ARN de transfert	203
3. Éléments non essentiels du génome des bactéries lactiques	204
3.1. Plasmides	204
3.2. Éléments intégratifs	205
3.3. Éléments transposables	206
4. Polymorphisme et évolution des génomes	208

4.1. Remaniements génomiques et perte de gènes	208
4.2. Transfert passif et/ou maintien passif de l'ADN transféré	209
4.3. Génomes et transfert horizontal	210
5. Applications industrielles	212

Génétique des Bactéries Lactiques

<i>Isabelle GUILLOUARD, Benoît GROSSIORD et Emmanuelle MAGUIN</i> ..	215
1. Introduction	215
2. Organisation génétique des Bactéries lactiques et intérêt des plasmides	216
2.1. Principales fonctions des plasmides de Bactéries lactiques ...	216
2.2. Modes de transfert des plasmides	217
2.3. Vecteurs de clonage des Bactéries lactiques	217
2.3.1. Vecteurs de clonage réplicatifs chez les Bactéries lactiques	218
2.3.2. Vecteurs de clonage intégratifs	219
2.4. Marqueurs de sélection chez les bactéries lactiques	219
3. Contrôle de l'expression des gènes et production de protéines d'intérêt chez les Bactéries lactiques	220
4. Outils pour l'inactivation de gènes de Bactéries lactiques	221
4.1. Inactivation par recombinaison homologue	221
4.2. Vecteurs non réplicatifs et dérivés	223
4.3. Inactivation par transposition	225
4.4. 'Retrohoming' par les introns de groupe II	226
5. Conclusion	226

Transcriptome des bactéries lactiques

<i>Eric GUÉDON</i>	231
1. Introduction	231
2. Principe du transcriptome	232
3. Puce à ADN spottée ou microarray	234
4. Préparation des cibles	235
5. Hybridation des cibles, acquisition et quantification des signaux d'hybridation	236
6. Analyse des données	237
7. Applications du transcriptome	238
8. Transcriptome et bactéries lactiques	239
9. Conclusion	240

Application des bactéries lactiques génétiquement modifiées et réglementation

<i>Pierre RENAULT</i>	245
1. Introduction	245
2. Principes des modifications génétiques	247
2.1. Les modifications spontanées et la variabilité naturelle	247
2.2. Les modifications dirigées par l'homme	249
3. Quelques exemples de bactéries lactiques génétiquement modifiées	252
3.1. Les applications liées à la technologie et la qualité des aliments fermentés	252

3.2. Les applications liées à la santé	259
3.3. Autres applications	259
4. Aspects législatifs, évaluation du risque et acceptabilité	260
4.1. Définitions des bactéries génétiquement modifiées	260
4.2. Les procédures d'évaluation du risque	262
5. Conclusion	265

Caractérisations et identification moléculaire des bactéries lactiques

Cinta RACHMAN, Morgan GUILBAUD, Emmanuel JAFFRÈS,

Petia KABADJOVA et Xavier DOUSSET

.....	273
1. Introduction	273
2. Les méthodes moléculaires de référence d'identification des bactéries	274
2.1. L'hybridation ADN/ADN	274
2.2. Le séquençage du gène codant pour l'ARNr 16S	275
3. Les méthodes nécessitant la culture de la cellule bactérienne	275
3.1. Les méthodes d'identification basées sur le gène de l'ADNr 16S	275
3.2. Identification par PCR en utilisant des amorces spécifiques dessinées à partir de la séquence l'ADNr 16S	276
3.3. Amplified Ribosomal DNA Restriction Analysis (ARDRA) ..	276
3.4. La région intergénique 16S-23S de l'ADNr	276
3.4.1. Caractérisation de la région intergénique 16S-23S de l'ADNr	276
3.4.2. Identification bactérienne par PCR de la région intergénique 16S-23S de l'ADNr et analyse du polymorphisme du profil PCR	279
3.4.3. Identification bactérienne par PCR-Restiction Fragment Length Polymorphism (RFLP) de la région intergénique 16S-23S de l'ADNr	279
3.4.4. Identification bactérienne par PCR en utilisant des amorces spécifiques construites à partir de la région intergénique 16S-23S de l'ADNr	280
4. Les méthodes ne nécessitant pas de culture bactérienne	280
4.1. Électrophorèse de l'ADN simple brin (Single Strand Conformation Polymorphism, SSCP)	281
4.1.1. Principe de la technique	281
4.1.2. Applications de la Single Strand Conformation Polymorphism (SSCP) dans les aliments	281
4.2. Électrophorèse de l'ADN en condition dénaturante : DGGE, TGGE et TTGE	284
4.2.1. Principe de ces techniques	284
4.2.2. Applications de ces techniques dans les aliments : identification des bactéries sans culture préalable	286
4.2.3. PCR en temps réel (PCR quantitative)	288
5. Les méthodes d'identification des souches bactériennes	289
5.1. L'électrophorèse en champ pulsé (Pulsed Field Gel Electrophoresis, PFGE)	290
5.2. PCR-RAPD	290

5.3. PCR-AFLP	291
5.4. Les puces à ADN (DNA microarray)	291

Chapitre V Applications Alimentaires : Produits Fermentés

Les bactéries lactiques du raisin et du vin : Leur rôle en vinification

<i>Aline LONVAUD-FUNEL</i>	295
1. Les bactéries lactiques dans l'écosystème microbien œnologique ..	295
2. La population de bactéries lactiques du raisin et du vin	296
3. Evolution de la population des bactéries lactiques pendant la vinification	299
4. Métabolismes des bactéries lactiques en vinification	305
5. <i>Oenococcus oeni</i> : l'espèce bactérienne d'intérêt technologique en œnologie	312

Les bactéries lactiques : une composante de l'écosystème microbien des fromages

<i>Emmanuel JAMET</i>	319
1. Introduction	319
2. Les espèces rencontrées et/ou utilisées dans les fromages	321
3. Propriétés fonctionnelles des bactéries lactiques dans les fromages ..	328
4. La sélection des ferments selon des technologies fromagères	338
5. Perspectives	343

Les bactéries lactiques amylolytiques des aliments fermentés tropicaux

<i>Julien HAYDERSAH, Isabelle CHEVALLIER, Jean Pierre GUYOT</i>	349
1. Introduction	349
2. Diversité de la microflore lactique naturelle des aliments fermentés tropicaux	349
3. Les bactéries lactiques amylolytiques	350
4. Les activités amylasiques	351
4.1. Les α -amylases	352
4.1.1. Particularités des α -amylases des bactéries lactiques amylolytiques	352
4.1.2. Structure moléculaire des α -amylases	353
4.2. L'amylopullulanase	356
5. Potentialités d'utilisation des bactéries lactiques amylolytiques	357
6. Conclusion	358

Le kéfir

<i>Piotr WALCZAK and Zdzisława LIBUDZISZ</i>	361
1. Introduction	361
2. History of Kefir	362
2.1. Kefir grains	362
2.2. Microbiota of kefir grains	364
2.3. Bacterial microbiota of kefir grains	365
2.4. Yeast microbiota of kefir grains	367
3. Kefir production methods	368

3.1. Artisanal method	368
3.2. Industrial production	369
3.3. Modern methods	370
4. Starter cultures for kefir production	370
5. Chemical composition of kefir	372
6. Nutritional value of kefir and health benefit	374
7. Future prospects	377

Les levains de panification : un écosystème microbien cérééalier complexe et des fonctionnalités spécifiques

<i>Bernard ONNO, Rossi VALCHEVA, Xavier DOUSSET</i>	381
1. Introduction	381
2. Définition d'un levain de panification	383
3. Biodiversité microbienne des levains de panification	385
3.1. Les levures des levains	386
3.2. Les bactéries lactiques des levains	387
3.3. Interactions entre levures et bactéries lactiques dans les levains	388
4. Le métabolisme des glucides chez les bactéries lactiques	389
5. Fonctionnalités des bactéries lactiques des levains	392
5.1. Le rôle protéolytique des bactéries lactiques	392
5.2. La production du gaz carbonique	393
5.3. L'action sur les pentosanes	393
5.4. Les aspects aromatiques	394
5.4.1. Les composés volatils	394
5.4.2. Le quotient fermentaire	394
5.5. L'activité anti-microbienne	395
5.6. La production d'exopolysaccharides	396
5.7. Les aspects nutritionnels	396
6. Les facteurs influençant l'activité des levains de panification	397
7. Conclusion	399

Les produits carnés

<i>Isabelle CHEVALLIER</i>	403
1. Introduction : origine des microflore	403
2. Bactéries lactiques dans les produits carnés	404
3. Rôle des bactéries lactiques dans la fermentation d'un produit carné : le saucisson sec	406
3.1. Incidence sur les propriétés sensorielles du saucisson	407
3.1.1. La texture	407
3.1.2. La couleur	408
3.2. Incidences sur les qualités hygiéniques : la bioconservation	410
4. Rôle des bactéries lactiques dans l'altération des produits carnés conservés sous vide ou sous atmosphère contrôlée	413
5. Conclusion	418

La biopréservation

<i>Marie-France PILET, Ségolène CALVEZ, Anne BRILLET, Hervé PRÉVOST</i>	421
1. Introduction	421

2. Sélection de micro-organismes utilisables pour la biopréservation . .	422
3. Applications sur les denrées alimentaires	423
4. Réglementation concernant l'utilisation de bactéries productrices de bactériocine dans les aliments	434
5. Conclusion	437

Les produits végétaux

Saïd ENNAHAR	441
1. Introduction	441
2. Flore microbienne et fermentation végétale	442
2.1. Flore naturelle	442
2.2. Fermentation et évolution de la flore	443
3. Fermentation contrôlée et ferments sélectionnés	444
4. Principaux produits fermentés	445
4.1. Chou	445
4.1.1. Principe de fabrication	445
4.1.2. Microbiologie de la fermentation	446
4.1.3. Défauts et problèmes de fabrication	449
4.2. Les olives	450
4.2.1. Principe de fabrication	450
4.2.2. Microbiologie de la fermentation	451
4.2.3. Problèmes et défauts de fabrication	452
4.3. Les concombres	453
4.3.1. Principe de fabrication	453
4.3.2. Microbiologie de la fermentation	454
4.3.3. Problèmes et défauts de fabrication	455
5. Conclusion	455

Bactéries lactiques et applications alimentaires

Les Produits de la mer

Françoise LEROI	459
1. Les bactéries lactiques chez les poissons marins vivants	459
2. Les bactéries lactiques dans les produits de la mer	461
2.1. Les poissons frais	461
2.2. Les poissons légèrement préservés	462
3. Rôle des bactéries lactiques dans les produits de la mer	463
3.1. Altération	463
3.2. Biopréservation	466
3.3. Probiotiques	469
3.4. Fermentation	469
4. Conclusion	470

Chapitre VI Bactéries lactiques et santé

Bactéries lactiques et Microbiote digestif Humain

Catherine MICHEL	475
1. Introduction	475

2. Identité et niveaux de populations des bactéries propioniques lactiques dans le tube digestif humain	477
3. Facteurs susceptibles d'affecter la nature et /ou les niveaux de populations des bactéries propioniques lactiques intestinales	483
4. Fonctions des bactéries propioniques lactiques intestinales	494
5. Conclusion	500

Les probiotiques

<i>Tatiana ROCHAT et Philippe LANGELLA</i>	505
1. Introduction	505
2. Critères de sélection d'un bon probiotique	506
3. Les allégations santé des probiotiques	510
4. Les probiotiques recombinants	515
5. Conclusion	516

Production de molécules vaccinales et thérapeutiques

<i>Catherine DANIEL et Yvonne ROUSSEL</i>	521
1. Les muqueuses	522
1.1. Les muqueuses, description et fonctions	522
1.2. Disfonctionnement des muqueuses et intérêt des bactéries lactiques	524
2. Développement des bactéries lactiques recombinantes pour la délivrance de molécules thérapeutiques au niveau des muqueuses	527
2.1. Quelles bactéries choisir pour délivrer des molécules thérapeutiques ?	527
2.2. Outils d'expression hétérologue chez les bactéries lactiques ..	530
2.3. Marqueurs et systèmes de confinement adaptés pour une application en santé humaine	532
3. Applications «santé» des bactéries lactiques recombinantes	534
3.1. Prévention ou traitement contre les maladies infectieuses	535
3.2. Modulation de la réponse allergique	537
3.3. Sécrétion de molécules bénéfiques et thérapeutiques au niveau du tube digestif	538
4. Recherches et applications futures : vers les bactéries lactiques médicaments	539

Chapitre VII Production industrielle

Préparation des ferments en usine

<i>Claude P. CHAMPAGNE et Gulshan ARORA</i>	549
1. Les cultures lactiques	549
1.1. Espèces rencontrées	549
1.2. Ferments mésophiles-thermophiles	550
1.3. Cultures mésophiles aromatiques	550
1.4. Ferments et bactériophages	551
2. Méthodes	552
2.1. Impact des changements des équilibres des souches en fromagerie	552

2.2.	Ensemencement direct	553
2.2.1.	Conservation des cultures à l'usine	553
2.2.2.	Utilisation : recommandations	554
2.2.3.	Caractéristiques ferments ESD VS cultures DVS	555
2.3.	Cultures mères pour la préparation des ferments ESD en usine	555
2.3.1.	Ensemencement direct de la cuve à ferments avec cultures commerciales	556
2.3.2.	Ensemencement de la cuve à ferments avec des cultures fraîches	556
3.	Milieux pour la propagation de ferments lactiques-ESD	558
3.1.	Lait	558
3.2.	Milieux à base de lactosérum	559
3.2.1.	Concentrés protéiques [63]	560
3.2.2.	Enrichissement du lactosérum - milieux commerciaux	560
4.	Préparation du milieu pour ferments produits à l'usine laitière	562
4.1.	Teneur en solides	562
4.2.	Traitement thermique	563
4.2.1.	Aspects microbiologiques	563
4.2.2.	Aptitude à la croissance des bactéries lactiques	564
4.3.	Eau et désinfectants	565
5.	Conduite de la fermentation - ferments ESD	566
5.1.	Inoculation	566
5.1.1.	Inoculation de la cuve à ferment ESD	566
5.1.2.	Inoculation du lait de fabrication à partir de la cuve à ferment	567
5.2.	Température d'incubation	567
5.2.1.	Effet sur les rendements cellulaires	568
5.2.2.	Effet sur les ratios des souches	568
5.3.	Choix du pH en CEpH	569
5.3.1.	Fermentation en zone	569
5.3.2.	Effet sur les populations	570
5.3.3.	Effet sur les activités métaboliques	570
5.3.4.	Effet de la base de neutralisation	571
5.3.5.	Effet de l'agitation	571
5.4.	Arrêt de la fermentation	572
5.4.1.	Fermentations sans CepH	572
5.4.2.	Fermentations avec CepH	573
5.5.	Entreposage des cultures	573
	Liste des auteurs	577