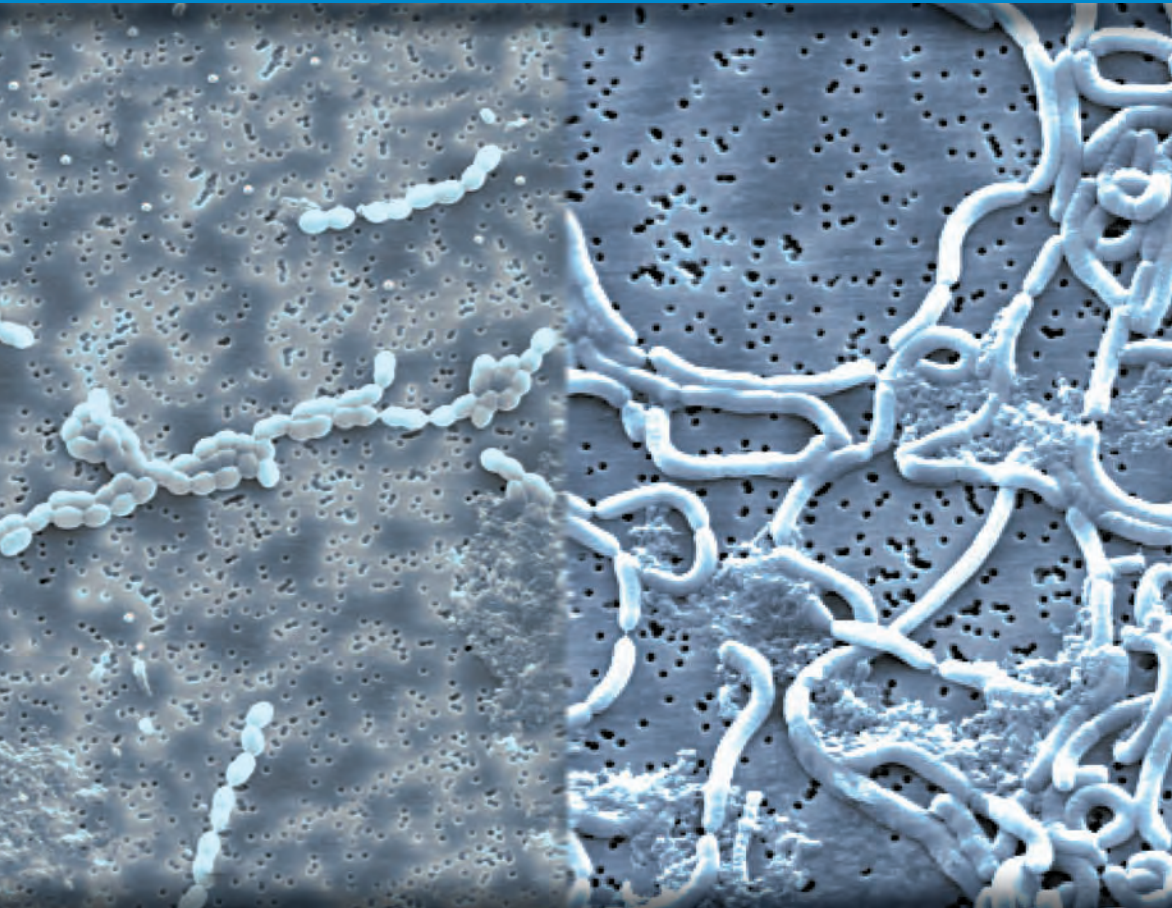




COLLECTION
SCIENCES & TECHNIQUES
AGROALIMENTAIRES

François-Marie Luquet • Georges Corrieu
coordonnateurs



Bactéries lactiques et probiotiques

Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

Bactéries lactiques et probiotiques

COLLECTION
SCIENCES & TECHNIQUES
AGROALIMENTAIRES



Président du Directoire : J.-L. MULTON

Bactéries lactiques et probiotiques

coordonnateurs

François-Marie Luquet

docteur ès sciences

ancien directeur du centre international de recherches Daniel-Carasso
(groupe Danone)

expert près la Cour de cassation et la cour d'appel de Paris
vice-président de Bio-K⁺ International (Canada)

Georges Corrieu

docteur de l'université de Dijon

responsable du laboratoire de génie et microbiologie des procédés alimentaires,
Institut national de la recherche agronomique (Thiverval-Grignon)
professeur consultant à l'Institut national agronomique Paris-Grignon



11, rue Lavoisier
75008 Paris

LONDRES - PARIS - NEW YORK

Chez le même éditeur

Nutrigénétique du risque cardiovasculaire – Terrains génétiques et nutrition
C. Junien, 2003

11^e réunion du Club des bactéries lactiques
Rédacteur en chef invité : A. Lonvaud
Science des Aliments, vol. 22 n°1-2, 2002

La science alimentaire de A à Z
J. Adrian, J. Potus, R. Frangne, 3^e éd., 2002

Entérobactéries – Systématique et méthodes de diagnostic
collection « Monographies de microbiologie »
B. Joly, A. Reynaud, 2002

Immunologie
N. Genetet, coord., 4^e éd., 2002

Aliments fonctionnels
collection « Sciences et techniques alimentaires »
M. Roberfroid, coord., 2001

Introduction à la nouvelle classification bactérienne – Les principaux groupes bactériens
J.-P. Larpent, 2000



© LAVOISIER, 2005

ISBN : 2-7430-0741-9

ISSN : 0243-5624

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands-Augustins - 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1^{er} juillet 1992 - art. L. 122-4 et L. 122-5 et Code pénal art. 425).

Remerciements

Écrire un tel ouvrage, collectif, n'est guère aisé... Chacun ayant sa personnalité, son style, ses habitudes.

Nous tenons à remercier les différents auteurs de nous avoir fait confiance, d'avoir répondu en écrivant un chapitre selon les règles et, surtout d'avoir transmis son savoir scientifique.

Nous tenons à remercier les membres de notre comité de lecture, et en particulier Michel Desmazeaud et M^{me} Sodimi qui nous ont conseillés et beaucoup apporté.

Ce document sera suivi d'un second ouvrage qui présentera les dernières acquisitions scientifiques en matière de connaissance des bactéries lactiques.

Ils font suite à un ouvrage français, dont l'un d'entre nous était coordonnateur, paru il y a quelques années, mais hélas partiellement caduque.

Bonne lecture à vous — n'hésitez pas à nous apporter critiques ou suggestions !

Les coordonnateurs
François-Marie Luquet et Georges Corrieu

Liste des auteurs

Véronique Agnetti

*chef de groupe Études cliniques
Danone Vitapole
RD 128
91767 Palaiseau cedex*

Jean-Marc Berjeaud

*maître de conférences des universités
unité de microbiologie fondamentale
et appliquée – UMR 6008
IBMIG
Université de Poitiers
40 avenue du Recteur Pineau
86022 Poitiers cedex*

Sylvie Breton

*docteur ingénieur
ingénieur de recherches en nutrition
Danone Vitapole
RD 128
91767 Palaiseau cedex*

Jean-Michel Faurie

*docteur ingénieur
chef de groupe Sélection de souches
Danone Vitapole
RD 128
91767 Palaiseau cedex*

Bénédicte Flambard

*PhD
Project Manager/Research Scientist
Chr. Hansen
Genomics and Strain Development
Bøge Allé 10-12
DK-2970 Hørsholm, Danemark*

Jacques Frère

*professeur des universités
unité de microbiologie fondamentale
et appliquée – UMR 6008
IBMIG
Université de Poitiers
40 avenue du Recteur Pineau
86022 Poitiers cedex*

Yann Héchard

*maître de conférences des universités
laboratoire de chimie de l'eau
et de l'environnement
IBMIG
Université de Poitiers
40 avenue du Recteur Pineau
86022 Poitiers cedex*

Laurent Marchal

*Responsable industrialisation Ferments
Danone Vitavaleur
RD 128
91767 Palaiseau cedex*

Philippe Marteau

*MD, PhD, professeur des universités
Hôpital européen Georges Pompidou
Service de gastro-entérologie
20 rue Leblanc
75508 Paris cedex 15*

Marie-Christine Moreau

*ancien directeur de recherches
INRA
unité d'écologie et de physiologie
du système digestif
78350 Jouy en Josas*

Dany Morisset

*laboratoire de biochimie
et de microbiologie
Université Laval
Pavillon Marchand
Ste-Foy (Québec) G1K 7P4, Canada*

David Obis

*docteur en sciences des aliments
microbiologiste alimentaire
Groupe Danone
Centre de sécurité des aliments
RD 128
91767 Palaiseau cedex*

Élisabeth Oudot

*expert développement ferments
Danone Vitapole
RD 128
91767 Palaiseau cedex*

Denis Paquet

*docteur ès sciences
responsable du groupe de recherche Lait
Danone Vitapole
RD 128
91767 Palaiseau cedex*

Sandra Pernoud

*ingénieur agronome
docteur en microbiologie
ingénieur de recherche
Danone Vitapole
Centre de sécurité des aliments
RD 128
91767 Palaiseau cedex*

Tobin Robinson

*PhD, BSc
microbiologiste
Danone Vitapole
Centre de sécurité des aliments
RD 128
91767 Palaiseau cedex*

Nicole Schneid-Citrain

*docteur ingénieur
responsable de l'information scientifique
et technique
Danone Vitapole
RD 128
91767 Palaiseau cedex*

Philippe Seksik

*MD, chef de clinique
Hôpital européen Georges Pompidou
Service de gastro-entérologie
20 rue Leblanc
75508 Paris cedex 15*

Anne Korslund Søndergaard

*Development Scientist
Chr. Hansen
Research & Development
Bøge Allé 10-12
DK-2970 Hørsholm, Danemark*

Table des matières

Chapitre 1

Application des bactéries lactiques dans les produits laitiers frais et effets probiotiques

(S. Pernoud, N. Schneid-Citrain, V. Agnetti, S. Breton, J.M. Faurie,

L. Marchal, D. Obis, E. Oudot, D. Paquet, T. Robinson) _____ 1

1. Introduction sur les « produits laitiers frais »	1
1.1. Définitions	1
1.1.1. Produit laitier frais	1
1.1.2. Lait fermenté	4
1.1.3. Lait fermenté à effet probiotique	5
1.2. Évolution des laits fermentés dans le monde au cours des âges	6
1.2.1. Traditions sur les bénéfices santé.	6
1.2.2. Produits et modes de consommation	7
1.3. Réglementation sur les laits fermentés	9
1.3.1. Différentes réglementations	9
1.3.2. Les allégations santé relatives à l'utilisation de probiotiques	11
2. Aspects économiques	14
2.1. Marché des laits fermentés	14
2.1.1. Consommations de produits dans le monde.	14
2.1.2. Principaux acteurs du domaine des laits fermentés	18
2.2. Attentes consommateurs vis-à-vis des laits fermentés	22
2.2.1. Critères de choix d'un lait fermenté.	22
2.2.2. Impact d'une communication sur les effets des probiotiques	23
3. Étapes technologiques de la fabrication d'un yoghourt	25
3.1. Les ferments et leur impact sur la fermentation	25
3.1.1. Caractérisation des souches pures	25

3.1.2. Sélection des souches pures pour chacune des espèces dans le but de créer un ferment	33
3.1.3. Protocoopération ou symbiose	34
3.2. Choix des matières premières – Impact sur la fermentation	37
3.2.1. Matières premières laitières	37
3.2.2. Matières premières non laitières	49
3.3. Procédés de fabrication	51
3.3.1. Schémas des principaux procédés	51
3.3.2. Moyens de maîtrise des étapes clés de la fermentation	57
3.4. Caractérisation des produits finis yoghourt	62
3.4.1. Caractères physicochimiques	62
3.4.2. Caractères microbiologiques	62
3.4.3. Caractères sensoriels	64
3.5. Aspects logistiques	67
4. Mise au point de produits laitiers frais pour effets santé démontrés	69
4.1. Choix des souches – Démarche générale de sélection d’un probiotique	70
4.2. Aspects technologiques – Choix et sélection des souches	70
4.2.1. Propagation	71
4.2.2. Adaptation au support laitier	72
4.2.3. Survie dans les produits laitiers frais	73
4.3. Démonstration des effets bénéfiques pour la santé afin de garantir les allégations	74
4.3.1. Études <i>in vitro</i> et précliniques (approches mécanistiques et études chez l’animal)	75
4.3.2. Études cliniques sur les probiotiques	76
4.3.3. Exemples d’études cliniques sur les probiotiques	82
4.3.4. Conclusion – Faisceau de preuves	83
5. Aspects de sécurité et de propriété industrielle relatifs à la sélection de nouvelles souches de bactéries lactiques	84
5.1. Aspects sécurité du développement de nouvelles souches de bactéries lactiques	84
5.1.1. Criblage initial des souches	85
5.1.2. Innocuité et sécurité d’emploi de la souche d’intérêt	89
5.1.3. Innocuité du nouveau produit fini	90
5.1.4. Conclusion	91
5.2. Propriété industrielle – Protection des matériels biologiques	91
5.2.1. Notions générales de propriété industrielle	91
5.2.2. Historique de la propriété industrielle des matériels biologiques	91
5.2.3. La protection des matériels biologiques en pratique	92
6. Conclusion et perspectives	94
6.1. Impacts économiques de l’utilisation de probiotiques dans les laits fermentés	94

6.2. Utilisations potentielles des probiotiques dans d'autres secteurs de l'alimentation humaine	96
6.3. Évolutions attendues pour renforcer les preuves des bénéfices santé des aliments probiotiques	97
Remerciements	99
Références bibliographiques	100

Chapitre 2

Bactériocines de bactéries lactiques

<i>(Dany Morisset, Jean-Marc Berjeaud, Jacques Frère et Yann Héchard)</i> ———	113
1. Classification des bactériocines	113
1.1. Classe I – Lantibiotiques	114
1.1.1. Lantibiotiques de type A	114
1.1.2. Lantibiotiques de type B	115
1.1.3. Autres lantibiotiques	116
1.2. Classe II – Peptides non modifiés	116
1.2.1. Sous-classe IIa	117
1.2.2. Sous-classe IIb	118
1.2.3. Sous-classe IIc	120
1.3. Classe III – Protéines	120
1.4. Classe IV – Bactériocines complexes	120
2. Organisation génétique et régulation	121
2.1. Lantibiotiques	121
2.1.1. Organisation générale	121
2.1.2. Éléments génétiques du locus	124
2.2. Bactériocines de classe II	127
2.2.1. Organisation générale	127
2.2.2. Éléments génétiques du locus	128
3. Sécrétion des bactériocines	130
3.1. Peptide leader	130
3.1.1. Peptides leaders de type « FNLDV »	131
3.1.2. Peptides leaders de type « GG »	132
3.2. Transporteur de type ABC	134
3.3. Facteur accessoire	137
4. Structure et mode d'action	138
4.1. Bactériocines de classe I	139
4.1.1. Structure	139
4.1.2. Relations structure/fonction	142
4.1.3. Mode d'action	144
4.2. Bactériocines de classe II	147
4.2.1. Bactériocines de sous-classe IIa	147
4.2.2. Bactériocines de sous-classe IIb	157
4.2.3. Bactériocines de sous-classe IIc	159

4.3. Bactériocines de classe III	161
5. Applications industrielles des bactériocines de bactéries lactiques	162
5.1. Protection alimentaire	163
5.1.1. Additif alimentaire	163
5.1.2. Cultures protectrices	165
5.1.3. Applications industrielles	170
5.1.4. Conclusion	170
5.2. Hygiène et santé	172
Références bibliographiques	174

Chapitre 3

Application of probiotics in food

(Anne Korslund Søndergaard) _____ 195

1. Introduction	195
2. Application in yoghurt and other fermented milks	196
2.1. Factors affecting viability of probiotics in fermented milks	196
2.2. Improving viability in fermented milks and other foods	198
2.2.1. Inoculation	198
2.2.2. Oxygen	198
2.2.3. Acid	199
2.2.4. Temperature	199
2.2.5. Proteolytic activity	199
2.2.6. Encapsulation	200
2.3. Fermented milk products on the market	200
3. Application in other food products	201
3.1. Ice cream	201
3.2. Cheese	202
3.3. Beverages	203
3.4. Cereal based products	204
3.5. Mayonnaise-based products and spreads	204
4. Isolation and enumeration of probiotics in food products	205
Conclusion	207
References	207

Chapitre 4

Bactéries lactiques probiotiques et immunité

(Marie-Christiane Moreau) _____ 211

Introduction	212
1. Rappels sur l'immunité	212
1.1. Immunité innée	212

1.2. Immunité acquise	213
1.3. Balance Th1/Th2 et cellules Th3	214
2. Système immunitaire associé à l'intestin (SII)	215
2.1. Description du SII	216
2.2. Fonctions du SII	217
2.2.1. Réponses suppressives – Cas de la tolérance orale	217
2.2.2. Réponses protectrices – Cas de la réponse anticorps IgA sécrétoire	219
3. Effets des bactéries de la flore intestinale commensale sur l'immunité de l'hôte	219
3.1. Flore intestinale commensale de l'homme	220
3.2. Interactions « flore intestinale et SII ».	221
3.2.1. Activation du SII	222
3.2.2. Modulation des réponses spécifiques – Exemple de la réponse IgA anti-rotavirus	223
3.2.3. Régulation des processus immuns	224
3.3. Interactions flore et système immunitaire périphérique	225
3.3.1. Réponses atopiques – Balance Th1/Th2	225
3.3.2. Susceptibilité aux maladies	226
4. Effets des bactéries lactiques (BL) sur l'immunité	226
4.1. Conditions pour un effet « probiotique ».	227
4.1.1. Facteurs liés aux BL	227
4.1.2. Facteurs liés à l'hôte et à l'équilibre de sa flore intestinale	230
4.2. Effets immunomodulateurs des BL – Études cliniques et mécanismes impliqués	231
4.2.1. Cas de l'enfant	232
4.2.2. Cas de l'adulte	237
4.3. Effets des BL chez l'homme sain	240
4.3.1. Adulte	240
4.3.2. Cas de la personne âgée	242
Conclusions et perspectives	242
Références bibliographiques	246

Chapitre 5

Probiotiques et alicaments

<i>(Philippe Marteau, Philippe Seksik)</i>	255
1. Définitions et généralités	255
1.1. Définitions	255
1.2. Composition et sélection	256
2. Pharmacologie des bactéries lactiques chez l'homme	257
2.1. Principes actifs	258
2.2. Pharmacocinétique (survie dans l'intestin – adhérence – colonisation)	258
2.2.1. Méthodes d'étude	258

2.2.2. Facteurs influençant la pharmacocinétique de probiotiques	259
2.2.3. Survie de probiotiques ingérés dans le tube digestif et colonisation	260
3. Effets démontrés	263
3.1. Amélioration de la digestion du lactose	263
3.2. Autres effets directs enzymatiques	264
3.3. Raccourcissement et prévention de gastro-entérites	265
3.3.1. Effet curatif	265
3.3.2. Effet préventif	266
3.4. Effets au cours d'infections intestinales spécifiques et au cours de la diarrhée du voyageur	268
3.4.1. <i>Clostridium difficile</i>	268
3.4.2. <i>Helicobacter pylori</i>	268
3.4.3. Diarrhée du voyageur	269
3.5. Raccourcissement et prévention de diarrhées aux antibiotiques	269
3.6. Prévention de la rechute de maladies inflammatoires de l'intestin	269
3.6.1. Études avec le produit VSL # 3	271
3.6.2. Études avec <i>Saccharomyces boulardii</i>	271
3.6.3. Études avec <i>Escherichia coli</i> Nissle 1917	273
3.6.4. Études avec <i>Lactobacillus rhamnosus</i> GG et autres produits	273
3.7. Diarrhées autres	274
3.8. Syndrome de l'intestin irritable	274
3.9. Cancer du côlon et autres cancers	275
3.10. Affections non gastro-entérologiques	275
3.10.1. Infections non digestives	276
3.10.2. Allergies	276
4. Mode d'action	277
4.1. Effets directs	277
4.2. Effets sur la flore endogène et indirects par son intermédiaire	278
4.3. Effets sur la barrière muqueuse et immunologique et effets indirects par cet intermédiaire	278
5. Effets indésirables potentiels	279
5.1. Infections	279
5.2. Autres effets indésirables théoriques – Métaboliques, immunologiques et génétiques	280
6. Applications cliniques futures de bactéries lactiques génétiquement modifiées ?	281
Références bibliographiques	282

Chapitre 6

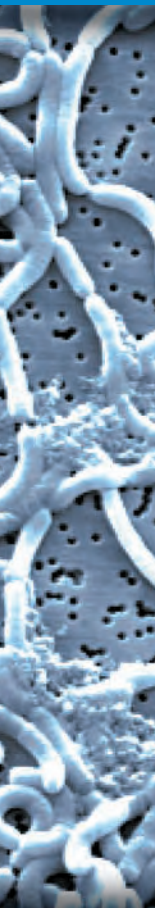
Lactic acid bacteria and cardiovascular health

(Bénédicte Flambard) _____ 291

Introduction 291

1. The preferable target mechanism in hypertension by functional foods –
 The major role of ACE 292
2. Action mechanisms of lactic acid bacteria on the cardiovascular system. 293

2.1. Liberation of bioactive peptides from caseins	293
2.2. Effect of ACE inhibitors <i>in vivo</i>	296
2.2.1. Tail cuff method	296
2.2.2. Telemetry method	297
3. Anti-hypertensive functional foods	299
Conclusion	300
References	301
Index	303



La fiabilité des recherches et l'évolution des connaissances rendent obsolète la littérature parue ces dernières années dans le domaine des probiotiques et de leurs applications, à partir de bactéries.

Cet ouvrage rassemble les dernières acquisitions des connaissances issues de recherches effectuées tant en France qu'à l'étranger par des équipes publiques et universitaires (INRA, INSERM, Institut Pasteur, CNRS, HEG Paris V...) et privées (Chr. Hansen, Danone, Nestle, ITFF, Danisco...)

Ce traité est articulé autour de 6 chapitres traitant successivement :

- des applications des bactéries lactiques dans les produits laitiers et des effets des probiotiques ;
- des bactériocines de bactéries lactiques ;
- des applications des probiotiques dans les aliments ;
- des bactéries lactiques probiotiques et de l'immunité ;
- des probiotiques et des alicaments ;
- des bactéries lactiques et de la santé cardiovasculaire.

Bactéries lactiques et probiotiques s'adresse ainsi à un triple public :

- microbiologistes, ingénieurs et techniciens des industries agroalimentaires, notamment laitières ;
- professionnels de la nutrition, de l'alimentation et de la santé ;
- spécialistes du marketing et de la communication des produits alimentaires, chargés de communiquer vers le consommateur dans le respect de la réglementation et de la déontologie.

François-Marie Luquet, docteur ès sciences, ancien directeur du centre international de recherches Daniel-Carasso (Groupe Danone), expert près la Cour de cassation et la cour d'appel de Paris, est vice-président de Bio-K+ International (Canada).

Georges Corrieu, docteur de l'université de Dijon, responsable du laboratoire de génie et microbiologie des procédés alimentaires (INRA Thiverval-Grignon), est professeur consultant à l'Institut national agronomique de Paris-Grignon.

2-7430-0741-9



9 782743 007416