

un point sur...

les fermentations au service des produits de terroir

M.-C. Montel, C. Béranger, J. Bonnemaire, coord.



 **INRA**
EDITIONS

un point sur...

Les fermentations au service des produits de terroir

Les fermentations au service des produits de terroir

Marie-Christine Montel, Claude Béranger,
Joseph Bonnemaire, coordonnateurs

un point sur...

Comportement et bien-être animal

M. PICARD, R.H. PORTER, J.P. SIGNORET, coord.
1994, 228 p.

Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols (France)

D. BAIZE
1997, 412 p.

Oiseaux à risques en ville et en campagne Vers une gestion intégrée des populations ?

P. CLERGEAU, coord.
1997, 376 p.

Aliments et industries alimentaires : les priorités de la recherche publique

P. FEILLET, coord.
1998, 288 p.

L'homme et l'animal : un débat de société

Arouna P. OUÉDRAOGO, P. LE NEINDRE, coord.
1999, 218 p.

L'eau

G. GROSCLAUDE, coord.

T1. Milieu naturel et maîtrise

1999, 204 p.

T2. Usages et polluants

1999, 210 p.

Environnement et aquaculture

J. PETIT, coord.

T1. Aspects techniques et économiques

1999, 228 p.

T2. Aspects juridiques et réglementaires

2000, 370 p.

Les supports de culture horticoles

P. MOREL, L. PONCET, L.M. RIVIÈRE, coord.
2000, 92 p.

La lutte physique en phytoprotection

C. VINCENT, B. PANNETON,
F. FLEURAT-LESSARD, coord.
2000, 356 p.

Les animaux d'élevage ont-ils droit au bien-être ?

F. BURGAT
avec la collaboration de R. DANTZER
2001, 200 p.

Le bon vivant

Une alimentation sans peur et sans reproche

P. FEILLET
2002, 288 p.

Les éléments traces métalliques dans les sols

Approches fonctionnelles et spatiales

D. BAIZE, M. TERCÉ, coord.
2002, 570 p.

L'organisation vasculaire des Angiospermes : une vision nouvelle

J.-P. ANDRÉ
2002, 144 p.

Hydrangea

Acquisitions nouvelles et applications

V. GUÉRIN, coord.
2002, 138 p.

Lactoprotéines et lactopeptides

Propriétés biologiques

P. JOUAN
2002, 128 p.

Estimation des risques environnementaux des pesticides

E. BARRIUSO, coord.
2003, 128 p.

Prairies et cultures fourragères en France

Entre logiques de production et enjeux territoriaux

C. HUYGHE, coord.
2005, 224 p.

Proximités et changements socio- économiques dans les mondes ruraux

A. TORRE, M. FILIPPI, coord.
2005, 328 p.

« On ne peut situer la maîtrise d'un tel processus de transformation qu'à l'aube des civilisations, à la charnière entre la nature et la culture. Nous retrouvons dans tous les aspects des diverses fermentations cette tension entre nature et artifice, entre risque et savoir-faire, entre saveurs et pourritures, entre universalité du phénomène et diversité des produits. »

I. Raboud-Schüle et N. Stäuble-Tercier, *Ferments en folie*
(Nestlé Fondation Alimentation).

Sommaire

■ Avant-propos	
<i>Jean Pinchon</i>	XI

■ Introduction	
<i>Marie-Christine Montel, Claude Béranger et Joseph Bonnemaire</i>	1

De l'aliment d'hier au produit d'aujourd'hui

Les produits d'origine en France et dans le monde	
<i>Philippe Mauguin</i>	9

■ **La tradition : ethnologie et histoire des procédés**

Les dimensions culturelles de la fermentation	
<i>Laurence Bérard et Philippe Marchenay</i>	13
Ces ferments qui ouvrent à la vie	
<i>Dominique Fournier</i>	29
Nomadisme et sédentarisation : de l' <i>airag</i> au <i>soja natto</i> , du <i>sapsago</i> au vin jaune	
<i>Jean Froc</i>	39
Des produits traditionnels en Asie du Sud-Est	
<i>Annie Hubert et Françoise Sabban</i>	47
Les fermentations alimentaires dans le monde chinois	
<i>Françoise Sabban</i>	51
Les préparations fermentées dans les cultures arabo-musulmanes	
<i>Françoise Aubaile-Sallenave</i>	57
Du chou à la choucroute, la saga d'un légume fermenté en Europe	
<i>Michel Chauvet</i>	65
Petite histoire de la bière	
<i>Philippe Voluer</i>	73
Maintien et sauvegarde des anciens procédés dans le secteur brassicole	
<i>Pierre Germain</i>	77

■ Les enjeux économiques

Producteurs et chercheurs : un engagement mutuel <i>André Valadier</i>	81
Modèles d'entreprises et légitimité des appellations d'origine contrôlée <i>Bertil Sylvander</i>	83

Les produits du terroir et leurs écosystèmes microbiens

■ Des aliments respectueux de notre santé

Nutrition, santé et plaisir <i>Gérard Pascal</i>	103
Des aliments sans risques <i>Pierre Pardon et Vincent Carlier</i>	107

■ Les boissons fermentées

Viticulture et œnologie <i>Claude Martel</i>	113
Le rôle des écosystèmes microbiens dans la vinification <i>Aline Lonvaud-Funel</i>	119
Le rôle des levures dans l'arôme variétal des vins : l'exemple du sauvignon <i>Denis Dubourdieu</i>	137
Influence des levures sélectionnées sur les flores naturelles <i>Sylvie Dequin et Bruno Blondin</i>	145
Les fermentations spontanées de la bière et du pain <i>André Miclo</i>	149
La technologie enzymatique au service de l'industrie brassicole <i>Pierre Germain</i>	155

■ La viande

La fermentation d'un produit carné : le saucisson sec <i>Régine Talon et Souad Christieans</i>	161
---	-----

■ Les fromages

Généralités sur les fromages <i>Marie-Christine Montel</i>	171
Un fromage à pâte cuite : le comté <i>Claude Vermot-Desroches et Éric Beuvier</i>	173
Un fromage à pâte molle : le livarot <i>Thierry Graindorge et Micheline Guéguen</i>	181

■ Les écosystèmes microbiens à l'œuvre dans les fromages AOC

Les communautés microbiennes, artistes des fromages ? <i>Marie-Christine Montel, Cécile Callon, Françoise Berthier, Jean-François Chamba et Micheline Guéguen</i>	189
--	-----

La microflore levain et non levain à cœur des fromages de comté <i>Françoise Berthier, Éric Beuvier, Yvette Bouton, Anne Depouilly, Franck Dufrene et Philippe Guyot</i>	205
La flore de surface des fromages à croûte lavée <i>Françoise Irlinger</i>	215
Écologie microbienne des laits et des fromages de Camembert <i>Micheline Guéguen, Nathalie Desmasures, David Corroler, Ségolène Henri-Dubernet, Stéphanie Gente et Chrystelle Lohéac</i>	227
La préservation <i>ex situ</i> de la ressource microbienne <i>Jean-François Chamba</i>	233
Générer la richesse sensorielle par la diversité microbienne <i>Henri-Éric Spinnler, Pascal Bonnarme, Françoise Irlinger et Marie-Noëlle Leclercq-Perlat</i>	237
 ■ Les apports de la biologie moléculaire	
Comprendre la dynamique des écosystèmes <i>Jean-Paul Jamet et Jean-Claude Hubert</i>	245
Génétique microbienne, biologie moléculaire et produits fermentés <i>Stéphane Aymerich</i>	247
Outils moléculaires et écologie microbienne <i>Céline Delbès et Sylvie Lortal</i>	255
 ■ Conclusion	
<i>Marie-Christine Montel, Claude Béranger et Joseph Bonnemaire</i>	259
 ■ Le mot de la fin	
<i>Bertrand Hervieu</i>	267
 ■ Annexes	
La sélection des souches d'intérêt technologique pour les fromages : application au livarot <i>Catherine Denis, Hugues Guichard, Marie-Noëlle Leclercq-Perlat, Pascal Bonnarme, Caroline Amiel et Laurence Mariey</i>	273
Méthodes de caractérisation moléculaire des levures <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Francis Karst et Jean-Luc Legras</i>	279
 ■ Remerciements	
291	
 ■ Liste des auteurs	
293	

Avant-propos¹

Un colloque sur « les fermentations », c'est inattendu mais sans doute utile parmi les nombreux débats sur la sécurité alimentaire. C'est pourquoi je suis particulièrement heureux d'ouvrir cette journée, et de souhaiter la bienvenue aux nombreux participants dans ce palais de la Découverte qui nous accueille auprès de la grande exposition sur l'alimentation organisée avec l'INRA et qui s'y tient depuis plusieurs mois.

Outre de multiples réseaux d'amitiés et de relations que je partage avec nombre d'entre vous depuis longtemps, plusieurs raisons expliquent ma présence ici. Tout d'abord, en tant qu'ancien président de l'INAO, je me dois de rappeler que, dans la première convention conclue avec l'INRA en 1994, deux réunions communes étaient envisagées pour faire le point des connaissances – souvent dispersées et en tout cas encore insuffisamment construites : un premier colloque sur les terroirs viticoles a eu lieu en 1996, et un autre sur les fermentations vient à présent poursuivre la tâche. C'est un thème difficile à aborder, sur lequel les chercheurs ne se sont pas massivement précipités, mais sur lequel mes successeurs sont restés demandeurs. C'est en effet un sujet crucial pour la problématique des AOC. Bertrand Hervieu a bien voulu faire en sorte que, cette année, les intentions de l'INRA rejoignent nos attentes. Je l'en remercie très vivement et je me réjouis que cette manifestation voie le jour.

Mon âge fait que j'ai très bien connu une période – l'immédiat après-guerre – où la plus grande partie des nourritures consommées en France étaient fermentées. D'ailleurs, dans le cours d'« industrie laitière » qui était dispensé à l'Institut national agronomique lorsque j'y étais étudiant, il n'était jamais question de pasteuriser le lait pour faire du fromage. Et j'ai gardé un souvenir extraordinaire de la manière dont on faisait les camemberts (toujours au lait cru bien sûr) chez Lepetit lorsque j'y ai effectué mon stage (très grand respect de la flore, de l'hygrométrie, précautions pour pénétrer dans le hâloir, etc.). Bref, personne n'aurait pu imaginer à cette époque ce qui s'est passé par la suite, et j'ai eu la chance de vivre toute cette histoire. Quelle ne fut pas ma surprise, par exemple, lors de mon premier voyage aux États-Unis après la guerre, de me trouver chez le plus grand fabricant américain de camemberts

1. Intervention prononcée lors du colloque INRA-INAO « Les fermentations au service des produits de terroir », 8 octobre 2003, palais de la Découverte, Paris.

pour constater qu'il pasteurisait ses laits. Quatre à cinq ans plus tard en France, la majorité des pâtes molles étaient pasteurisées.

Les fermentations conditionnent généralement l'évolution définitive d'un produit alimentaire. Souvent, elles sont à la base de sa conservation dans le temps. Elles développent des saveurs et des goûts garants du droit à la différence des AOC. Le consommateur doit souvent attendre que la lente transformation du produit soit terminée : il vit dans l'espérance de retrouver, lorsqu'il le dégustera, les odeurs et les goûts qu'il a l'habitude d'apprécier. C'est grâce à cette espérance que le producteur d'AOC, habile utilisateur des fermentations, devient, comme les artistes, un vendeur de rêves.

En réfléchissant avec nos amis de l'INRA sur l'ensemble des conditions de production des AOC, nous nous sommes dit qu'il était temps de faire le point sur ce si complexe sujet des fermentations, vaste domaine où les connaissances scientifiques viennent à la rencontre d'un socle profond de savoirs empiriques patiemment rassemblés par les producteurs et les transformateurs. Nous avons en même temps la conviction que la science était en train de faire la preuve de sa capacité d'accélérer très sérieusement sa demande sur un certain nombre de fronts de recherche qui entourent ce vaste domaine. Bref, nous avons été convaincus qu'il était temps de faire le point de façon multidisciplinaire, et de préciser l'état des connaissances scientifiques et celui des enjeux sur ce qui reste à faire, et sur les lacunes auxquelles il convient de s'attaquer prioritairement. Cette étape doit être un moyen de remettre en perspective certaines problématiques de recherche et de tisser de nouveaux liens entre disciplines, jusque là plus ou moins séparées, ainsi qu'entre chercheurs et partenaires du terrain.

S'il me revient d'ouvrir ce colloque, c'est aussi parce que le président de l'INAO, Pierre Prugues, n'a pu se libérer aujourd'hui et m'a demandé de le représenter. L'INAO est toutefois bien représenté par deux de ses présidents – René Renou, ainsi qu'André Valadier qui va présider la séance, lui qui a réellement installé les appellations d'origine de fromages et de produits laitiers dans la culture de l'INAO, ce qui n'était *a priori* pas facile – et par son directeur Philippe Mauguin.

Je tiens à remercier nos amis de l'INRA, et tout particulièrement son président Bertrand Hervieu qui a voulu avec moi ce colloque, ainsi que les organisateurs et les différents intervenants qui, sous la houlette de Claude Béranger aidé de Joseph Bonnemaire de François Roncin de l'INAO et de plusieurs collègues, ont su donner un contenu cohérent, pertinent et de haute qualité scientifique à notre réunion.

Jean Pinchon,
président d'honneur de l'INAO

Introduction

Marie-Christine Montel, Claude Béranger, Joseph Bonnemaire

Des aliments fermentés se rencontrent toujours et partout, depuis l'aube des temps jusqu'à nos jours et dans les diverses régions géographiques du monde. Ils sont extrêmement variés (pain, vin, fromages, bières et autres boissons alcoolisées), sources de saveurs et d'odeurs particulières, sources aussi de certains risques alimentaires.

En effet, avec la plupart des grandes civilisations sont apparus des savoir-faire d'élaboration et de conservation des aliments par les fermentations, générant des goûts et des cuisines qui font partie de l'identité de ces civilisations. Ainsi, des produits réputés de notre gastronomie française, reconnus par une appellation d'origine contrôlée, n'auraient pas cette identité sans les fermentations qui ont permis de les élaborer. Le vin provient d'une double fermentation du moût de raisin pressé, par des levures puis des bactéries, les fromages sont le fruit de la fermentation du lait caillé, le saucisson résulte des fermentations d'un mélange de viandes et graisses hachées. La diversité des saveurs au sein de chacun de ces produits est en partie le fruit des différences de fermentations qui s'y développent.

Longtemps ces fermentations sont restées un mystère pour les hommes qui cependant les utilisaient largement et astucieusement pour conserver leurs aliments. À la fin du XIX^e siècle, notamment grâce aux travaux de Pasteur, le rôle des micro-organismes a été mis en évidence et, ainsi, certains de leurs effets positifs ; les fermentations et affinages longs des produits sont sources de goûts spécifiques appréciés des consommateurs et des gourmets.

Cependant, au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, l'abondance alimentaire et les impératifs d'hygiène ont conduit à perfectionner à l'échelle industrielle les méthodes de conservation par le froid et l'asepsie. Les techniques mises en œuvre et l'industrialisation du secteur agroalimentaire ont amené à simplifier, à normaliser, là comme ailleurs, les processus de production et de transformation des produits, pour aboutir à des produits plus homogènes et dont la sécurité sanitaire est garantie de manière plus simple et plus systématique, souvent, hélas, au détriment de qualités organoleptiques. Les microbiologistes se sont intéressés aux organismes et aux combinaisons d'organismes susceptibles d'assurer les objectifs prioritaires du développement agroalimentaire industriel, mais pas, ou peu, aux écosystèmes microbiens des produits singuliers et réputés.

Or, l'élaboration des saveurs est un processus dynamique dans lequel les activités de communautés microbiennes complexes, en interactions entre elles et avec les constituants des matières premières dans des procédés technologiques divers, jouent un rôle irremplaçable. Dans les produits traditionnels, ces communautés microbiennes font partie intégrante du terroir. Leur diversité résulte du respect de la pluralité des environnements, des pratiques et des cultures locales. Elles contribuent largement à la richesse sensorielle des produits.

Les avancées spectaculaires de ces derniers temps en matière de biologie moléculaire et de génétique microbienne ont déjà renouvelé les méthodes d'étude des écosystèmes microbiens. Elles ont aussi fait progresser la maîtrise industrielle des fermentations et devraient permettre d'accroître notre compréhension et notre capacité d'action sur les fermentations des produits traditionnels, tout en préservant la spécificité et la complexité de leurs caractéristiques.

Il est cependant tout aussi important de garantir la santé des consommateurs contre certains risques de déviation de ces fermentations microbiennes qui peuvent devenir source de troubles sanitaires. Là encore, les progrès réalisés dans la maîtrise des fermentations, mais aussi des conditions de production et de conservation, permettent d'obtenir une bonne sécurité. Les avancées des sciences humaines, notamment de l'anthropologie, de l'ethnologie et de la sociologie, sont également essentielles pour comprendre le rôle et les fonctions de ces fermentations. Ces produits et leurs terroirs d'origine sont en effet des éléments essentiels du maintien des modes d'alimentation et des cultures de différentes civilisations, et ils constituent des forces de développement socio-économique et culturel des territoires locaux et régionaux. En même temps qu'un maintien d'une indispensable diversité des modèles alimentaires en Europe et dans le monde, ils contribuent à la préservation de la biodiversité et au développement des modèles d'agriculture durable. Toutefois, les contingences et les stratégies économiques interfèrent avec les autres facteurs de construction et de préservation de ces produits traditionnels fermentés et doivent être également étudiées avec attention.

Nous sommes en effet à une période charnière où des enjeux commerciaux, réglementaires et géostratégiques peuvent conduire à voir disparaître cette maîtrise des équilibres et les savoirs correspondant, et ainsi des pans de notre mémoire et de nos cultures – et au final de notre santé – dans la mesure où son équilibre est en partie lié à notre « savoir-manger ». Alors qu'apparaissent de nouveaux potentiels de connaissance et d'intervention concernant les produits fermentés, ceux-ci se trouvent placés au cœur de synergies, mais aussi de conflits, avec les attentes de nos sociétés.

C'est pourquoi, à l'initiative de Jean Pinchon, président d'honneur de l'INAO et de Bertrand Hervieu, président de l'INRA, un colloque scientifique a été organisé le 8 octobre 2003, avec l'objectif de synthétiser l'essentiel des connaissances et des expériences acquises sur ce sujet, et de constituer ainsi une mise au point solidement argumentée pour être convaincante. Ce colloque, inscrit dans le cadre des collaborations entre l'INRA et l'INAO

instituées depuis 1994, s'est déroulé au palais de la Découverte à Paris. Il a constitué l'une des manifestations qui ont ponctué la grande exposition « À table » qui s'y est tenue durant le second semestre 2003. Cette réunion scientifique a bénéficié du haut patronage du ministre de l'Agriculture, de la ministre de la Recherche et de celui de la Santé.

Ce colloque a été construit autour d'une série de conférences synthétiques, s'appuyant sur des exemples et sur des communications plus spécialisées et associant des intervenants professionnels. Il a rassemblé environ deux cents personnes : chercheurs, enseignants, professionnels des filières agro-alimentaires, du développement, de la distribution et de la restauration, représentants des organisations de consommateurs, des administrations concernées et de la presse spécialisée.

Le présent ouvrage reprend l'essentiel des synthèses et mises au point présentées par les différents auteurs. À ce titre, il structure sous une forme accessible un état des principales connaissances disponibles sur ce vaste domaine. Il met notamment en évidence les liens qui existent entre certaines avancées scientifiques et les pratiques et les savoir-faire des professionnels sur le terrain pour améliorer sans cesse et valoriser les qualités gustatives, nutritionnelles et sanitaires des aliments fermentés, et préserver leur originalité et leur diversité. Sa lecture permet de se rendre compte à la fois de la richesse des savoir-faire et de leur rôle, et de l'accélération récente de la dynamique scientifique dans certains domaines.

Dans une première partie – un panorama historique et géographique des produits fermentés – est présenté, sous le regard des socio-anthropologues, des ethnologues, mais aussi de bio-technologues². Ils apportent un éclairage sur les aspects culturels, sociologiques et patrimoniaux des produits, des terroirs et des procédés d'élaboration qui sont indiscutablement facteurs de diversité et de vitalité des cultures et supports de lien social. Les processus de fermentation sont considérés dans plusieurs registres, allant de la culture matérielle aux représentations que les hommes s'en font. Ainsi, les fermentations sont vues par de nombreuses sociétés comme un don divin autorisant un rapport privilégié avec des éléments inaccessibles et mystérieux de la nature. La généralité géographique et la diversité des produits fermentés dans différents pays du monde sont illustrées à travers plusieurs produits, et des évolutions comparées entre civilisations, notamment en Asie (Chine et Sud-Est asiatique) ou dans les pays arabo-musulmans mais aussi en Europe, sont étudiées. Une attention particulière est portée sur certains produits tels que le pain, la bière, les légumes dont la choucroute en Europe, le poisson en Asie, les fromages au Moyen-Orient.

Après cette passionnante ouverture du sujet sur le monde, cette partie se termine en posant certains enjeux économiques spécifiques des aliments fermentés, ou de certains produits caractérisés par une typicité liée à leur

2. P. Marchenay et L. Bérard (CNRS Bourg-en-Bresse), D. Fournier (CNRS-EHESS), F. Sabban (CNRS-EHESS) et A. Hubert (CNRS Marseille), M. Chauvet (INRA Montpellier), F. Aubaile-Sallenave (CNRS-MNHN), J. Froc (INRA-SAD), P. Germain, A. Miclo (université de Nancy), P. Voluer.

origine géographique³. La discussion est introduite autour de la question des stratégies agroalimentaires à développer, des particularités des modèles d'entreprise du secteur et de la légitimité de la protection de l'origine. La socio-économie de filières territorialisées de tels produits spécifiques est en effet support d'approches originales.

La seconde partie, très développée, concerne les écosystèmes microbiens et leur action dans la détermination des caractéristiques des produits de terroir. Un premier aspect essentiel est d'assurer la sécurité sanitaire des aliments. Il s'agit de montrer comment la sécurité « microbiologique » est maîtrisée malgré, mais aussi grâce à, la diversité et la complexité des communautés microbiennes⁴. Loin d'être ignorés, les dangers de développement de bactéries pathogènes sont en effet de mieux en mieux identifiés, et les moyens d'action et de contrôle existent. Cette maîtrise technologique doit évidemment être associée à un contrôle sans faille des contaminants tout au long de la chaîne de production, que ce soit avant fermentation dans la production des matières premières, ou après fermentation dans la conservation des produits fermentés.

L'objectif central est ensuite de montrer comment les fermentations interviennent au cours de l'élaboration de ces produits de terroir et contribuent à leurs saveurs, en toute sécurité. Nous avons choisi pour cela les boissons, principalement le vin, un produit carné – le saucisson – et surtout les fromages, sur lesquels un important travail de recherche a été réalisé.

L'exemple du vin est présenté par un viticulteur⁵ et par les contributions de plusieurs chercheurs. Une présentation synthétique⁶, complétée par quelques exemples⁷, montre combien la diversité de la microflore indigène, la complexité des communautés microbiennes et des interactions font de la vinification un très subtil équilibre à construire dans les écosystèmes microbiens. La présentation des pratiques et de leurs incidences sur la qualité des vins, notamment de leurs arômes, permet de mettre en lumière quelques enjeux importants pour les microbiologistes du vin.

Beaucoup de produits carnés ne sont pas fermentés, ou bien les possibles processus fermentaires n'ont jamais été étudiés. La vie microbienne du petit salé n'a jamais fait l'objet d'une étude approfondie, et les qualités du jambon sec ne résultent pas d'une fermentation microbienne. En effet, les contaminations microbiennes à cœur du jambon sec sont faibles, et les processus technologiques – salage, maturation, déshydratation – sont défavorables à la croissance et à l'activité des bactéries. La saveur des jambons dépend essentiellement de la qualité des matières premières (race et alimentation des porcs), de phénomènes d'oxydation, de réactions biochimiques par des enzymes musculaires (protéases et lipases) soumis à diverses conditions de

3. B. Sylvander (INRA Le Mans).

4. P. Pardon (INRA-ENV), V. Carlier (ENV Alfort).

5. C. Martel (CN INAO).

6. A. Lonvaud-Funel (université de Bordeaux).

7. D. Dubourdiou (université Bordeaux, CN INAO), F. Karst (INRA Colmar), S. Dequin (INRA-ENSA Montpellier).

séchage pendant des durées de maturation longues (plusieurs mois). En revanche, le saucisson sec est un produit carné fermenté qui est ici présenté pour souligner les rôles de la flore microbienne sur les qualités hygiéniques et sensorielles des produits de salaison.

Pour les fromages, le comté a été pris comme exemple de fromage à pâte pressée cuite⁸, et le livarot comme exemple de fromage à pâte molle⁹ pour illustrer un produit, ses particularités, son histoire, décrire les fermentations mises en jeu, leurs rôles essentiels dans la qualité et la typicité du produit, et pour montrer les efforts faits ou à faire pour les maintenir et les gérer.

Les particularités des communautés microbiennes de fromages d'appellation d'origine contrôlée, qui les différencient de celles des produits industriels standardisés, sont ensuite étudiées de façon approfondie. Plusieurs contributions de différents chercheurs¹⁰ viennent étayer une revue synthétique¹¹ sur ce thème. Elles concourent à montrer que les communautés microbiennes sont la clef de voûte de l'élaboration des caractéristiques sensorielles spécifiques des fromages, notamment sur l'exemple de trois fromages (camembert, comté, salers). Enfin, l'importance de la préservation *ex situ* et *in situ* du patrimoine microbien est évoquée.

Il devient ainsi possible aujourd'hui de montrer comment la richesse sensorielle est engendrée par la diversité microbienne¹². La richesse sensorielle d'un fromage dépend en effet de l'équilibre subtil d'un cocktail de molécules aromatiques. Certes, le lien entre la complexité aromatique et la diversité de l'écosystème fromager est encore mal connu, mais différents exemples de travaux sur la production de molécules aromatiques par les micro-organismes et les différences obtenues entre des fromages montrent bien que la science progresse dans ce domaine.

Cette partie se termine par une confrontation entre les apports de la biologie moderne et la compréhension des fermentations au service des produits du terroir. Sur la base de trois exemples, une contribution¹³, explicitant la génomique fonctionnelle, la génomique comparée et la biologie intégrative, insiste sur l'intérêt des recherches fondamentales menées sur des espèces-modèles. Les progrès de la génétique microbienne et les outils de la biologie moléculaire vont aussi démultiplier nos capacités à explorer la vie des mondes microbiens dans les produits fermentés. Ils laissent entrevoir de nouvelles stratégies d'action pour mieux maîtriser les produits fermentés de terroir. La science sert les fermentations, mais les fermentations servent aussi la science.

Enfin, une vision synthétique d'ensemble résume les principaux acquis et facilite une lecture plus complète, tandis que les interventions marquantes des

8. C. Vermot-Desroches (président du CIGC), É. Beuvier (INRA Poligny).

9. T. Graindorge (CNPL-INA) M. Guéguen (université de Caen).

10. F. Berthier (INRA Poligny), F. Irlinger (INRA Grignon), M. Guéguen (université de Caen), J.-F. Chamba (ITFF).

11. M.-C. Montel (INRA Aurillac).

12. H.-É. Spinnler (INA-PG).

13. S. Aymerich (INRA-CNRS-INA-PG).

personnalités présentes au colloque et présidant les séances apparaissent en début de chapitres.

Ce colloque et cet ouvrage viennent apporter leur éclairage à un moment critique face aux questions essentielles qui se posent aujourd'hui à ce sujet : faut-il continuer à rechercher la baisse des coûts et la sécurité des procédés de conservation uniquement par le froid et l'asepsie, ou bien faut-il innover, grâce aux avancées scientifiques dans les disciplines bio-techniques et humaines, vers la mise en œuvre de savoir-faire favorisant les fermentations en toute sécurité sanitaire et respectant les traditions ? Il s'agit d'un enjeu important pour notre société si elle veut préserver sa mémoire, sa culture, le respect du temps nécessaire à la fermentation, à la maturation, à la cuisine, à la dégustation, à la réflexion et au plaisir de vivre et d'échanger dans la convivialité.