

Contribution de Louis Pasteur à la sécurité microbiologique des aliments

Louis Pasteur's contribution to the microbiological safety of food

Jean-Christophe Augustin¹

1. Membre de l'Académie d'agriculture de France

Correspondance :

*Danone Global Research and Innovation Center, RD 128, 91190 Gif sur Yvette, France.
Jean-Christophe.augustin@danone.com*

Résumé

Nous devons à Louis Pasteur les concepts essentiels de microbiologie médicale, mais, quelque 30 ans avant d'atteindre le statut de bienfaiteur de l'humanité avec la vaccination-traitement de la rage, un des deux pères de la bactériologie (avec l'Allemand Robert Koch) publiait ses premières observations sur les fermentations. Sa célèbre publication de 1857 sur la fermentation lactique assoit les concepts de l'écologie microbienne des aliments. Ces travaux sur les ferments et leurs activités ont conduit à la biotechnologie moderne, mais les idées qui s'y trouvent posent également les bases scientifiques des techniques de conservation des aliments assurant leur qualité et leur sécurité. Des facteurs écologiques essentiels, tels que l'acidité, la température, ou encore les compétitions micro-

biennes, sont identifiés, ainsi que des caractéristiques fondamentales comme la variabilité biologique ou encore la prévisibilité de l'évolution des écosystèmes microbiens.

Abstract

We should thank Louis Pasteur for the essential concepts of medical microbiology, but some 30 years before he achieved the status of benefactor of humanity with the vaccination-treatment of rabies, one of the two pioneers of bacteriology (with the German Robert Koch) published his first observations on fermentations. His famous publication on lactic acid fermentation in 1857 established the concepts of the

microbial ecology of food. This work on ferments and their activities led to modern biotechnology, but the ideas contained therein also laid the scientific foundation for food preservation techniques to ensure food quality and safety. Key ecological factors such as acidity, temperature and microbial competition were identified, as well as fundamental characteristics such as biological variability and the predictability of the evolution of microbial ecosystems

Mots clés

sécurité des aliments, conservation des aliments, microbiologie prévisionnelle

Key words

food safety, food preservation, predictive microbiology

La conservation des aliments : de la sécurité par chance à la sécurité par conception

La conservation des aliments a reposé, depuis l'antiquité (Baird-Parker, 1995), sur des méthodes introduites de façon empirique. On peut notamment citer le fumage, le séchage, les fermentations ou encore les salaisons. L'industrialisation de la filière agro-alimentaire, au début du 20^e siècle, s'est accompagnée d'avancées scientifiques permettant la nécessaire sécurisation d'une production alimentaire de masse. Il est alors apparu que la sécurité des aliments devait se fonder, d'une part, sur une solide connaissance des dangers microbiologiques associés aux denrées alimentaires et, d'autre part, sur des acquis scientifiques, pour mettre au point des techniques permettant de maîtriser ces dangers. La sécurité des aliments, empirique et aléatoire jusqu'alors, a ainsi évolué vers une approche scientifique, avec la production d'aliments sûrs par conception, *safe-by-design* (Baird-Parker, 1995). Cette approche a, par exemple, permis de sécuriser l'industrie de la

conserverie vis-à-vis de *Clostridium botulinum* et de sa toxine, avec la mise au point du *botulinum cook* dans les années 1920 : il a effectivement fallu attendre 1922 et l'étude approfondie de la thermorésistance des spores de *C. botulinum* par Esty et Meyer (1922) pour définir un barème de stérilisation permettant d'assurer la sécurité des conserves appertisées, inventées par Nicolas Appert plus d'un siècle auparavant (Appert, 1810).

En 1935, Graham Wilson a mis au point la première approche transversale de maîtrise de la sécurité des aliments (Wilson, 1935). Dans le cadre de la lutte contre les infections transmises par le lait (tuberculose, brucellose, gastro-entérites infectieuses, etc.), il a promu le chauffage du lait (pasteurisation du lait – procédé breveté par Pasteur pour le traitement du vin en 1865) et établi les principes suivants : (1) application de mesures d'hygiène permettant d'obtenir une matière première aussi saine que possible, (2) application d'un traitement permettant d'éliminer les agents pathogènes, (3) prévention des contaminations ultérieures et maîtrise des proliférations microbiennes.

Ces principes restent largement appliqués par les fabricants de denrées alimentaires. La mise au point de traitements assainissants et la maîtrise de la prolifération microbienne requièrent néanmoins des connaissances en écologie microbienne des aliments. La formalisation des facteurs écologiques gouvernant les associations aliments-communautés microbiennes s'est essentiellement développée dans les années 1950-1970 avec des microbiologistes tels que Johanna Westerdijk et David Mossel, aux Pays-Bas (Mossel et Westerdijk, 1949 ; Westerdijk, 1949 ; Mossel, 1971). Ils ont identifié les facteurs abiotiques, biotiques, intrinsèques, extrinsèques pour aboutir finalement à la classification suivante (figure 1) :

- facteurs intrinsèques : ce sont les caractéristiques de la matrice alimentaire. On trouve la composition en nutriments, le pH, l'activité de l'eau (biodisponibilité de l'eau), le potentiel d'oxydo-réduction et les substances antimicrobiennes.

- facteurs technologiques : ce sont les traitements appliqués aux aliments afin d'éliminer certains micro-organismes. La chaleur est le traitement assainissant le plus usuel, mais d'autres techniques telles que l'ionisation ou les hautes pressions hydrostatiques sont également utilisées.
- facteurs extrinsèques : ces facteurs sont appliqués de l'extérieur de l'aliment pour inhiber la croissance de certains micro-organismes. Il s'agit du froid (réfrigération et congélation) et du mélange gazeux avec l'utilisation du conditionnement sous vide ou sous atmosphère modifiée.
- facteurs microbiens : ces interactions positives ou négatives avec la flore annexe de l'aliment sont également qualifiées d'implicites, car elles font intervenir des modifications de facteurs intrinsèques (composition en nutriments, pH, potentiel d'oxydo-réduction, etc.).
- les effets combinés prennent finalement en compte les interactions entre tous les facteurs cités précédemment. Ils sont illustrés par la « technique des barrières » (*hurdle technology*) qui prend en compte l'effet de l'ensemble des facteurs et leur synergie lors de la mise au point de méthodes de conservation (Leistner, 1978).

Louis Pasteur : pionnier de l'écologie microbienne des aliments

Il est intéressant de noter que la plupart de ces facteurs écologiques avaient été identifiés par Louis Pasteur lors de ses premiers travaux sur les fermentations lactiques, relatés dans son mémoire de 1857 (Pasteur, 1857a). Il y indique : « *J'extraits de la levûre de bière sa partie soluble [...]. On peut remplacer [...] la décoction de levûre par celle de toute matière plastique azotée [...]. Ce liquide limpide, tenant en dissolution une matière azotée, n'est qu'un aliment, et à ce titre son origine importe peu. On y fait dissoudre [...] du sucre, [...] on sème une trace de matière grise [...] extraite d'une bonne fermentation lactique ordinaire ; puis on porte à l'étuve à 30 ou 35 degrés. Il est bon également de faire passer un courant d'acide carbonique pour chasser l'air du flacon [...]. Dès le lendemain une fermentation vive et régulière se manifeste.* »

On trouve ici l'influence de facteurs majeurs, tels que la nature du substrat nutritif, la température ou encore le potentiel d'oxydo-réduction. Pasteur poursuit en précisant : « *Il faut savoir que les circonstances de neutralité,*

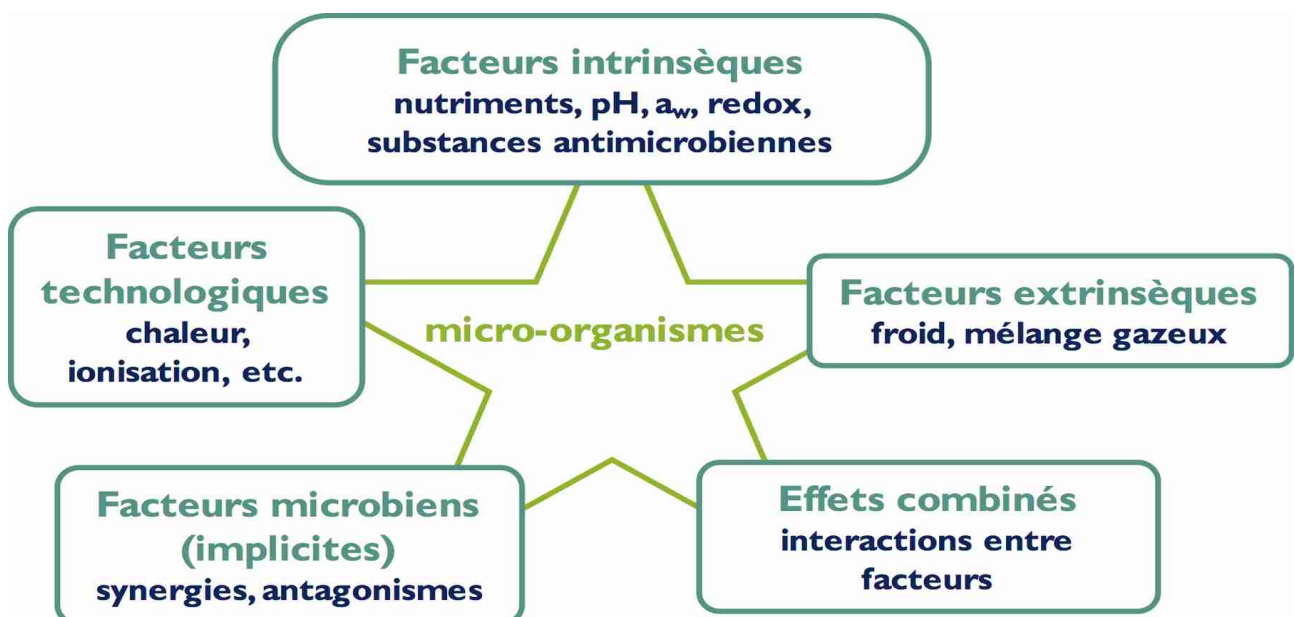


Figure 1. Facteurs écologiques gouvernant les communautés microbiennes dans les aliments.

d'alcalinité, d'acidité ou de composition chimique des liqueurs ont une grande part dans le développement prédominant de tels ou tels ferments ». Le rôle majeur du pH est ainsi identifié. Puis plus loin, il explique : « La fermentation lactique, exige un milieu dont la neutralité convient également à d'autres végétaux et à des infusoires [...]. Il faut des conditions propres à en arrêter le développement sans influencer notablement sur celui de la levûre lactique. Tous les faits que j'ai recueillis me portent à croire que le moyen le plus efficace pour atteindre ce résultat est de chercher à nuire à la production des ferments parasites au moyen de substances particulières. » L'intérêt des substances antimicrobiennes afin de maîtriser le développement de flores indésirables est reconnu.

A propos de flores indésirables, il constate l'importance des interactions microbiennes : « Ces fermentations doivent s'effectuer de préférence à l'abri de l'air, afin qu'elles ne soient pas gênées par des végétations ou des infusoires étrangers. » On voit donc que, dès 1857, Louis Pasteur avait identifié la plupart des facteurs écologiques majeurs. Il manquait uniquement à cette liste l'activité de l'eau, facteur majeur, mais sans objet dans le cadre des travaux de Pasteur, qui ne concernaient que des matrices liquides.

Ces facteurs écologiques restent, encore aujourd'hui, les éléments de base de la gestion de la sécurité des aliments. Par exemple, les recommandations récentes de l'autorité européenne de sécurité des aliments (Efsa) en matière de durée de vie microbiologique distinguent les aliments microbiologiquement stables – dont l'étiquetage ne mentionne qu'une date de durabilité minimale – des aliments permettant la croissance des micro-organismes qui, eux, nécessitent une date limite de consommation (Efsa, 2020).

Cette distinction s'appuie essentiellement sur des règles de décision fondées sur les facteurs majeurs : pH, activité de l'eau,

substances antimicrobiennes, compétitions microbiennes. Il est alors important, pour les opérateurs agro-alimentaires, de s'appuyer sur chacun de ces facteurs ou sur leur combinaison, pour proposer aux consommateurs des aliments stables et à durée de vie longue.

Louis Pasteur : visionnaire d'enjeux majeurs

Au-delà de l'identification des facteurs écologiques, Louis Pasteur a identifié des propriétés des écosystèmes microbiens particulièrement pertinentes. La première concerne la variabilité biologique : « Il faut savoir que les circonstances de neutralité, d'alcalinité, d'acidité ou de composition chimique des liqueurs ont une grande part dans le développement prédominant de tels ou tels ferments, parce que leur vie ne s'accommode pas au même degré des divers états des milieux. »

La prise en compte de la variabilité biologique est particulièrement importante pour la gestion de la sécurité des aliments. Cette variabilité existe bien évidemment au niveau interspécifique : cela explique, par exemple, l'utilisation de températures relativement basses lorsqu'on cherche à éliminer des bactéries sous forme végétative, ce qui est le cas de la pasteurisation. En revanche, il est nécessaire d'atteindre des températures supérieures, lorsqu'on veut stériliser un aliment et détruire des spores bactériennes.

Cependant une variabilité notable existe également au niveau intraspécifique. Cette variabilité doit être identifiée, évaluée et gérée par des mesures de maîtrise adaptées. Il est alors souvent difficile de trouver le juste équilibre entre la gestion de cette variabilité, avec la maîtrise de souches extrêmes, et des aspects techniques, organoleptiques ou économiques. On peut ainsi s'interroger sur le barème de chauffage optimum à appliquer pour maîtriser les micro-organismes indésirables avec un niveau de confiance suffisant, tout en préservant les qualités de l'aliment, dans un contexte de

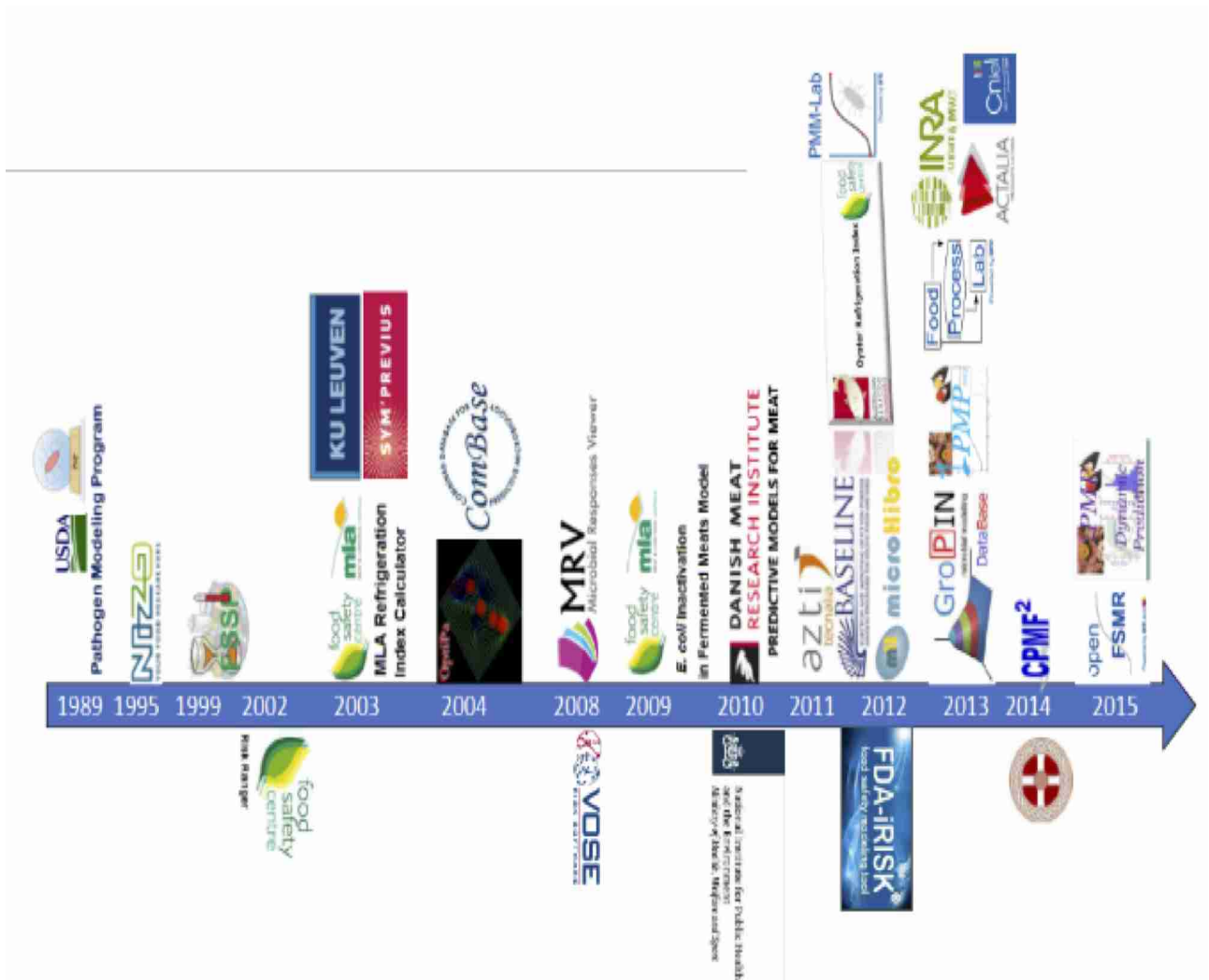


Figure 2. Frise chronologique des outils de microbiologie prévisionnelle (Tenenhaus-Aziza, CNIEL).

ressources énergétiques et nutritionnelles à préserver.

La deuxième idée majeure entrevue par Pasteur est le déterminisme et la prévisibilité des écosystèmes microbiens : « *Les détails dans lesquels je viens d'entrer permettent de prévoir toutes les variations auxquelles sont sujettes les fermentations.* » C'est en quelque sorte un précurseur de ce qu'on nomme la « microbiologie prévisionnelle ». Cette spécialité s'est développée à partir des années 1980, avec pour objectif la conception de modèles mathématiques permettant

de prédire la numération microbienne et son évolution le long de la chaîne alimentaire, en fonction des facteurs écologiques et des caractéristiques de croissance, de survie et d'inactivation propres à chaque micro-organisme. De nombreux modèles et outils ont été conçus (figure 2). Ils permettent d'évaluer l'impact de procédés, l'impact des conditions de stockage ou encore de la formulation sur la contamination microbienne. Ils sont régulièrement utilisés par les opérateurs agro-alimentaires pour définir des spécifications sur les produits ou les procédés,

Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Note historique

ou pour évaluer les risques en cas d'incidents ou lors d'innovations.

Conclusion

Bien que Louis Pasteur n'ait jamais réellement travaillé sur la sécurité microbiologique des aliments, ses travaux sur la fermentation ont certainement contribué au développement des approches scientifiques de conservation des aliments. Les observations rapportées en 1857 dans son *Mémoire sur la fermentation lactique* ainsi que dans celui sur la fermentation alcoolique (Pasteur, 1857b) sont remarquables à plus d'un titre. Elles illustrent le génie visionnaire de Pasteur, qui propose d'associer à chaque levure une activité particulière et une évolution d'écosystème spécifique. Ces travaux préfigurent ce que sera la théorie des germes, toutefois sans démonstration rigoureuse. Il le reconnaît et le revendique :

« Dans tout le cours de ce Mémoire, j'ai raisonné dans l'hypothèse que la nouvelle levûre est organisée, que c'est un être vivant et que son action chimique sur le sucre est corrélative de son développement et de son organisation. Si l'on venait me dire que dans ces conclusions je vais au-delà des faits, je répondrais que cela est vrai. »

Il établit ainsi les bases de l'écologie microbienne des aliments et ouvre la porte aux concepts scientifiques de conservation des aliments qui ne se développeront que bien plus tard, avec l'industrialisation de la production alimentaire, et qui restent toujours d'actualité de nos jours. Enfin il identifie des caractéristiques fondamentales : la variabilité des comportements microbiens et leur déterminisme qui ouvre la voie à la modélisation et la prévision du comportement microbien dans les aliments

Références

Appert N. 1810. *L'art de conserver pendant*

plusieurs années toutes les substances animales et végétales. Patris et Cie, Paris. Bibliothèque Nationale de France (<http://gallica.bnf.fr/>).

Baird-Parker AC. 1995. Development of industrial procedures to ensure the microbiological safety of food, *Food Control*, 6, 29-36.

EFSA BIOHAZ Panel (Efsa Panel on Biological Hazards) Koutsoumanis K, Allende A, Alvarez-Ordóñez A, Bolton D, Bover-Cid S, Chemaly M, Davies R, De Cesare A, Herman L, Nauta M, Peixe L, Ru G, Simmons M, Skandamis P, Suffredini E, Jacxsens L, Skjerdal T, Da Silva Felicio MT, Hempen M, Messens W, Lindqvist R. 2020. Guidance on date marking and related food information: part 1 (date marking), *EFSA Journal*, 18(12), 6306.

Esty JR, Meyer KF. 1922. The heat resistance of the spores of *B. botulinus* and allied anaerobes. XI, *The Journal of Infectious Diseases*, 31, 650-663.

Leistner L. 1978. Hurdle effect and energy saving. In Downey WK (ed), *Food Quality and Nutrition*, Applied Science Publishers, London, UK, 553-557.

Mossel DAA. 1971. Physiological and metabolic attributes of microbial groups associated with foods, *Journal of Applied Bacteriology*, 34, 95-118.

Mossel DAA, Westerdijk J. 1949. The physiology of microbial spoilage in foods, *Antonie van Leeuwenhoek*, 15, 190-202.

Pasteur L. 1857a. Mémoire sur la fermentation appelée lactique. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 45, 913-916.

Pasteur L. 1857b. Mémoire sur la fermentation alcoolique, *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 45, 1032-1036.

Westerdijk J. 1949. The concept "association"

Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France
Academic Notes from the French Academy of Agriculture
(N3AF)
Note historique

in mycology. *Antonie van Leeuwenhoek*, 53, 187-189.

Wilson GS. 1935. The bacteriological grading of milk. *MRC Spec Rep Ser no 206*. London: HM Stationery Office. *Bon Marché*, Droits, 72, 207-238.

Rubrique

Cet article a été publié dans la rubrique « Notes historiques » des *Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France*.

Reçu

26 mars 2023

Accepté

30 avril 2023

Publié

24 mai 2023

Édité par

Nadine Vivier, membre de l'Académie d'agriculture de France

Rapporteurs

1. Maxime Schwartz, directeur général honoraire de l'Institut Pasteur, correspondant de l'Académie des sciences.

2. Marie-Hélène Chassagne, directrice honoraire de la recherche du Groupe Fromagerie Bel, membre correspondante de l'Académie d'agriculture de France.

Citation

Jean-Christophe Augustin. 2023. Contribution de Louis Pasteur à la sécurité microbiologique des aliments/Louis Pasteur's contribution to the microbiological safety of food, *Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France / Academic Notes from the French Academy of Agriculture*, 15(4), 1-7. <https://doi.org/10.58630/pubac.not.889895>



Jean-Christophe Augustin est membre de l'Académie d'agriculture de France, Food Safety Microbiology Leader dans la société Danone Research (Gif sur Yvette, France).