

**Microorganismes en action : les fermentations au service de l'alimentation humaine**

La fermentation est un procédé biologique qui tire parti des microorganismes présents sur ou dans les matières premières leur servant de substrat. Elle permet la conservation des aliments tout en améliorant les qualités nutritionnelles des produits et augmentant les qualités organoleptiques des aliments. La maîtrise du processus de fermentation consiste à favoriser une flore utile au détriment d'une flore indésirable afin de prévenir les risques sanitaires pouvant survenir chez les consommateurs puisque certaines fermentations susceptibles de se produire dans des denrées alimentaires sont indésirables. La fermentation est une des plus anciennes techniques de transformation et de conservation des aliments. Actuellement, plus de 3500 aliments fermentés traditionnels existent de par le monde. Ils sont d'origine animale ou végétale et nous les côtoyons dans notre quotidien (produits laitiers comme les yaourts ou les fromages ; produits carnés comme le saucisson ; pain et viennoiseries ; légumes fermentés allant de la choucroute aux olives et autres). Les boissons alcoolisées ne sont pas les seules boissons fermentées puisque cacao, café et thé en font partie : les fèves, les grains ou les feuilles dont ils sont issus sont mis à fermenter après récolte afin de développer des arômes caractéristiques. De plus, les produits de fermentation revêtent une spécificité géographique : si en Europe le fromage et le pain sont particulièrement appréciés, en Afrique, les aliments fabriqués à partir de féculents fermentés (igname ou manioc) tiennent une place importante dans l'alimentation tandis qu'en Asie, les produits dérivés de soja ou de poissons sont consommés quotidiennement. Au-delà, les fermentations microbiennes sont également exploitées dans de nombreuses applications industrielles qui servent ou non l'industrie alimentaire.

**Définition de la fermentation**

*Une réaction biochimique sous l'action de microorganismes.*

La fermentation est une réaction biochimique qui consiste à libérer de l'énergie à partir d'un substrat organique sous l'action d'enzymes microbiennes et à rejeter des produits. Cette réaction ne fait pas intervenir d'oxygène (O<sub>2</sub>), elle se déroule donc en absence d'air (anaérobie). Elle se distingue de la respiration qui nécessite de l'oxygène et se réalise en présence d'air (aérobie) notamment par son faible rendement énergétique et la diversité des produits synthétisés. Le terme « fermentation » dérive du latin *fervere* qui signifie bouillir : un liquide en cours de fermentation, alcoolique par exemple, présente un important dégagement gazeux et montre l'aspect d'un liquide en ébullition.

**Au cours de la fermentation, bactéries, levures et moisissures dégradent des substrats organiques et rejettent des produits auxquels nous trouvons un intérêt pour l'alimentation.**

On distingue les fermentations selon le type de produits libérés à l'extérieur par le microorganisme fermentaire, par exemple :

- la fermentation alcoolique réalisée par des levures du genre *Saccharomyces* conduit à la libération d'alcool et de CO<sub>2</sub>. Elle est à la base de la production de la bière, du cidre, du pain et du vin ;
- la fermentation lactique réalisée par des bactéries dites lactiques conduit à la production d'acide lactique. Elle est dite "homolactique" quand elle est réalisée par des bactéries homofermentaires appartenant aux genres *Lactococcus*, *Lactobacillus* (certaines espèces) et *Streptococcus* et donne majoritairement naissance à de l'acide lactique. Elle est qualifiée d' "hétérolactique" quand elle est assurée par des bactéries hétérofermentaires appartenant aux genres *Leuconostoc* et *Lactobacillus* et mène à la production d'acide lactique et d'autres

produits, alcool, CO<sub>2</sub> et acide acétique. Elle intervient dans la production de yaourts, laits fermentés, fromages, saucissons, choucroute et de nombreux autres produits alimentaires. Cette fermentation se produit également dans le levain ;

- la fermentation malolactique représente la transformation de l'acide malique en acide lactique et CO<sub>2</sub> sous l'action de bactéries lactiques essentiellement du genre *Oenococcus*. Elle entraîne une désacidification du vin et permet d'éliminer l'acide malique qui donne au vin une verdeur indésirable dans les vins de qualité ;
- la fermentation propionique est réalisée par des bactéries appartenant au genre *Propionibacterium* et conduit à la production d'acide propionique ; elle intervient dans la fabrication des fromages à pâte cuite (Comté, Gruyère et Emmenthal) auxquels elle donne un goût caractéristique.

**La fermentation permet la conservation des aliments du fait de la production d'acide par les bactéries, la production d'alcool par les levures et l'inhibition de la flore pathogène ou d'altération.**

L'inhibition de la flore pathogène ou d'altération repose sur la compétition nutritionnelle et/ou sur la production de métabolites comme les bactériocines (peptides de faible masse moléculaire à forte activité antimicrobienne). Elle améliore les qualités nutritionnelles des produits laitiers. Le lactose ou sucre du lait est transformé par les bactéries en acide lactique mieux toléré par l'organisme. En Afrique, la fermentation du manioc par rouissage permet d'éliminer un composant hautement toxique, l'acide cyanhydrique. En Asie, la fermentation de la graine de soja jaune permet de détruire des facteurs antinutritionnels toxiques (facteurs antitrypsiques et hémagglutinine). Elle augmente les qualités organoleptiques des aliments : le CO<sub>2</sub> produit par les levures rend la pâte à pain moelleuse ; le fructose ou sucre des fruits est transformé en alcool ; la fermentation malolactique élimine l'acide malique qui donne au vin une verdeur indésirable dans les vins de qualité. Elle est à l'origine de nouveaux produits :

- des aliments probiotiques. Un probiotique est un supplément alimentaire microbien vivant qui a des effets bénéfiques sur son hôte, au-delà des effets nutritionnels traditionnels. Les probiotiques sont principalement des levures (par exemple, *Saccharomyces boulardii*) et des bactéries appartenant aux genres *Lactobacillus* et *Bifidobacterium* qui sont ingérés sous forme de médicaments ou à partir de laits fermentés. Les effets cliniques préventifs des probiotiques ont été montrés dans des domaines variés (diarrhées infectieuses, manifestations allergiques, maladies inflammatoires chroniques intestinales). Il convient d'y ajouter des effets bénéfiques sur certaines fonctions physiologiques (digestion, immunité, transit intestinal). Ces effets dépendent fortement des souches administrées et de la matrice alimentaire qui les contient.
- des aliments biopréservés. La biopréservation est une méthode biologique qui permet de réduire le risque microbiologique tout en préservant les qualités nutritionnelles et organoleptiques du produit. Elle repose sur la maîtrise de la croissance des microorganismes pathogènes et d'altération en utilisant des souches bactériennes à action inhibitrice (compétition nutritionnelle et/ou production de métabolites). Elle concerne actuellement surtout les produits de la mer, carnés et laitiers.

Au delà, la fermentation est une technique de conservation des aliments peu coûteuse, pratique et convenant parfaitement là où d'autres méthodes de conservation (mise en conserve, congélation, ...) sont inaccessibles ou inexistantes. Le procédé exige peu d'infrastructures et d'énergie, il est bien intégré dans la vie des villageois dans les zones rurales de nombreux pays en développement.

**Les fermentations sont utilisées empiriquement depuis des millénaires, les agents microbiens en cause sont découverts au XVIIe siècle et les applications industrielles se développent au XXe siècle.**

Les fermentations sont utilisées de façon empirique depuis des millénaires pour la préparation du pain, de boissons alcoolisées (vin et bière) et de vinaigre. Les Sumériens maîtrisaient déjà la fermentation du pain et de la bière 8 000 ans avant J.C. ; la fabrication du vin remonte à plus de 10 000 ans et on peut imaginer que celle du vinaigre est aussi ancienne puisqu'il s'agit d'une "maladie du vin". Les Babyloniens (5 000 ans avant J.C.) le fabriquaient à partir du vin de palme. Le chou fermenté dans le vin aurait servi plus récemment de nourriture de base aux bâtisseurs de la Grande Muraille de Chine (3 000 ans avant J.C.). Les premiers travaux scientifiques applicables aux levures bénéficient de l'utilisation du microscope par le hollandais Antonie van Leeuwenhoek (1677). À partir de 1789, Lavoisier consacre une part importante de ses travaux à la nature des fermentations. En 1810, Gay-Lussac définit l'équation chimique globale de la réaction. En 1836, Cagniard-La Tour, Schwann et Kützing publient séparément leurs observations microscopiques et concluent que la levure est un organisme vivant qui se reproduit par bourgeonnement. À partir de 1857, Pasteur étudie les fermentations acétique, alcoolique, butyrique et lactique. Il démontre qu'il s'agit d'un processus non seulement chimique mais biologique en isolant et cultivant les bactéries ou les levures responsables de ces phénomènes. Lors de la Première Guerre mondiale, l'augmentation des besoins en acétone (fabrication de munitions) est à l'origine d'un développement des industries de fermentation. Pendant l'Entre-deux-guerres, l'acétone est utilisé pour la confection de la rayonne et le procédé de fermentation permet de nouvelles synthèses : vitamine B<sub>2</sub>, glycérol, sorbose, acide citrique. Les recherches actuelles portent sur l'amélioration des techniques de fermentation, la sélection de souches microbiennes à fort potentiel industriel et la découverte et l'exploitation de nouvelles voies biochimiques.

**Certaines fermentations susceptibles de se dérouler dans des denrées alimentaires sont indésirables, d'autres sont exploitées industriellement pour le secteur de l'alimentation ou d'autres domaines.**

Certaines fermentations susceptibles de se dérouler dans des denrées alimentaires sont indésirables, par exemple :

- la fermentation butyrique est le fait de bactéries du genre *Clostridium* ; c'est la fermentation type des boîtes de conserve avariées, des ensilages de mauvaise qualité, des choucroutes ratées. Elle conduit à la formation d'acide butyrique et de CO<sub>2</sub> ;
- la fermentation mannitique est le fait de bactéries lactiques des genres *Lactobacillus* et *Leuconostoc*. Lorsque la température d'une cuve en fermentation s'élève au-dessus de 35°C, la fermentation alcoolique s'arrête. Les sucres résiduels comme le fructose sont transformés en acide lactique, acide acétique et mannitol.

Certaines fermentations sont utilisées à des fins industrielles et servent ou non l'industrie alimentaire, par exemple :

- la fermentation de mélasses est exploitée pour la production d'acides organiques (acide citrique par *Aspergillus niger* ; acide fumarique par *Rhizopus* sp. et *Mucor* sp. et autres) employés dans l'industrie alimentaire ;
- la fermentation d'acides gras permet d'obtenir des huiles essentielles, des arômes et des parfums (terpènes par *Penicillium* sp., lactones par *Fusarium* sp. et autres) ;

- l'acide L-glutamique est un acide aminé produit en grande quantité (106 tonnes par an), essentiellement par des corynébactéries, telle *Corynebacterium glutamicum* ;
- la fermentation acétonobutylique réalisée par *Clostridium acetobutylicum* donne naissance à l'acétone et au butanol. Elle peut servir à la valorisation de produits agricoles par la production de biocarburants;
- la fermentation de glucides permet la production de matières plastiques biodégradables par des bactéries. *Alcaligenes eutrophus* génère des polyhydroxybutyrates à partir du glucose. D'autres écoplastiques à base d'acide lactique sont obtenus à partir d'amidon de pomme de terre et de lactosérum.

Au-delà de l'alimentation, les fermentations peuvent servir le développement durable :

- les sous-produits de sucreries (betterave, canne à sucre) constituent la source la plus importante de biocarburant. Les végétaux sont broyés pour séparer le jus fermentescible des restes destinés à l'alimentation du bétail. Dans les distilleries, la fermentation du jus est assurée par des levures du genre *Saccharomyces*. Cette opération permet de transformer les sucres en éthanol et CO<sub>2</sub>. Dans l'état actuel des technologies utilisées, la fabrication du bioéthanol comme biocarburant reste un procédé onéreux.
- le biogaz est du méthane produit par fermentation des résidus organiques humides végétaux ou animaux (fumiers, lisiers, boues d'épuration, déchets verts après compostage). La méthanisation ou fermentation méthanique est réalisée par des bactéries méthanogènes qui dégradent facilement les résidus riches en sucres (amidon, cellulose), plus difficilement les résidus ligneux (riches en bois). Les gaz issus de la fermentation sont composés de 65 % de méthane, 34 % de CO<sub>2</sub> et 1 % d'autres gaz (dont le sulfure d'hydrogène et l'azote). La méthanisation est un phénomène naturel surtout développé dans les marécages, les cultures du riz, les élevages bovins, les décharges. A ce jour, l'utilisation du méthane comme biogaz reste rare.

Le marché de la biomasse est donc susceptible de répondre aux préoccupations environnementales et agricoles du développement durable par l'utilisation du biogaz pour limiter la quantité de gaz à effet de serre et celle des terres agricoles en jachère pour des cultures énergétiques nécessaires à la production de biocarburants.