

3. Les bactéries lactiques

Les bactéries lactiques font partie des bactéries des fermentations alimentaires. Ce sont des cocci ou des bâtonnets, Gram+, catalase-. Elles produisent des quantités relativement importantes d'acide lactique à partir des glucides (tableau1). L'acide lactique est parfois le seul produit terminal (homofermentation). Parfois il est accompagné de l'éthanol, de l'acétate et du CO₂ (hétérofermentation). Les bactéries lactiques sont en général aérotolérantes. Cependant certaines espèces, habitant par exemple le tube digestif des animaux sont anaérobies strictes. Les espèces principalement des genres *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactobacillus* et *Streptococcus thermophilus* sont incluses dans ce groupe. Elles sont utilisées comme cultures de départ dans la fermentation alimentaire.

Tableau 1 Fermentation des monosaccharides par certaines bactéries de culture de démarrage (Starter-Culture Bacteria pour produire différents sous-produits).

Genres	Monosaccharide	Fermentation	Voies ^a	Principaux produits
<i>Lactococcus</i>	Hexoses	Homolactique	EMP	Lactate
<i>Streptococcus</i>	Hexoses	Homolactique	EMP	Lactate
<i>Pediococcus</i>	Hexoses	Homolactique	EMP	Lactate
<i>Leuconostoc</i>	Hexoses	Hétérolactique	HMS	Lactate, CO ₂ , acétate/ éthanol (1:1:1)
	Pentoses	Hétérolactique	PP	Lactate, acétate/ éthanol (1:1)
<i>Lactobacillus</i>				
Groupe I	Hexoses	Homolactique	EMP	Lactate
Groupe II	Hexoses	Homolactique	EMP	Lactate
	Pentoses	Hétérolactique	PP	Lactate, acétate/ éthanol (1:1)
Groupe III	Hexoses	Hétérolactique	HMS	Lactate, CO ₂ , acétate/ éthanol (1:1:1)
	Pentoses	Hétérolactique	PP	Lactate, acétate/ éthanol (1:1)
<i>Bifidobacterium</i>	Hexoses	Hétérolactique	BP	Lactate, acétate (1:1.5)

^aEMP, Embden-Meyerhoff-Parnas; HMS, shunt de l'hexose monophosphate (aussi appelé phospho-gluconate-phosphocétolase); PP, pentose-phosphate, BP, bifidus (aussi appelé fructose cétolase).

3.1. *Lactococcus*

Seule l'espèce, *Lactococcus lactis*, qui est largement utilisée en fermentation laitière. Elle a trois sous-espèces dont 02 ; ssp. *lactis*, ssp. *cremoris* ; sont utilisés en fermentation laitière. Les cellules ovoïdes (0,5 à 1,0 µm); se produisent en paires ou en chaînes courtes; immobiles; asporulées; anaérobies facultatives à microaérophiles; mésophiles, mais peuvent croître à 10°C; et produire de l'acide lactique. *Lac. lactis* ssp. *lactis*, et ssp. *cremoris* sont généralement capables d'hydrolyser le lactose et la caséine. Ils fermentent également le galactose, le saccharose et le maltose. Les habitats naturels sont la végétation verte, l'ensilage, l'environnement laitier et le lait cru. Plusieurs souches produisent des bactériocines, certaines contre une large gamme de bactéries Gram+ et ont un potentiel comme biopréservateurs alimentaires.

3.2. *Streptococcus*

Une seule espèce, *Streptococcus thermophilus* ; désignée sous *Str. salivarius* ssp. *thermophilus*, est utilisée en fermentation laitière. Les cellules Gram+ sont sphériques à ovoïdes, de 0,7 à 0,9 µm, et existent en paires à de longues chaînes. Les cellules se développent bien entre 37 et 40°C, mais peuvent également croître à 52°C. Les *Str. thermophilus* sont des anaérobies facultatifs et, dans un bouillon de glucose, ils peuvent réduire le pH à 4,0 et produire de l'acide lactique. Ils fermentent le fructose, le mannose et le lactose, mais généralement pas le galactose et le saccharose. Les cellules survivent à 60°C pendant 30 min. Leur habitat naturel est inconnu, bien qu'ils se trouvent dans le lait.

3.3. *Leuconostoc*

Les cellules sont sphériques à lenticulaires, disposées en paires ou en chaînes, Gram+, immobiles, non sporulées, catalase- et anaérobies facultatives. Les espèces poussent bien entre 20 et 30°C, avec un intervalle de 1 à 37°C. Le glucose est fermenté en acide lactique, CO₂, éthanol ou acide acétique, avec un pH réduit de 4,5 à 5,0. Certaines espèces peuvent survivre à 60°C pendant 30 minutes. Les espèces de *Leuconostoc* se trouvent dans les plantes, les légumes, l'ensilage, le lait et certains produits laitiers, et les viandes crues et transformées. Actuellement, cinq espèces sont connues: *Leuconostoc mesenteroides*, *Leu. paramesenteroides*, *Leu. lactis*, *Leu. carnosum* et *Leu. gelidum*. *Leu. mesenteroides* a trois sous-espèces: ssp. *mesenteroides*, ssp. *dextranicum* et ssp. *cremoris*. *Leu. mesenteroides* ssp. *cremoris* et *Leu. lactis* sont utilisés dans certaines fermentations laitières et végétales. Beaucoup de ces espèces, en particulier *Leu. carnosum* et *Leu. gelidum*, ont été associés à la détérioration de produits de viande réfrigérés emballés sous vide.

3.4. *Pediococcus*

Les *Pediococcus* ont des cellules sphériques (1µm) et forment des tétrades, mais le plus souvent des paires. Ce sont des anaérobies facultatifs à Gram+, immobiles, asporulés. Ils poussent bien entre 25 et 40°C (mésophiles); certaines espèces poussent à 50°C. Ils fermentent le glucose en acide lactique (homolactiques), certaines espèces réduisent le pH à 3,6. Selon les espèces, ils peuvent fermenter le saccharose, l'arabinose, le ribose et le xylose. Le lactose n'est généralement pas fermenté, en particulier dans le lait, et le lait n'est pas caillé. Selon l'espèce, on les trouve dans les plantes, les légumes, l'ensilage, la bière, le lait, les légumes fermentés, les viandes et les poissons. Le genre compte 7 à 8 espèces, dont *Ped. pentosaceus* et *Ped. acidilactici* sont utilisés dans les légumes, la viande, les céréales et d'autres types d'aliments fermentés. Ils ont également été impliqués dans l'affinage et la production d'arômes de certains fromages en tant que cultures secondaires. Plusieurs souches produisent des bactériocines, certaines avec un large spectre contre les bactéries Gram+, et elles peuvent être utilisées comme biopréservateurs alimentaires.

3.5. *Lactobacillus*

Le genre *Lactobacillus* comprend un groupe hétérogène d'espèces; c'est des bâtonnets anaérobies facultatifs qui varient largement en forme et en taille, Gram+, généralement immobiles, non sporulés et à croissance et caractéristiques métaboliques variées. Les cellules varient de bâtonnets très courts (presque coccoïdes) à très longs, minces ou modérément épais, souvent courbés, et peuvent être présents sous forme de cellules uniques ou en chaînes courtes à longues. En poussant sur le glucose, selon les espèces, ils ne produisent que de l'acide lactique (homolactiques) ou un mélange d'acide lactique, d'éthanol, d'acide acétique et de CO₂ (hétérolactiques). De nombreuses espèces utilisent du lactose, du saccharose, du fructose ou du galactose, et certaines espèces peuvent fermenter les pentoses. La température de croissance peut varier de 1 à 50°C, mais la plupart, utilisées comme cultures de démarrage (starter cultures) dans la fermentation contrôlée des aliments, croissent bien de 25 à 40°C (mésophiles). Plusieurs espèces impliquées dans la fermentation naturelle de certains aliments à basse température peuvent pousser de 10 à 25°C (psychrotrophes).

Les *Lactobacillus* sont largement distribués et peuvent être trouvés dans les plantes; des légumes; céréales; des graines; lait et produits laitiers crus et transformés; produits de viande crus, transformés et fermentés; certains se trouvent dans le tube digestif des humains, des animaux et des oiseaux. Beaucoup ont été associés à la détérioration des aliments. Parmi le grand nombre d'espèces, certaines ont été utilisées en fermentation contrôlée (produits laitiers, viande, légumes et céréales), certaines sont connues pour être associées à la fermentation naturelle des aliments, quelques-unes sont consommées

vivantes pour leur effet bénéfique sur la santé intestinale, et certaines autres ont un effet indésirable sur les aliments.

Sur la base de leurs schémas métaboliques d'hexoses et de pentoses, les espèces ont été divisées en trois groupes. Celles du groupe I fermentent des hexoses (et des disaccharides tels que le lactose et le saccharose) pour produire principalement les acides lactiques et ne fermentent pas les pentoses (comme le ribose, le xylose ou l'arabinose). Celles du groupe II, en fonction des glucides et des quantités disponibles, produisent principalement de l'acide lactique ou un mélange d'acides lactique, acétique et formique, d'éthanol et de CO₂. Les espèces du groupe III fermentent les glucides en un mélange de lactate, d'acétate, d'éthanol et de CO₂.

Les trois sous-espèces de *Lactobacillus delbrueckii* sont utilisées dans la fermentation de produits laitiers, tels que certains fromages et yaourts. Ils poussent bien à 45°C et fermentent le lactose pour produire de grandes quantités d'acide lactique. La β -galactosidase dans ces sous-espèces est constitutive. Les *Lab. acidophilus* et *Lab. reuteri* sont considérés comme des microbes intestinaux bénéfiques (probiotiques) et présents dans l'intestin grêle. *Lab. acidophilus* est utilisé pour produire des produits laitiers fermentés et également soit ajouté au lait pasteurisé, soit transformé en comprimés et en capsules pour être consommé comme probiotiques. Il métabolise le lactose et produit de grandes quantités d'acide lactique. Cependant, dans *Lab. acidophilus*, la β -galactosidase est généralement inducible. *Lab. helveticus* est utilisé pour fabriquer certains fromages et fermenter le lactose en acide lactique. *Lab. casei* ssp. *casei* est utilisé dans certains produits laitiers fermentés. Il fermente le lactose et produit de l'acide lactique. Certaines souches sont également utilisées comme bactéries probiotiques. Les souches de *Lab. casei* ssp. *rhamnosus* (également appelé *Lab. rhamnosus*) sont maintenant utilisées comme bactéries probiotiques. Quelques souches de *Lab. johnsonii* sont également utilisées dans les probiotiques. *Lab. plantarum* est utilisé dans la fermentation des légumes et de la viande. Il produit de l'acide lactique. *Lab. curvatus* et *Lab. sake* peuvent croître à basse température (2 à 4°C) et fermenter des légumes et des produits carnés. *Lab. sake* est utilisé pour fermenter le vin de saké. *Lab. kefir* est important dans la fermentation du kéfir, un lait aigre fermenté ethnique. *Lab. viridescens*, *Lab. curvatus* et *Lab. sake* sont associés à la détérioration des produits de viande réfrigérés.

3.6. *Bifidobacterium*

Les *Bifidobacterium* sont morphologiquement similaires à certains *Lactobacillus* spp. et étaient auparavant inclus dans le genre *Lactobacillus*. Ces bactéries sont des bâtonnets à tailles variées, cellules courtes, coccoïdales, ramifiées, bifurquées, spatulées, isolées ou en chaînes, disposées en V ou en palissade. Ces bactéries sont Gram+, non sporulées, immobiles, anaérobies, bien que quelques espèces tolèrent l'O₂ en présence de CO₂. Les espèces du genre croissent de façon optimale entre 37 et 41°C, avec une plage de températures de croissance de 25 à 45°C. Ils ne poussent généralement pas à un pH supérieur à 8,0 ou inférieur à 4,5. Ils fermentent le glucose pour produire de l'acide lactique et acétique dans un rapport molaire de 2: 3 sans produire de CO₂, et fermentent également le lactose, le galactose et certains pentoses.

Les *Bifidobacterium* ont été isolés des excréments des humains, des animaux et des oiseaux et sont considérés comme bénéfiques pour la santé normale du tube digestif. Ils sont présents en grand nombre dans les fèces des nourrissons et des bébés allaités. Ils se trouvent généralement dans le gros intestin. Certains d'entre eux comprennent *Bifidobacterium bifidum*, *Bif. longum*, *Bif. brevis*, *Bif. infantis* et *Bif. adolescentis*. Certaines de ces espèces ont été ajoutées aux produits laitiers pour fournir des cellules vivantes en grand nombre afin de restaurer et de maintenir la santé intestinale chez l'homme.