

Chapitre I et II : Microflore pathogènes et responsables d'altération des produits alimentaires

Nous avons regroupé les deux premiers chapitres ensemble car plusieurs microorganismes peuvent jouer doubles rôle (Altération et pathogénicité).

1. Bactéries

Les bactéries sont responsables de la contamination de plusieurs produits alimentaires qui les dégradent et les rendent impropres à la consommation. Un bon nombre de bactéries est considéré comme étant dangereux pour la santé humaine ou animale, d'autres sont des agents de fermentation très utiles. Certaines espèces sont saprophytes, vivants librement dans la nature, d'autres sont des commensales de l'homme et des animaux, d'autres sont des parasites ayant un pouvoir pathogène.

Le pouvoir pathogène de ces bactéries se résume en quatre grands points essentiels : Il existe des espèces à pouvoir infectieux (infection), des espèces à pouvoir toxigène qui libèrent des toxines dans l'aliment (intoxication), d'autres espèces à caractère mixte (toxi-infection) et d'autres agissent par transformation de l'aliment qu'elles rendent toxique, produisant ainsi des intoxications, dans ce cas il s'agit principalement de bactéries saprophytes.

La classification des bactéries en genre et espèces est très utile en microbiologie alimentaire, elle nécessite l'étude de plusieurs caractères biochimiques, morphologiques, sérologiques (réactions antigènes-anticorps), lysotypiques (action spécifique de bactériophage) ou génétique (comme l'étude du GC% ou le séquençage de l'ARNn 16S ou autres. Parmi la panoplie de bactéries existant dans la nature, seule une quarantaine est impliquée dans la microbiologie alimentaire.

1-1 Entérobactéries

Les Entérobactéries regroupent de nombreuses espèces dont la plupart sont des commensaux de l'intestin de l'homme et de l'animal. Cette flore constitue plus de 10% de l'ensemble des bactéries présentes dans l'intestin. Chez l'homme, l'entérobactérie prédominante est *E-coli*. Les Entérobactéries sont très répandues dans la nature à cause de la contamination de l'environnement par l'intermédiaire de matières fécales animales et par les

eaux usées. Ce sont des contaminants alimentaires très fréquents (dû essentiellement à un contact direct ou indirect avec les déchets fécaux). Ces bactéries peuvent provoquer des intoxications ou des infections ou des toxi-infections.

Les Entérobactéries sont des bacilles ou cocco-bacilles, Gram -, oxydase, catalase +, (sauf *Shigella dysenteriae* serovar 1), asporulés, ils réduisent les nitrates en nitrites (sauf quelques *Erwinia*), fermentent le glucose, AAF, (l'espèce type est *E-coli*). Les Entérobactéries se multiplient facilement sur milieu ordinaire à pH neutre, à une température de 37°C. Les colonies sont apigmentées, lisses ou rugueuses de 1 à 3 mm de diamètre. Elles sont mobiles ou immobiles présentant les antigènes O, H, K (capsulaire), Vi ou R (surface).

1.1.1. Principaux groupes

Les entérobactéries rencontrées en industrie alimentaire sont traditionnellement classées en groupes ou tribus.

*Salmonelleae : Elle comprend *Salmonella*, *Citrobacter*, *Edwardsiella*

*Escherichieae : Elle comprend *Escherichia*, *Shigella*, *Citrobacter* et *Leviniae*

*Klesielleae : Dans ce groupe on retrouve *Klebsiella*, *Hafnia*, *Enterobacter*, *Obesmbacterium*, *Serratia*.

*Proteae : *Proteus* et *Providencia* font partie de ce groupe.

*Yersineae : Cette tribu contient plusieurs espèces du genre *Yersinia*

*Erwiniae : Plusieurs espèces sont phytopathogènes et provoquent des contaminations alimentaires d'origine végétale. Elles ne sont pas dangereuses au point de vue sanitaire, Elles provoquent des dégradations seulement.

En microbiologie alimentaire, on appelle « coliformes », les Entérobactéries fermentent le lactose avec production de gaz à 30°C, qui comprend les genres *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* et *Serratia*. Sauf quelques biotypes d'*E-coli*, les coliformes sont peu dangereux sur le plan sanitaire et ne sont jamais très entéro-pathogènes. Cependant, lorsqu'ils sont en nombre très élevé, les coliformes peuvent provoquer des intoxications alimentaires. Habituellement, ils sont considérés comme étant des indicateurs de contamination fécale, mais il s'agit d'un mauvais critère, ce sont plutôt des marqueurs de qualité hygiénique fécale. On appelle coliformes thermo tolérants (et aussi fécaux), les coliformes capables de se développer à 44 °C. Cette catégorie inclut essentiellement *E-coli*, ce qui se traduit parfois par l'appellation « E-coli présomptifs ». Cette flore est plus spécifique de la contamination fécale que les coliformes totaux.

1-1-2 Caractères des principaux genres et espèces

1-1-2-1 Salmonella

Ce sont des Entérobactéries, les espèces sont classés principalement selon les sérotypes (ou sérovars). Les salmonelles sont présentes dans l'intestin de l'homme et des animaux. La contamination des produits alimentaires peut provenir des animaux malades ou par manipulateurs malades ou porteurs sains de germes. Toutes les variétés d'aliments sont susceptibles d'être contaminées mais généralement on trouve les salmonelles dans les produits d'origine animale (œufs, lait, viandes, volailles), l'eau polluée et les produits consommés crus. Aux températures basses (5-10 °C), la croissance est très lente mais elle peut être significative. Plusieurs sérovars comme *S.typhi* et *S.paratyphi* A, B, C, provoquent des maladies infectieuses appelées respectivement fièvres typhoïdes ou paratyphoïdes. La maladie se déclenche généralement après 15 jours d'incubation par des diarrhées, des douleurs abdominales et des vomissements, avant d'entrer dans la phase septicémique avec fièvre typhoïde cholérique, provoquée par les toxines de type shiga-like et cytotoxine. D'autres sérovars sont plus fréquemment impliqués dans des infections généralement plus bénignes et des intoxications appelées salmonellose comme *S.typhimurium*, *S. dublin*, *S. panama* ou autres. Certains produisent des toxines (entérotoxines).

Les salmonella sont dangereuses et ne doivent pas être présentes dans un aliment. Les salmonella sont souvent responsables de maladies animales. La prévention des salmonelloses passe donc aussi par l'éradication chez l'animal.

1-1-2-2 Edwardsiella- Arizona

Ce sont des bactéries saprophytes rencontrées dans l'environnement ou dans l'intestin leur présence dans les aliments est rare et certaines souches produisent une hémolysine.

Les Arizona sont des bactéries commensales de l'intestin des reptiles, 300 sérotypes ont été signalés seulement pour l'espèce *A.hinshawii*.

1-1-2-3 Citobacter

Bactérie commensale de l'intestin, lactose +, c'est un contaminant très courant des aliments.

1-1-2-4 Escherichia

Il existe plusieurs espèces d'Escherichia mais la plus importante est *E-coli*. C'est un hôte normal de l'intestin de l'homme et des animaux, très abondante dans les matières fécales (10^6 à 10^7) par gramme, chez l'homme soit environ 80 % de la flore aérobie. Le développement abondant conduit comme tous les autres coliformes à une intoxication. Certains sérotypes sont considérés comme pathogènes (comme par exemple sérotype à antigène B), ces pathogènes ou appelés aussi pathovars. Ils possèdent selon le cas une ou plusieurs toxines (hémolysines, cytotoxines et entérotoxines). Certains biotypes sont plus fréquemment rencontrés dans les infections urinaires ECUP (Uro-pathogènes). Les produits d'origine animale (viande, certains produits laitiers) parfois l'eau sont incriminés dans la contamination par *E-coli*.

1-1-2-5 Shigella

Les Shigella sont lactose -, toujours pathogènes, dont le principal réservoir est l'homme (les porteurs sains de *Shigella* sont fréquents). Elles sont surtout transmises par l'eau et par les aliments crus de pH neutre (salade, légumes, etc.), les salades composées qui sont très manipulées sont également fréquemment incriminées. La présence d'antigène O et D conduisent à la répartition des *Shigella* en quatre groupes :

Groupe A (10 sérotypes) : *Shigella dysenteriae*,

Groupe B (6 sérotypes) : *Shigella flexnerii*

Groupe C (15 sérotypes) : *Shigella boydii*

Groupe D : (1 sérotype) : *Shigella sonnei*

La forme la plus grave de Shigellose est la dysenterie bacillaire due à *Shigella dysenteriae 1*. Cette souche a des propriétés invasives et libère une entérotoxine protéique, appelée toxine « shiga » qui est activé sur l'épithélium intestinal, ce qui provoque une diarrhée sanguinolente avec douleurs et céphalées. Cette souche possède aussi une endotoxine neurotoxique, hémolysine. La dose infectante est très faible de 10 à 100 bactéries et l'incubation est très courte de 6 heures à 2 jours.

1-1-2-6 Klebsiella, Hafnia, Enterobacter, Obesumbacterium et Serratia.

Ces bactéries ne sont pas dangereuses sauf pour quelques espèces comme *E. cloacae*, *E. liquefaciens*, *K. pneumoniae* etc. qui sont susceptibles de provoquer des intoxications (diarrhées, vomissement, douleurs abdominales, céphalées) en cas de développement

abondant dans un aliment. Les pâtisseries et les plats cuisinés sont les produits alimentaires les plus touchés.

1-1-2-7 Proteus-Providencia

Les Proteus sont très répandus dans le sol et dans les eaux et pas fréquentes dans l'intestin. Très mobiles qui envahissent rapidement les milieux gélosés. Sauf pour quelques espèces les Proteus et les Providencia ne sont pas entéropathogènes. Les pathogènes provoquent de rares intoxications c'est le cas surtout des suivants : (*P. mirabilis*, *P. morganii*).

1-1-2-8 Yersinia

Rencontrées dans le sol, les eaux, les végétaux, certains biotypes sont adaptés à l'homme ou à divers animaux. Seules certaines souches sont pathogènes, ces souches sont rencontrées dans les aliments suite à une contamination d'origine fécale. *Yersinia enterocolitica* provoque la yersiniose, se manifestant par une gastro-entérite. Cette souche peut se développer à une température basse, c'est une bactérie psychrophile. D'autres espèces sont aussi pathogènes comme *Y. intermedia*, *Y. kristensenii* etc. Les aliments touchés par ces bactéries sont les produits crus (lait, produits laitiers, coquillage, viande, etc).

1-2 Bacilles Gram – saprophytes

1-2-1 Les Pseudomonas et genres voisins

Les Pseudomonas et les genres voisins font partie de ce qu'on appelle la flore banale. Ces bactéries dont la majorité aérobies sont très répandues dans la nature et en particulier dans le monde végétal où elles peuvent se révéler phytopathogènes. Cette flore contamine et dégrade beaucoup de produits alimentaires. Cette flore n'est généralement pas pathogène pour l'homme. Les Pseudomonas et les genres voisins (bacilles et coccobacilles Gram -, asporulé, oxydase +, ou - ne fermentant pas le glucose par opposition des entérobactéries qui sont oxydase - et fermentent le glucose). Ils sont dotés d'une grande activité métabolique, ont souvent un pouvoir protéolytique et parfois lipolytique et peuvent dégrader plusieurs substrats. Les genres les plus fréquents dans les aliments sont *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Flavobacterium*, *Alteromonas*, *Acinetobacter*, *Chromobacter*, *Alcaligenes*. Les aliments incriminés sont les viandes, le lait, les végétaux.

1-2-2 Les bactéries acétiques

Ces bactéries font partie du groupe des bactéries Gram- saphrophytes aérobies décrites précédemment. Les genres *Acetobacter* et *Gluconobacter* font partie de ce groupe. Ils contaminent les produits alcoolisés et sont utilisés pour la fabrication du vinaigre. Ce sont des agents de la fermentation acétique (oxydation incomplète de l'éthanol). Les caractères suivants sont très importants pour leur identification : Gram-, aérobie, oxydase -, et production d'acide à partir d'éthanol. Pour la production du vinaigre, les espèces *A. aceti*, *A. pasteurianus* sont les plus utilisés.

1-2-3 Les vibrions

Leur morphologie se caractérise par des bacilles incurvés. On rencontre dans ce groupe :

a/ *Vibrio*

Le genre *Vibrio* est transmis par l'eau ou par les produits en contact avec l'eau. Plusieurs genres sont saphrophytes et quelques autres sont pathogènes, Gram- incurvés en virgule et très mobiles, oxydase +, catalase +, aérobies ou anaérobies selon les espèces. La température optimale de croissance est de 20 à 30°C, pour les saphrophytes et 37°C pour les pathogènes, ils se multiplient bien à pH alcalin 7 à 9. Les espèces pathogènes pour l'homme sont les *Vibrio cholerae* (vibrion comma), *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus*.

Vibrio cholerae est l'agent du choléra. Ce germe contamine l'eau, les coquillages et poissons et divers autres produits consommés crus (lait, légumes, etc.) et a une origine fécale. Ce genre produit une entérotoxine protéique puissante la (CT) par exemple qui altère perméabilité intestinale. La dose infectante est de 10^5 à 10^7 bactéries.

Vibrio parahaemolyticus est un vibrion marin halophile (résiste à 3% de NaCl), responsable de toxi-infection alimentaire, par des produits marins, séchés, réfrigérés ou congelés.

Vibrio vulnificus est très proche de *parahaemolyticus* mais il est lactose +, il est transmis par les huîtres et provoquent des infections intestinales sévères. Parmi les espèces saphrophytes, *Vibrio costicola* contamine parfois les saumures et les viandes salées.

b-*Aeromonas* – *plesiomonas*

Aeromonas est une bactérie psychrophile aquatique rencontrée également dans l'intestin de l'homme et des animaux. L'espèce *Aeromonas salmonicida* est parasite des

poissons. Ils peuvent aussi contaminer les viandes, les poissons, les volailles, le lait, l'eau...) et causent exceptionnellement des gastro-entérites avec diarrhées.

Plesiomonas est une bactérie aquatique qui peut donner des gastro-entérites à partir des coquillages ou d'eau.

c/ Campylobacter

Ce genre est considéré aussi comme vibrion, plusieurs espèces sont répandues dans l'intestin des animaux, en particulier des volailles. C'est une bactérie très exigeante ne poussant que dans les milieux riches. Ce sont des micros aérophiles, une atmosphère riche en CO₂ favorise leur développement. La dose de 10² à 10³ cellules est nécessaire pour qu'il ait danger. Les aliments incriminés sont l'eau, les mollusques, le lait et particulièrement les volailles. Le genre *Helicobacter*, proche de *Campylobacter*, est responsable d'ulcères gastroduodénaux.

1-2-4 Les Brucella et bactéries voisines

Brucella est un genre qui contient que des espèces pathogènes. Ce genre est Gram -, immobiles, coccobacills, oxydase +, se développent sur milieux enrichis de sang, sérum et des facteurs de croissance. Les espèces provoquent des maladies aux animaux transmissibles à l'homme comme la brucellose appelée aussi ou fièvre de Malte. Cette maladie fébrile à évolution septicémique se manifeste par divers symptômes (douleurs, frissons, céphalée, amaigrissement). La brucellose se transmet par les produits carnés : viande, lait, fromage. Cette maladie est endémique dans les régions du pourtour méditerranéen.

1-3 Les Bacilles Gram +

1-3-1 Microcoques et Staphylocoques

Ce sont des bactéries commensales de la peau des animaux et de l'homme, qui contaminent fréquemment les aliments. Les *Micrococcaceae* sont des coques Gram +, immobiles, asporulés, catalase +. Les genres intervenant dans l'alimentation sont essentiellement *Micrococcus* et *Staphylococcus*. Ces deux genres sont souvent thermo tolérants (mais ne survivent pas à la pasteurisation), halophiles, parfois psychrophiles, peu exigeants, ils sont parfois protéolytique. Leur caractère saprophyte de la peau et des muqueuses des êtres vivants en fait des agents de contamination par manipulation. Ils ont un pouvoir de dégradation intense des aliments même dans des conditions difficiles (produits salés pour les *Micrococcus*), ils résistent au NaCl et à une faible activité d'eau. Cependant, ils sont inhibés par un pH acide (< 4 pour la croissance et > 5 pour la toxinogénèse). Les *Micrococcus* et de nombreux *Staphylococcus* ne sont pas pathogènes.

Quelques espèces de *Staphylococcus* productrices de coagulase sont pathogènes. Comme par exemple de nombreux biotypes de *Staphylococcus aureus*. Ces biotypes sont entérotoxiques par l'intermédiaire d'une toxine thermostable qui est libérée dans les aliments pendant la croissance du genre. Les aliments dangereux sont nombreux : viandes, plats cuisinés, produits à base de lait pasteurisé, crèmes glacées, charcuteries. Les entérotoxines ne sont pas hydrolysées par les protéases digestives (pepsine, trypsine) et sont très résistants aux traitements thermiques. Un traitement thermique de type pasteurisation (60°C pendant 30 minutes) permettant de détruire les microorganismes, mais pas les toxines staphylococciques qui résistent beaucoup à des températures élevées (30 minutes à 100 °C). La contamination des aliments se fait à partir de la peau et des lésions cellulaires de celle-ci ces lésions sont dites (furoncles). Les *Micrococcus* ne sont cependant pas pathogènes, ils sont utilisés en fromagerie et en saumure par exemple.

1-3-2 Les coques lactiques

1-3-2-1 *Streptococcus*, *Lactococcus* et *Enterococcus*

Ce sont des anaérobies facultatifs, généralement micro aérophiles et très exigeants du point de vue nutritionnel et se développent bien à 37°C. Leur fermentation est homolactique qui donne de l'acide lactique d (dextrogyre) surtout. Quelques espèces sont pathogènes comme les streptocoques de mammites qui provoquent des infections graves chez les vaches. De nombreuses autres sont saprophytes en particulier dans les produits laitiers. Certaines espèces sont abondamment utilisées dans l'industrie de fermentation lactique (laiterie, beurrerie, fromagerie) car ce sont des agents d'acidification et de coagulation lactique. Ce groupe est classé anciennement dans les streptocoques qui sont subdivisés en 4 catégories ou groupes. On distingue :

- Le groupe pyogènes

Composés de streptocoques pathogènes possédant une hémoglobine B, classé sérologiquement selon lancefield en groupes A, B, C, D, E, F, G, H. Ces streptocoques peuvent occasionnellement entraîner des infections d'origine alimentaire. L'espèce type est *S.pyogenes*, (groupe A) est l'agent des angines.

- Le groupe viridans

Possédant des hémolysines α ou γ non groupables par la méthode lancefield, ils appartiennent au groupe K. L'espèce *S. thermophilus* est l'agent de l'acidification de certains fromages et surtout les yaourts. Parmi ce groupe on retrouve *Streptococcus mutans* agent des caries dentaires.

- Le groupe lactique

Il concerne les streptocoques non hémolytiques appartenant au groupe sérologique N et contient des espèces très importantes en fromagerie. *S. lactis*, et *S. cremoris* (désormais appelées *Lactococcus lactis*) font partie de ce groupe.

- le groupe des enterocoques

Ce groupe contient des streptocoques fécaux ayant une hémolysine α , β ou γ appartenant au groupe sérologique D. Plusieurs espèces sont rencontrées dans l'alimentation comme *S.fecalis* ou *S. bovis*. Ce sont des germes tests de la contamination fécale mais ils ne sont qu'exceptionnellement pathogènes, ce sont donc des pathogènes opportunistes avec une dose infectante forte (10^8 à 10^{10} cellules).

1-3-2-2 *Pediococcus*

Ce sont des bactéries micro-aérophiles très exigeantes du point de vue nutritionnel, ne poussent qu'en présence de divers types de facteurs de croissance dans le milieu nutritif. Les espèces sont acidophiles et osmophiles. Leur fermentation est homolactique donnant fréquemment la forme L de l'acide lactique. Ce sont des agents de contamination des produits végétaux surtout. Ils sont très rencontrés en brasserie (bière surtout) et causent aussi l'altération de plusieurs produits végétaux comme les olives et les rendent viqueuses.

1-3-2-3 *Leuconostoc*

Ce sont des bactéries anaérobies facultatives et exigeantes. Elles se développent entre 20 °C et 30°C mais pas à 45°C. Généralement capsulés, leur fermentation est hétéro lactique donnant de L. lactique. Ce ne sont pas des pathogènes et ne produisent pas de hémolysines. Ils sont utiles dans certains fromages (bleus) où ils facilitent l'ouverture par production de CO₂.

1-3-3 Lactobacillus et autres bacilles lactiques

1-3-3-1 *Lactobacillus*

Genre principale de la famille des *Lactobacillaceae* contenant plusieurs espèces responsables de la fermentation lactique dans de nombreuses industries et également rencontrées comme contaminants. Ce sont des bacilles souvent allongés, Gram +, asporulés parfois regroupées en paires ou en chaînes, généralement immobiles, catalase -, micro aérophiles ou anaérobies. Certaines espèces sont homolactiques, d'autres sont hétérolactiques produisant des acides volatils, de l'éthanol et du CO₂, à côté de l'acide lactique. Le genre

Lactobacillus a été subdivisé par Orla Jeusen en trois groupes et cette classification est encore utilisée :

-Groupe thermobactérium

Il comprend des lactobacilles homofermentaires thermophiles qui se développent à 45°C mais pas à 15° C. Les espèces les plus rencontrées dans l'alimentation (lait, yaourt, fromage) sont *L. helveticus*, *L. jugurti*, *L. bulgaricus*, *L. lactis*, *L. acidophilus*, *L. delbrueckii*.

-Groupe streptobactérium

Regroupe les lactobacilles homofermentaires mésophiles qui se développent à 15 °C. *L. casei* est l'espèce prédominante du lait, *L. plantarum*, *L. gaminus* et d'autres font partie de ce groupe.

-Groupe bétabactérium

Il comprend les lactobacilles hétérofermentaires. Les espèces les plus fréquents dans l'alimentation sont *L. fermentum*, *L. brevis*, *L. kefir* etc. Dans l'alimentation, les lactobacilles ne sont jamais pathogènes.

Dans les viandes, les lactobacilles provoquent le verdissement par action de l' H_2O_2 , qui transforme l'hémoglobine en choléglobine et l' H_2S produit, forme de la sulfomyoglobine.

L. brevis, *L. casei*, et *L. plantarum* ont une action défavorable sur la bière. Ces deux espèces altèrent aussi les jus sucrés. Dans les produits alimentaires conservés par des acides comme par l'acide acétique à pH très acide 3.5 – 3.8 par exemple, plusieurs lactobacilles peuvent y résister et provoquer des altérations.

Les lactobacilles sont très utilisés dans l'industrie. Dans les yaourts, *L. bulgaricus* forme des peptides utilisés par *S. thermophilus* qui forme de l'acide formique. Plusieurs lactobacilles comme (*casei*, *plantarum*, *brevis*,...) interviennent pendant l'affinage des fromages.

1-3-3-1 Autres lactobacilles et bactéries voisines

Bufo-bactérium (anciennement appelés *Lactobacillus bifidus*) est un bacille présent dans la flore intestinale du nouveau-né. Il est utilisé dans certains yaourts (comme probiotique) qui entraîne d'après plusieurs études une action anti-infectieuse au niveau intestinal à cause de la présence d'un facteur bifidogène.

1-4 Listeria

Bacilles mobiles, catalase +, aérobie anaérobie. Ces bactéries saprophytes du sol est parfois de l'eau sont rencontrés également dans le tube digestif de nombreux animaux, on les trouve aussi dans les matières fécales et sont susceptibles de contaminer les aliments. Cette

bactérie pousse entre 0-1 °C et aussi jusqu'à 45°C. Elle est halophile et peut échapper à la pasteurisation, son pouvoir pathogène est lié à la présence d'hémolysines, d'une phospholipase et de facteurs toxiques pariétaux. Cette bactérie donne des infections septicémiques avec atteinte neurologiques. Parmi les 16 sérovars connus tous sont principalement incriminés dans cette pathogénicité. Plusieurs aliments sont touchés par ce bacille : légumes, viandes, volailles crues, œufs, produits laitiers.

1-5 Les actiobactéries

Bactéries Gram +, parfois colorées, n'ont pas d'endospore. La morphologie passe des formes bacillaires irrégulières à des structures de type mycéliums avec ramifications. Souvent aérobies, quelques anaérobies, catalase +. Les principales bactéries rencontrées en industrie alimentaire sont :

1-5-1 Bactéries coryneformes saprophytes

Les genres rencontrés en industrie alimentaire et appartenant à cette catégorie sont multiples. On cite *Cellulomonas*, *Corynebacterium*. Ce sont des bacilles Gram +, asporulés, non acido-alcool-résistants, généralement enflés en massue avec un arrangement irrégulier en lettres chinoises, catalase +, et généralement aérobies facultatifs. Ce sont des espèces saprophytes non pathogènes en alimentaire. *Corynebacterium diphtheriae* est une espèce pathogène qui fait partie de ce groupe, elle provoque la diphtérie (infection membraneuse de la sphère rhino-pharyngée). Cette bactérie est très rarement rencontrée dans l'alimentation. D'autres espèces jouent un rôle non négligeable dans l'industrie fromagère comme *Brevibacterium*, *Caseobacter* et *Microbacterium*.

1-5-2 *Propionibacterium*

Bacilles Gram +, asporulés, immobiles de forme irrégulière. Leur forme est variable selon la présence ou l'absence d'oxygène, en aérobiose ils se présentent sous formes allongées enflées en massue avec un arrangement irrégulier, en anaérobiose, les cellules sont de courts bâtonnets. Ce sont des catalases +, micro aérophiles ou anaérobies avec un métabolisme de type fermentaire où les glucides sont attaqués avec production de CO₂, d'acide acétique et propionique. Plusieurs espèces sont saprophytes, elles sont utilisées en fromagerie et sont responsables de l'ouverture des fromages à pâte pressée cuite (gruyère, emmental) en fermentant l'acide acétique en acide propionique et en CO₂ (*Propionibacterium shermanii*). Certains propionibactéries jouent un rôle important dans le rumen des ruminants.

1-5-3 Streptomyces

Quelques espèces du genre *Streptomyces* peuvent intervenir en alimentation. Gram +, saprophytes du sol, pas de spores internes, filamenteuses ramifiées portant des conidiospores en chaînes parfois très longues. Aérobie à métabolisme fortement oxydatif. Les colonies sont pigmentées et d'aspect fongique avec un développement relativement long (15 jours). Les *Streptomyces* peuvent se développer sur certains aliments et causer des goûts et des odeurs désagréables. Ils sont faiblement protéolytiques et généralement pas pathogènes. On les rencontre parfois dans les eaux de citernes ou les retenues d'eau d'alimentation, où ils donnent un goût de terre dû à la production de géosmine.

1-5-4 Mycobactéries

Le genre *Mycobacterium* fait partie des actinomycètes. Il est Gram +, immobile avec des éléments enflés. Ils sont alcool-acido-résistants, aérobie avec croissance très lente et impossible sur les milieux de cultures ordinaires. Il existe en plus des espèces pathogènes d'autres saprophytes, certaines espèces pathogènes peuvent se transmettre par quelques aliments : viandes, lait cru, il s'agit essentiellement de *Mycobacterium tuberculosis*, *M. bovis* qui sont responsables respectivement de la tuberculose de l'homme et des bovins.

1-6 Bactéries sporulées aérobie

Le genre *Bacillus* est le seul représentant de cette catégorie. Il fait généralement partie de la flore banale et contamine de nombreux produits alimentaires. Les *Bacillus* sont Gram+, bacilles (cultures âgées peuvent apparaître Gram-), généralement mobiles, présence d'endospores, catalase +. Ils sont très répandus dans le sol et sur les végétaux, ils contaminent aussi plusieurs produits alimentaires et sont souvent protéolytiques (*B. stearothermophilus*, *B. coagulans*, *B. thuringiensis*). quelques bacilles peuvent causer des intoxications alimentaires comme pour *B. cereus* qui produit cinq toxines (hémolysine, phospholipase C, murine, cytolyse, toxine émétique) et deux entérotoxines protéiques. Les aliments susceptibles d'être contaminés sont surtout les viandes, les plats cuisinés, le lait et les desserts à base de lait pasteurisés, certains produits végétaux comme le riz. La contamination se fait à partir du sol ou de l'air.

Une autre espèce est pathogène, il s'agit de *B. anthracis* qui est l'agent de la maladie du charbon, elle a été décrite dans de rares cas en microbiologie alimentaire où elle cause l'anthrax intestinal. Les viandes crues et les charcuteries sont les aliments incriminés.

Dans les volailles ou les poissons *Bacillus subtilis* peut occasionnellement produire une toxine (la surfactine) qui provoque une gastro-entérite.

B. licheniformis, *B. brevis* ont été incriminés dans quelques intoxications alimentaires.

1-7 Bactéries sporulées anaérobies

Elles appartiennent au genre *Clostridium* (famille des bacillaceae). Ce sont des bactéries telluriques rencontrées essentiellement dans le sol, mais on les retrouve aussi dans les eaux d'égout et dans l'intestin, elles dégradent les aliments dans les conditions d'anérobiose (en conserve). Certaines espèces sont pathogènes. Ce sont des bacilles Gram + souvent de grande taille, isolés ou en chainettes. Les cultures âgées peuvent apparaître Gram -, mobiles capables de se sporuler. La forme et la position de la spore sont d'une importance taxonomique. Cette résiste à plus de 100 °C pendant quelques minutes, catalase négative et anaérobies strictes. Ils sont généralement mésophiles et supportent des variations assez importantes de pH et de température. Quelques espèces sont thermophiles. Les produits alimentaires contaminés par cette bactérie sont le lait, l'eau, la viande, les poissons, les aliments fermentés ou congelés et surtout les conserves alimentaires. Ils dégradent fortement les sucres (poly, di ou monosaccharide) et les protéines en libérant dans ce cas (protéines), l'acide butyrique ou de l'H₂S. Quelques espèces sont responsables d'intoxications ou gastro-entérites (*Cl. perfreringens*) ou de graves intoxications comme celles provoquées par (*Cl. botulinum*), qui est l'agent du botulisme souvent mortel.

Sur le plan industriel, les *Clostridium* saccharolytiques sont surtout utilisés dans les différentes fermentations des glucides comme c'est le cas de *Cl. butyrium*. Ils peuvent être des agents protéolytiques où ils qui dégradent les protéines comme la gélatine, la caséine comme par exemple *Cl. putrefaciens*.

2-Levures et moisissures

Les levures sont des champignons unicellulaires alors que les moisissures sont des champignons filamenteux unis ou multicellulaires.

2-1 Les moisissures

Ce sont des hétérotrophes (symbiotiques sur les végétaux ou parasites des végétaux et des animaux). D'autres sont des saprophytes (qui se développent sur les déchets organiques et contaminent les produits alimentaires). Les moisissures sont en majorité aérobies généralement acidophiles, mésophiles avec certaines espèces psychrophiles. Ils ont un besoin faible en eau par rapport aux autres microorganismes. Elles se développent donc sur les aliments à faible a_w (jusqu'à 0.65). Certaines espèces sont osmophiles et halophiles. Elles sont

souvent cellulotiques, pectinolytique, amylolytique, etc..... C'est pour ces raisons qu'elles sont considérées comme des agents de dégradation utiles ou nuisibles. Les moisissures produisent souvent des métabolites secondaires. En alimentation, les moisissures sont considérées comme étant des agents pathogènes qui attaquent les fruits et les légumes, les saprophytes contaminent les aliments et les dégradent au point de vue qualitatif et certaines espèces sont toxigènes, libérant des mycotoxines graves. Les genres toxigènes sont multiples : le groupe *Aspergillus flavus* produisent de l'alfa toxine B et C. Le groupe se développe bien sur les surfaces des aliments comme les oléagineux (arachide, noix) et les différentes céréales. Ces toxines sont produites à des a_w élevées > 0.93 et certains de ces toxines sont thermorésistants (2 heures à 100°C). Elles sont cancérigènes comme l'aflatoxine B1.

Aspergillus clavatus produit de la patuline qui provoque des hémorragies pulmonaires et cérébrales. *Aspergillus ochraceus* fréquents sur les produits secs (fruits secs en particulier) produisant une puissante toxine d'ochratoxine A provoquant une intoxication aigue avec hémorragie et peut atteindre les reins. *Aspergillus versicolor* produit de la stérigmatocystine qui est cancérigène. Plusieurs *Penicillium* et *Fusarium* sont aussi des producteurs de plusieurs toxines dangereuses.

2-2 Les levures

Ce sont aussi des hétérotrophes, leur métabolisme est exclusivement oxydatif ou bien mixte (oxydatif et fermentaire), elles sont aérobies mais celles qui possèdent un métabolisme fermentaire ne peuvent se développer qu'en anaérobiose stricte et en présence d'ergostérol et d'acide oléique (twen 80). Elles sont acidophiles et mésophiles. Les levures assimilent de nombreux substrats carbonés. La voie oxydative conduit à la formation d' O_2 et H_2O . La vie fermentaire qui n'existe que chez certaines espèces conduit à la formation d'éthanol et de CO_2 (comme chez *Saccharomyces*).

Parmi les levures, seuls quelques rares espèces (*Candida albicans*, *Cryptococcus neoformans* et *Candida tropicalis*) sont pathogènes mais elles ne causent pas d'intoxications alimentaires. Les levures ne causent aucun problème d'aspect sanitaire dans l'alimentation, elles interviennent par contre fréquemment comme contaminants et agents de dégradation surtout dans les produits acides, sucrés ou alcoolisés.

Les levures participent à la fabrication de nombreux produits (brasserie, vinification, fromagerie.....etc.) et aussi à la valorisation des déchets agricoles et industriels et à la production de protéines. Leur rôle est fondamental dans les industries de fermentation en transformant les substrats sucrés ou amylicés, les produits riches en alcool.

3-Les protozoaires

Il s'agit de nombreux parasites qui peuvent être transmis à l'homme par des aliments contaminés à partir des matières fécales ou par l'eau, légumes, viandes crus, ou insuffisamment cuits. En principe, il ne se développe pas sur les produits alimentaires, mais un petit nombre de cellules suffit pour déclencher une infection. Le traitement des eaux, la cuisson des aliments et l'hygiène permettent d'empêcher le développement des maladies concernés. Dans les pays sous-développés, les problèmes liés aux protozoaires sont nombreux on cite les suivants :

- *Entamoeba histolytica* est l'agent de la dysenterie amibienne qui est proche de la dysenterie bacillaire à *Shigella*. Le protozoaire provoque des douleurs abdominales, vomissements et surtout une diarrhée hémorragique. Cette amibe est spécifique aux humains et est anaérobie, ce qui est rare chez les protozoaires. L'incubation est longue alternant des phases aiguës et des phases d'amélioration. L'eau et les légumes crus sont les vecteurs de l'infection. Ce protozoaire résiste à la chloration, ce qui impose de filtrer l'eau.

- *Toxoplasma gondii*

C'est l'agent de la toxoplasmose, maladie en général bénigne sauf en cas de complications comme chez la femme enceinte (il provoque les lésions chez le fœtus). Le protozoaire est transmis la viande insuffisamment cuite et par le lait de chèvre ou par des légumes souillés par des déjections animales (oiseaux, rongeurs et surtout chats).

-*Cryptosporidium parvum*

Ce protozoaire provoque la cryptosporidiose qui est une maladie grave pour les sujets diminués. Les symptômes ressemblent à ceux du choléra. Il est très résistant et contamine l'eau et les aliments crus ou insuffisamment cuits. C'est un parasite naturel des bovins, des moutons et de certains volailles (comme les dindons).

4-Les algues

Les algues procaryotes et les eucaryotes regroupent de très nombreuses espèces. Ce sont des organismes photosynthétiques qui vivent dans des milieux minéraux. Certaines algues eucaryotes peuvent être utilisées comme aliments ou comme source d'agar par exemple. D'autres sont toxiques et peuvent contaminer certains produits alimentaires comme ceux de la mer (poisson et coquillages). Parmi les algues procaryotes, les principales espèces incriminées dans les intoxications alimentaires sont : *Anabaena flos-aquae*, *Lunbya*

majuscula etc. Elles produisent des toxines et provoquent des entérites et des troubles neurologiques. Plusieurs espèces parmi les algues eucaryotes sont responsables d'intoxication c'est le cas par exemple de : *Alexandrium tamarense* qui est une dinoflagellé qui produit des neurotoxines paralysantes.

5- Les virus

Plusieurs virus sont pathogènes pour l'homme et interviennent en microbiologie alimentaire. Nous citons ce qui suit :

5-1 Les entérovirus

Ce sont des virus à ARN monocaténaire à symétrie cubique et sans enveloppe. Ces virus sont particulièrement résistants à l'acidité, à la bile, aux détergents à l'alcool et à l'éther. Ce sont des germes de contamination fécale qui peuvent être transmis aux aliments de manière indirecte (mains sales, eaux usées, objet ou produits souillés...). Ils peuvent également se transmettre par voie aérienne (sécrétions rhinopharyngées par exemple). Les aliments qui peuvent être contaminés sont l'eau, le lait, les fromages, les légumes, la pâtisserie. Les entérovirus peuvent persister longtemps dans l'environnement. Leur destruction est possible par l'action des oxydants (eau de javel et par les rayons UV. La pénétration du virus est digestive. La plupart des espèces d'entérovirus donnent des infections bénignes sauf le poliovirus qui provoque des symptômes fébriles avec céphalée et diarrhée (Dite grippe intestinale. Les complications sont plus graves (méningite, paralysie, poliomyélite).

5-2 Les rotavirus.

Ils sont transmis par l'eau, les coquillages et autres fruits de mer et les aliments très manipulés (comme les salades). Les maladies provoquées sont bénignes et courtes. Ce sont des virus à ARN bicaténaires à symétrie cubique sans enveloppe. Ils sont responsables de gastro-entérite en particulier chez l'enfant entraînant des vomissements et des diarrhées.

5-3 Virus de l'hépatite A

La structure n'a été reconnue que récemment. Il s'agit d'un petit virus à ARN et à symétrie cubique non enveloppé. Très résistant et peut survivre longtemps dans l'environnement. Résistant au chlore (30 minutes à une concentration de 1 ppm, qui est chloration habituelle des eaux d'alimentation). Il est aussi thermorésistant et résiste plusieurs heures à 60°C et résiste à l'action de plusieurs antiseptiques comme l'éther. Il résiste aussi à la congélation. Après pénétration digestive, le virus atteint le foie par voie sanguine où se

développe parfois une hépatite plus ou moins sévère avec ictère et jaunisse. Les aliments incriminés sont l'eau, fruits ou jus de fruits, légumes, coquillages et parfois la pâtisserie.

5-4 Autres virus.

Il existe d'autres groupes viraux transmissibles par les aliments comme les arenavirus qui provoquent selon les espèces, la fièvre hémorragique bolivienne ou le typhus noir, ou encore la fièvre des montagnes...

6- Les parasites intracellulaires

Les Richettsies peuvent être transmises par le lait de vache ou par l'eau provoquant la fièvre Q qui se traduit par une céphalée, une toux et une fièvre.

Les chlamydiae avec son agent *Chlamydia psittaci* peuvent engendrer la psittacose ornithose transmise par la chair d'oiseau contaminé.

7- Les prions

Les prions sont des pseudo-virus responsables de maladies à incubation longue et évolution très lente. Il s'agit de particules protéiques infectieuses (sans acide nucléiques contrairement aux virus). Le plus connu est l'agent de l'encéphalite spongiforme bovine ou maladie de la vache folle, qui provoque la dégénérescence du système nerveux central. La maladie est transmise par l'ingestion de viandes et des abats contaminés.

8- Les bactériophages

Les phages des bactéries lactiques sont les plus importants dans la contamination des aliments. Ils contiennent généralement de l'ARN bicaténaire et contaminent les laits, les fromages et les dessert lactés.

9- Autres organismes

Taenia solium associé au porc et *T.saginata* associé au bœuf sont des vers qui provoquent des douleurs abdominales et une perte de poids. L'eau et les aliments contaminés par les matières fécales et les viandes insuffisamment cuites, sont les denrées responsables de la transmission de ces vers.

Trichinella spiralis est un nématode qui contamine la viande du porc. *Anisakis simplex* est un nématode parasite des poissons. *Angiostrongylosis* se rencontre chez les mollusques, les crustacés et les poissons. *Ascaris lumbricoides* est transmis par les matières fécales et donne des infections intestinales graves. Il existe bien d'autres vers responsables de plusieurs atteintes dues aux aliments

Références bibliographiques

-BOURGEOIS C. M. et LARPENT J.P. (1996). Microbiologie alimentaire- Aliments fermentés et fermentations alimentaire. Ed. Technique et documentation, 523p.

-Guiraud J.P. 2012. Microbiologie Alimentaire ; Dunod Ed. 696 p.

-LEVEAU J.Y., BOUJXMRIELLE et DE-ROISSART H. (1991). La flore lactique In Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaire. Bourgeois C.M., Leveau JY. *Tec & Doc, Lavoisier*, 52-186.

-LUQUET F.M. (1990). Lait et produits laitiers: vache, brebis, chèvre. volumes2, transformation et technologie (2ed). , technique et documentation, Lavoisier. Paris, pp664.

-CHRISTIANE JOFFIN et JEAN-NOËL JOFFIN. (2010). Microbiologie alimentaire, édition n°6, SCÉRÉN-CRDP Aquitaine, pp 344.