**Partie I : Les grands groupes microbiens intéressants la microbiologie agroalimentaire**

**☞Les Bactéries** :

**1. Les entérobactéries** :

Ce sont des bacilles ou coccobacilles à Gram négatif, asporulés ; certaines espèces sont mobiles mais d’autres pas. Ils sont catalase négatifs, anaérobies facultatifs et peuvent fermenter le glucose.

Ces bactéries, qui se multiplient généralement à 37°C, appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae* qui contient plusieurs genres comportant de nombreuses espèces qui sont des hôtes normaux de l’intestin de l’Homme et des animaux. Les principales entérobactéries rencontrées dans l’industrie alimentaire appartiennent aux trois tribus suivantes :

- ***Escherichieae***: comportant cinq genres qui sont *Escherichia*, *Citrobacter*, *Salmonella*, *Shigella* et *Edwardsiella*.

- ***Klebsielleae***: comportant quatre genres qui sont *Klebsiella*, *Hafnia*, *Enterobacter* et *Serratia*.

- ***Proteae***: comportant le genre *Proteus*. L’espèce *Proteus inconstans* est parfois considérée comme un deuxième genre *Providencia*.

Deux autres tribus font également partie des *Enterobacteriaceae* :

- ***Erwinieae***: représentée par le genre *Erwinia* qui regroupe des espèces phytopathogènes que l’on rencontre souvent dans les produits alimentaires d’origine végétale.

- ***Yersinieae***: représentée par le genre *Yersinia*. Ce genre comporte une espèce *Yersinia enterolitica* qui peut être entérotoxique mais qui est rare dans les produits alimentaires.

**Remarque1**: **En microbiologie alimentaire**, on appelle " **coliformes** " les entérobactéries fermentant le lactose avec production de gaz à 37°C. Il s¡¯agit d’un groupe disparate issu de plusieurs tribus qui comprend les genres suivants : *Escherichia, Citrobacter, Enterobacter et Klebsiella.* Sauf quelques biotypes d*’Escherichia coli*, il s’agit d’espèces peu dangereuses sur le plan sanitaire et qui ne sont jamais entero-pathogenes. Cependant, lorsqu’ils sont en nombre très élevé, les coliformes peuvent provoquer des intoxications alimentaires. Les coliformes sont donc des marqueurs de qualité hygiénique générale et c’est pour cette raison que leur dénombrement est intéressant.

**Coliformes fécaux ou thermo tolérants :** Les coliformes fécaux sont des coliformes capables de se développer (fermentation du lactose) à 44°C. Cette catégorie inclut essentiellement *Escherichia Coli* qui est spécifique de la flore fécale et est donc recherché pour évaluer la contamination fécale des aliments.

Les coliformes fécaux ne survivent pas longtemps à l’extérieur du corps, leur présence dans les aliments est donc un signe de contamination relativement récente.

**Remarque2 :** Les *Proteus* ne sont pas entéropathogènes à la différence des Salmonella et Shigella qui possèdent un pouvoir pathogène important (agents responsables d’intoxications et d’infections sévères).

***⮚ Escherichia coli***

Il s’agit d’une Entérobactérie lactose positif, gazogène, réalisant une fermentation mixte ; elle produit de l’indole. C’est un hôte normal de l’intestin de l’homme et des animaux qui est très abondant dans les matières fécales (106 à 107 par gramme chez l’homme : 80 % de la flore aérobie). La transmission des infections par *E.coli* est féco-orale. Les différents syndromes cliniques sont dus à des *E.coli* différents. On reconnaît au moins cinq types de souches responsables de diarrhées :

▪ ***E.coli* entéro-pathogènes (ECEP):** Ces souches sont responsables des gastro-entérites sévères surtout chez les enfants de moins d’un an. Elles possèdent parfois des toxines de type Shiga-like ;

▪ ***E.coli* entéro-toxigènes (ECET):** Elles provoquent des syndrômes cholériformes. Ces souches sont capables d’excréter des toxines (thermostables et thermolabiles). C’est l’agent responsable de la diarrhée des voyageurs.

▪ ***E.coli* entéro-invasifs (ECEI):** Ces souches infectieuses sont très rares. Elles provoquent des diarrhées aiguës avec fièvre. La souche se fixe à la muqueuse et l’infecte. La présence de leucocytes dans les selles est le témoignage du processus invasif ;

▪***E.coli* entéro-hémorragiques (ECEH):** Ces souches sont responsables de diarrhées banales ou hémorragiques. Elles provoquent une diarrhée sanglante. La souche la plus dangereuse est responsable d’épisodes épidémiques avec des cas mortels. Un produit alimentaire contaminé peut être à l’origine des épidémies (surtout la viande) ;

▪ ***E.coli* entéro-agrégatifs (EAggEC):** Ces souches provoquent des diarrhées chroniques persistantes. quelques jours mais, elle constitue un réel danger chez les jeunes enfants. La plus simple prévention contre une infection à Salmonella est l’hygiène.

**⮚Les Salmonelles VOIR CHAPITRE INTOXICATIONS**

⮚ **Les Shigelles :** Les Shigella font partie des entérobactéries lactose négatif, immobiles, fermentant le glucose sans gaz, ne produisant jamais de H2S. Elles sont toujours pathogènes. Ces bactéries ne font pas partie de la flore normale du tube digestif. Elles sont présentes dans les matières fécales des malades. Les différents sérotypes sont liés à la possession d’antigènes O et K. Les Shigelles sont répartis en 4 groupes correspondant à des espèces :

🞟Groupe A (10 sérotypes) : *S. dysenteriae*.

🞟Groupe B (6 sérotypes) : *S. flexnerii*.

🞟 Groupe C (15 sérotypes) : *S. boydii*.

🞟 Groupe D (1 sérotype) : *S. sonnei*.

La forme la plus grave de shigellose est la **dysenterie bacillaire** due *S. dysenteriae* . Cette souche provoque des diarrhées sanglantes avec des troubles associés (douleurs, céphalées).

Les autres shigelloses sont plus fréquentes : elles se manifestent comme des gastro-entérites avec un caractère entéro-invasif. La shigellose est la plus transmissible des maladies bactériennes intestinales, dix germes vivants peuvent provoquer la maladie chez un adulte sain. La dissémination de la maladie se fait par des aliments, de l’eau de boisson contaminés par des matières fécales, par des mouches ou de personne à personne. Les shigelloses surviennent là où les conditions d’hygiène sont défectueuses. Le lavage des mains et l’amélioration de l’approvisionnement en eau sont des mesures qui réduisent la transmission féco-orale.

**2. Pseudomonas :** Les bactéries du genre *Pseudomonas* peuvent être définies par : Bacilles à Gram négatif, oxydase positif, catalase positif, aérobies stricts; Généralement mobiles par ciliature polaire (monotriche ou lophotriche); peu exigeantes, cultivant à 30°C, indole négatif, asporulés, colonies souvent pigmentées.

Ce genre comprend plus d'une centaine d'espèces ubiquitaires (dont l'espèce-type est ***Pseudomonas aeruginosa*** généralement dénommé Bacille pyocyanique). Ces bactéries, largement répandues dans l'environnement, vivent dans le sol et l'eau. Elles se retrouvent sur les plantes, dans les matières organiques non vivantes (denrées alimentaires), entraînant, parfois, leur altération organoleptique.

**3. Les bactéries acétiques :** Les bactéries acétiques sont des bacilles à Gram négatif parfois allongés, asporulés, généralement mobiles. Elles sont catalase positives, aérobies et ont un métabolisme de type oxydatif. Il s’agit de bactéries appartenant au genre *Acétobacter* et également au genre *Gluconobacter* (parfois appelé *Acetomonas*).

Ce sont les agents de la fermentation acétique qui est en fait une oxydation. Leur caractéristique principale est de produire de l’acide acétique à partir de l’éthanol. Ces bactéries sont utilisées dans la fabrication du vinaigre ; les variétés les plus utilisées sont celles de l’espèce ***Acetobacter aceti***et ***Acetobacter pastorianus***. Cependant, elles peuvent également se comporter comme contaminants fréquents des produits alcoolisés qu’elles acidifient.

**4. Les vibrions** : Les vibrions font partie de la famille des *Vibrionaceae*. Ce sont des bactéries Gram négatives asporulées, incurvées en virgule et très mobiles. Elles sont catalase positives et possèdent un métabolisme fermentatif des sucres sans production de gaz. Elles sont aérobies ou anaérobies selon les espèces. Ces bactéries sont classées, selon leur température optimale de croissance, dans la flore mésophile ; ainsi l’une de leurs caractéristiques essentielles est qu’elles se multiplient mieux à un pH alcalin (7 à 9).

Le genre *Vibrio* regroupe des espèces saprophytes des poissons, que l’on appelle parfois globalement « vibrions des eaux » et des espèces pathogènes pour l’Homme qui peuvent contaminer essentiellement des produits marins. Il s’agit essentiellement de *Vibrio cholerae*, agent du choléra, et *Vibrio parahaemolyticus* qui est un agent de toxi-infections intestinales (diarrhées riziformes).

Parmi les espèces saprophytes, *Vibrio costicola* contamine parfois les saumures et viandes salées

**5. Les brucelles :**Ces bactéries appartenant au genre *Brucella* sont souvent classées dans la famille des *Brucellaceae*, parfois dans une famille appelée *Parvobacteriaceae*. Ce sont de petits coccobacilles Gram négatifs, immobiles, asporulés. Ils sont aérobies et généralement catalase positifs

Ces bactéries, exigeantes en termes de nutrition, sont toutes pathogènes et peuvent être transmises par l’alimentation : viandes, lait cru, fromages. Elles provoquent la brucellose ou Fièvre de Malte. Les espèces les plus importantes dans le cadre de l’industrie alimentaire sont *Brucella suis*, *Brucella melitensis* et *Brucella abortus*.

**6. Les microcoques :** Ces bactéries constituent la famille des Micrococcaceae. Ce sont des coques à Gram positif, catalase positif, immobiles, asporulées et groupés généralement en amas. Ce groupe bactérien, parfois appelé groupe de bactéries non lactiques, comporte trois genres : *Micrococcus*, *Staphylococcus* et *Sarcina*. La différentiation entre ces genres est basée sur l’arrangement cellulaire et le métabolisme énergitique. La clef de ces genres est la suivante selon Baird-Parker :

***Sarcina* :** coques en amas réguliers et tétrades, anaérobies stricts.

***Staphylococcus et Micrococcus*** : coques en amas irréguliers plans ou non plans, aérobies ou anaérobies. Les souches du genre *Staphylococcus* se distinguent de celles du genre *Micrococcus* par leur capacité à fermenter le glucose en anaérobiose.

Les microcoques sont très répandus dans la nature et ils présentent des capacités de développement et de résistance importantes : ils sont souvent relativement thermorésistants, halophiles, peu exigeants du point de vue nutritif.

Ce sont des saprophytes de la peau et des muqueuses des êtres vivants ce qui en fait des contaminants, par manipulation, fréquents dans l’industrie alimentaire. Ils ne sont pas en général pathogènes sauf une espèce ***Staphylococcus aureus*** qui peut produire une toxine thermostable, pas très dangereuse, qu’elle libère dans les aliments ayant supporté sa croissance.

Cependant, les *Micrococcus* ont parfois un rôle utile dans l’industrie alimentaire, elles peuvent intervenir dans la maturation de certains fromages et dans la fabrication de produits salés et carnés, et cela en produisant des composés aromatiques.

**7. *Streptococcus***: ce genre est essentiellement représenté par l’espèce *S. thermophilus*. Les bactéries de cette espèce sont des coques lactiques thermophiles isolées à partir des produits laitiers, mais certaines souches ont été récemment trouvées dans des plantes. Elles sont largement utilisées dans la fabrication des yaourts et de certains fromages. Ainsi, des combinaisons d’espèces probiotiques contenant *S. thermophilus* ont été décrites comme ayant

**8. *Lactobacillus***: c’est le groupe le plus grand et le plus hétérogène parmi tous les genres lactiques. Il regroupe des bactéries en forme de bâtonnets homo ou hétérofermentaires qui sont les plus tolérantes à l’acide. Ces bactéries sont les plus ubiquitaires, elles sont présentes chez l’Homme, les animaux et les plantes. Elles sont ainsi très utilisées en industrie alimentaire (ferments lactiques pour produits fermentés) et en tant que probiotiques.

 Le genre *Lactobacillus* a été subdivisé par Orla Jensen 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. graminus* 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.

**9. Les actinobactéries :** Les actinobactéries sont des bactéries Gram positives, asporulées, immobiles. Elles ont, selon les espèces, des formes coccoides à bacillaires irrégulières et des structures d’apparence mycélienne avec ramifications. Certaines forment des conidies ou sporanges qui libèrent des spores mais qui n’ont pas la même signification biologique que les endospores bactériennes.

Ces bactéries sont souvent aérobies ou anaérobies facultatives, et possédant une catalase.

Elles sont communément trouvées dans la nature (eau, sol) et la plupart d’entre elles, qui sont rencontrées dans l’industrie alimentaire, sont saprophytes et quelques-unes sont pathogènes. Ce sont des bactéries apparaissant sous forme de filaments ramifiés portant des conidies en chaines, parfois très longues. Elles sont aérobies, à métabolisme fortement oxydatif et leur température optimale de croissance est de 25 à 35°C.

Ces bactéries appartenant au genre ***Streptomyces***sont des saprophytes du sol. Quelques espèces peuvent se développer dans certains aliments, souvent eau et poissons, et causer des goûts et odeurs désagréables, mais elles ne sont pas pathogènes.

**10. Les bactéries sporulées aérobies :** Ces bactéries appartiennent au genre ***Bacillus***(famille des *Bacillaceae*). Ce sont des bacilles Gram positifs généralement mobiles. Ils sont sporulés : une spore se forme dans la cellule lorsque les conditions deviennent défavorables ; la spore ne prend pas la coloration de Gram, elle est sphérique ou ovale, déformante ou pas selon les espèces.

Les *Bacillus* sont généralement catalase positifs, ils sont aérobies stricts ou anaérobies facultatifs et sont majoritairement mésophiles. Ces bactéries sont très répandues dans la nature, en particulier dans le sol. Elles font généralement partie de la flore banale Gram positive et contaminent de nombreux produits alimentaires et sont souvent protéolytiques. En raison de leur aptitude à la sporulation, ils résistent à des conditions défavorables et peuvent être des agents de dégradation de conserves alimentaires (un des plus fréquents est *Bacillus stearothermophilus*). Ainsi, quelques espèces peuvent être, par leur prolifération excessive, des agents d’intoxication alimentaire (*Bacillus cereus*).

Il est également à signaler qu’une espèce est pathogène, *Bacillus anthracis*, mais elle n’intervient pratiquement pas dans le cadre de l’industrie alimentaire.

**11. Les bactéries sporulées anaérobies :** Ces bactéries appartiennent au genre ***Clostridium***(famille des *Bacillaceae*). Ce sont des bacilles Gram positifs, souvent de grande taille, généralement mobiles. Ils sont sporulés : la spore peut être centrale, subterminale ou terminale, déformante ou pas.

Les *Clostridium* sont catalase négatifs et anaérobies stricts. Cependant, quelques rares espèces sont aérotolérantes. Ils sont en général mésophiles et supportent des variations assez importantes de pH et de température. Quelques espèces sont psychrophiles.

Ces bactéries sont très répandues dans la nature (sol, eaux d’égout) et sont communément rencontrées dans les intestins. Ils contaminent de nombreux produits dont l’eau, la viande, les poissons, les aliments congelés et surtout les conserves alimentaires qu’ils dégradent.

Ainsi, quelques espèces pathogènes sont responsables d’intoxications légères (*Clostridium perfringens*) ou de graves intoxications souvent mortelles (*Clostridium botulinum*).

**☞Les champignons :**

Les champignons microscopiques ou mycètes sont des microorganismes eucaryotes, immobiles, plus grands que les bactéries. Ils se reproduisent par scissiparité et par voie sexuée. Ils peuvent se présenter sous forme unicellulaire (levures) ou pluricellulaire (moisissures) lorsque les cellules s'allongent pour former des filaments ou hyphes (qui constituent le mycélium).

En fonction de l’aspect des hyphes et du mode de reproduction, les mycètes sont divisés en quatre classes : les Phycomycètes, les Ascomycètes, les Basidiomycètes et les Deutéromycètes ou champignons imparfaits.

Ces microorganismes peuvent se développer en saprophytes ou en parasites sur tous les milieux et ils peuvent avoir plusieurs applications en industries alimentaires

**1. Les levures :**

Ce sont 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 en général acidophiles, pouvant se multiplier à des pH compris entre 3 et 7,5, et sont mésophiles ; il existe également des souches psychrophiles. Certaines espèces sont osmophiles, et certaines ont un pouvoir protéolytique ou lipolytique mais ces activités sont rarement importantes.

Les levures appartiennent aux classes des ascomycètes (*Schizosaccharomyces, Saccharomyces, Kluyveromyces, Hansenula, Debaryomyces, Pichia*…) basidiomycètes(*Sporobolomyces,*…) et deutéromycètes (*Brettanomyces, Candida, Torulopsis, Rhodotorula*,…).

Les levures sont les microorganismes les plus utilisés dans les industries alimentaires soit pour elles-mêmes, soit pour leur métabolisme (leur capacité de transformer les substrats sucrés et amylacés), soit pour leur composition chimique qui les rend aptes à servir d’aliments (en alimentation animale). Elles participent à la fabrication de nombreux produits alimentaires (produits alcoolisés, fromages, pain levé, produits diététiques) mais aussi dans la valorisation des déchets agricoles et industriels grâce à la production de protéines. Parmi les levures utilisées en ce propos on cite : *Saccharomyces cerevisiae* (Panification), *Schizosaccharomyces* (brasserie), *Kluyveromyces* (fromagerie) et *Brettanomyces* (vinification).

Parmi les levures, seules les espèces *Candida albicans* et *Cryptococcus neoformans* sont réputées pathogènes mais elles ne causent pas d’intoxications alimentaires. Les levures ne posent donc aucun problème d’aspect sanitaire dans l’alimentation. Elles interviennent par contre fréquemment comme agents contaminants et dégradants surtout dans les produits acides, sucrés et alcoolisés (*Saccharomyces, Hansenula, Debaryomyces, Pichia,* *Sporobolomyces , Rhodotorula, Candida,…*).

**2. Les moisissures :**

Les moisissures sont des microorganismes aérobies, généralement acidophiles (pH 3 à 7) et mésophiles mais certaines espèces sont psychrophiles (T < 15°C). Ils ont un besoin en eau faible par rapport aux autres microorganismes et peuvent donc se développer sur des aliments à faible teneur en eau. Certaines moisissures sont osmophiles.

Ces microorganismes sont hétérotrophes : certains vivent en symbiose avec des végétaux, d’autres sont des parasites des végétaux ou des animaux, et d’autres sont des saprophytes qui se développent sur des déchets organiques et contaminent les produits alimentaires. Ils ont un métabolisme oxydatif ou mixte et ils sont souvent dotés de propriétés lytiques importantes (cellulolytiques, pectinolytiques, amylolytiques, protéolytiques, lipolytiques) qui en font des agents de dégradation dangereux mais aussi parfois des alliés utiles. Les moisissures appartiennent aux classes des phycomycètes (*Phycomyces, Mucor, Absidia, Rhizopus*,…), ascomycètes (*Aspergillus,*…) et deutéromycètes (*Penicillium, Aspergillus, Fusarium, Alternaria, Cladosporium,*….).

L’intervention des moisissures dans les industries alimentaires se situe à plusieurs niveaux : certains sont des agents d’affinage qui interviennent en fromagerie et participent à la protéolyse et à la lipolyse du caillé, d’autres sont des agents de fermentation ou des producteurs d’enzymes utilisables également en industrie alimentaire. A titre d’exemple, ***Penicillium camembertii***est pulvérisé sur les camemberts préformés et se développe à leur surface en une croûte veloutée blanche mais durant leur maturation cette moisissure produit aussi des composés aromatiques caractéristiques et des protéases qui hydrolysent les caséines du caillé et donnent au Camembert son aspect crémeux et coulant. Ainsi, dans la fabrication du roquefort, ***Penicillium roquefortii***est intégré à la masse du fromage où il se développe en mycélium vert-bleu caractéristique et il joue aussi un rôle majeur dans le goût spécifique du fromage.

Cependant, les moisissures à **activité phytopathogènes** sont très néfastes pour la production de matières alimentaires brutes dont les fruits et les légumes (*Fusarium*,…). Les moisissures saprophytes contaminent les aliments relativement secs (grains de céréales, cacahuètes, noix,…) et les dégradent au point de vue qualitatif (*Aspergillus, Rhizopus*,…). Ainsi, certains d’entre eux sont toxinogènes et libèrent dans les aliments des mycotoxines qui représentent un danger pour la santé du consommateur (aflatoxines voir chapitre des intoxications)