**Chapitre 1 : Généralités**

**1. Introduction**

Les micro-organismes associés aux aliments peuvent être classés en :

* Microorganismes d’altération : ils peuvent se développer dans un aliment et provoquer des changements indésirables du goût, de la consistance (texture), la couleur ou l'apparence. Les enzymes bactériennes peuvent effectuer une lente détérioration des aliments congelés ou séchés pendant le stockage de longue durée. Ces changements diminuent les caractéristiques de qualité des aliments et peuvent les rendre finalement impropres à la consommation humaine.
* Microorganismes pathogènes : ils peuvent rendre les aliments dangereux pour l'être humain. Les denrées alimentaires peuvent véhiculer les micro-organismes pathogènes du tractus gastro-intestinal, par exemple, *Salmonella* et *Shigella*. La multiplication de certains micro-organismes dans les aliments avant la consommation peut donner lieu à la production de toxines, par exemple, *Clostridium botulinum*, *Staphylococcus aureus* et *Bacillus cereus*. Les aliments peuvent également véhiculer des toxines formées in vivo par les micro-organismes, par exemple, *Clostridium perfringens* et certains *Escherichia coli* pathogènes.
* Microorganismes utiles : le développement de micro-organismes utiles, tels que les levures et les bactéries lactiques qui sont soit naturellement présents ou ajoutés, est favorisé dans certains aliments comme les fromages, les yaourts et le pain, pour offrir des propriétés organoleptiques souhaitables et augmenter la durée de vie de l’aliment.

A l’exception des levures, de nombreuses espèces bactériennes et virales et certaines moisissures sont capables de causer des maladies d'origine alimentaire à l’homme et aux animaux. La plupart des bactéries, les moisissures et les levures, en raison de leur capacité à se développer dans les aliments (les virus ne peuvent pas croître dans les aliments), peuvent causer la détérioration des aliments. Plusieurs espèces de bactéries, les moisissures et les levures sont utilisés pour produire des aliments fermentés et des ingrédients alimentaires. Parmi les quatre grands groupes, les bactéries constituent le plus grand groupe. En raison de leur présence ubiquitaire et le taux de croissance rapide, même dans des conditions où les levures et les moisissures ne peuvent pas se développer, elles sont considérées comme le groupe le plus important dans l’altération des aliments et les maladies d'origine alimentaire.

**2. Classes et nomenclature des microorganismes**

Le groupe taxonomique de base chez les bactéries, les levures et les moisissures est l'espèce.

Le nom comporte deux parties: la première partie est le nom du genre et la deuxième partie est un adjectif spécifique. Les deux parties sont écrites en italique (ou soulignés), avec la première lettre du genre écrite en lettre majuscule (par exemple, *Lactococcus lactis*). Une espèce bactérienne peut être divisée en plusieurs sous-espèces (subsp ou ssp.) Dans de telles conditions, un deuxième adjectif spécifique est ajouté (par exemple, *Lactococcus lactis* ssp. *Cremoris*).

Dans certains cas, les rangs au-dessous de la sous-espèce sont utilisés pour différencier les souches reconnues par des caractères spécifiques (par exemple sérovar : désigne une propriété antigénique; biovar : produisant un métabolite spécifique, et phagovar : variété d’une bactérie caractérisée par sa sensibilité à des bactériophages"virus"). Ces rangs n’ont aucune importance taxonomique, mais peut être utile dans la pratique (par exemple, *Lactococcus lactis* ssp. *Lactis* biovar *diacetilactis* est une souche *Lactococcus lactis* ssp. *Lactis* qui produit le diacétyle, un composé d'arôme important dans certains produits laitiers fermentés).

Au niveau de la famille, les noms bactériens avec le suffixe "acées sont représentés par le suffixe (cies) (Entérobactériacées sont représentées par exemple par entérobactéries). Les espèces dans un genre peuvent être représentées collectivement (par exemple, les espèces de *Lactobacillus* sont représentées par *Lactobacillus* spp. ou lactobacilles).

**3. Facteurs influençant la croissance microbienne dans les aliments**

**3.1. Facteurs intrinsèques**

**3.1.1. Les éléments nutritifs et la croissance**

L’aliment fournit les éléments nutritifs, qui comprennent des glucides, des protéines, des lipides, des minéraux et des vitamines, pour la croissance microbienne. L'eau ne constitue pas un élément nutritif, mais il est essentiel en tant que support pour des réactions biochimiques nécessaires à la synthèse de la masse cellulaire et l'énergie.

**3.1.2. Stimulateurs et inhibiteurs de croissance dans les aliments**

La nature des stimulateurs de croissance sont mal-connus, mais ils sont naturellement présents dans certains aliments comme les tomates qui stimulent la croissance de certaines espèces de *Lactobacillus*.

Les aliments contiennent également de nombreux produits chimiques naturels ou ajoutés, qui inhibent la croissance des microorganismes ou les tuent. Certains des inhibiteurs naturels sont les lysozymes dans l'œuf, l’agglutinine dans le lait, l'eugénol dans les clous de girofle et les bactériocines (telles que la nisine et les pédiocines) produites par les lactobacilles dans les aliments fermentés.

**3.1.3. Activité de l'eau (Aw)**

Dans aliment, on distingue : l’eau libre et l’eau liée (liée aux composants biochimiques et ayant perdue toutes ses qualité réactives). L’Aw estime la part de l’eau libre dans un produit, c’est à dire disponible par exemple pour la croissance de micro-organismes. Plus l’Aw est élevée, plus il y a d’eau disponible pour le développement de ces micro-organismes.

L'eau libre dans un aliment est nécessaire pour la croissance microbienne. Elle joue un rôle dans le transport des nutriments et l’élimination des déchets, elle intervient dans les réactions enzymatiques et biochimiques, telles que l'hydrolyse des protéines aux acides aminés.

L'Aw de l’aliment varie de 0,1 à 0,99. Les valeurs Aw de certains groupes d'aliments sont les suivants: les céréales, le sucre, le sel, le lait sec ( 0,10 à 0,20); miel, chocolat (<0,60); la confiture, les fruits secs, le fromage, (0,60 à 0,85); le pain (0.75 à 0.90); les saucisses, le lait concentré sucré, (0,85 à 0,93); le jus de fruits, le poisson salé, les saucisses, le fromage fondu (0,93 à 0,98); et la viande fraîche, le poisson, les fruits, les légumes, le lait, les œufs (0,98 à 0,99).

Chaque espèce microbienne a un optimum, un maximum et un minimum d’Aw pour la croissance. D'une manière générale, les valeurs minimales d’Aw pour la croissance des groupes microbiens sont les suivants: la plupart des moisissures 0,8; la plupart des levures 0,85; la plupart des bactéries Gram-positives 0,90; et des bactéries Gram-négatives 0,93.

Il existe certaines exceptions pour la croissance des *Staphylococcus aureus* à une Aw=0,85 et les bactéries halophiles à une Aw=0,75. La germination des spores ainsi que la production des toxines par les bactéries exigent une Aw plus élevée que le minimum d’Aw de croissance. En outre, le minimum d’Aw pour la croissance dans une condition idéale est inférieur à celui dans un état non idéal. L’Aw pour la croissance d'une souche bactérienne à un pH de 6,8 est de 0,91, mais à un pH de 5,5, il peut être 0,95 ou plus.

**3.1.4. pH**

Le pH indique les concentrations d'ions d'hydrogène dans un système et est exprimé en log [H +], il va de 0 à 14, pH = 7,0 étant un pH neutre. Sur la base de pH, les aliments peuvent être classés en aliments très acides (pH inférieur à 4,6) et les aliments peu acides (pH 4,6 à 7). La plupart des fruits, jus de fruits, les aliments fermentés (à partir de fruits, de légumes, de la viande et du lait), et les vinaigrettes sont des aliments très acides, alors que la plupart des légumes, de la viande, le poisson, le lait, et les soupes sont des aliments peu acides. Par contre, le blanc d'œuf a un pH 7 à 9 (8.5 pour l’œuf de poule). Le pH d'un aliment a un effet profond sur la croissance et la viabilité des microorganismes. Chaque espèce a un optimum et un intervalle de pH pour la croissance. En général, les moisissures et les levures sont capables de croître à un pH inférieur à celui des bactéries, les bactéries Gram-négatives sont plus sensibles à un pH bas que les bactéries Gram positives. La gamme de pH de croissance des moisissures est de 1,5 à 9,0; pour les levures, de 2,0 à 8,5; pour les bactéries Gram-positives, de 4,0 à 8,5; et des bactéries Gram-négatives, de 4.5 à 9,0.

**3.2. Les facteurs extrinsèques**

**3.2.1. La température**

Les microorganismes sont classés en trois groupes dans les aliments en fonction de leur température de croissance : thermophiles (optimum : 55°C, intervalle de 45 à 70°C); mésophiles (optimum : 35°C, intervalle de 10 à 45°C); et psychrophiles (optimum : 15°C, intervalle de -5 à 20°C.

**3.2.2. L'humidité relative ʺHRʺ**

L'humidité de l'environnement de stockage est importante pour la croissance des micro-organismes à la surface des aliments. Il existe des relations entre l'humidité relative de l'environnement de stockage et l'aw des aliments. Lorsque des aliments ayant de faibles valeurs d'aw sont placés dans un environnement à HR si élevé, les aliments absorbent l'humidité jusqu'à ce que l'équilibre soit établi. De même, les aliments ayant une aw élevée perdent de l'humidité lorsqu'ils sont placés dans un environnement à faible HR (ex : fruits et légumes). Si les aliments ont une aw faible, ils auront besoin d'une condition de stockage à faible HR afin de maintenir cette faible aw à la surface du produit (lait en poudre).

Les aliments qui subissent une détérioration de surface due aux moisissures, aux levures et à certaines bactéries doivent être stockés dans des conditions de faible HR. Les viandes mal emballées (comme les poulets entiers et les morceaux de bœuf) ont tendance à subir une détérioration de surface dans le réfrigérateur avant qu'une détérioration profonde ne se produise.

**4. Les microorganismes les plus importants dans l’aliment**

**4.1. Les genres les plus importants des moisissures**

Les moisissures sont des micro-organismes d'altération très importants qui peuvent se développer même dans les conditions dans lesquelles de nombreuses bactéries ne peuvent pas se développer, comme le faible pH et la faible activité de l'eau (Aw). De nombreuses souches produisent aussi des mycotoxines et ont été impliqués dans l'intoxication alimentaire.

* *Aspergillus*: produisent des spores de couleur noire. Beaucoup sont capables de se développer en basse Aw et peuvent provoquer l’altération des grains, des confitures, des noix et des fruits et légumes. Certaines espèces ou souches produisent des mycotoxines (par exemple, *Aspergillus flavus* produit l’aflatoxine).
* *Alternaria*: forment des spores de couleur foncée. Ils provoquent l’altération des tomates et la saveur rance dans les produits laitiers. Certaines espèces ou souches produisent des mycotoxines.
* *Fusarium*: De nombreuses espèces sont associées à l’altération des agrumes, des pommes de terre et des céréales.
* *Geotrichum*: ils forment des colonies crémeuses. Ils se fixent facilement sur les surfaces des équipements et se développent souvent sur les produits laitiers.
* *Mucor*: Ils forment des colonies cotonneuses. Ils provoquent l’altération des légumes.
* *Penicillium*: Ils forment des colonies bleu-vert, certaines espèces sont utilisées dans la production alimentaire, tels que *Penicillium roquefortii* et *Pen. camembertii* dans le fromage. De nombreuses espèces provoquent l’altération des fruits, des légumes, des grains, du pain et de la viande. Certaines souches produisent des mycotoxines.
* *Rhizopus*: Ils provoquent l’altération de nombreux fruits, légumes et du pain. *Rhizopus stolonifer* est la moisissure noire commune à pain.

**4.2. Les genres les plus importants des levures**

Les levures jouent un rôle important dans les aliments en raison de leur capacité de provoquer leur altération.

* *Saccharomyces*: *Saccharomyces cerevisiae* est utilisé dans la cuisson pour le pain et la fermentation alcoolique. Il provoque également l’altération des aliments, la production d'alcool et de CO2.
* *Pichia*: forme des pellicules dans la saumure pour provoquer l’altération.
* *Rhodotorula*: il peut provoquer une décoloration des aliments tels que la viande et le poisson.
* *Torulopsis*: Il provoque l'altération du lait, car ils peuvent fermenter le lactose. Il abîme également les jus concentrés, les fruits et les aliments acides.
* *Candida*: De nombreuses espèces altèrent les aliments avec une haute teneur en acide, en sel ou en sucre et forment des pellicules sur la surface des liquides. Certains peuvent provoquer le rancissement dans le beurre et les produits laitiers.
* *Zygosaccharomyces*: il cause la détérioration des aliments très acides, tels que les sauces, ketchups, marinades, moutardes, mayonnaise, sauces à salade, en particulier ceux avec moins d'acide et moins de sel et de sucre.

**4.2. Les virus importants**

Les virus sont très importants dans l’alimentation. Certains sont capables de causer des maladies d'origine alimentaire. L'hépatite A et les virus de type Norwalk ont ​​été impliqués dans des épidémies d'origine alimentaire. Plusieurs autres virus entériques, tels que le poliovirus, le virus de l'écho, et le virus Coxsackie, peuvent causer des maladies d'origine alimentaire.

**5. Sources de micro-organismes dans les aliments**

**5.1. Plantes (fruits et légumes)**

Le tissu à l'intérieur des aliments d'origine végétale sont généralement stérile, sauf pour quelques légumes poreux (par exemple, les radis et les oignons) et les légumes à feuilles (par exemple, le chou, la laitue). Certaines plantes produisent des métabolites antimicrobiens naturels qui peuvent limiter la présence de micro-organismes. Les fruits et légumes abritent des micro-organismes sur la surface; le nombre et les espèces existantes varient selon l'état du sol, le type d'engrais et de l'eau utilisée, et la qualité de l'air. Les moisissures, les levures, les bactéries lactiques et les bactéries du genre *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Clostridium et Enterobacter* peuvent être les plus prédominantes. Les microorganismes pathogènes, surtout les entérobactéries, peuvent être présents si le sol est contaminé par des eaux usées non traitées. Les maladies des plantes, les dommages de la surface (avant, pendant, et après la récolte), le long délai entre la récolte et le lavage, le stockage défavorable et des conditions de transport après la récolte et avant le traitement peut augmenter considérablement le nombre de microorganismes ainsi que les espèces prédominantes. Les conditions de stockage inadéquates peuvent également augmenter leur nombre.

**5.2. Animaux d’élevage et produits de la pêche**

Les animaux d’élevage portent de nombreuses espèces de micro-organismes dans le système digestif (1010 bactéries/g), respiratoire et génito-urinaire, le canal du trayon de la mamelle ; ainsi que sur la peau, les sabots, la laine, les poils et les plumes. La viande provenant d'animaux d'élevage peut être contaminée par plusieurs micro-organismes pathogènes et d’altération tels que *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus* spp., *Propionibacterium* spp., *Corynebacterium* spp., moisissures et les levures provenant de la peau, des cheveux et des plumes.

Beaucoup d’animaux peuvent héberger des agents pathogènes tels que *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Campylobacter jejuni*, *Yersinia enterocolitica* et *Listeria monocytogenes* sans présenter de symptômes.

Les poissons et les crustacés portent une microflore physiologiquement présente dans les branchies, la peau et les voies digestives. Les germes pathogènes tels que *Vibrio parahaemolyticus*, *Vib. vulnificus* et *Vib. cholerae* sont prédominantes.

Beaucoup de micro-organismes d'altération et pathogènes peuvent se transférer dans les aliments d'origine animale (lait, œuf, viande et produits de la pêche) lors de la production et de la transformation.

**5.3. Air**

Les micro-organismes sont présents dans la poussière et les gouttelettes d’eau suspendues dans l'air. Ils ne poussent pas dans la poussière. Les spores de *Bacillus* spp. et *Clostridium* spp., les moisissures et les cellules de certaines bactéries Gram positives (par exemple, *Micrococcus* spp. et *Sarcina* spp.), ainsi que les levures, peuvent être présentes de manière prédominante dans l'air. Si l’environnement contient une source d'agents pathogènes (par exemple, des fermes d'animaux et de volailles ou d'une station d'épuration), différents types de bactéries, y compris les agents pathogènes et des virus (y compris les bactériophages), peuvent être transmises dans l’aliment par l'intermédiaire de l'air.

**5.4. Sol**

Le sol utilisé dans l’élevage d'animaux et de volailles ou pour cultiver des produits agricoles contient plusieurs espèces de micro-organismes. Leur nombre peut être très élevé (en milliards/g) parce que les micro-organismes peuvent se multiplier dans le sol. De nombreuses espèces de moisissures, de levures et de bactériens (par exemple, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Proteus*, *Micrococcus*, *Enterococcus*, *Bacillus* et *Clostridium*) peuvent pénétrer dans les aliments du sol dans les cultures. Les sols contaminés par des matières fécales peuvent être la source de bactéries et virus pathogènes entériques dans les aliments.

**5.5. Égouts**

Les eaux usées, en particulier quand elles sont utilisées comme engrais dans les cultures des fruits et des légumes, peuvent contaminer les aliments avec des micro-organismes, surtout les bactéries et les virus entéropathogènes.

**5.6. Eau**

Elle est utilisée pour l'irrigation des cultures, l’abreuvement des animaux d'élevage, le lavage des aliments, le traitement (pasteurisation, la mise en conserve et le refroidissement des aliments chauffés), le stockage des aliments (glaçage des produits de la pêche), le nettoyage et la désinfection de l'équipement, etc. L'eau est également utilisée comme ingrédient dans de nombreux aliments transformés. Ainsi, la qualité de l'eau peut influencer sur la qualité microbienne des aliments.

Les eaux usées peuvent être recyclées pour l'irrigation. Cependant, l'eau potable traitée au chlore (eau potable) doit être utilisée dans le traitement, le lavage, la désinfection, et en tant qu'ingrédient. Bien que l'eau potable ne contienne pas de coliformes et d'agents pathogènes (surtout les entérobactéries), elle peut contenir d'autres bactéries capables de provoquer une altération des aliments, tels que *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*. L’eau traitée peut contenir des micro-organismes pathogènes et d'altération. Pour éviter ces problèmes, de nombreux fabricants de produits alimentaires utilisent de l'eau, en particulier comme ingrédient, qui a une qualité microbienne supérieure à celle de l'eau potable.

**5.7. Personnel**

Entre la production et la consommation, les aliments entrent en contact avec différentes personnes qui les manipulent. Ils comprennent non seulement les personnes qui travaillent dans les fermes et les usines de transformation alimentaire, mais aussi ceux qui manipulent les aliments dans les restaurants, les magasins de détail et à la maison. Les êtres humains ont été la source de micro-organismes pathogènes dans les aliments qui ont causé des maladies d'origine alimentaire. Le manque des règles d’hygiène du personnel peut être la principale source de contamination microbienne des aliments.

**5.8. Ingrédients alimentaires**

Dans les aliments préparés ou fabriqués, de nombreux ingrédients ou additifs sont inclus dans l’aliment. Beaucoup de ces ingrédients peuvent être la source de micro-organismes pathogènes et d’altération. Diverses épices peuvent contenir des populations très élevées de moisissures et des spores bactériennes. L'amidon, le sucre, la farine peuvent aussi contenir des spores de bactéries thermophiles.

**5.9. Équipements**

Une grande variété d'équipements est utilisée dans la récolte, l'abattage, le transport, le traitement et le stockage des aliments. De nombreuses espèces de micro-organismes issues de l'air, des aliments crus, de l'eau, et du personnel peuvent entrer en contact avec les équipements et puis contaminer les aliments. Selon l'environnement (humidité, nutriments, et température) et la durée de contact, les micro-organismes peuvent se multiplier et, même à partir d'une population initiale faible, atteignent un niveau élevé et contaminer de grandes quantités d'aliments.

Le matériel, comme les planches à découper, les couteaux, les cuillères, et les articles similaires, en raison du mauvais nettoyage-désinfection, peut être une source de contamination croisée. *Salmonella*, *Listeria*, *Escherichia*, *Enterococcus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Clostridium*, *Bacillus* spp., les levures et les moisissures peuvent être présents sur les équipements.

**5.10. Divers**

Les aliments peuvent être contaminés par des micro-organismes provenant d’autres sources, notamment l’emballage, les conteneurs, les mouches, les vermines, les oiseaux, les animaux domestiques et les rongeurs.