

Département de : Biotechnologie

Polycopié du cours :

Toxicologie et Sécurité Microbiologique des Aliments

3^{ème} année Licence

Spécialité : Alimentation, Nutrition et Pathologie

Préparé par :

Dr. BELDJILALI Asmaa Fatima



Année universitaire : 2020-2021

Chapitre I : Introduction à la microbiologie alimentaire :

1. Rappel sur la classification des micro-organismes :

La taxonomie ou science de la classification est à la base de toute démarche d'identification, traditionnellement, les types biologiques sont classés en **espèces, genre, famille, ordre, classe et domaine**. En pratique ce sont les notions de genre et d'espèce qui sont surtout utilisées en microbiologie ainsi que les subdivisions au sein d'une espèce : **sous espèce (subsp), sérotype, lysotype, pathotype, biotype, souche, etc**. La répartition en espèces et leur classification peuvent être réalisées en fonction de divers critères : **phénotypiques, génotypiques et chimiotaxinomiques**.

Les micro-organismes aussi appelés microbes et protistes, forment un ensemble d'organismes vivants microscopiques, invisibles à l'œil nu qui peuvent se différencier par leur caractères phénotypique, leur physiologie, leur mode de reproduction et leur écologie.

La classification moderne, phylogénétique des procaryotes se base sur des critères moléculaires : les organismes sont classés principalement selon les différences (ou les similitudes) de leurs acides nucléique. Notamment, le développement des techniques de biologie moléculaire a permis de caractériser les gènes qui codent pour les ARN ribosomiaux (ARNr). En comparant une multitude de séquences d'ARNr 16S, appartenant à divers organismes vivants, il est arrivé à diviser les organismes vivants en trois domaines. Le domaine des **Bacteria** ou **Eubacteria**, le domaine des **Archaea** et le domaine des **Eucarya** (animaux, plantes, les mycètes et les protistes). (**Fig. 1**).

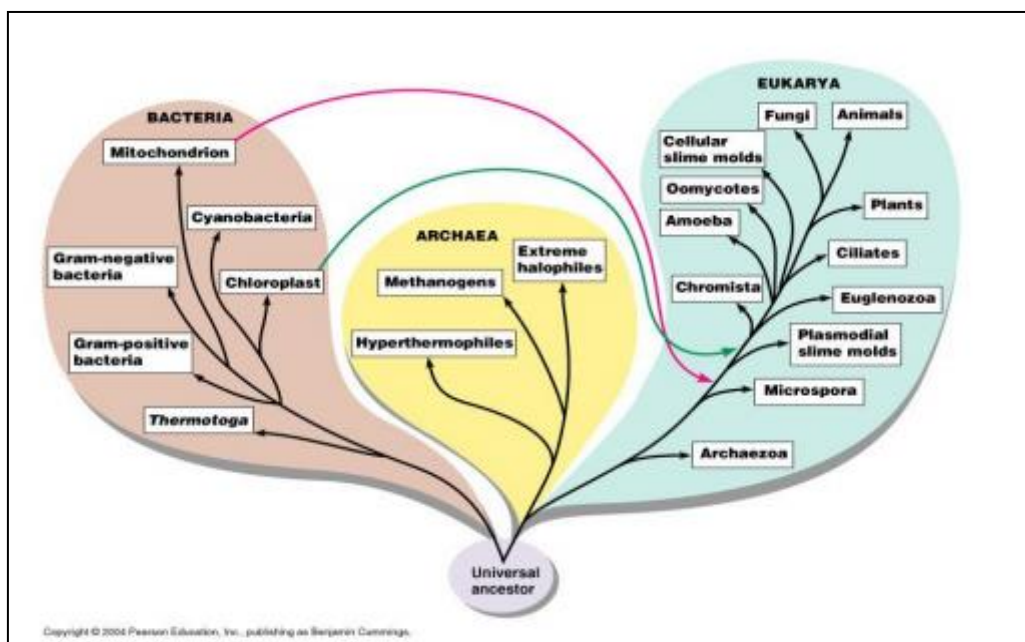


Figure 1 : Arbre phylogénétique universel

Parmi les techniques génotypiques utilisées pour classer les bactéries nous citons :

A. Les proportions de GC (% de GC) :

Dans l'ADN, la proportion de GC (% GC) est la quantité de guanine et de cytosine exprimée en pourcents du total des bases azotées :

$$GC\% = \frac{[G] + [C]}{[G] + [C] + [A] + [T]} \times 100$$

B. L'hybridation ADN-ADN :

Dans cette méthode, l'ADN de deux organismes différents sont comparés en déterminant dans quelle mesure les deux échantillons peuvent s'hybrider (par hybridation, on entend l'appariement des bases, entre brins issus d'organismes différents). Plus grand est le degré d'hybridation, plus étroite est la relation entre les organismes. La méthode convient pour étudier les parentés au niveau de l'espèce. Des organismes dont les ADN montrent >70 % d'hybridation stable, pourraient être placés dans la même espèce. (Fig 1).

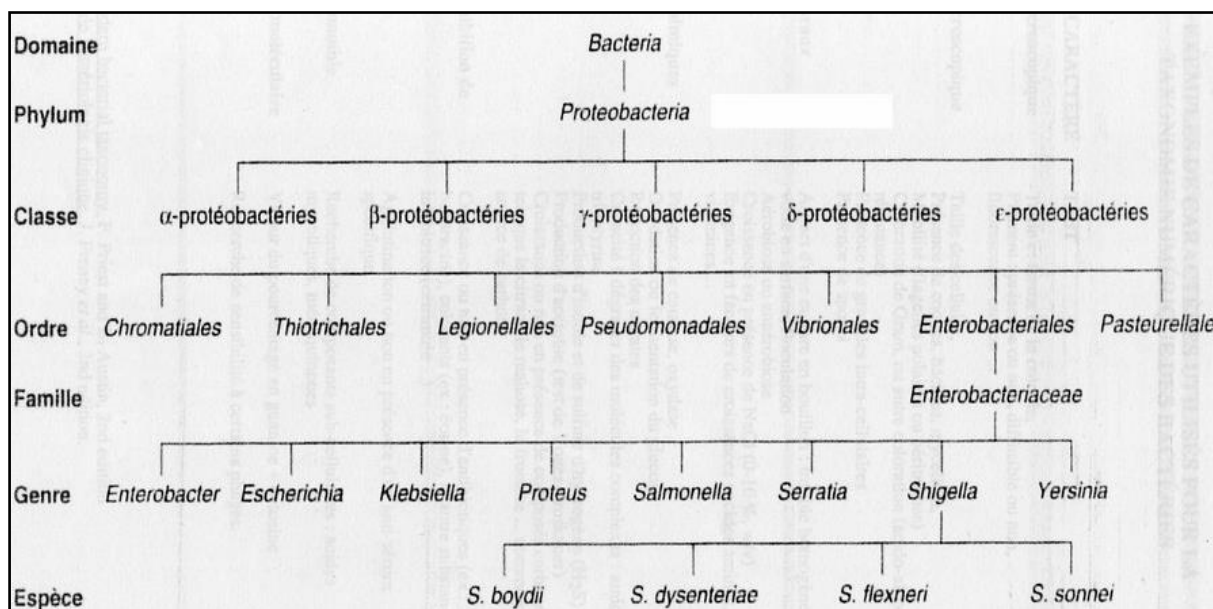


Figure 2 : Structure hiérarchique en taxonomie (Source : Prescott, microbiologie, 1999)

2. Les micro-organismes rencontrés en microbiologie alimentaire :

Plusieurs microorganismes qui sont capables de contaminer les produits alimentaires causant des altérations du produit. Ce qui est à l'origine des maladies graves pour le consommateur par leur pouvoir pathogène. Outre d'autres germes sont bénéfiques pour l'homme et sont utilisées dans le domaine agro-alimentaire.

2.1. Les levures

Ce sont des champignons pour tout ou partie de leur cycle végétatif. Certaines sont connues pour leur potentialité fermentaire. On peut regrouper les levures en sept catégories :

- Levures de boulangerie et produits de panification
- Levures de brasserie et de bières
- Levures de vinification et vins
- Levures de distillerie et spiritueux
- levures-aliments
- Produits dérivés des levures (autolysats, etc.)
- Ethanol industriel et carburant.

2.2. Les moisissures

Les moisissures sont des champignons microscopiques ; comme les levures, elles mènent une vie saprophytique, elles se distinguent des levures par leur appareil végétatif constitué de filaments mycéliens. Ils ont un rôle très important dans l'alimentation, notamment pour la préparation des fromages à pâtes molles et croûte fleurie (camemberts, brie, etc.) tel que le *Penicillium camemberti* qui contribue au cours de l'affinage des pâtes et permet à l'évolution des saveurs et des arômes des différents fromages.

Outre, certains d'entre eux sont toxigènes et libèrent dans l'aliment des **mycotoxines** qui représentent un grand danger d'un point de vue sanitaire à savoir :

- *Aspergillus flavus* produit les aflatoxines, l'aflatoxine B1 est un cancérigène puissant.
- *Aspergillus clavatus* produit la patuline agent congestif provoquant des hémorragies pulmonaires et cérébrales.
- *Fusarium sporotrichoides* et les espèces voisines produisent diverses toxines comme les trichothécènes, la zéaralénone, les fumonisines, etc. Certaines de ces toxines sont très thermostables (30 min à 200°C).

2.3. Les bactéries :

Les principaux genres de bactéries **Gram +** et **Gram -** impliqués en hygiène alimentaire sont récapitulés dans le tableau 2.

Gram +	Forme spiralée	Micro aérophile	<i>Campylobacter</i>
	Bacilles	Aérobies	<i>Pseudomonas</i> <i>Brucella</i>
		Aérobies fac.	<i>Escherichia</i> <i>Shigella</i> <i>Salmonella</i> <i>Citrobacter</i> <i>Enterobacter</i> <i>Proteus</i> <i>Vibrio</i>
Gram -	Coques	Non sporulées	<i>Micrococcus</i> <i>Staphylococcus</i>
			<i>Streptococcus</i> <i>Leuconostoc</i> <i>Pediococcus</i>
	Bacilles	Sporulés	<i>Bacillus</i> <i>Clostridium</i>
		Non sporulés	<i>Lactobacillus</i> <i>Listeria</i>
		Formes irrégulières	<i>Bifidobacterium</i>

Tableau 2 : les différents genres bactériens rencontrés en microbiologie alimentaire

2.3.1. Les microcoques : Genre *Staphylococcus*

Ce sont des coques Gram+, souvent en amas. Certaines espèces contiennent des pigments caroténoïdes orange ou jaune. Non mobiles, anaérobies facultatifs, chimioorganohétérotrophes. Leurs sources de carbone incluent divers sucres, communément halotolérants et catalase+. Les staphylocoques sont répartis en souches :

- **Coagulase+** : *S. intermedius* et *S. aureus* qui est pathogène, il produit des entérotoxines thermostables libérées dans l'aliment lors de la croissance, il s'agit d'une protéine (PM 26000 à 35000) qui agit sur les récepteurs intestinaux et gastriques.
- **Coagulase-** *S. epidermidis*.

2.3.2. Les Entérobactéries

Les *Enterobacteriaceae* se trouvent comme parasites, parfois pathogènes ou commensaux chez l'homme et autres animaux, et comme saprophytes dans le sol et les eaux. Ce sont des contaminants alimentaires très fréquents. Certains sont dangereux et peuvent être à l'origine d'intoxications. Cette famille comprend des bacilles Gram-, non sporulants, anaérobies facultatifs, mobiles (le plus souvent flagellés péritriches) ou non, isolés ou par paires. Métabolisme respiratoire et fermentatif. Oxydase-, catalase+, à l'exception de quelques souches. Bactéries indicatrices, elles peuvent signifier un défaut d'hygiène lors des processus de fabrication : une contamination fécale, environnementale, une insuffisance des procédés de traitements, un défaut d'hygiène du matériel et de l'équipement utilisés, ou une contamination croisée d'une autre origine (végétale par exemple).

Parmi les genres de cette famille nous citons encore *Enterobacter*, *Erwinia* et *Serratia* (Tableau 1). *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* et certaines souches de *Citrobacter* fermentent le lactose.

	<i>Arizona</i>	<i>Citrobacter freundii</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Erwinia amylovora</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Hafnia alvei</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Morganella morganii</i>	<i>Proteus mirabilis</i>	<i>Salmonella gallinarum</i>	<i>Serratia marcescens</i>	<i>Shigella sonnei</i>	<i>Yersinia enterocolitica</i>
Mobilité	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	(+)
Gaz	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	v	-	-
Lactose	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
β-gal.(ONPG)	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+
Saccharose	-	/	+	v	v	-	+	-	-	-	+	+	+
Uréase	-	v	v	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+
Indole	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	v
VP	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-
RM	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+
H ₂ S	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Citrate	+	+	+	v	-	-	+	-	v	v	+	-	-
Malonate	+	-	+	v	-	v	+	-	-	-	-	-	-
Mannitol	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	-
Gélatinase	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+
LDC	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-
ODC	+	-	+	-	v	+	-	+	+	+	+	+	-
ADH	v	v	+	-	-	-	-	-	-	v	-	-	+
TDA	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
APP	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
KCN	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	-	-

Tableau 1 : les caractéristiques de quelque Entérobactérie

a. Les Coliformes

On appelle coliforme tout bacille Gram-négatif, non sporulant, anaérobie facultatif, capable de fermenter le lactose dans 48 heures, avec formation d'acide et de gaz, à 37°C, *Escherichia coli* est un

coliforme typique. En microbiologie alimentaire les coliformes sont une flore indicatrice de contamination fécale et de bons marqueurs de la qualité hygiénique générale d'un aliment.

- **Genre *Escherichia*** : Il existe plusieurs espèces, la plus importante est *E. coli*. Elle est lactose+, gazogène, réalise une fermentation mixte, elle produit de l'indole. C'est un hôte normale de l'intestin de l'homme et des animaux, et est très abondant dans les matières fécales. On trouve les *E. coli* responsables de Gastro-Entérite-Infantile (céphalée, fièvre, vomissement, diarrhée),
- **Genre *Salmonella*** : elles sont mobiles, glucose+ (formation d'acide et de gaz à 37 °C) ; généralement lactose-, H₂S+. La contamination des produits alimentaires peut être originelle (animaux malades) ou provenir de manipulateurs malades ou porteurs sains du germe. On retrouve les salmonelles surtout dans les produits d'origine animale (**œufs, lait, viandes, volaille, charcuterie, poisson**), l'eau polluée et les produits consommés crus. Les salmonelles produisent deux types de toxine (entérotoxine et cytotoxine). *S. typhi* et *S. paratyphi* A, B et C provoquent des maladies infectieuses appelées respectivement **fièvre typhoïde** et **paratyphoïde**.

2.3.3. Les bactéries sporulées

- **Les bactéries sporulées aérobies : Genre *Bacillus* :**

Ce sont des bâtonnets Gram+, habituellement mobiles à endospores, la morphologie de la spore est un critère important pour la classification. Ils contaminent de nombreux produits alimentaires et sont souvent protéolytique. En raison de leur aptitude à la sporulation, ils résistent à des conditions défavorables et peuvent être des agents de dégradation des conserves alimentaires.

- **Les bactéries sporulées anaérobies : Genre *Clostridium* :**

Ces bactéries appartiennent à la famille des *Bacillaceae*. Les *Clostridium* sont des bacilles Gram+, souvent de grande taille, isolés ou en chaînettes. Il s'agit de bactéries communément rencontrées dans le sol, les eaux d'égout et l'intestin. Elles peuvent contaminer et dégrader les produits alimentaires dans des conditions anaérobies (conserves), les genres les plus fréquents en alimentaire sont : *Clostridium botulinum* et *Clostridium perfringens*

2.3. 4. Les bactéries lactiques :

C'est une flore à intérêt technologique, les bactéries lactiques sont des cocci ou des bâtonnets Gram+, catalase-. Elles synthétisent leur ATP grâce à la fermentation lactique des glucides. Cependant certaines espèces, habitants le tube digestif des animaux sont anaérobies strictes. L'absence de catalase est caractéristique, mais certaines espèces acquièrent une pseudo catalase. Le groupe des bactéries lactiques

inclut les agents de fermentations produisant de l'acide lactique : bacilles (*Lactobacillaceae*) et coques (*Streptococcaceae*). (Fig 3)

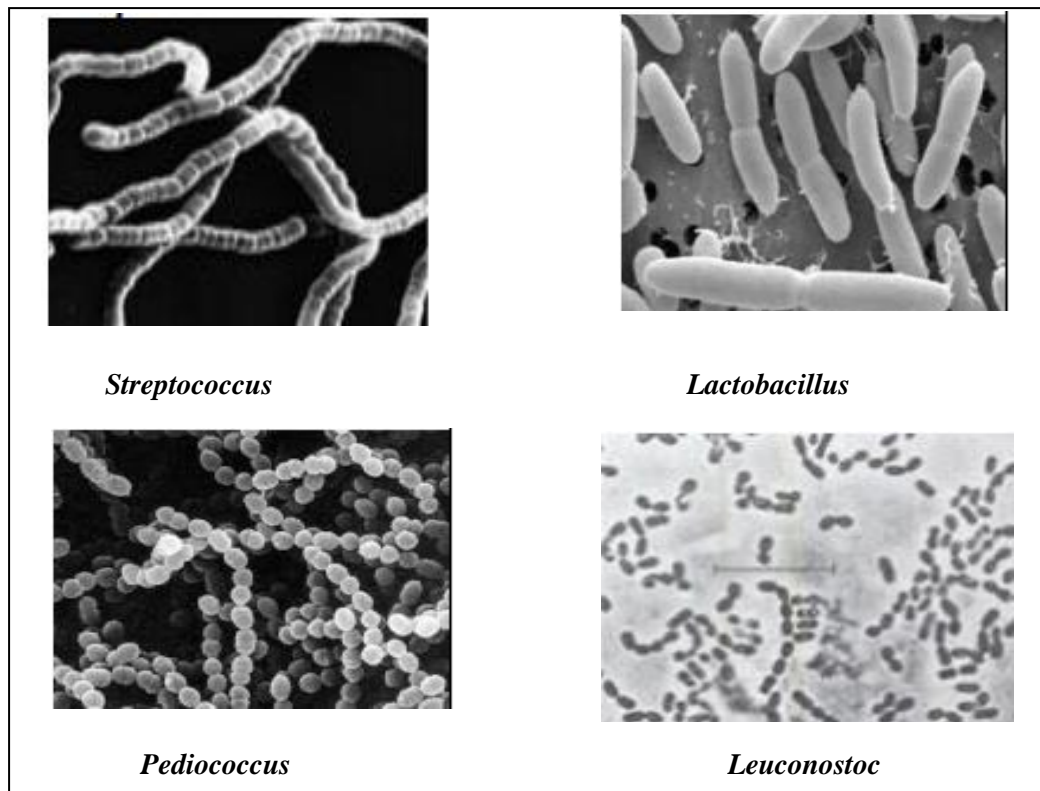


Figure 3 : les différents genres de bactéries lactiques.

a. Les cocci :

Les *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Pediococcus* et *Leuconostoc* sont des cocci sphériques ou ovoïdes, en paires, en chaînettes ou en tétrades, en général immobiles. Le métabolisme est fermentaire et peut donner à partir des glucides, de l'acide lactique ou un mélange d'acide lactique, acétique, formique de l'éthanol et du CO₂ (*Leuconostoc*). Certaines espèces sont pathogènes en dehors du cadre alimentaire ; elles peuvent cependant se trouver dans les aliments (Streptocoques des mammites dans le lait) et provoquer des infections. Ce sont les agents d'acidification et de coagulation lactiques en fromagerie.

b. Les bacilli

Le genre *Lactobacillus* contient de nombreuses espèces qui sont des agents de fermentation lactique intervenant dans de nombreuses industries ou qui sont rencontrées comme contaminants. Il s'agit de bacilles souvent allongés ou coccobacilles, Gram+, asporulés, parfois groupés en paires ou en chaînes, généralement immobiles. Anaérobies, microaérophiles ou aérobies facultatifs.

Le genre *Bifidobacterium* sont des commensaux de la bouche, de l'œsophage, de l'estomac, de l'intestin, des bronches et du vagin. Chez l'animal, ils sont surtout mis en évidence dans la flore intestinale. Ces bactéries sont des bâtonnets de morphologie variées

Chapitre II : La Sécurité microbiologique des aliments.

La sécurité alimentaire implique la détection rapide des micro-organismes avant (contrôle des matières premières), durant et après la fabrication des aliments qui peuvent d'être détériorés par la croissance des micro-organismes. La valeur nutritive, la couleur et le goût, sont modifiés et leur consommation peut entraîner une infection et/ou une intoxication alimentaire et parfois la mort. Afin de préserver la santé des consommateurs contre les dangers d'origine alimentaire, il faut appliquer les règles de conservation selon le type d'aliment et réaliser le contrôle microbiologique et physicochimique des aliments.

1. Différents types altérations

La modification microbienne des aliments est variée et affecte les caractères physicochimiques, nutritifs et organoleptiques d'un produit. Tous nos aliments peuvent être le siège de prolifération microbienne en entraînant des modifications le plus souvent défavorables

Il existe plusieurs types d'altérations (Guiraud, 1998) :

1.1. Altération physique :

Il s'agit d'une variation de la teneur en eau, changement de couleur ou d'état. Les modifications de la consistance du produit, notamment par production d'exopolysaccharides (Guiraud, 1998).

1.2. Altération chimique et biochimique :

Cette altération se traduit par l'apparition de colorations, d'odeurs et de saveurs anormales due aux phénomènes oxydation (rancissement) par les enzymes (brunissement enzymatique, lyses, destruction des vitamines et de certains nutriments). Il existe aussi une altération par protéolyse et lipolyse. - La protéolyse conduit à la formation d'acides aminés libres et volatiles puis de produits de leur décarboxylation ou de leur désamination qui sont à l'origine d'odeurs et de saveurs désagréables (*Pseudomonas*, *Shewanella*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Bacillus* et les entérobactéries) (Cuq, 2007). - La lipolyse conduit à la libération d'acides gras libres.

1.3. Altération microbienne

Lors de processus hétérofermentaire par des bactéries lactiques, soit les genres *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, *Pediococcus*, *Leuconostoc* et *Lactococcus*, la formation de gaz, d'aldéhydes et de cétones est à l'origine de modifications du goût et de l'odeur du produit par les phénomènes d'acidification et par fermentation des sucres.

2. Facteurs influençant la flore d'altération des aliments :

2.1. Facteurs intrinsèques

- **pH** : la majorité des micro-organismes se développent sur des milieux dont le pH de 7.
- **Activité de l'eau (aw)** : la plupart des aliments que nous consommons contiennent 20 à 90% d'eau et ne sont à l'abri des détériorations biochimiques enzymatiques et microbiennes. La présence et la disponibilité de l'eau affectent aussi la capacité de micro-organismes de coloniser les aliments.
- **Potentiel d'oxydo-réduction** : Le potentiel d'oxydo-réduction d'un aliment influence aussi la détérioration.
- **Composition de l'aliment** : elle influence la croissance microbienne. - Si un aliment consiste surtout en hydrates de carbone, c'est la croissance de champignons, plutôt que de bactéries, qui prédominera et la détérioration ne produira pas beaucoup d'odeurs. Par contre, lorsque l'aliment contient de grandes quantités de protéines et/ou de graisses (viande et le beurre), la croissance bactérienne peut produire toute une variété d'odeurs infectes.
- **Structure physique d'un aliment** : elle affecte également le déroulement et l'étendue de la détérioration. Broyer et mélanger des aliments, comme pour les saucisses et les hamburgers, non seulement augmente la surface de la nourriture, mais y disperse aussi les microorganismes contaminants.
- **Présence d'agents antimicrobiens naturels** : sont présents dans plusieurs aliments, ceux-ci inhibent la croissance de certains microorganismes. Les herbes et les épices contiennent souvent des substances antimicrobiennes importantes.

2.2. Facteurs extrinsèques

- **Température** : elle est en relation avec la vitesse de croissance d'une souche bactérienne. On distingue ainsi les bactéries thermophiles, mésophiles et psychrophiles.
- **Atmosphère (présence de gaz)** : l'atmosphère dans laquelle la nourriture est conservée est également importante, les aliments emballés sous film plastique, ces derniers permettent une diffusion de l'oxygène, ce qui a pour résultat une meilleure croissance des micro-organismes.

3. Différentes voies de contaminations :

- La pollution de l'environnement.
- Les défauts technologiques lors de production ou de fabrication.
- Les défauts technologiques lors de conditionnement.
- Les défauts technologiques lors de transport.

- Les défauts technologiques lors de stockage.
- Les défauts technologiques lors de vente.

4. Danger de contaminations classes par ordre d'importance :

- La malnutrition : rachitisme ou obésité.
- Les contaminations micro biologiques par des germes pathogènes (virus – bactéries – levures – moisissures).
- Les contaminations par des substances étrangères.
- Les contaminations par des substances radioactives.
- Les contaminations par des composants toxiques naturels.
- Les mauvaises utilisations des additifs ou des auxiliaires de fabrication.

4.1. Dangers biologiques :

On entend par dangers biologiques des bactéries, des virus, des parasites, des moisissures, des agents biologiques tels que le prion responsable de l'encéphalopathie spongiforme bovine ou les amines biogènes, pouvant induire chez un individu initialement en bonne santé des troubles de nature très diverse.

4.2. Dangers Chimiques :

Les substances chimiques indésirables peuvent être divisées en deux catégories : les « contaminants » introduits accidentellement, et les « résidus » de substances distribuées volontairement à l'animal vivant ou dans le produit végétal.

- **Les Contaminants**

Parmi les contaminants, les métaux lourds présentent, même à faible dose, une toxicité à long terme pour l'homme. C'est le cas du cadmium, du mercure, du plomb et de l'arsenic, toxiques par accumulation, qui existent à l'état de trace dans l'alimentation

- **Les Résidus**

On entend par résidu : « un résidu de substances ayant une action pharmacologique, de leurs produits de transformation, ainsi que d'autres substances se transmettant aux produits animaux et susceptibles de nuire à la santé humaine ».

4.3. Dangers Physiques :

Le consommateur peut se blesser en avalant des aiguilles cassées ou des morceaux d'os dissimulés dans les aliments, mais la principale conséquence de la présence de corps étrangers est, en général, un

dégoût du consommateur. C'est pour lui la preuve d'un manque d'hygiène lors des différentes étapes de production des aliments (Tableau 4).

DANGERS QUI PEUVENT ETRE PRESENTS DANS LES ALIMENTS		
Dangers biologiques	Dangers chimiques	Dangers physiques
→ Bactéries infectieuses	→ Toxines naturellement présentes	→ Morceaux de métal,
→ Organismes produisant des toxines	→ Additifs alimentaires	→ Menus débris provenant des machines
→ Moisissures	→ Résidus de pesticides	→ Morceaux de verre
→ Parasites	→ Résidus de médicaments vétérinaires	→ Bijoux
→ Virus	→ Contaminants de l'environnement	→ Pierres
→ Prions → Etc...	→ Contaminants chimiques provenant des emballages	→ Éclats d'os → Etc....
	→ Allergènes	

Tableau 4 : les dangers présents dans les aliments

5. La contamination des denrées alimentaires par les micro-organismes et leurs métabolites :

Les aliments peuvent être contaminés par divers micro-organismes, principalement bactéries, levures et moisissures que nous classons selon le schéma suivant :

- **Utiles (biotechnologies)**

- *Lactobacillus acidophilus* / *Streptococcus thermophilus* / *Acetobacter spp* / moisissures (*P. roqueforti*) / *Saccharomyces cerevisiae* (levures)

- **Banales (inoffensives, altération)**

- germes aérobies mésophiles / levures / moisissures (non toxigènes)

- **Pathogènes (gastroentérites = toxi-infection)**

- *Escherichia coli* / *Salmonella enteritidis* ... / *Clostridium perfringens* / *Bacillus cereus* / *Campylobacter jejuni* / *Yersinia enterocolitica*

- **Toxinogènes (intoxications)** - *Clostridium botulinum* / *Staphylococcus aureus* / moisissures (*Aspergillus spp.*)

- **Pathogènes (graves -infections)** - *Salmonella typhi/ Shigella sonnei .../ Brucella abortus .../ Listeria monocytogenes/ Vibrio cholerae* .

4. Les toxi-infections alimentaires

Les toxi-infections alimentaires sont le plus souvent liées à des bactéries qui agissent directement ou par l'intermédiaire de toxines. Le déclenchement d'une toxi-infection alimentaire dépend moins de la nature de l'aliment que des conditions dans lesquelles il a été récolté, préparé et conservé. D'où l'importance de respecter quelques règles d'hygiène simples tant dans l'industrie agro-alimentaire que dans la cuisine familiale.

4.1. Définition :

- **Intoxication** : c'est l'ingestion d'aliments qui contiennent des bactéries, virus ou substances chimiques (pesticides).
- **Intoxination** : c'est l'ingestion d'aliments contaminés par une ou plusieurs toxines libérées par des micro-organismes, les toxines sont indépendantes des germes producteurs.
- **Une toxi-infection alimentaire (T.I.A.)** : une infection par des bactéries, des virus ou des parasites, due à la consommation d'un aliment contaminé. C'est une maladie souvent infectieuse et accidentelle, causée par l'ingestion d'aliments contaminés certains agents infectieux ou par leurs toxines.

T. I. A = intoxication + infection

- **Une Toxi-Infection Alimentaire Collective (TIAC)** : est une Maladie infectieuse à Déclaration Obligatoire (**MDO**) qui a lieu lorsqu'il existe « au moins deux cas groupés, avec des symptomatologie similaires en général gastro-intestinales pouvant être rapportée à la prise d'une même origine alimentaire dues à une contamination par un micro-organisme (bactéries en général) ou une toxine.».

4.2. Rôle de l'aliment :

- **Passif** : simple vecteurs de l'agent pathogène.
- **Actif** : siège de la multiplication microbienne ± production de toxines.

4.3. Facteurs favorisant la multiplication bactérienne :

- **Temps** : la multiplication des germes est plus importante que le délai entre la cuisson et la consommation.
- **Température** : la pluparts des germes responsables des TIA sont mésophiles (T° entre 20-40°C).
- **Atmosphère autour de l'aliment** : l'anaérobiose des conserves favorise la prolifération des bactéries anaérobies.

4.4. Cause des T. I. A :

- Travailleurs malade manipulant les aliments,
- Transmission par l'eau, les animaux,
- Aliments crus ou cuisson insuffisante,
- non-respect de la chaîne froide ou chaude

4.5. Pouvoir infectieux :

C'est la propriété que peut posséder ou non une bactérie **d'envahir les tissus** de l'hôte (pouvoir de contamination, de multiplication, de pénétration, activités enzymatiques néfastes, utilisation des métabolites de l'hôte et libération des toxines).

- **Étapes de l'infection :**

Pour que la bactérie provoque une infection, elle doit atteindre un site approprié chez l'hôte où elle doit surmonter les mécanismes de défense de l'hôte (figure 4). Les propriétés ou les facteurs qu'une bactérie acquiert pour infecter dépendent de deux facteurs : le mécanisme par lequel la bactérie pénètre dans l'hôte et la nature du site de la colonisation (muqueuse, tissus).

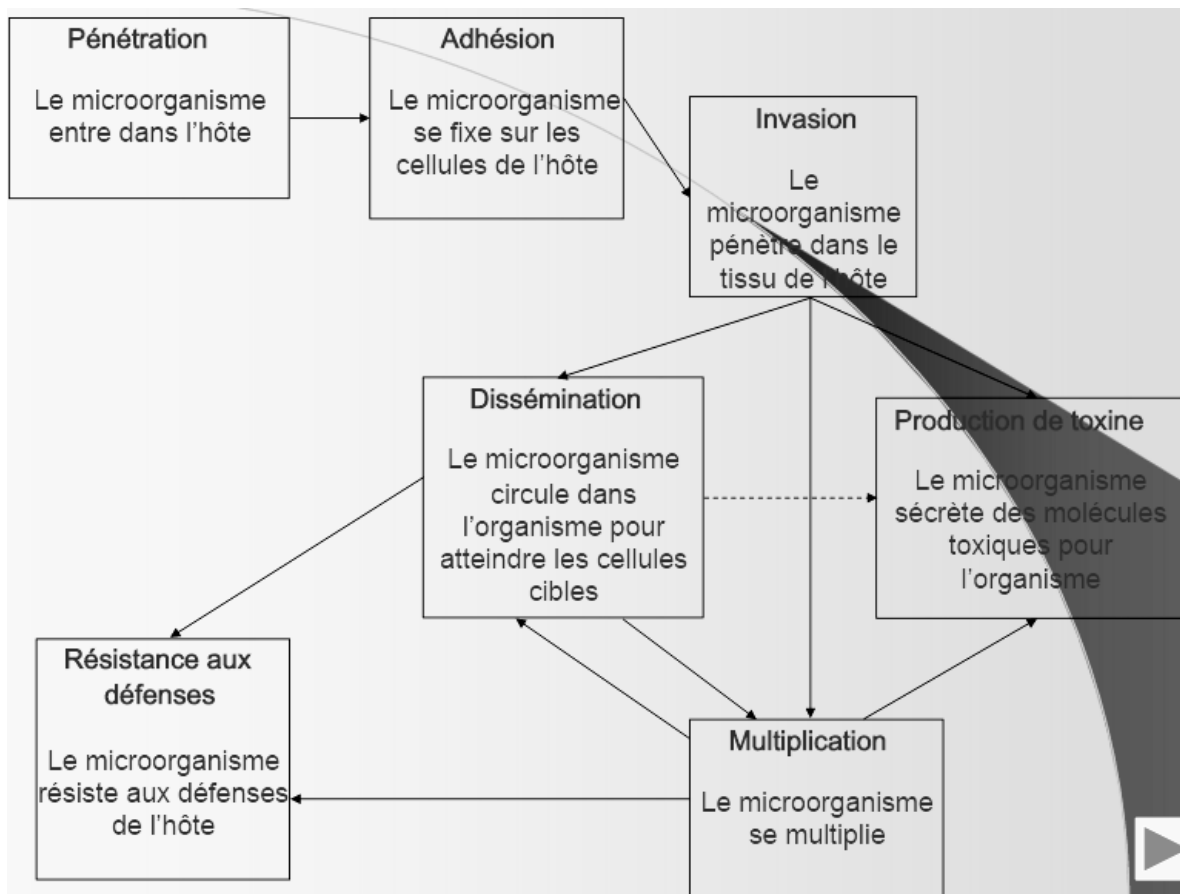


Figure 4 : les étapes d'une infection bactérienne

- a. **Contamination** : pour qu'il ait infection il faut d'abord qu'il ait une contamination. Cette dernière n'évolue pas forcément vers une infection (germes en faible quantité : dose minimale d'infection).
- b. **Pénétration** : par une plaie sur la peau, par voies digestives, germes entéro-pathogènes par libération de toxines.
- c. **L'action** : la croissance *in vivo* des germes et l'infection des tissus.

4.6. Pouvoir pathogène

Les bactéries pathogènes sont capables de provoquer une maladie en infectant leur hôte. Cette infection se manifeste par une série de symptômes, peut être lié aux effets métabolites microbiens, comme les toxines, ou à la réaction immunitaire de l'hôte activée par la présence de la bactérie (douleur, fièvre, la rougeur, etc.). Certains individus sont porteur des germes pathogènes sans ressentir les troubles, il s'agit

d'un **porteur sain** ou ceux faisant une intoxication inapparente. Le pouvoir pathogènes peut être exprimé par différentes façons :

- Multiplication dans des tissus (infection par *Mycobacterium tuberculosis*)
- Multiplication et libération des toxines (toxi-infection à *Salmonella*)
- Action d'une toxine qui nécessite la présence de la bactérie (toxi-infection à *Vibrio cholerae*), action d'une toxine qui ne nécessite pas la présence de la bactérie (intoxication à *Clostridium botulinum*)
- Action toxique de produits de transformation (intoxication par production d'amine par des coliformes)

4.7. La virulence

C'est le degré de pathogénicité d'un germe infectieux. Elle est exprimée par sa toxicité et sa capacité d'invasion. L'entrée dans les tissus n'est pas obligatoire pour qu'il y ait expression de la virulence, mais il est nécessaire que germe adhère à l'épithélium. La toxicité se caractérise par la capacité des micro-organismes produiront des toxines (figure 5).

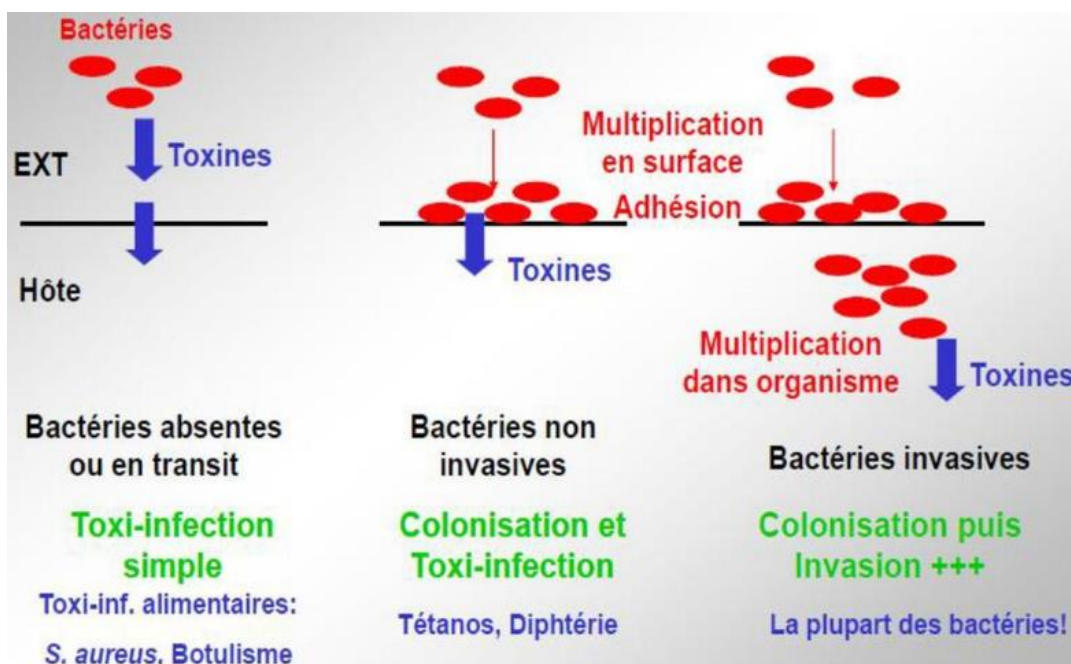


Figure 5 : les différentes modalités de toxi-infection bactérienne.

5. Modalités du pouvoir toxique.

5.1. Intoxinations

Seules les toxines agissent, les bactéries n'ont pas besoin d'être ingérées. La multiplication des bactéries pathogènes peuvent produire des substances toxiques spécifiques (toxines, enzymatiques pouvant favoriser un pouvoir infectieux), mais aussi des catabolites toxiques. Ceci peut se produire in vivo mais survient-le plus souvent en dehors de l'organisme, par exemple dans un aliment qui devient toxique. C'est généralement dû à une contamination par manque d'hygiène suivie d'un séjour prolongé à une température ambiante (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*)

5.2. Intoxinations

Elle peut se définir comme étant une maladie liée à l'ingestion d'une ou de plusieurs toxines bactériennes. Tous les symptômes sont dus à la toxine sans qu'il y ait besoin d'un développement de l'agent pathogène dans l'organisme. Elles sont provoquées par des micro-organismes qui sécrètent et libèrent des toxines spécifiques in vivo (diphtérie, tétanos) ou dans un aliment (toxine botulinique, entérotoxine staphylococcique, mycotoxines)

5.3. Toxi-infection et toxinogénèse

Liée à la virulence, principalement d'origine alimentaire, sont des infections par des bactéries qui produisent des toxines (toxi-infection) les endotoxines libérées après la lyse cellulaire comme réaction de défense et les exotoxines libérés lors de la multiplication de certaines bactéries Exemples : *Vibrio cholerae* (Choléra), *Vibrio parahaemolyticus* (fruits de mer), *Salmonella typhimurium* (Salmonellose), *Shigella sonnei* (Shigellose), *Campylobacter jejuni* (gastro-entérite) (volailles) . Les principales bactéries responsables dans toxi-infection alimentaire collectifs (TIAC) sont citées dans le tableau 5.

BACTERIES	TIAC (%)	ORIGINE DE BACTERIE	MODE DE CONTAMINATION	ALIMENTS A RISQUES
<i>Salmonella</i>	45	-Tube digestif des volailles -homme porteur sain ou atteint des troubles digestifs	-Mains, mauvaise hygiène du matériel -contamination avec des produits	-Volailles, œufs, plats des produits -de viande, poissons, produits manipulés
<i>Staphylococcus aureus</i> 7-45°C	16	Homme sain (bouche, nez) ou malade (plaie infectée, diarrhée, angine)	Mains, mauvaise hygiène du matériel, air, insecte	Produits manipulés, Œufs, laits et plats les comportant, charcuterie (pâtés), plats cuisinés conservés à T° ambiante
<i>Clostridium perfringens</i> 15-50°C anaérobie	12	sol	Mais, légumes mal lavés	Sauce, viande en sauce, soupe
<i>Listeria</i> +2°C	7	Sol et végétaux	Mains, légumes souillés mauvaise hygiène du matériel (chambre froide)	Fromage, charcuterie, viande, légumes
<i>Clostridium botulinum</i> (14-17°C anaérobie)	0,1	Sol (spore)	Viande contaminée au moment de l'abattage, stérilisation insuffisante des conserves	Boites de conserves abimées, bombées, mal stérilisées. -Charcuterie mal salée et séchée

Tableau 5 : Les principales bactéries responsables dans toxi-infection alimentaire collectifs (TIAC)

6. Mécanismes d'infections

Les micro-organismes pathogènes peuvent agir selon deux mécanismes lors des infections alimentaires.

6.1. Infection Toxinogène (pouvoir cholérique) :

C'est la capacité du microbe à fabriquer des toxines, les micro-organismes infectieux se multiplient à la surface de l'épithélium, sans pénétrer la muqueuse et produisent des toxines qui perturbent les fonctions épithéliales (*Clostridium perfringens*, *Vibrio cholera*, *Escherichia coli*, *Giardia lamblia*). (Figure 6)

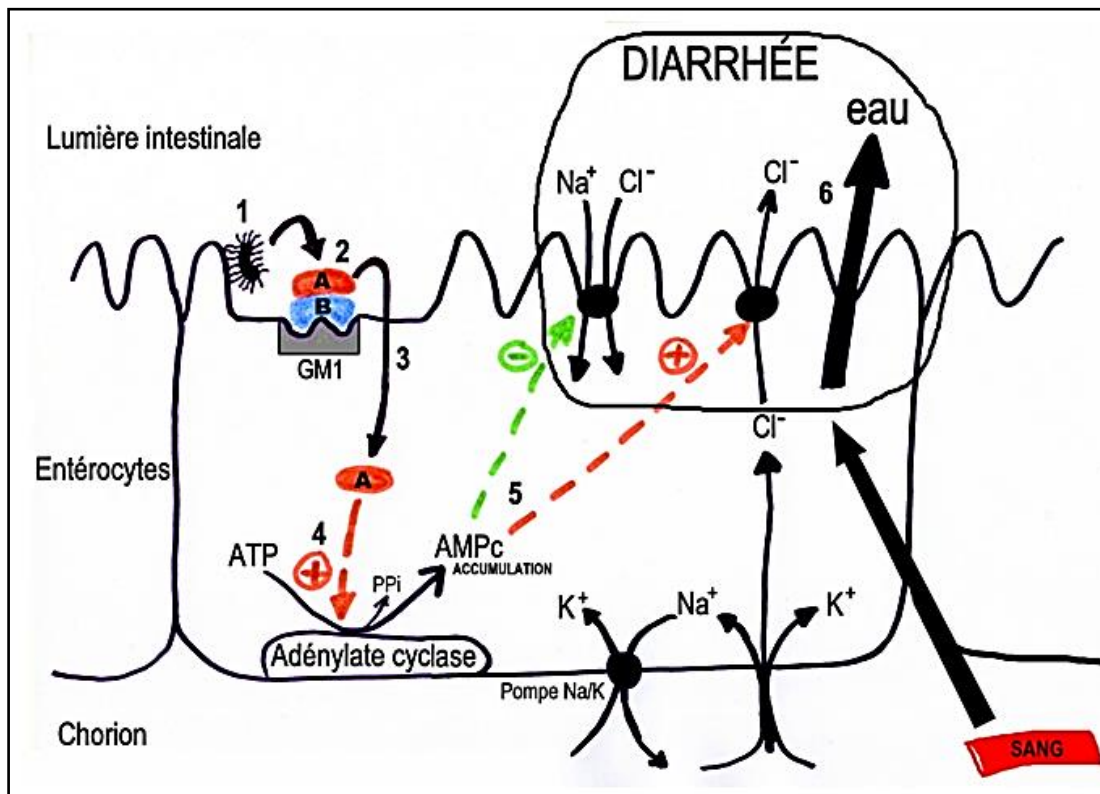


Figure 6 : mécanisme physiopathologique de *Vibrio cholera O1* ou *O139* et des *ETEC*, modèle entérotoxinique.

6.2. Infection entéro-invasive (syndrome cholérique) :

Les micro-organismes pathogènes (bactéries, virus ou parasite) dépassent la barrière intestinale et se retrouvent dans le flux circulatoire que peut les faire migrer jusqu'à des organes distants (*Shigella*, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia coli O157:H7*, *Listeria*). (Figure 7)

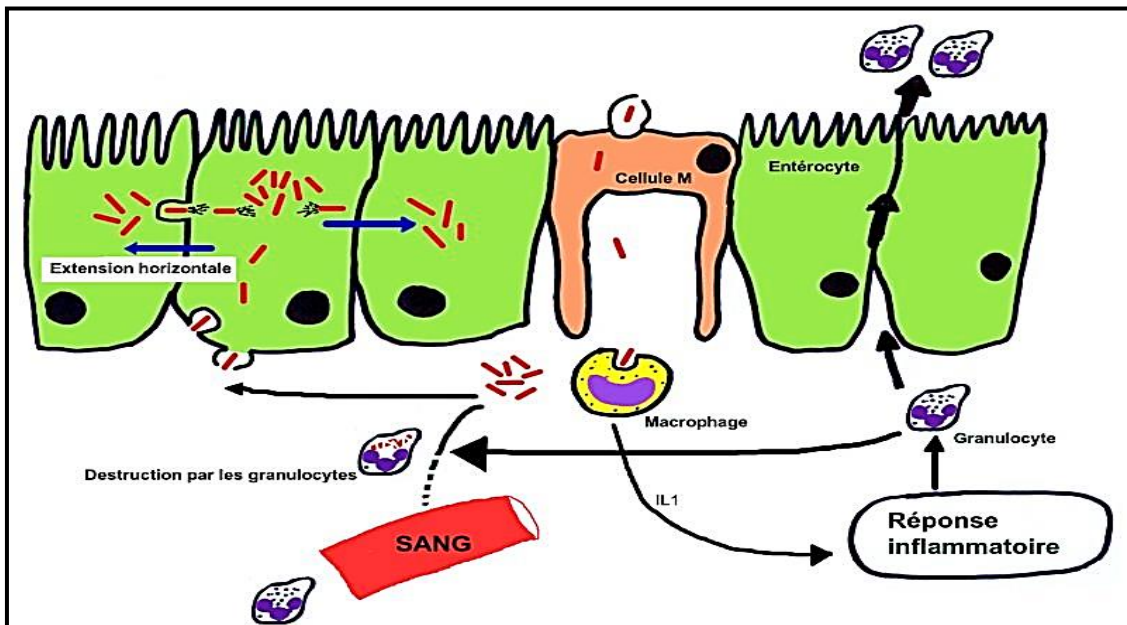


Figure 7 : mécanisme physiopathologique des *Salmonella*, modèle entéro-invasif

6.3. Les toxines :

Les toxines sont des molécules synthétisées par un organisme et capables de perturber le fonctionnement de certaines cellules, à distance du foyer d'infection. Il existe deux types de toxines (figure 8) :

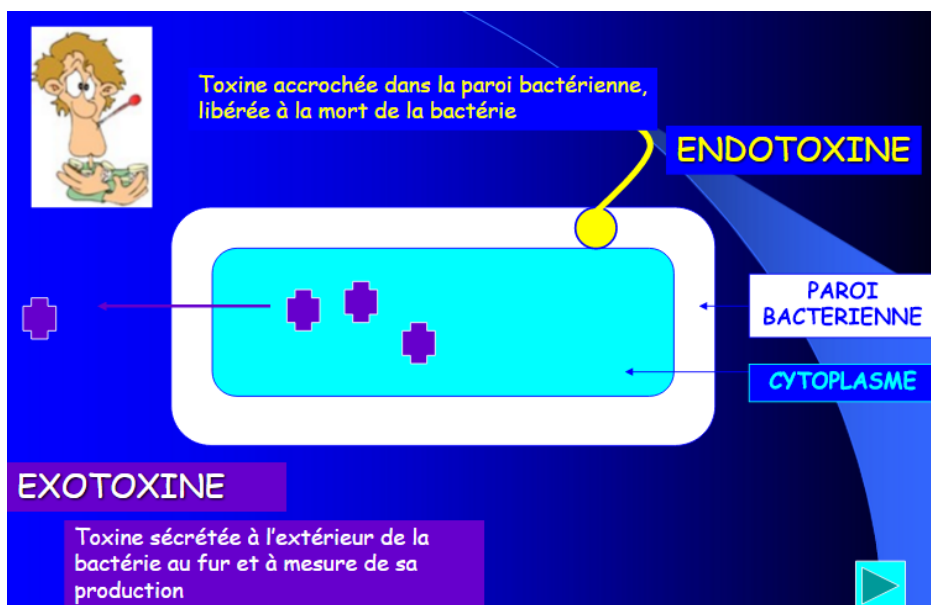


Figure 8 : schéma représentant les deux types de toxine : endotoxine et exotoxine.

6.3.1. Les Endotoxines :

Faisant partie de Lipo Poly Saccharide. Elles se trouvent sur la face externe de la membrane externe des bactéries Gram (-). Elles sont libérées suite à la lyse des bactéries. Ceci peut intervenir lors d'une septicémie à bacille G(-) traitée massivement par des antibiotiques. Les endotoxines sont de nature lipidique. Elles correspondent au lipide A du LPS. Les principaux symptômes observés sont : - une forte fièvre.

6.3.2. Les Exotoxines protéiques :

On distingue 3 types de localisation :

- Sécrétées hors de la bactérie : exotoxines vraies (toxines diphtériques, staphylococciques, d'*E. Coli*...).
- Présentes dans le cytoplasme et libérées uniquement lors de la lyse cellulaire : exotoxines cytoplasmiques (représentent 25 % de ce type de toxines, c'est le cas de la toxine cholérique).
- Présentes dans le cytoplasme et sécrétées hors de la bactérie : exotoxines mixtes (toxines des Clostridium).
- Les exotoxines sont de nature protéique, ceci a plusieurs conséquences sur leur fonctionnement.
- Elles sont codées par des gènes et donc transmissibles si les gènes sont portés par des plasmides ou des phages.
- Elles sont thermosensibles : elles sont facilement dénaturées par la chaleur et perdent ainsi leur activité toxique.
- Elles sont très immunogènes : leur présence dans l'organisme provoque la synthèse d'anticorps antitoxines, capables de bloquer leur activité toxique (Tableau 6)

Bactéries	Endotoxine	Exotoxine
Bactéries responsables	Uniquement Gram négatif	Gram positif et négatif
Localisation	Membrane externe de la bactérie	Extracellulaire (plutôt Gram positif) Intracellulaire (plutôt Gram négatif)
Nature biochimique	Lipidique et polysaccharidique	Peptidique ou protéique
Dose pour être active	Forte	Faible
Effets toxiques	Non spécifiques, choc toxique	Spécifiques, très variés selon les germes
Propriétés immunologiques	Faiblement immunogène, réaction non spécifique et spécifique	Fortement immunogène, réaction spécifique
Utilisation comme vaccin	Très peu	Depuis longtemps nombreuses applications
Traitement par sérothérapie	Non, peut-être dans l'avenir	Oui
Multiplification cellulaire nécessaire	Oui	Non
Instabilité (thermique, sensibilité aux solvants...)	Non	Oui

Tableau 6 : les caractéristiques des endotoxines et des exotoxines.

7. les différentes causes de contaminations

La contamination des aliments est à plusieurs facteurs qui sont illustrés dans la figure 8.

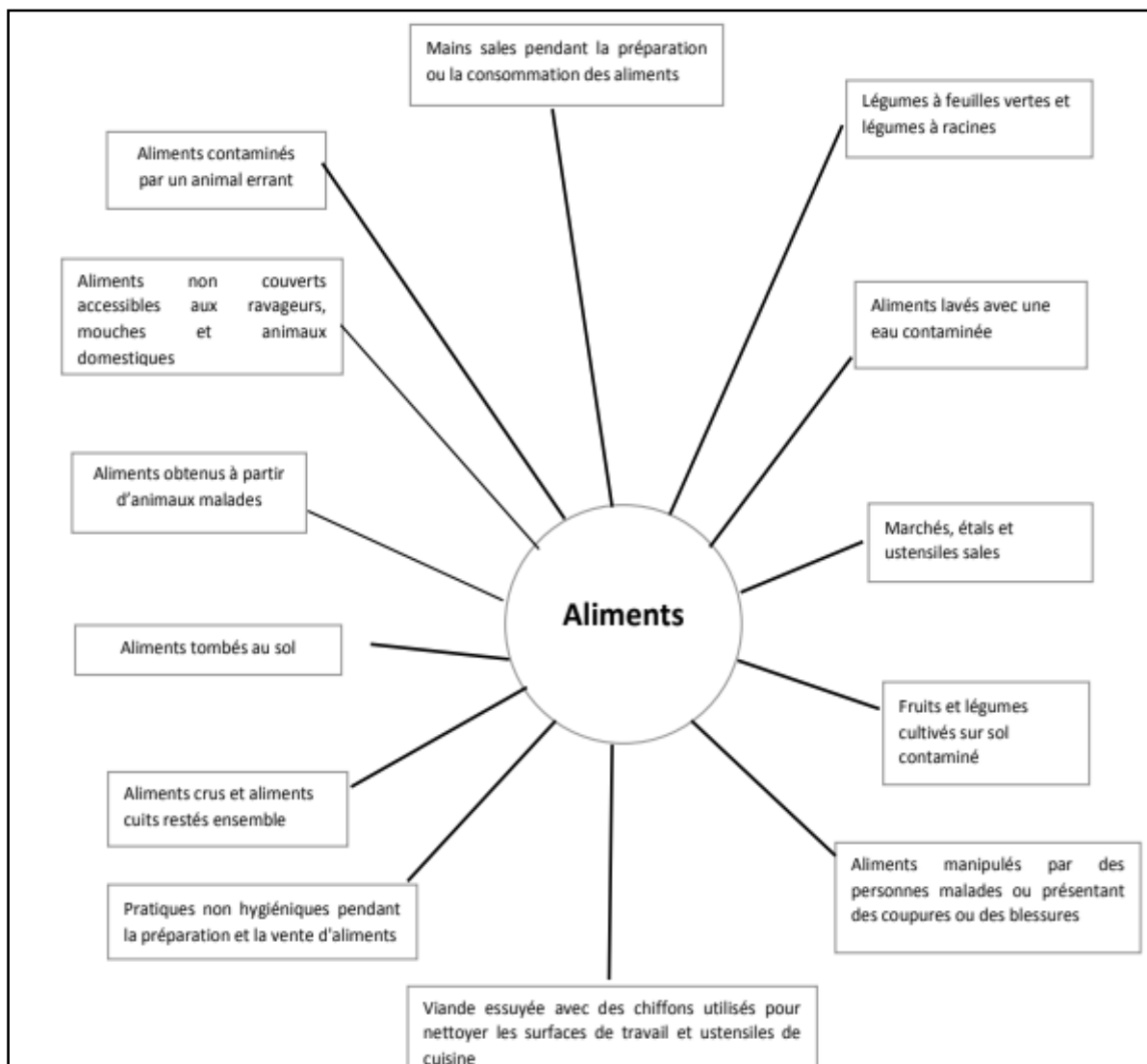


Figure 8 : les facteurs de contaminations

8. Les symptômes des TIA

PRINCIPALES CAUSES DE GASTROENTERITES ET TOXI-INFECTIONS ALIMENTAIRES		
Symptômes	Durée de l'incubation (heures)	Agent possible
Nausées, vomissement	6	Toxines thermolabiles diffusées dans l'alimentation par <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus cereus</i> , métaux lourds
Diarrhée liquide cholériforme	6-72	<i>Clostridium perfringens</i> A, <i>Bacillus cereus</i> , <i>Escherichia coli</i> entéro toxiconogènes, <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Giardia lamblia</i>
Entérocolite inflammatoire	10-72	<i>Salmonella</i> , <i>Shigella</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>Aeromonas</i> , <i>Escherichia coli</i> entéro-invasifs, <i>Yersinia</i>
Troubles neurologiques de la sensibilité ou motricité sans troubles digestifs suggérant botulisme, intoxication par coquillage ou poissons crus, produits chimiques		Scombrottoxine histamine-like : neurotoxines des Dinoflagellae ; glutamate Na (Syndrome du restaurant chinois) solanine, champignons vénéneux, pesticides

TOXI-INFECTION ALIMENTAIRES COLLECTIVES A SYMPTOMATOLOGIE DIGESTIVE			
Germe responsable	Durée d'incubation	Signes cliniques	Facteurs de contamination
<i>Salmonella</i>	12-24 h	Diarrhée aigüe fébrile (39-40°C)	-Aliments peu ou pas cuits : viande, volailles, œufs, fruits de mer -restauration collective
<i>Staphylococcus aureus</i>	2-4 h	-Vomissements, douleurs abdominales -Diarrhées sans fièvre	-laits et dérivés -plats cuisinés la veille du repas -réfrigération insuffisante -porteurs sains ou staphylococcie cutanée
<i>Clostridium perfringens</i>	8-24 h	Diarrhée sans fièvre	-laits et dérivés -plats cuisinés la veille du repas -réfrigération insuffisante -restauration collective
<i>Shigella</i>	48-72 h	Diarrhée aigüe fébrile	-aliments peu ou pas cuit

TOXI INFECTIONS ALIMENTAIRES COLLECTIVES A SYMPTOMATOLOGIE NEUROLOGIQUES OU VASOMOTRICE			
Germe responsable	Durée d'incubation	Signes cliniques	Facteurs de contamination
<i>Clostridium botulinum</i> (surtout toxine de type B)	6-72 h	Début : troubles digestifs banals, sans fièvre Etat : ▪ troubles oculaires, diplopie, mydriase, troubles de l'accommodation ▪ troubles de la déglutition, voix nasonnée, paralysie vélopalatine ▪ sécheresse des muqueuses ▪ paralysie respiratoire des membres	— viande de porc (préparation artisanale) — conserves familiales non stérilisées
Intoxication histaminique	10minutes – 1 h	▪ troubles vasomoteurs ; érythème de la face ou du cou, céphalées, bouffée de chaleur, urticaire.	— poissons mal conservés (surtout Thon)

Chapitre III : La Toxicologie Alimentaire.

1. Généralités :

L'organisme humain est en relation avec son milieu par un ensemble d'échanges qui contribuent à maintenir un équilibre dynamique.

Par exemple, la respiration permet d'absorber l'oxygène de l'air et d'y rejeter du dioxyde de carbone.

Quoi que nous fassions, le milieu nous influence et nous l'influons. Ce principe d'action-réaction signifie que toute action a des conséquences. Le milieu ne constitue cependant pas un tout homogène, mais plutôt un ensemble composé de nombreux éléments, comprenant les produits chimiques qui peuvent affecter la santé des organismes vivants (figure 9).

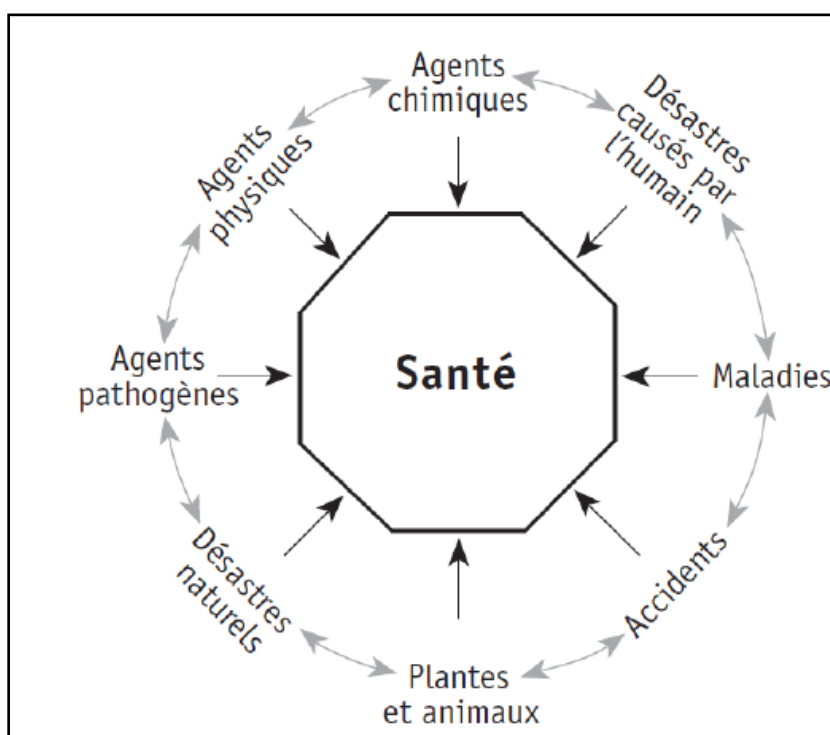


Figure 09 : Les différents éléments pouvant affecter l'organisme humain

2. Terminologie :

- **La toxicologie** provient du terme grec « toxicon » qui signifie « arc ». La toxicologie est la science qui traite des toxiques, de leur nature, de leurs propriétés physiques et chimiques, de leurs actions sur l'organisme, des méthodes pour les rechercher, les identifier et des moyens pour traiter leurs effets nocifs.

- Poison vient du mot latin **potio**= breuvage et est synonyme de toxique, provoque de façon passagère ou durable des troubles d'une ou de plusieurs fonctions, troubles pouvant aller jusqu' à l'annihilation complète et amener à la mort.

- Le terme **empoisonnement** désigne les troubles occasionnés par les poisons lorsque ceux-ci sont administrés dans un but de nuire (acte de malveillance).

Toxémie, il s'applique aux troubles dus à la production des toxines, c'est à dire des substances toxiques produites par des bactéries ou des parasites et véhiculées par le sang.

- **Toxicoses**, quand il s'agit de substances toxiques dues à des perturbations des métabolismes.

- **Latoxicodynamies**'intéresse à l'influence qu'exerce un toxique sur l'organisme et aux facteurs qui interviennent dans la réponse toxique.

- La **toxicocinétiques**'intéresse à l'influence qu'exerce l'organisme sur un toxique. Cette influence découle des processus (l'absorption, la distribution, le métabolisme, l'élimination) qui gouvernent le cheminement du toxique dans l'organisme.

3. Domaines d'application de la toxicologie :

- Toxicologie médico-légale (expertises judiciaires) ;
- Hygiène alimentaire (additifs, contaminants ...) ;
- Hygiène sociale : étude des toxicomanies et lutte contre la drogue ;
- Toxicologie professionnelle (industrie, agriculture ...) ;
- Ecotoxicologie : pollution de l'air, des eaux, et du sol et leurs répercussions
- sur l'homme et les équilibres biologiques.

4. Origines d'intoxication :

- **Intoxication volontaire (suicide ou crime)** : médicaments, monoxyde de carbone « gaz d'échappement de voitures », pesticides produits domestiques, engrais, cyanure, etc.
- **Intoxication involontaire (accidentelle)** : la plupart des cas chez les enfants, mais aussi pour l'adulte par faute de confusion : médicaments, chopinons toxiques, produits domestiques, Hg, Pb et etc.

5. La classification des toxines

5.1. Selon le mécanisme d'action toxique :

Parmi les nombreuses classifications proposées, les plus importantes sont celles qui se basent sur la nature chimique du produit, leur mécanisme d'action toxique ou leur usage ou enfin la nature du danger.

- **Les toxiques gazeux** : Oxyde de carbone CO, ammoniac NH₃, anhydride sulfureux...
- **Les toxiques minéraux** : Métalloïdes (arsenic, phosphore), métaux (mercure, plomb, cadmium)...
- **Les toxiques organiques** : Alcools, phénols, composés hétérocycliques, alcaloïdes, hétérosides...
- **Toxiques caustiques** : Les acides et les bases concentrés, les phénols, les halogènes, certains sels de métaux lourds.
- **Toxiques thiolooprives** : Ces toxiques (As, Pb, Hg) se fixent sur les groupements thiols - SH des acides aminés soufrés ou des enzymes, inhibant ainsi leurs activités.
- **Toxiques méthémoglobinisants**: (nitrates et nitrites, chlorates, paracétamol chez le chat).
- **Toxiques convulsivants** : C'est le cas de la strychnine, du métaldéhyde, de la crimidine.
- **Toxique anti-cholinestérasiques** : Les insecticides organophosphorés et les carbamates ont une grande affinité pour les cholinestérasés et entrent en compétition avec l'acétylcholine qui est leur substrat naturel.
- **Toxiques provoquant des biosynthèses anormales** : Le plomb agit sur la biosynthèse de l'hème, à partir du succinyl coenzyme A.
- **Autres manifestations toxiques** : Les autres manifestations de la toxicité révélées par des études expérimentales (pouvoir irritant, action allergisante, atteinte hépatique, rénale, sanguine, etc...) doivent également être prises en considération pour l'évaluation du risque toxique pour les animaux

5.2. En fonction de la nature du danger :

- Les intoxications provoquées par les insecticides, les herbicides, les fongicides et les raticides (rodenticides).
- En fonction de divers critères (propriétés physiques et chimiques, nature et intensité des effets toxiques, conditions d'exposition, ...),

Chapitre IV : Prévention des contaminations.

1. Moyens de lutte

Le rôle des agents antimicrobiens est d'inhiber la croissance des micro-organismes ou de les détruire. Il existe de nombreux moyens de lutte de nature physique, chimique ou biologique. Les principaux traitements sont classés en traitement d'élimination, de destruction (bactériostatique) et de stabilisation (produit agit sur le développement) (Meyer *et al.*, 1984).

2. Facteurs influençant la destruction microbienne

Les moyens de lutte sont nombreux et variés, ils doivent tenir compte du micro-organisme lui-même et de son environnement ainsi que de l'intensité de l'action souhaitée. Il existe des facteurs qui interviennent dans la destruction microbienne (Guiraud, 1998) :

➤ **Nature et l'état des micro-organismes**

Les bactéries n'ont pas la même sensibilité aux agents de destructions, l'état physiologique de la bactérie joue aussi un grand rôle, les bactéries en phase exponentielle sont plus sensibles qu'en phase stationnaire, la forme sporulée est beaucoup plus résistante que la forme végétative, la charge initiale de bactérie (nombre de cellule) d'autant plus important, le temps nécessaire pour les éliminer sera long (Guiraud, 1998).

➤ **Nature de l'agent antimicrobien**

Les différents agents que ce soit physique ou chimique n'agit pas ni de la même façon ni avec les même dose sur l'activité microbienne (Cuq, 2007).

➤ **Rôle de l'environnement**

Les conditions de l'environnement peuvent influencer considérablement sur l'efficacité de la destruction microbienne (pH du milieu, teneur en eau, turbidité, etc.)

➤ **Moyens Physiques**

En raison de leur faible spécificité, la plupart des agents physiques antimicrobiens sont efficaces sur l'ensemble des micro-organismes, en affectant les acides nucléiques ou les protéines (Guiraud, 1998).

➤ **Température (la chaleur)**

L'action de la température dépend de l'environnement, de l'état physico-chimique des cellules et de leur nombre. Les formes végétatives des bactéries sont en général inactivées par un chauffage de 50 à 60°C durant 30 minutes. Les formes sporulées sont au contraire et par nature extrêmement thermorésistantes. Il existe deux types de chaleur humide et sèche. L'utilisation de la chaleur est un procédé très efficace de destruction des micro-organismes. Les traitements thermiques sont à la base de la conservation de nombreux aliments mais ils ne sont pas adaptés au traitement industriel de l'eau. L'exposition à l'eau à 100°C pendant 10 minutes est suffisante pour détruire les cellules végétatives et les spores eucaryotes. La durée thermique mortelle (DTM) est la période de temps la plus courte requise pour tuer tous les micro-organismes à une T° spécifique. Le temps de réduction décimal est le temps requis pour tuer 90% des micro-organismes à une T° spécifique (Meyer *et al.*, 1984 ; Guiraud, 1998).

➤ **Stérilisation**

Technique par chaleur correspond à un traitement permettant d'éliminer tous les microorganismes (y compris sous forme sporulée). Les paramètres du traitement sont supérieurs à ceux de la pasteurisation et il varie selon le produit entre 10 minutes à 115°C et 30 minutes à 121°C. La vapeur est réalisée dans un autoclave à 121°C pendant 15 minutes. Elle provoque la dégradation des acides nucléiques et la dénaturation des enzymes et autres protéines (Guiraud, 1998 ; Meyer *et al.*, 1984; Prescott *et al.*, 2010). La chaleur agit au niveau de l'agitation moléculaire. Elle provoque une augmentation de la vitesse des réactions métaboliques et de la vitesse de croissance, puis rapidement la dénaturation des composés microbiens et en particulier des protéines enzymatiques. On observe alors une diminution puis un arrêt de la croissance, quand le niveau de modification devient important et irréversible, la mort. La constante de vitesse K de la dénaturation thermique dépend de la température selon la loi d'Arrhénius :

$$K = A e^{-Ea/RT}$$

On voit que si la température augmente, cela réduit le temps de traitement. (Ea) énergie d'activation différente, les réactions de destruction de bactéries ou de vitamines ne se font pas à la même vitesse aux différentes températures (Guiraud, 1998).

➤ **Pasteurisation**

On l'applique à certains produits naturels (lait, la bière, le vin, les jus de fruits) dont on veut assurer momentanément la conservation sans en altérer les caractères organoleptiques (couleur, odeur, saveur).

La pasteurisation entraîne la destruction des formes végétatives, en particulier de celles des micro-organismes pathogènes ou responsables d'altérations organoleptiques, à l'exclusion de la plupart des formes sporulées bactériennes. Elle est obtenue par différents couples temps-température : la pasteurisation haute, le lait est porté à 90°C durant 30 secondes, puis brusquement refroidi à +10°C. La pasteurisation basse, le lait est soumis à une température de 60 à 70°C pendant un temps plus long (quelques minutes). La pasteurisation UTH (Ultra-haute-température), c'est un procédé appliqué surtout au lait et certains jus de fruits pour obtenir une longue conservation. On applique une température à 140°C pendant quelques secondes puis on refroidit brutalement (Bornet, 2000). L'ébullition peut être considérée comme une forme de pasteurisation haute permettant de détruire le maximum de germes ; on utilise quotidiennement au cours de la cuisson des aliments. En outre, la cuisson ou la pasteurisation des aliments ne détruit pas en particulier les spores. Par contre, *Yersinia enterocolitica* est très thermosensible (Cuq, 2007).

➤ **Tyndallisation**

Est un traitement thermique équivalent à des pasteurisations répétées, séparées par des intervalles de 12 à 24h à des températures de 30 à 40°C. Au cours de la pasteurisation, seules les formes végétatives sont inactivées tandis que dans les intervalles, la plus part des spores thermorésistantes germent et sont sensibles à la pasteurisation suivante. Ce procédé est utilisé pour les milieux de culture fragiles. Cette opération, consiste à chauffer le milieu 60°C ou 70°C durant 30 minutes ou 1 heure, trois fois consécutives, en ménageant un intervalle de 24 heures entre chaque chauffage (Prescott *et al.*, 2010).

➤ **Radiations** Les radiations ionisantes sont appliquées aux aliments dont le but d'améliorer leur conservabilité et pour les locaux et le matériel. Les aliments ayant subi un traitement aux radiations ionisantes sont dites irradiés. Ils ne sont nullement radioactifs. Un rayonnement solaire ou plus précisément les radiations ultraviolettes et les rayonnements électromagnétiques couvrent une très large gamme de longueur d'onde. On peut distinguer : les rayonnements infrarouges (> 800 nm), les visibles (800 à 400 nm), les ultra-violets (400 à 10 nm), les rayons X (10 à 0,1 nm), les rayons γ (0,1 à 0,001 nm), les rayons cosmiques (< 0,001nm). Les UV proches de 260 microns sont utilisés pour stériliser l'air, l'eau. Les radiations ioniques pénètrent en profondeur les objets. Les radiations gamma stérilisent à froid les ATB, hormones, objets en plastique (Meyer *et al.*, 1984).

➤ **Pression**

Pour la conservation de certains aliments comme les confitures et les salaisons, on a recours à la pression osmotique. L'effet antimicrobien est obtenu par l'augmentation de la pression osmotique par addition de sucre ou de sel ; les espèces sont capables de se

développer aux concentrations choisies (osmophiles ou halophiles) sont en peu nombreuses. Le séchage des aliments est aussi un procédé de conservation fondé sur l'augmentation de la pression osmotique (Meyer *et al.*, 1984). On cite plusieurs types : - Réduction de l' a_w par déshydratation/ou par l'ajout d'agents dépresseurs (NaCl) - Réduction du pH (acidification, fermentation) - Maitrise du potentiel d'oxydo-réduction

➤ **Moyens Chimiques**

Tous les agents antibactériens chimiques sont beaucoup utilisés comme un désinfectant ou comme antiseptiques des surfaces et matériels ainsi que dans les produits alimentaires. Le choix de ces agents dépendra de l'usage que l'on veut faire (Meyer *et al.*, 1984). Certains sont très actifs mais toxiques.

➤ **Moyens biologique (Chimio-thérapeutiques)** Les agents biologiques sont généralement représentés par des produits biologiques naturels ou synthétisés par les micro-organismes. Les chimio-thérapeutiques détruisent les microorganismes pathogènes en inhibant leur développement à des concentrations suffisamment faibles pour éviter d'occasionner des dommages chez l'hôte. L'agent chimio thérapeutique doit avoir une toxicité sélective (Meyer *et al.*, 1984 ; Cuq, 2007). Beaucoup d'ATB sont à spectre étroit, c'est-à-dire que leur efficacité est limitée à une variété restreinte de micro-organismes. Ils sont synthétisés par les micro-organismes ou par méthode chimiques

Références bibliographiques

Bourgeois C.M., Mesclé J.L., Zucca J. (1996). Microbiologie Alimentaire. Tome 1. 2^{ème} édition. Lavoisier, Paris.

Catteau M. (1996). Microbiologie alimentaire Tome 1, aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments, Edité par: Bourgeois C.M., Mesclé J.F., Zucca J., TEC & DOC, Paris, 672 p.

Federighi M. (2005). Bactériologie alimentaire compendium d'hygiène des aliments. 2ed. Economica. Paris, pp 224-233.

Guiraud J.P. (1998). Microbiologie alimentaire. Dunod, Paris, pp 652.

Martinko and Parker (1999). Biology of Microorganisms, Eighth Edition by Madigan, Southern Illinois University, Carbondale.

Meyer A., J. Deiana et H. Leclerc. (1984). Cours de microbiologie alimentaire. Doin éditeur. Paris, pp 307.

Michael M et John M. (2007). Biologie des micro-organismes. Person Education France. 11^{ème} édition, Paris, pp 1047.

Prescott L.M., Harley J.P. et Klein D. (2003). Microbiologie. 2^{ème} édition.

Prescott L.M., Harley J.P., Klein D., Wiley J.M., Sherwood L.M. et Woolverton C.J. (2010). Microbiologie. 3^{ème} édition, Groupe de Boeck s.a. Bruxelles.

Sutra L., Federighi M., Jouve J. (1998). Manuel de bactériologie alimentaire, polytechnica. 304 p.