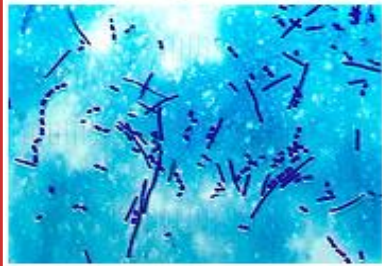
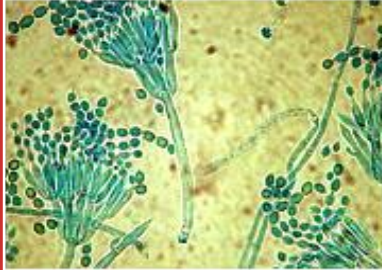


Microorganismes dans l'industrie
agroalimentaire (MIAA)

Dr. ARIECH Mounira

2019/2020



Le cours est destiné aux étudiants de la troisième année,
spécialité : Alimentation, nutrition et pathologies (Semestre 6)

Université Mohamed BOUDIAF- M'sila

Faculté des Sciences

Département Microbiologie & Biochimie

E-m@il: mouniraa63@yahoo.fr

mounira.ariECH@univ-msila.dz

PRÉAMBULE :

Ce polycopié est destiné aux étudiants de la troisième année LMD, option : Alimentation, Nutrition et Pathologie du domaine des SNV et organisé selon le programme assigné par le CPND.

Volume horaire : 45 heures de cours étalées sur 15 semaines.

Semestre : 6

Unité d'enseignement méthodologie UEM 3.2.1(O/P) : L'industrie Alimentaire

Matière 2 : Les microorganismes dans l'industrie Agro-alimentaire

Crédits : 5

Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement

L'étudiant sera capable de décrire la relation entre les microorganismes et l'industrie agroalimentaire, les différents types de microorganismes intervenant dans la microbiologie alimentaire.

Connaissances préalables recommandées

Avoir des acquis en TC (biochimie et microbiologie).

CONTENU DE LA MATIERE MIAA.

I. Introduction succincte aux grands groupes d'aliments

(Classification des aliments selon leurs constituants : protéines, lipides, glucides, eau, éléments minéraux, vitamines, etc.)

II. Micro organismes intéressants la microbiologie alimentaire

(Classification, description des genres et espèces, rôle et effets bénéfiques et nuisibles).

- Ferments lactiques (streptocoques, lactobacilles, bifidobactéries) ;
- Entérobactéries ;
- Bactéries saprophytes ;
- Microcoques ;
- Bactéries sporulées ;
- Vibrions ;
- Actinobactéries ;
- Brucelles ;
- Moisissures ;
- Levures.

III. Altérations microbiennes des aliments et moyens de lutte

1. Divers aspects de la bactériologie alimentaire.
2. Facteurs influençant la flore d'altération des aliments.
 - Facteurs du milieu (pH, A_w, pression osmotique, température, salinité, etc.).
 - Facteurs induits par l'effet de traitements physiques et physico-chimiques.

Sommaire

Préambule.....	02
----------------	----

Chapitre I : Introduction succincte aux grands groupes d'aliments

I.1.	Classification des aliments selon le constituant majeur.....	07
I.2.	Classification des aliments selon la nature des nutriments qui les composent	07
I.3.	Classification des aliments selon leur rôle dans le corps.....	09
I.3.1.	Macronutriments énergétiques et structuraux.....	09
I.3.2.	Minéraux : nutriments structuraux et catalytiques.....	09
I.3.3.	Vitamines : des nutriments très particuliers.....	10
I.3.4.	Autres constituants alimentaires d'intérêt nutritionnel.....	10
I.3.5.	Additifs alimentaires.....	10
I.3.6.	Composés nocifs ou toxiques présents dans les aliments.....	10

Chapitre II : Les micro-organismes intéressants la microbiologie alimentaire

II.1.	Ferments lactiques (Lactobacilles, Streptocoques et Bifidobactéries).....	11
II.1.1.	Présentation des bactéries lactiques.....	11
II.1.2.	Action des bactéries lactiques dans les aliments.....	11
II.1.3.	Principaux genres des bactéries lactiques.....	12
II.1.3.1.	Genre <i>Lactobacillus</i>	12
II.1.3.2.	Genre <i>Streptococcus</i>	13
II.1.3.3.	Genre <i>Bifidobacterium</i>	13
II.2.	Entérobactéries.....	14
II.2.1.	Généralités.....	14
II.2.2.	Coliformes.....	15
II.2.3.	Coliformes fécaux ou thermotolérants.....	15
II.2.4.	<i>Escherichia coli</i>	15
II.2.5.	<i>Salmonella</i>	16
II.2.6.	<i>Shigella</i>	17
II.3.	Bactéries saprophytes.....	17
II.3.1.	Saprophytisme.....	17
II.3.2.	Bactéries saprophytes	17
II.3.3.	<i>Listeria</i>	18
II.3.4.	<i>Pseudomonas</i>	18
II.4.	Microcoques.....	19
II.4.1.	Généralités.....	19
II.4.2.	<i>Staphylococcus aureus</i>	19

II.4.2.1.	Principaux pathologies dues à <i>staphylococcus aureus</i>	19
II.4.2.2.	Toxi-infections alimentaire (TIA) dues à <i>S. aureus</i>	20
II.4.3.	<i>Micrococcus</i>	20
II.5.	Bactéries sporulées	20
II.5.1.	Généralités.....	20
II.5.2.	Bactéries sporulées aérobies.....	20
II.5.2.1.	Intoxications alimentaires dues à <i>Bacillus cereus</i>	21
II.5.2.2.	Maladie du charbon est due à <i>Bacillus anthracis</i>	21
II. 5.2.3.	Activité enzymatique de <i>Bacillus subtilis</i>	22
II.5.3.	Bactéries sporulées anaérobies.....	22
II.5.3.1.	Toxi-infections alimentaires à <i>Clostridium perfringens</i>	22
II.5.3.2.	Botulisme du à <i>Clostridium botulinum</i>	22
II.5.3.3.	Tétanos.....	23
II.6.	Vibrions	23
II.6.1.	Généralités.....	23
II.6.2.	Choléra.....	23
II.6.3	Campylobacteriose.....	24
II.6.4.	<i>Aeromonas</i>	24
II.6.5.	<i>Plesiomonas</i>	24
II.6.6.	<i>Pectinatus</i>	24
II. 7.	Actinobactéries	24
II.7.1.	Généralités.....	24
II.7.2.	<i>Propionibacterium</i>	25
II.7.3.	Bactéries corynéformes saprophytes.....	25
II.7.4.	<i>Streptomyces</i>	26
II.7.5.	<i>Mycobacterium</i>	26
II.8.	Brucelles	27
II.8.1.	Généralités.....	27
II.8.2.	Définition de la brucellose.....	27
II.8.3.	Mode de transmission à l'homme.....	28
II.8.4.	Physiopathologie de la brucellose.....	28
II.8.5.	Signes cliniques de la brucellose selon le type.....	28
II.8.6.	Etiologie bactérienne.....	29
II. 9.	Moisissures	29
II.10.	Levures	30
II. 10.1.	Généralités.....	30
II.10.2.	Position taxonomique.....	30
II.10.3.	Espèces de levure utilisées en industries agroalimentaires.....	31

II.10.4.	Espèces de levure qui contaminent les denrées alimentaires.....	31
II.10.5.	Effets.....	31

Chapitre III : Altérations microbiennes des aliments et moyens de lutte

III.1.	Diverses aspects de la microbiologie alimentaire.....	32
III.1.1.	Origine des micro-organismes des aliments.....	32
III.1.2.	Micro-organismes utiles.....	32
III.1.2.1.	Fermentations.....	33
III.1.2.2.	Autres utilisations microbiennes dans le domaine alimentaire.....	34
III.1.2.3.	Mise en œuvre des fermentations industrielles.....	34
III.1.3.	Microorganismes d'altération.....	36
III.1.3.1.	Autres causes d'altération alimentaire.....	36
III.1.3.2.	Altérations provoquées par les microorganismes.....	36
III.1.3.3.	Types des bactéries d'altération.....	37
III.1.4.	Micro-organismes « marqueurs » ou témoins de la qualité hygiénique.....	39
III.1.5.	Micro-organismes pathogènes.....	40
III.1.5.1.	Différentes catégories de maladies liées à la consommation des aliments.....	40
III.1.5.2.	Principaux micro-organismes pathogènes d'origine alimentaire.....	41
III.2.	Facteurs influençant la flore d'altération des aliments.....	46
III.2.1.	Facteurs du milieu influençant la flore d'altération des aliments (pH, A_w, pression osmotique, température, salinité, etc.).....	46
III.2.1.1.	Facteurs intrinsèques.....	46
III.2.1.1.1.	Activité de l'eau.....	46
III.2.1.1.2.	pH.....	48
III.2.1.1.3.	Potentiel d'oxydoréduction.....	49
III.2.1.1.4.	Facteurs nutritifs.....	49
III.2.1.1.4.1.	Substances antimicrobiennes.....	49
III.2.1.1.4.2.	Constituants naturels.....	50
III.2.1.1.4.3.	Facteurs produits lors du stockage.....	50
III.2.1.2.	Facteurs extrinsèques.....	50
III.2.1.2.1.	Température et humidité.....	50
III.2.1.2.2.	Atmosphère de conservation.....	50
III.2.2.	Facteurs induits par l'effet de traitement physiques et physico-chimiques	51
III.2.2.1.	Définition des termes fréquemment utilisés.....	51
III.2.2.2.	Conditions affectant l'efficacité de l'activité des agents antimicrobiens.....	52
III.2.2.3.	Utilisation de méthodes physiques dans le contrôle.....	52
III.2.2.4.	Utilisation d'agents chimiques dans le contrôle.....	53

Références bibliographiques	55
Glossaire	56

Chapitre I : Introduction succincte aux grands groupes d'aliments

Nous mangeons et buvons tous les jours, ceci correspond à la satisfaction de notre besoin d'apport quotidien d'énergie et de matière. Cet apport se fait sous forme d'aliments solides et liquides. Ce sont des substances complexes, le plus souvent naturelles, ayant subi ou non un traitement technologique et/ou culinaire, conservés avec ou sans traitement particulier. Les aliments sont consommés en raison de leur valeur d'apport d'énergie et/ou de matière, mais aussi en raison de leurs qualités organoleptiques, émotionnelles et sociologiques. En matière de classification des aliments, on peut les regrouper :

- Selon leur constituant en nutriments majeur (les aliments gras, les aliments riches en amidon, les aliments riches en protéines,...).
- Selon les nutriments (les glucides, les lipides, les vitamines et les protéines) ;
- Selon leur rôle dans la nutrition humaine (les aliments énergétiques, les aliments ayant un rôle protecteur et ceux qui servent à la constitution et la cicatrisation du corps) .
- Selon leur origine, animale ou végétale. Tous les aliments, d'origine animale ou végétale, contiennent un ensemble de nutriments. Le sucre blanc raffiné, qui est constitué de cent pour cent de glucides (saccharose) est une exception.
- ou selon leur valeur commerciale (par exemple, les céréales, les racines et les tubercules, les noix et les oléagineux, les fruits et les légumes à feuilles).

I.1. Classification des aliments selon le constituant majeur

Les aliments qui constituent l'alimentation de l'homme peuvent être classés en sept groupes selon leur composition chimique (Tableau 1) :

I.2. Classification des aliments selon la nature des nutriments qui les composent

Sous leur apparence de complexité et de variété d'aspect et de goût, les aliments tirent en réalité leur valeur nutritive d'un nombre relativement restreint de substances. Ces substances nutritives sont les nutriments, absorbables par l'intestin et nécessaires aux structures et activités cellulaires.

On distingue :

- **Macronutriments**, il s'agit au sens large des protéines, des lipides et des glucides, dont l'apport est indispensable en quantités importantes (de l'ordre de dizaines de grammes par jour),
- **Micronutriments**, il s'agit de la plupart des minéraux et les vitamines dont les apports se situent dans la gamme de µg ou mg/jour.

Fait important, les macronutriments sont le plus souvent des molécules de grande taille et de structure complexe qui nécessitent une dégradation préalable (digestion) en molécules suffisamment petites et simples pour être absorbées. Ainsi :

- ✚ les protéines sont la source d'acides aminés ;
- ✚ les lipides, d'acides gras, de cholestérol, de glycérol, etc. ;
- ✚ les glucides complexes sont sources d'oses, tels que glucose, galactose, fructose, xylose et des dérivés tel le sorbitol, etc.

Pour être strict, il convient de parler de « **molécules sources de nutriments** » lorsqu'il s'agit des protéines, des glucides et des lipides, alors que les acides aminés, les acides gras, le cholestérol, les divers oses, les vitamines et les minéraux peuvent être considérés comme les « **nutriments cellulaires** » (Figure 1).

Tableau 1. Classification des aliments selon le constituant majeur

Groupe 1 : L'eau, les liquides et les boissons.	Toutes les boissons apportent l'eau, les ions minéraux et les oligo-éléments nécessaires au fonctionnement des cellules. Le corps humain est constitué de plus de 60 % d'eau. Il faut boire plusieurs fois par jour, même au-delà de l'envie de se désaltérer, en fonction des pertes liées au climat et de l'activité physique. Il faut veiller à ne pas consommer trop de boissons sucrées.
Groupe 2 : Les fruits et les légumes frais.	Ces aliments frais sont riches en eau, en minéraux et oligo-éléments, en vitamines et en fibres alimentaires. Ils ont une assez faible valeur énergétique : pauvres en graisses, leur teneur en sucres est variable. En raison de leurs qualités nutritionnelles, ils doivent être présents à chaque repas et il est conseillé de les diversifier au maximum.
Groupe 3 : Les pains, les céréales, les féculents et les légumes secs	Appartiennent à ce groupe les pains, les céréales, les féculents (pommes de terre, riz, pâtes, semoules...) et les légumes secs (pois, haricots, lentilles...) Ces aliments riches en sucres lents ont une bonne valeur énergétique avec l'amidon et contribuent aussi aux apports en fibres alimentaires, en vitamines B, en minéraux (fer et magnésium.) Ils doivent être présents à tous les repas en quantité suffisante car ils assurent la couverture des besoins énergétiques sur le long terme.
Groupe 4 : Le lait et les produits laitiers	Ce groupe englobe tous les produits lactés comme le lait, la crème et les yaourts ainsi que les fromages. Ces aliments apportent des protéines essentielles, des graisses animales, du calcium, du phosphore et des vitamines liposolubles. Ces aliments doivent être présents à chaque repas notamment pour les enfants en pleine croissance et les personnes âgées. La valeur énergétique, la quantité de vitamines, la teneur en protéines dépendent de la technologie utilisée pour leur préparation.
Groupe 5 : Les viandes, les poissons, les œufs	Les aliments de ce groupe sont principalement riches en protéines animales et en acides aminés essentiels. Ils fournissent aussi du fer indispensable à la synthèse de l'hémoglobine et à l'intégrité du système immunitaire, de la vitamine B12 et des oligo-éléments. Il ne faut pas en consommer trop car, ils contiennent aussi des graisses, susceptibles d'augmenter les risques d'apparition de maladies cardio-vasculaires.
Groupe 6 : Les matières grasses	Dans ce groupe on classe les huiles, le beurre, les margarines, la crème. Ce sont des aliments riches en énergie qui fournissent les lipides et les acides gras essentiels ainsi que les vitamines A, D, et E liposolubles indispensables au bon fonctionnement du système nerveux et au bon fonctionnement des cellules. Il ne faut pas abuser des matières grasses en raison des risques de maladies cardio-vasculaires.
Groupe 7 : Les produits sucrés	A la pointe de la pyramide on trouve des aliments non indispensables mais que l'on mange pour le plaisir. Ce groupe comprend les boissons sucrées, les pâtisseries, les biscuits, les bonbons, le miel, la confiture, le chocolat. Tous ces aliments sont très riches en calories et contiennent des sucres rapides, qui fournissent à l'organisme de l'énergie rapidement disponible. Ils ne sont pas indispensables, même s'ils procurent beaucoup de plaisir aux gourmands.

Les nutriments présents dans les aliments peuvent être classés selon la nature chimique et selon leur aptitude à être absorbés sans ou après digestion préalable.

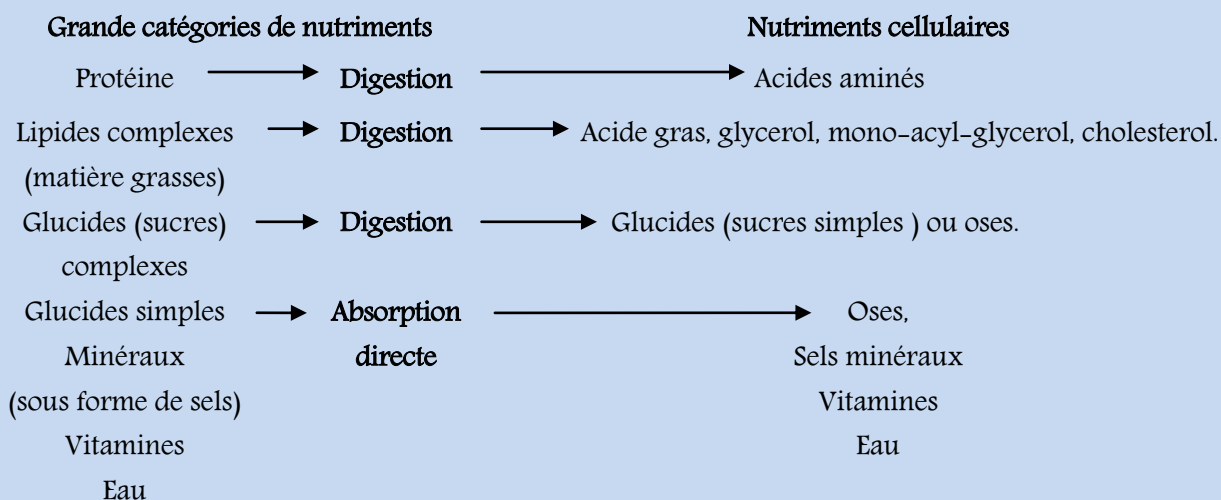


Figure 1. Distinction entre les molécules sources de nutriments et les nutriments cellulaires

I.3. Classification des aliments selon leur rôle dans le corps

Traditionnellement, les nutriments sont classés en fonction de leur principal rôle dans l'organisme :

- ✚ Rôle énergétique (glucides et lipides) ;
- ✚ Rôle structural (protéines);
- ✚ Rôle catalytique ou régulateur (sels minéraux et vitamines).

Cette classification a été conçue dans un but didactique, alors que certains nutriments possèdent plusieurs de ces fonctions qui revêtent une importance variable selon les conditions physiologiques ou pathologiques.

Fait important, on sait aujourd'hui que la nature des nutriments correspond aux constituants fondamentaux des végétaux et des animaux qui servent de source alimentaire. Or, le corps humain est, lui aussi, constitué principalement des mêmes grandes catégories de molécules: protéines, glucides, lipides, minéraux et eau (les vitamines, micronutriments, ayant surtout un rôle de catalyseurs ou de régulateurs). Grâce à la digestion et à l'absorption intestinale, l'organisme reçoit donc des nutriments cellulaires qu'il utilise pour produire l'énergie ou les molécules complexes qui le caractérisent. La classification fonctionnelle des nutriments est comme suit :

I.3.1. Macronutriments énergétiques et structuraux

Ce sont les constituants simples des lipides, glucides et protéines, issus en majorité de la digestion. Ce sont des composés organiques qui subissent un métabolisme complexe, étroitement contrôlé par les hormones et par le système nerveux.

I.3.2. Minéraux : nutriments structuraux et catalytiques

Les minéraux ne sont pas dégradables au sein de l'organisme. Le « métabolisme minéral » se limite aux mouvements de ces composés entre le sang et les tissus et à leur élimination. Les minéraux ne sont pas une source d'énergie, mais sont souvent incorporés dans les structures cellulaires (notamment les membranes cellulaires et la structure des os). D'autre part, de très nombreux minéraux sont indispensables à l'activité des hormones et surtout des enzymes ; où, ils jouent un rôle catalytique.

I.3.3. Vitamines , des nutriments très particuliers.

Il s'agit de molécules très variées dont l'organisme a besoin d'une faible quantité mais constante pour réaliser toutes les réactions chimiques cellulaires qui sont la base de son fonctionnement. Mais, contrairement aux végétaux ou à certaines espèces animales, l'homme n'a pas la capacité de synthétiser dans l'organisme les vitamines (ou sont synthétisées mais en quantité faible et insuffisante pour répondre aux besoins de l'organisme, par exemple : la vitamine K).

Les vitamines ne sont ni une source d'énergie, ni des « briques structurales ». Ces micronutriments, peu métabolisés sont excrétés dans l'urine ; ils sont des catalyseurs ou des régulateurs des réactions cellulaires.

I.3.4. Autres constituants alimentaires d'intérêt nutritionnel

- **Fibres alimentaires**

Ce ne sont pas des nutriments à proprement parler puisqu'elles ne sont pratiquement pas absorbables. Cependant, elles interviennent de façon importante dans la régulation des fonctions digestives.

- **Bio-facteurs**

Ce terme englobe divers composés comme les tannins, les flavonoïdes, divers acides organiques (présents notamment dans les aliments végétaux) qui peuvent exercer une influence sur la digestion, l'absorption et le métabolisme des nutriments.

- **Microorganismes**

Des bactéries ou des moisissures apportées par certains aliments naturels et parfois volontairement sélectionnées par les industries alimentaires (yaourts) peuvent avoir un rôle bénéfique sur l'organisme.

I.3.5. Additifs alimentaires

Les aliments modernes, en particulier les aliments industriels, contiennent un certain nombre d'additifs qui leur assurent une bonne texture, une conservation prolongée, un goût et une couleur plus attrayants. Ces composés, généralement xénobiotiques pour l'homme, sont métabolisés par des systèmes enzymatiques spécialisés surtout dans le foie et, rejetés dans l'urine. Une législation de plus en plus rigoureuse permet aujourd'hui de concilier les exigences de la production industrielle d'aliments et celles de la santé des consommateurs.

I.3.6. Composés nocifs ou toxiques présents dans les aliments

Les aliments peuvent contenir naturellement des substances nocives à certaines doses. Par exemple, l'acide oxalique abondant dans les épinards et dans l'oseille, limite l'absorption intestinale du fer et du calcium. Chez les personnes prédisposées, il peut aussi précipiter, dans les voies urinaires, sous la forme de cristaux d'oxalate de calcium.

Les aliments peuvent être contaminés par des composés toxiques. Sur les arachides mal stockées peut se développer un champignon, *Aspergillus flavus*, qui sécrète les aflatoxines, substances hépatotoxiques. Les pesticides, les nitrates des engrais chimiques sont également des substances toxiques.

Chapitre II. Les micro-organismes intéressants la microbiologie alimentaire (Classification, description des genres et espèces, rôle et effets bénéfiques et nuisibles).

II.1. Ferments lactiques (Streptocoques, Lactobacilles, Bifidobactéries)

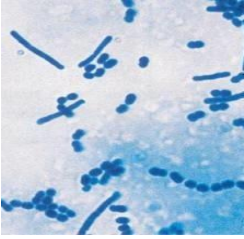


Figure 2. Lactobacilles et Streptocoques colorés au bleu de méthylène et observés au microscope optique $\times 1000$

II.1.1. Présentation des bactéries lactiques

Décrites pour la première fois par Orla-Jensen, les bactéries lactiques constituent un groupe hétérogène (Figure 2). Elles rassemblent en effet, un certain nombre de genres de bactéries à Gram positif, possédant des caractéristiques physiologiques et métaboliques communes (immobiles, asporulées, catalase et oxydase négatives, nitrate réductase négative, anaérobies ou aérotolescentes, mais avec parfois peu d'homologie de leurs acides nucléiques).

Huit genres principaux constituent le groupe des bactéries lactiques :

- ✚ *Lactobacillus* ;
- ✚ *Carnobacterium* ;
- ✚ *Streptococcus* ;
- ✚ *Enterococcus* ;
- ✚ *Lactococcus* ;
- ✚ *Pediococcus* ;
- ✚ *Leuconostoc* ;
- ✚ et *Bifidobacterium*.

Elles ont un métabolisme exclusivement fermentaire qui les conduit à produire à partir du glucose des quantités importantes d'acide lactique, accompagné dans certains cas d'autres métabolites (éthanol, CO₂, autres acides organiques).

Selon le type de fermentation préférentiellement utilisé, les bactéries lactiques sont dites :

- **Homofermentaires** : L'acide lactique est le seul produit de la fermentation du glucose.
- **Hétérofermentaires** : La fermentation du glucose aboutit à la formation d'acide lactique et d'autres composés : éthanol, CO₂ et autres acides organiques.

II.1.2. Action des bactéries lactiques dans les aliments

Les bactéries lactiques ont deux rôles principaux dans les aliments, liés à leurs activités métaboliques (Tableau 2) :

- **Un rôle positif ou technologique** :

Il s'exerce principalement dans les produits fermentés avec des conséquences sur l'ensemble des facteurs de qualité ;

- **Un rôle négatif** :

Il se traduit essentiellement par l'altération des denrées concernées, qu'elles soient ou non fermentées.

Tableau 2. Principaux rôles des bactéries lactiques dans les aliments.

Rôles positifs	Rôles négatifs
<p>Structure et texture</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acidification: Lait fermentés, fromages • Polysaccharides : Laits fermentés <p>Aromes et saveur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acides organiques : Tous produits fermentés • Diacétyle/acétaldéhyde : Beurre et crème/yaourt • Lipolyse : Saucisson, fromages • Protéolyse : Fromages <p>Conservation : Tous produits</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acides organiques • Bactériocines • Peroxyde d-hydrogène <p>Nutrition : Laits fermentés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Digestion du lactose • Colonisation de l'intestin 	<p>Altération de l'aspect</p> <ul style="list-style-type: none"> • Polysaccharides: Produits carnés, vin, bière • CO₂ • Peroxydes d'hydrogène: Produits carnés <p>Altération des qualités organoleptiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acidification trop poussée : Lait cru, vin, produits carnés • Oxydation des acides gras : Beurre et crème, produits carnés • Protéolyse : Peptides amers : Fromages <p>Production de composés toxiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Amines (tryamine) : Produits carnés



Figure 3. Micrographie électronique à balayage coloré de *Lactobacillus bulgaricus* (dimensions de l'image : 14.0" x 12.0")

II.1.3. Principaux genres des bactéries lactiques

II.1.3.1. Genre *Lactobacillus*

Lactobacillus est le genre principal de la famille des *Lactobacillaceae*. Il 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 (Figure 3) Gram +, asporulés, parfois groupés en paires ou en chaînes, généralement immobiles. Ils sont catalase⁻, micro-aérophiles ou anaérobies. Ils ont un métabolisme fermentaire produisant de l'acide lactique. Certaines sont homolactiques et d'autres sont hétérolactiques. Le genre *Lactobacillus* a été subdivisé par Orla-jensen en trois groupes et cette classification est encore utilisée en milieu industriel (Tableau 3) :

Tableau 3. Principaux groupes du genre *Lactobacillus*.

Groupe « <i>Thermobacterium</i> »	Groupe « <i>Streptobacterium</i> »	Groupe « <i>Betabacterium</i> »
<p>Il comprend les lactobacilles homofermentaires thermophiles Qui se développent à 45°C mais pas à 15°C.</p> <p>Il comprend les lactobacilles homofermentaires thermophiles Qui se développent à 45°C mais pas à 15°C sont :</p> <p><i>L.helveticus</i>, <i>L.jugurti</i>, <i>L.bulgaricus</i>, <i>L.lactis</i>, <i>L.acidofilus</i>, <i>L.leichamni</i>, <i>L.delbrueckii</i>, <i>L.kefirofaciens</i>, <i>L.mali</i>, etc.</p>	<p>Il regroupe les lactobacilles homofermentaires mésophiles qui se développent à 15°C (ils peuvent être occasionnellement Hétérofermentaires en fonction du substrat).</p> <p>Il comporte les espèces : <i>L.casei</i> qui est le lactobacille prédominant du lait, <i>L.plantarum</i> rencontré dans la choucroute <i>L.curvatus</i>, <i>L.sake</i>, <i>L.Acetotolerans</i>, <i>L.graminis</i>, <i>L.rhamnosus</i>, etc.</p>	<p>Il comprend les lactobacilles hétérofermentaires. Les espèces les plus fréquentes dans l'alimentation sont :</p> <p><i>L.fermentum</i>, <i>L.buchneri</i>, <i>L.brevis</i>, <i>L.viridiscens</i>, <i>L.kefir</i>, <i>L.fructivorans</i>, <i>L.hilgardii</i>, <i>L.sanfransisco</i>, etc.</p>

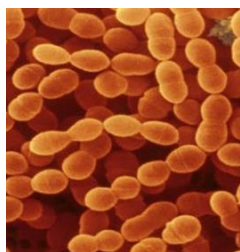


Figure 4. Micrographie électronique à balayage coloré de *Streptococcus thermophilus* (Taille de l'image : 16.0" x 16.0")

II.1.3.2. Genre *Streptococcus*

Le genre *Streptococcus* comprend essentiellement des espèces d'origine humaine ou animale dont certaines sont pathogènes comme *S.pyogenes* et *S.galactiae*, d'autre sont impliquées dans la formation de la plaque dentaire (*S.mutans*).

L'espèce thermophile : *Streptococcus thermophilus* (Figure 4) se différencie par son habitat (lait et produit laitiers), et son caractère non pathogène. Du fait de ses propriétés technologiques, c'est la seule espèce considérée comme un streptocoque lactique. Il s'agit des cocci, Gram+, anaérobies facultatifs, asporulés, groupés en chainettes, immobiles, sa température optimale de croissance est de 45°C.

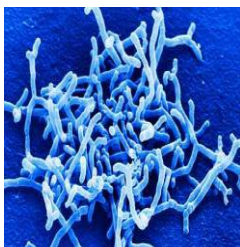


Figure 5. *Bifidobacterium breve* BBR-214 (ATCC - 15700)

II.1.3.3. Genre *Bifidobacterium*

L'ordre des *Bifidobacteriales* ne compte qu'une vraie famille. Les *Bifidobacteriaceae*, et huit genres. Les bifidobactéries sont des bâtonnets Gram +, asporulants, immobiles, de formes variées, légèrement incurvés, elles sont souvent ramifiées. Les bâtonnets peuvent être isolés ou en amas et en paires en forme de V.

Bifidobacterium (anciennement *Lactobacillus bifidus*) (Figure 5) est un bacille présent dans la flore intestinale du nouveau-né. Il est utilisé dans certains yaourts (probiotique). Sa présence entraînerait un effet anti-infectieux au niveau intestinal à cause de la présence d'un facteur bifidogène. Les bifidobactéries sont des microorganismes anaérobies stricts et fermentent activement les glucides pour produire de l'acide

acétique ou lactique mais pas de dioxyde de carbone. La température optimale de développement des souches d'origine humaine est comprise entre 36 et 38°C. La croissance est nulle à 20°C et en dessous. Le pH initial optimal de croissance se situe entre 6,5 et 7,0. Aucune croissance ne peut avoir lieu en dessous de 5,0 et au delà de 8,0.

✚ Rôles de *Bifidobacterium*

Un pro-biotique est un micro-organisme dont l'apport comme additif alimentaire est considéré comme bénéfique pour la santé de l'homme outre son apport nutritionnel. Le facteur bifidogène, naturellement présent au niveau intestinal et dans les laits infantiles, permet la prolifération des bifidobactéries, ce qui :

- améliore l'environnement intestinal des personnes âgées (le nombre des bifidobactéries est diminué avec le vieillissement) qui, à son tour, améliore l'environnement intestinal et contribue à la bonne santé du système gastro-intestinal et, à terme, sa résistance aux infections ;
- aide à entretenir un système immunitaire sain, à combattre les infections (a une action immunostimulante : il induit la production d'anticorps spécifiques et non spécifiques et anti-infectieuse : les bifidobactéries produisent de l'acide acétique dont la puissante action bactéricide est responsable de la destruction de bactéries nuisibles comme *Escherichia coli*) ;
- et qu'il favorise la force osseuse (en renforçant l'absorption du calcium) ;
- prévient la diarrhée provoquée par l'administration d'érythromycine ou d'autres antibiothérapies ;
- régule le transit intestinal des personnes constipées : il améliore l'environnement intestinal, notamment en diminuant le contenu en ammoniac des selles, l'activité de certaines enzymes fécales et augmente la fréquence des selles ;
- inhibe le développement de cancer ou les foyers de cryptes aberrantes.

II.2. Entérobactéries

II.2.1. Généralités

La famille des Entérobactéries (*Enterobacteriaceae*) regroupe de nombreuses espèces dont la plupart sont des hôtes normaux (commensaux) de l'intestin de l'homme et des animaux. Dans l'intestin terminal, ces bactéries représentent plus de 10 % de la flore totale et la majorité de la flore intestinale aéro-anaérobie. Chez l'homme, l'entérobactérie intestinale dominante est *Escherichia coli*. Les Entérobactéries sont très répandues dans la nature en raison de la contamination de l'environnement par l'intermédiaire des matières fécales animales et humaines et des eaux d'égout. La famille des entérobactéries se définit par les caractères suivants :

- bacilles à Gram négatif (2 à 4 microns de long sur 0,4 à 0,6 microns de large) ;
- mobiles avec ciliature péritriche ou immobiles ;
- poussant sur milieux de culture ordinaires ;
- aérobies-anaérobies facultatifs ;
- fermentant le glucose avec ou sans production de gaz ;
- réduisant les nitrates en nitrites ;
- oxydase négatif.

Les entérobactéries sont une famille très hétérogène pour ce qui est de leur pathogénie et de leur écologie. Les espèces qui composent cette famille sont en effet soit parasites (*Shigella*, *Yersinia pestis*), soit commensales (*Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Klebsiella sp*), soit encore saprophytes (*Serratia sp*, *Enterobacter sp*). Ce sont des contaminants alimentaires très fréquents (contamination fécale directe et indirecte) et c'est pour cette raison que nous nous intéresserons particulièrement à ces bactéries. Celles-ci

sont capables de développements abondants dans un produit alimentaire et donc de dégradations importantes. Les principales entérobactéries rencontrées dans l'alimentation sont nombreuses mais nous n'allons nous intéresser qu'à certaines de ces bactéries qui sont présentées ci-dessous :

II.2.2. Coliformes totaux

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 entéro-pathogènes. 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.

II.2.3. Coliformes fécaux ou thermotolérants

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 recherchée 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. Pour distinguer les coliformes des coliformes fécaux, l'incubation à 2 températures différentes (37°C et 44°C respectivement) est nécessaire.

II.2.4. *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 (10^6 à 10^7 par gramme chez l'homme : 80 % de la flore aérobie). C'est l'un des résidents les plus communs du tractus intestinal et c'est probablement l'organisme le mieux connu en microbiologie. Comme les autres coliformes, cette espèce peut être responsable d'intoxications à cause d'un développement abondant.

E.coli (Figure6) est l'une des principales bactéries responsables de diarrhée dans les pays en voie de développement, où elle génère des épidémies de collectivité.

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.



Figure 6. Micrographie électronique à balayage coloré d'*Escherichia coli*
(Taille de l'image : 42.3 cm x 42.3 cm)

- *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.



Figure 7. Micrographie électronique à balayage coloré de *Salmonella typhi* (2,100 × 1,761 pixels)

II.2.5. *Salmonella*

Les *Salmonella* sont des Entérobactéries, bacilles mobiles, produisant du gaz en glucose, lactose négatif et ONPG négatif, possédant une LDC et une ODC, utilisant le citrate de Simmons comme seule source de carbone, ne possédant ni uréase, ni TDA, ni gélatinase, ne fermentant pas le saccharose, le raffinose et la salicine et dont la réaction de Voges-Proskauer (VP) est négative.

Leur classification est complexe, car il existe plus de 2500 sérotypes. Presque toutes les espèces du genre *Salmonella* sont potentiellement pathogènes et peuvent causer une variété de symptômes (salmonelloses), pouvant aller de la simple gastro-entérite à des manifestations plus sévères pouvant parfois entraîner la mort. On trouve fréquemment ces bactéries dans le tractus intestinal de nombreux animaux.

La contamination des produits peut être originelle (animaux malades) ou provenir de manipulateurs malades ou porteurs sains de germes. Lorsque les conditions d'hygiène sont médiocres, il y a un risque de contamination des aliments et, par conséquent, des humains. La contamination se fait par voie orale. La fréquence des infections à *Salmonella* est en augmentation. Elle est favorisée par le développement des repas pris en collectivité où les aliments sont préparés bien avant d'être consommés et dans lesquels les bactéries peuvent se multiplier. Toutes les variétés d'aliments sont susceptibles d'être contaminées par quelques germes de *Salmonella* mais, on les retrouve surtout dans les produits d'origine animale (œufs, lait, viande, volaille, poissons...), l'eau polluée et les produits consommés crus.

Tout défaut dans la conservation des aliments, permet la multiplication de quelques germes éventuellement présents. Plusieurs sérotypes parmi lesquels Typhi (Figure 7) et Paratyphi qui provoquent des maladies infectieuses graves appelées respectivement fièvres typhoïde et paratyphoïde. D'autres sérotypes plus fréquemment impliqués provoquent des infections bénignes appelées salmonelloses.

L'ingestion de 10^5 bactéries entraîne une toxi-infection alimentaire. Les toxi-infections à *Salmonella* se manifestent par des diarrhées, de la fièvre et des

vomissements ; les premiers signes surviennent 8 à 10 heures après l'ingestion de l'aliment contaminé. L'évolution de ces gastro-entérites est souvent favorable en 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 *Salmonella* étant des bactéries dangereuses, responsables d'un grand nombre de troubles d'origine alimentaire, elles ne doivent pas être présentes dans un aliment. Les cas mortels ne sont pas exceptionnels, en particulier chez les jeunes enfants et les personnes âgées.



Figure 8. Image tridimensionnelle (3D) générée par ordinateur de *Shigella dysenteriae*

II.2.6. *Shigella*

Les *Shigella* sont des entérobactéries à Gram négatif, lactose négatif, immobiles, fermentant le glucose sans gaz, ne produisant jamais de H_2S et ne présentant pas de culture sur milieu citrate de Simmons ni de LDC ou de tryptophane-désaminase. 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* (Figure 8). 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.

II.3. Bactéries saprophytes

II.3.1. Saprophytisme: forme de nutrition permettant à un organisme d'utiliser des matières organiques en décomposition.

II.3.2. Bactéries saprophytes: une bactérie est saprophyte lorsqu'elle vit et se nourrit dans l'environnement (sol, eaux, surfaces, végétaux), et dont la vie et la multiplication sont totalement indépendantes des organismes animaux et humains. Ces bactéries interviennent dans les grands cycles de dégradation de la matière. Normalement, elles n'ont aucune pathogénicité mais peuvent être présentes transitoirement chez l'homme. La plupart des bactéries saprophytes sont inoffensives pour l'homme, mais certaines peuvent être néfastes par le biais de toxines qu'elles sécrètent.

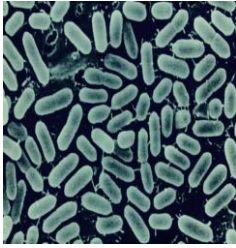


Figure 9. *Listeria monocytogenes*
(Taille de l'image : (12.0" x 9.0"))

II.3.3. *Listeria*

Les cellules de *Listeria* sont des batonnets courts et réguliers (0,4–0,5 µm de diamètre et 0,5–2 µm de longueur) avec des extrémités arrondies. Quelques cellules peuvent être incurvées. Les cellules sont isolées ou regroupées en courtes chainettes. Les cellules sont Gram positif, sans capsule ni spore, mobile. Les colonies apparaissent gris bleuté par illumination normale et bleut vert par illumination oblique.

L.monocytogenes (Figure9) est la seule espèce de *Listeria* pathogène pour l'homme puisqu'elle provoque des listérioses. *L.monocytogenes* est également pathogène pour de nombreuses espèces animales.

Les *Listeria* sont des germes ubiquitaires, présents dans le milieu extérieur au niveau du sol et de la végétation, ainsi que chez des porteurs sains.

Les *Listeria* sont isolées de plantes, de fourrages, de boues, de poussières, d'ensilages, d'eau de rivières et d'effluents. Ces bactéries étant capables de survivre pendant de longues périodes dans l'eau et le sol, l'environnement plante-sol constitue donc un réservoir non négligeable.

La résistance de *Listeria* dans l'environnement est paradoxale pour un germe non sporulée. Cette résistance à de très nombreux agents physico-chimiques permet d'expliquer certains aspects de l'épidémiologie de la listériose. *Listeria* continue à se multiplier aux températures de réfrigération des aliments. Elle résiste à des pH très bas, à de nombreuses substances chimiques (solution saline), aux antibiotiques et à de nombreux inhibiteurs. Des animaux sains, bovins, ovins, porcs, poulets, animaux sauvages, sont également porteurs au niveau des matières fécales et des sécrétions nasales. Parmi les espèces de *Listeria*, seules 3 (*L. monocytogenes*, *L. ivanovii*, *L. seeligeri*) peuvent provoquer des infections humaines ou animales. Cependant, les cas déclarés pour la troisième espèce sont très rares (2 cas chez les animaux et 1 cas humain). Les infections humaines à *L.ivanovii* sont rares (3 cas) mais plus fréquentes chez les animaux.

II.3.4. *Pseudomonas*

Les bactéries du genre *Pseudomonas* peuvent être définies par : Bacilles à Gram négatif, oxydase positif, catalase positif, aérobies stricts (Respiration nitrate chez certaines espèces) ; dégradant le glucose par respiration aérobie ou inerte vis-à-vis du glucose. Ils n'attaquent pas les sucres ou les attaquent par voie oxydative et non fermentative ; 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* (Figure 10) généralement dénommé *Bacille pyocyannique*). 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.



Figure10. Image tridimensionnelle (3D) générée par ordinateur de *Pseudomonas aeruginosa*

II.4. Microcoques

II.4.1. Généralités

Les staphylocoques constituent avec les microcoques, les deux genres principaux de la famille des *Micrococcaceae*. C'est deux genres ont été associés parce qu'ils présentent des caractères communs. Ce sont des cocci à Gram positif de 0,5 à 2,5 µm de diamètre, catalase positif, non sporulés, immobiles, se divisant en plusieurs plans en formant des amas irréguliers. Ils sont non sporulés et immobiles (à l'exception de *Planococcus*). Il s'agit de bactéries commensales de la peau des animaux et de l'homme, qui contaminent fréquemment les aliments et peuvent entraîner des dégradations et des problèmes sanitaires. En réalité, les deux genres sont très éloignés sur le plan phylogénétique. Les staphylocoques se différencient des microcoques par plusieurs caractères :

- ils sont aéro-anaérobies facultatifs alors que les microcoques sont aérobies stricts ;
- ils sont sensibles à la lysostaphine et résistants aux lysozymes ;
- leur paroi contient des acides teichoïques. Ceux-ci sont absents chez les microcoques.

Les genres intervenant dans l'alimentation sont essentiellement *Micrococcus*, *Staphylococcus* et à un moindre degré *Sarcina*.

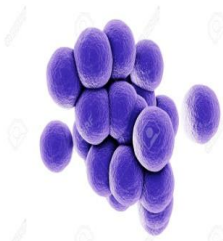


Figure 11. Grappe de raisin de *Staphylococcus aureus*

II.4.2. *Staphylococcus aureus*

Le nom commun « *Staphylococcus* » qui dérive du grec « Staphulè » qui signifie grappe de raisin (Figure 11), et « kokkos » qui signifie grain, a été proposé par Ogstan en 1883 pour désigner des coques regroupés en-amas irréguliers responsables d'infections suppurées chez l'homme. En 1884, Rosenbach a fourni la première description du genre « *Staphylococcus* ».

Le genre *Staphylococcus* appartient à la famille des *Micrococcaceae* qui comprend trois autres genres : *Micrococcus*, *Planococcus*, et *Stomatococcus*.

II.4.2.1. Principaux pathologies dues à *staphylococcus aureus*

Chez l'homme, *S. aureus* est responsables de pathologies très diverses de point de vue clinique :

- Des infections de la peau et des muqueuses.
- Des septicémies qui correspondent à la multiplication et la dissémination de *S. aureus* dans la circulation sanguine.
- Des infections viscérales (Ostéomyélite, Pneumonie, pyélonéphrite, méningite, abcès conjonctif, endocardite) consécutives ou non à une septicémie.

Certains syndromes sont dus à des souches de *S.aureus* qui produisent une ou plusieurs toxines particulières dont le rôle dans le pouvoir pathogène est indiscutable :

- Le syndrome de la peau ébouillantée ou maladie de Ritter du nouveau-né qui se traduit par un décollement bulleux des couches superficielles de l'épiderme ;
- Le syndrome du choc toxique qui correspond à des dérèglements physiologiques multiples (hyperthermie, rougissement cutané, hypotension artérielle, atteintes viscérales). La mortalité est de 5 à 10% ;
- Les intoxications alimentaires qui sont dues à des souches

productrices d'entérotoxines.

II.4.2.2. Toxi-infections alimentaire (TIA) dues à *S. aureus*

Les TIA à *S. aureus* sont en réalité des intoxications dues à l'ingestion d'aliments dans lesquels une souche de *S.aureus* s'est multipliée et a produit une ou plusieurs entérotoxines, qui sont des toxines bactériennes qui agissent directement sur la muqueuse intestinale et provoquent des perturbations biochimiques ou des lésions cellulaires. Leur action entraîne des pertes d'eau et de la muqueuse vers la lumière intestinale.

La prévention des TIA à *S.aureus* repose essentiellement sur des mesures d'hygiène de production et de conservation des aliments

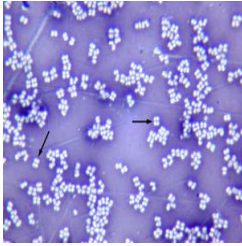
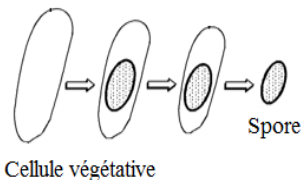


Figure 12. Observation microscopique par microscope optique de *Micrococcus* ×1000

II.4.3. *Micrococcus*

Les *Micrococcus* (Figure 12) ne sont pas pathogènes : ils ont parfois un rôle utiles dans l'industrie(propriétés protéolytiques), par exemple pour la maturation de certains fromages ou dans les produits ou en saumure.

II.5. Bactéries sporulées



II.5.1. Généralités

Les spores de bactéries ont été étudiées pour la première fois par Cohn et Koch en 1876. Elles font partie des formes les plus résistantes des organismes vivants. La formation des spores permet à la bactérie de survivre et résister à différents stress environnementaux tels que la chaleur, la dessiccation, les UV et les radiations, la digestion enzymatique ou encore les produits chimiques. De plus, les spores peuvent survivre pendant de très longues périodes dans des environnements pauvres en nutriments. En effet, plusieurs auteurs ont rapporté que les spores du groupe *Bacillus* pouvaient survivre plusieurs millions d'années dans des niches écologiques spécifiques. En raison de la persistance des spores et de l'ubiquité des microorganismes formant des spores, les spores sont des contaminants fréquents de denrées alimentaires. Les mécanismes de sporulation, germination et résistance sont beaucoup étudiés chez *Bacillus* avec comme modèle *B. subtilis*. En revanche, ces mécanismes le sont moins chez les bactéries anaérobies comme *Clostridium* et quasiment pas chez les thermophiles. Des auteurs ont cependant mis en évidence des différences dans les signaux de sporulation entre les Bacilli et les Clostridia avec notamment l'absence de quatre gènes impliqués dans la sporulation chez les Clostridia et une batterie de gènes codant les protéines de la tunique des spore retrouvées uniquement dans la famille des *Bacillaceae*.

II.5.2. Bactéries sporulées aérobies

Ces bactéries appartiennent au genre *Bacillus* (Famille des *Bacillaceae*). Elles font généralement partie de la flore banale Gram+ et contaminent de nombreux produits alimentaires. Les *Bacillus* (Figure 13) sont des Bacilles Gram+(les cultures âgées peuvent apparaître Gram-), généralement mobiles, aptes à la sporulation. La spore ne prend pas la coloration de Gram, elle est sphérique ou ovale, déformante ou pas selon les espèces. Les *Bacillus* sont

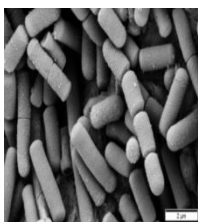


Figure 13. Image tridimensionnelle (3D) générée par ordinateur de *Bacillus*

catalase +, aérobies ou aéro-anaérobies. on les classe en fonction de la morphologie de la spore (étudiée par examen microscopique) ou en fonction de critères plus nombreux incluant le caractère respiratoire et fermentaire, la thermophilie, etc.

Si on considère la spore, on distingue :

- **Groupe1** : spore ovale non déformante à paroi mince (exemple : *B.subtilis*).
- **Groupe2** : spore ovale déformante à paroi épaisse (exemple : *B.stearotherophilus*, *B. polymyxa*) ;
- **Groupe3** : spore sphérique déformante (exemple : *B.pasteurii*, *B.sphaericus*) (groupe subdivisé en 6 sous groupes)

Si on considère l'ensemble des caractères, on définit (selon Priest) :

- **Groupe I** : ou groupe *B. polymyxa* : espèces à spore de type 2, métabolisme anaérobie facultatif avec fermentation acide inclue *B.alvei*, *B. circulans*, *B. macerans*, etc.)
- **Groupe II** : ou groupe de *B. subtilis* : espèces à spores de type 1, métabolisme aérobie avec fermentation acide ;
- **Groupe III** : ou groupe *B. brevis* : espèce à spore de type 2, métabolisme aérobie strict ;
- **Groupe IV** : ou groupe *B. sphaericus* : espèces à spore de type 3 ;
- **Groupe V** : ou groupe des *Bacillus* thermophiles ; espèces à spore généralement de type 2 (inclue *B.coagulans* et *B. stéarothermophilus*).

II.5.2.1. Intoxications alimentaires dues à *Bacillus cereus*

L'association possible de *Bacillus cereus* à des cas d'intoxications alimentaires est connue depuis fort longtemps. Cependant, ce n'est que depuis les années cinquante que la bactérie est formellement reconnue comme un agent d'intoxication alimentaire, à la suite des enquêtes effectuées sur des foyers de plusieurs centaines de cas.

B. cereus est en fait l'agent de deux types de syndromes d'intoxication alimentaire :

- un syndrome dit **diarrhéique** et ;
- un syndrome dit **émétique**.

Ce dernier a été identifié au Royaume-Uni au début des années soixante-dix, à la suite de l'accident lié à la consommation de riz cuits préparés dans des restaurants chinois.

Bacillus cereus peut être également impliqué dans les infections non alimentaires dues à des facteurs de virulence tels que les hémolysines I et II, et la phospholipase C.

II.5.2.2. Maladie du charbon est due à *Bacillus anthracis*

Le charbon est une maladie animale hautement infectieuse qui peut être transmise aux humains par contact direct avec des animaux infectés (bovins, chèvres, moutons) ou leurs produits. La bactérie en cause est *Bacillus anthracis*, un bacille Gram positif. Ses endospores peuvent rester viables dans le sol ou des

produits animaux pendant des décennies. L'infection humaine a lieu habituellement au niveau d'une coupure ou d'une éraflure de la peau et résulte en un charbon cutané. Cependant, l'inhalation d'endospores peut entraîner un charbon pulmonaire, également connu comme maladie des cardeurs de laine. Si les endospores atteignent l'intestin, un charbon gastro-intestinal peut s'en suivre.

II. 5.2.3. Activité enzymatique de *Bacillus subtilis*

Cette souche est capable de produire des enzymes industrielle, comme la β -Glucanase.

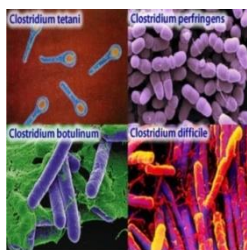


Figure 14. Espèces du genre *Clostridium*

II.5.3. Bactéries sporulées anaérobies

Ces bactéries appartiennent au genre *Clostridium* (Famille des *Bacillaceae*). Il s'agit de bactéries telluriques 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). Il s'agit d'un genre hétérogène (GC varie de 21 à 55%). Certains espèces sont pathogènes.

Les *Clostridium* (Figure 14) sont des Bacilles Gram+, souvent de grande taille, isolés ou en chaînette. Comme chez *Bacillus*, les cultures âgées peuvent apparaître Gram-.

II.5.3.1. Toxi-infections alimentaires à *Clostridium perfringens*

Les *Clostridia* sulfatoréducteurs dont *Clostridium perfringens* font partie des critères microbiologiques applicables aux aliments et ils sont donc recherchés par les professionnelles de l'agroalimentaire.

II.5.3.2. Botulisme du à *Clostridium botulinum*

Le botulisme (du latin botulus, boudin) est une intoxication alimentaire causé par *Clostridium botulinum*. *C. botulinum* est une bacille Gram-positif anaérobie strict, formant des endospores, présent dans le sol et les sédiments aquatiques. La source d'infection la plus réponde est la nourriture en boîte qui n'a pas été chauffée suffisamment pour tuer les endospores contaminants de *C. botulinum*. Ces endospores peuvent germer et une exotoxine est produite au cours de la croissance végétative. Si la nourriture est alors consommée sans cuisson adéquate, l'exotoxine reste active et entraîne la maladie.

La toxine botulique est une neurotoxine qui se lie aux synapses des neurones moteurs. Elles clivent sélectivement une protéine membranaire de la vésicule synaptique : la synaptobrevine. Ceci empêche l'exocytose et la libération d'un neurotransmetteur, l'acétylcholine. En conséquence, ne se contractent pas en réponse à l'activité des neurones moteurs et il en résulte une paralysie flasque. Les symptômes du botulisme apparaissent dans les 18 à 24 heures après l'ingestion de toxine et comprennent une vision trouble, les difficultés de déglutition et de parole, une faiblesse musculaire, des nausées et des vomissements. Sans traitement adéquat, 1/3 des patients décèdent après quelques jours suite à une défaillance respiratoire ou cardiaque.

la prévention et le contrôle du botulisme comprennent :

- une stricte observation des règles de sécurité par l'industrie alimentaire ;
- l'éducation du public sur les méthodes sûres pour faire des conserves domestiques et ;
- ne pas donner du miel à des enfants de moins d'un an.

II.5.3.3. Tétanos

Le tétanos est une maladie dite toxi-infectieuse. Elle est due à une bactérie, *Clostridium tetani*, qui produit une toxine. Chez les personnes non vaccinées, la toxine tétanique se répand suivant les axes nerveux et les jonctions neuromusculaires où elle se fixe, provoquant des spasmes et contractures violentes des muscles striés. La toxine peut également attaquer directement le système immunitaire et provoquer des paralysies.

II.6. Vibrions

II.6.1. Généralités

Il s'agit de bacilles incurvés (famille des Vibrionaceae et germes apparentés). Les vibrio sont des bactéries asporulées Gram-négatif, incurvées en virgule, très mobiles. Elles possèdent un métabolisme fermentatif des sucres sans production de gaz et sont : aérobies, aéro-anaérobies ou anaérobies selon les espèces. Leurs colonies sont lisses, brillantes ou translucides. Leur température optimale est de 20 à 30°C pour les saprophytes et de 37°C pour les pathogènes



Figure 15. *Vibrio cholerae*

II.6.2. Choléra

Tout au long de l'histoire, le cholera (du grec Kholera) a causé des épidémies répétées dans différentes parties du monde, plus spécialement en Asie, dans le Moyen-Orient et en Afrique. Le choléra est une infection bactérienne diarrhéique aiguë provoquée par le bacille Gram négatif, *Vibrio cholerae* (Figure 15) qui se transmet par contact ou par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés par des matières fécales. Le choléra classique est caractérisé par l'apparition d'une diarrhée aqueuse (type « eau de riz ») abondante, à début brutal. Si le cas n'est pas traité rapidement, l'évolution peut mener à une déshydratation aiguë, un collapsus circulatoire, une insuffisance rénale et au décès.

Le choléra est une maladie très contagieuse et la période d'incubation étant très courte, les cas peuvent se multiplier très rapidement. Cette maladie sévit toujours dans de nombreux pays en développement de façon endémique ou épidémique.

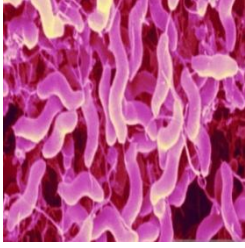


Figure 16. Image tridimensionnelle (3D) générée par ordinateur de *Campylobacter jejuni*

II.6.3. Campylobacteriose

Campylobacter jejuni (Figure 16) est un bâtonnet courbé Gram-négatif trouvé dans le tube digestif d'animaux. Des études avec des poulets, des dindes, des bovins ont montré que les 50 à 100% de ces animaux excrètent *C. jejuni*. Ces bactéries peuvent également être mises aux humains par des aliments ou de l'eau contaminés par contact avec les animaux infectés.

La période d'incubation est de 2 à 10 jours. *C.jejuni* envahit l'épithélium de l'intestin grêle causant une inflammation et sécrète également une exotoxine qui est similaire du point de vue antigénique à la toxine cholérique. Les symptômes comprennent une diarrhée, une fièvre élevée, une inflammation importante de l'intestin accompagnée d'ulcération et de selles sanguinolentes. Le diagnostic en laboratoire est basé sur une culture dans une atmosphère réduite en O₂ et enrichie en CO₂. La guérison est spontanée et le traitement d'appoint est la restitution de liquides et d'électrolytes. L'érythromycine ou les quinolones sont employées dans les cas graves. La guérison survient après 5 à 8 jours. La prévention et le contrôle impliquent une bonne hygiène personnelle et des précautions au cours de la manipulation des aliments, incluant la pasteurisation du lait et une cuisson suffisante de la volaille.

II.6.4. Aeromonas

Les *Aeromonas* sont des germes psychrophiles aquatiques. On peut les rencontrer également dans l'intestin de l'homme et des animaux. L'espèce *Aeromonas salmonicida* est parasite des poissons. Ils peuvent contaminer divers produits (viandes, poissons, volailles, lait, eau) et sont exceptionnellement agents de gastro-entérites avec diarrhée, douleurs abdominales et fièvre.

II.6.5. Plesiomonas

Plesiomonas (espèce principale : *Plesiomonas shigelloides*, parfois classée *Aeromonas shigelloides*) est une bactérie aquatique proche des *Aeromonas* qui peut également donner des gastro-entérites à partir d'eau ou de coquillage : elle possède une entérotoxine atypique et la production d'autres agents toxiques (hémolysine, endotoxines, etc.) est suspectée

II.6.6. Pectinatus

Les *Pectinatus* sont des bâtonnets incurvés mobiles (les flagelles émanent d'un seul côté du corps cellulaire), Gram négatif, donc de morphologie proche des vibrions, qui sont anaérobies stricts. Ils fermentent les sucres en acides (acide acétique, propionique, succinique et traces d'acide lactique provenant de la fermentation du glucose) et sont des contaminants de la bière.

II. 7. Actinobactéries

II.7.1. Généralités

Les actinobactéries sont des bactéries Gram+, mais qui parfois se colorent difficilement. Elles sont asporulées, c'est-à-dire qu'elles ne forment pas d'endospores thermorésistantes. Elles ont, selon les espèces, des formes bacillaires irrégulières, des structures de type ou d'apparence mycéliens avec ramifications. Certaines espèces forment des conidies appelées spores mais qui

n'ont pas la même signification biologiques que les endospores. Ces bactéries sont souvent aérobies, quelquefois anaérobies, leur catalase est positive. Quelques bactéries pathogènes appartiennent à ce groupe.

Les principaux genres rencontrés en industrie alimentaire sont :

- *Propionibacterium* ;
- Bactéries Corynéformes ;
- *Streptomyces* et ;
- *Mycobacterium*.

II.7.2. *Propionibacterium*

Les *Propionibacterium* sont des bacilles (Figure 17) Gram+, asporulés, immobiles et de forme irrégulière. En milieu aéré, les cellules sont allongées, renflées en massue, branchées en apparence. Leur arrangement est irrégulier avec des formes anguleuses. En milieu anaérobie, les cellules se présentent sous forme de bâtonnets courts d'un aspect proche des streptocoques. Les *Propionibacterium* sont catalase+, micro-aérophiles ou anaérobies mais relativement aérotolestants en raison de leur catalase. Il se développent lentement sur les milieux gélosés. Les colonies sont parfois pigmentées. Le pH favorable est la neutralité. Toutes les souches se développent à 30°C. La croissance est possible dans les milieux biliés et salés. Le métabolisme est de type fermentaire : les glucides sont attaqués avec production de CO₂, d'acide acétique et propénoïque.

Ce genre regroupe de nombreuses espèces dont certaines sont parasites, parfois pathogènes et n'interviennent pas dans l'alimentation (espèces du groupe *acnés* parfois classées dans le genre *Corynebacterium*) et d'autre saprophytes, rencontrées fréquemment dans les produits laitiers. Ces dernières espèces sont utilisées en fromagerie : elles sont responsables de l'ouverture des fromages à pâte pressée cuite (gruyère, emmenthal) en fermentant l'acide lactique en acide propénoïque et en CO₂ (*Propionibacterium shermanii*). Certaines propionibactéries jouent aussi un rôle important dans le rumen des ruminants.

II.7.3. Bactéries corynéformes saprophytes

Il s'agit des bactéries présentant des caractères proches du genre *Corynebacterium* (Figure 18). Les germes de ce groupe intéressant l'industrie alimentaire appartiennent essentiellement aux genres :

Arthrobacter, *Brevibacterium*, *Caseobacter*, *Cellulomonas*, *Corynebacterium*, *Microbacterium*, *Rarobacter*, etc.

Ils font partie pour la plupart de la flore « banale » Gram+. Les bactéries corynéformes sont des bacilles Gram+, asporulés, non acido-alcool-résistants, de forme et de coloration généralement irrégulières. Ils sont fréquemment renflés en massue, et leur arrangement est irrégulier, en palissade, en lettres chinoises d'aspect. Ils sont catalase+ et généralement aérobies facultatifs. Il s'agit d'espèces saprophytes fréquentes comme contaminants banaux et habituellement non pathogènes. L'espèce pathogène *Corynebacterium*



Figure 17. Image tridimensionnelle (3D) générée par ordinateur de *Propionibacterium*



Figure 18 Image tridimensionnelle (3D) générée par ordinateur de *Corynebacterium*

diphtheriae n'a pratiquement aucun rapport avec l'alimentation, bien que quelques rares cas de contamination alimentaire par le lait cru aient été décrits (cette souche est toxigène et provoque la diphtérie, infection membraneuse de la sphère rhinopharyngée). Certaines espèces jouent un rôle non négligeable dans l'industrie fromagère, en particulier celles appartenant aux genres *Brevibacterium* (constituant de la morge, protéolytique, pigmenté en orange) et *Caseobacter*. *Microbacterium* est aussi rencontré fréquemment dans les produits laitiers.

L'espèce *Corynebacterium pyogenes* peut être responsable de mammites chez la vache : cette espèce possède une hémolysine. Le genre *Rarobacter* est rencontré dans les industries de boissons alcoolisées : il provoque la lyse des levures.

Le genre *Kurthia* est constitué de bacilles réguliers, aérobies stricts, catalase+ : on peut le rencontrer comme contaminant de produits carnés. Il peut être inclus dans ce groupe. Rappelons que *Listeria* et *Erysipelothrix* sont également considérés parfois comme des genres « corynéformes ».

II.7.4. *Streptomyces*

Quelques espèces du genre *Streptomyces* (Figure 19) peuvent intervenir en alimentation. Ce sont des bactéries saprophytes du sol, Gram+, asporulées, apparaissant sous forme de filaments ramifiés portant des conidies en chaînes parfois très longues. Elles sont aérobies et à métabolisme fortement oxydatif. Leur température optimale est de 25°C à 35°C, leur pH optimal de 6,5 à 8 ; les colonies sont de grandes taille, souvent pigmentées et d'aspect fongique ; le développement est généralement lent sur gélose nutritive ordinaire (15 jours). Les *Streptomyces* peuvent se développer dans certains aliments et causer des odeurs et goûts désagréables. Ils sont faiblement protéolytiques et ne sont pas pathogènes. On les rencontre parfois dans l'eau des citernes ou retenues d'eau d'alimentation, où ils donnent un goût de terre dû à la géosmine ou au méthyl-isobornéol, et quelquefois sur les poissons.

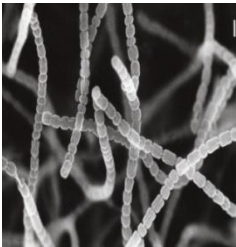


Figure 19. Image tridimensionnelle (3D) générée par ordinateur de *Streptomyces*

II.7.5. *Mycobacterium*

Ce sont des bactéries Gram+, immobiles, avec des éléments renflés et pratiquement jamais de ramification. Ils sont alcalo-acido-résistants. Les mycobactéries sont aérobies. Leur croissance est faible, généralement lente, parfois impossible sur les milieux de culture ordinaires. Certaines mycobactéries, en particulier les pathogènes, nécessitent l'emploi de milieux de culture spécifiques.

Il existe des espèces saprophytes n'intervenant pas dans l'alimentation et quelques espèces pathogènes qui peuvent être transmises par certains aliments : viandes, lait cru (la contamination se fait généralement par voie aérienne).

Il s'agit essentiellement des espèces de *Mycobacterium tuberculosis* (Figure 20) et *Mycobacterium bovis*, responsables de la tuberculose, maladie grave atteignant le système lymphatique, pulmonaire et/ou osseux. Leur propriété



Figure 20. Image tridimensionnelle (3D) générée par ordinateur de *Mycobacterium*

d'alcalo-acido-résistance, liés à la présence d'acides mycoliques, de cires et de « cord factor », sert de base à la méthode généralement employée pour leur recherche présomptive dans les produits alimentaires, et en particulier dans le lait cru. Cette propriété est mise en évidence par coloration spécifique d'un frottis préparé à partir de l'aliment : dans le cas du lait, il est préparé à partir d'un culôt de centrifugation.

Des gastro-entérites (vomissements, diarrhée, crampes abdominales) provoqués par des *Actinomyces* ont été décrites à partir de consommation de gibier (très rare).

II.8. Brucelles

II.8.1. Généralités



Figure 21. Image tridimensionnelle (3D) générée par ordinateur de *Brucella*

Selon le manuel de sécurité du laboratoire « WHO » de l'OMS (Anon, 1993 a) et selon les normes AFNOR X42 -040, la brucellose fait partie du groupe de risque III.

Les micro-organismes appartenant à cette classe représentent une menace réelle pour le personnel de laboratoire et présentent un bas niveau de risque pour la communauté.

Ce degré de risque varie avec la virulence du micro-organisme (*B. melitensis* et *B. suis* sont les plus dangereuses pour l'homme et selon le nombre de bactéries dans le prélèvement. La *Brucella* est un germe aérobic strict se présentant sous forme de petits coccobacilles à Gram négatif (Figure 21), immobiles non capsulés. La croissance à 35 °C sur milieu gélosé est lente (48 h environ pour avoir des colonies). L'étude des caractères métaboliques est très spécifique utilisant des tests propres à cette bactérie (uréase, lysotypie...)

La brucellose est l'une des maladies les plus facilement acquises au laboratoire ; afin d'éviter toute contagion, il est indispensable de prendre certaines mesures et précautions pour une manipulation sans risque.

II.8.2. Définition de la brucellose

La brucellose est une pathologie qui a plusieurs noms :

- fièvre méditerranéenne ;
- fièvre de malte ;
- fièvre ondulante ;
- mélitococcie.

C'est une anthrozoonose transmise à partir de diverses espèces animales à l'homme qui est accidentel, soit par voie cutané-muqueuse (contact avec un animal infecté ou par un objet contaminé) soit par voie digestive (ingestion d'aliments contaminés tels produits lactés, fromages...)

Certaines professions sont particulièrement exposées tels que les agriculteurs, les éleveurs, les vétérinaires, personnel des abattoirs et des laboratoires.

La survenue de la brucellose chez l'homme dépend en grande partie du réservoir animal et la plus forte incidence d'infection chez l'homme a lieu si l'infection existe chez le mouton et la chèvre.

Brucella fait partie des agents potentiels de Bioterrorisme.

II.8.3. Mode de transmission à l'homme

- Contact direct

Par ingestion d'aliments contaminés (lait cru, fromage frais de fabrication artisanal...).

- Contact indirect

Pénétration du germe par voie cutanée ou muqueuse favorisée par des blessures ou des excoriations) avec des animaux malades par les carcasses, produits d'avortement (placenta, sécrétions vaginales) ou encore par contact accidentel au laboratoire avec des prélèvements.

Inhalation de poussière de litière, d'aérosols contaminés dans un laboratoire, un abattoir ou une étable.

II.8.4. Physiopathologie de la brucellose

La brucellose est une septicémie d'origine lymphatique. Elle pénètre l'organisme par plusieurs voies : cutanée, digestive ou respiratoire, puis gagne par voie lymphatique le premier relais ganglionnaire et s'y multiplie.

Elle essaime par voie lymphatique et sanguine pour coloniser les organes ayant une trame réticulo-endothéliale importante (ganglions, moelle osseuse, foie, rate).

La répartition des décharges bactériennes se traduit par une fièvre ondulante. Des localisations ostéo-articulaires, glandulaires, hépatospléniques ou neuroméningées peuvent survenir et continuer à évoluer pendant la phase subaigüe. Ces germes sont phagocytés plus ou moins rapidement par les macrophages puis détruits avec libération d'antigènes et d'endotoxine.

Ce sont des parasites intra cellulaires facultatifs du système réticulohistiocytaire (splénomégalie, hépatomégalie). Il y a réponse immunitaire par production d'anticorps permettant le sérodiagnostic de la maladie.

Leur rôle protecteur semble réel mais secondaire par rapport à l'immunité cellulaire.

L'immunité à médiation cellulaire est essentielle pour la défense de l'organisme contre l'infection.

Les lymphocytes T renforcent l'activité bactéricide des macrophages qui détruisent les brucellas au sein d'un granulome spécifique.

II.8.5. Signes cliniques de la brucellose selon le type

Après une incubation de 1 à 4 semaines (inoculation conjonctival, pharyngé, cutanée), diffusion lymphatique vers les ganglions avec multiplication puis essaimage dans la circulation générale avec septicémie,

- Brucellose aigue septicémique, est caractérisée par la fièvre ondulante sudoro-algique de début insidieux associée de myalgies, d'asthénie et d'arthralgie.
- Brucellose sub aigue focalisée, avec apparition de foyers infectieux unique ou multiples tels que l'atteinte ostéo articulaire

(spondylodiscite), neuroméningées, endocardites, orchépididymite et hépatosplénique.

- **Brucellose chronique**, caractérisé par une symptomatologie générale type asthénie avec ou non poly-algie.

II.8.6. Etiologie bactérienne

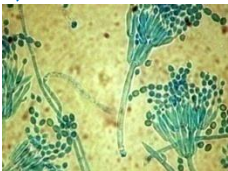
Le genre *Brucella* comprend six espèces sur la base des critères culturels, métaboliques et antigéniques :

- *Brucella melitensis* (1.2.3 Biovars), trouvée chez la chèvre et le mouton ;
- *Brucella abortus* (1.2.3.4.5.6.9), touche les bovins ;
- *Brucella suis* (1.2.3.4.5), trouvé chez le porc et le lièvre ;
- *Brucella canis* trouvée chez le chien ;
- *Brucella ovis* chez les ovins ;
- *Brucella neotomae* chez les animaux sauvages (chevreuil, caribou, renne).

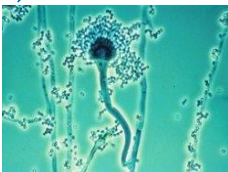
Les quatre premières espèces sont pathogènes chez l'homme.

II. 9. Moisissures

a) *Penicillium*



b) *Aspergillus*



c) *Mucor*



d) *Fusarium*



e) *Rhizopus*



Figure 22. Observation microscopique des champignons de a-e. (×40)

Les Fungi ou champignons (Figure 22) sont des micro-organismes eucaryotes qui font partie des protistes supérieurs. Les champignons sont des micro-organismes filamenteux, dont l'élément structural est l'hyphe, plusieurs hyphes formant le mycélium ou thalle.

Le règne des champignons est composé de quatre phylas :

- *Chytridiomycota*,
- *Zygomycota*,
- *Ascomycota* et
- *Basidiomycota* ;

Les champignons microscopiques ou mycètes comprennent :

- les levures, champignons unicellulaires ;
- les moisissures, champignons filamenteux ;

Les moisissures et les levures pouvant être utiles, nuisibles ou pathogènes, ils font donc, l'objet d'une recherche et d'un dénombrement dans les produits destinés à l'homme.

Les moisissures présentent des conditions physico-chimiques de culture plus larges que celles énoncées pour les champignons :

- Elles supportent des pH très acides ;
- Elle se développent dans une gamme de températures allant de 0 à 40 °C ou plus ;
- Elles tolèrent des teneurs en eau très faibles.

De surcroît, elles ont un métabolisme très actif, lié à leur production enzymatique variée et intense.

Les moisissures ubiquistes se rencontrent également sur les végétaux, les produits d'origine végétale, les viandes et les produits d'origine animale, les cadavres d'animaux et les déjections des animaux herbivores.

Dans l'industrie alimentaire, suivant les genres et espèces, les moisissures ont :

- **Un rôle utile** dans la fabrication de nombreux aliments (boisson, fromages, saucisses et saucissons....) ; des souches sélectionnées de moisissures sont utilisées dans la fabrication du requesort (*Penicillium roquefortii*) ou de Camembert (*Penicilium camembertii*). Des souches de *Penicillium chrysogenum*, divers: *Aspergillus*, *Geotrichum fragans*...mais aussi des levures (*Candida deformans*, *Rhodotorula rubra*.) constituent les ferments de surface de saucissons ;
- **Un rôle nuisible** avec l'altération de certains produits destinés à l'homme ou à l'animal, en provoquant des champignons d'aspects, en changeant les qualités organoleptiques (odeur, saveur) ou en modifiant des substance chimiques.
- Des moisissures telles que *Penicillium roquefortii*, *Rhizopus stolonifer*....peuvent provoquer l'altération du vin.
- De nombreuses moisissures peuvent produire des mycotoxines chez l'homme. En voici quelques exemples :
- *Aspergillus flavus*, produisent des aflatoxines entraînant hépatite et hépatome
- *Aspergillus fumigatus*, fabricant une mycotoxine à effet trémorgénique engendrant des tremblements nerveux et des paralysies ;
- *Fusarium* divers...., élaborent des trichothécènes provoquant une leucopénie (diminution du nombre de globules blancs ou leucocytes du sang), une inflammation du tractus digestif, des vomissements ; de plus des substances ont un effet immuno-dépresseur.

II.10. Levures

a) *Saccharomyces cerevisiae*



b) *Candida albicans*



Figure 23. Images 3D des levures

II. 10.1. Généralités

Comme les moisissures, les levures (Figure 23) sont des micro-organismes hétérotrophes, qui selon les espèces, ont un métabolisme exclusivement oxydatif ou bien un métabolisme mixte ; oxydatif et fermentaire. Elles sont aérobies et celles qui possèdent un métabolisme fermentaire ne peuvent se développer en anaérobiose stricte qu'en présence d'ergostérol et d'acide oléique (Tween 80). Elles sont en général, acidophiles et mésophiles, se multipliant à des pH compris entre 3 et 7.5 et à des températures optimales voisines de 25-28°C. Les levures assimilent de nombreux substrats carbonés. La voie oxydative conduit à la formation de CO₂ et H₂O. La voie fermentaire qui n'existe que chez certaines espèces conduit à la formation d'éthanol et de CO₂ (*Saccharomyces*).

II.10.2. Position taxonomique

La classification des levures est naturellement une partie intégrante de celle des champignons. Elle est basé au moins au départ sur les caractères morphologiques mais fait intervenir de nombreux caractères biochimiques.

Les levures appartiennent aux trois grands groupes :

01. Ascomycètes

02. Basidiomycètes

03. Deutéromycète

II.10.3. Espèces de levure utilisées en industries agroalimentaires

- **Saccharomyces (Ascomycètes)**: ce sont les levures alcooligènes des industries de fermentation (brasserie, vinification, cidrerie, boulangerie, diététique) ou des contaminants de produits sucrés ou alcoolisés. L'espèce type est la levure de boulangerie *S. cerevisiae*.
- **Kluyveromyces (Ascomycètes)**: ce sont des levures qui fermentent le lactose ; on les rencontre en fromagerie ; elles sont cultivées sur lactosérum pour donner des protéines (*K. lactis*, *K. fragilis*, etc.).
- **Hansenula, Debaromyces et Pichia (Ascomycètes)**: ces levures contaminent de nombreux aliments. *Pichia* et *Hansenula* oxydent des produits acides ou alcoolisés ; les *Debaromyces*, généralement halophiles, se rencontrent fréquemment en fromagerie, où elles participent à l'affinage, et dans certaines salaisons.
- **Hansemiospora (Ascomycètes)**: levure du vin participant au démarrage de la fermentation alcoolique.
- **Brettanomyces** : intervient dans des bières artisanales et parfois le vin.
- **Candida** : contient de nombreuses espèces : *Candida utilis (torula)* et *Candida tropicalis* sont utilisés pour la production de levures aliments.

II.10.4. Espèces de levure qui contaminent les denrées alimentaires .

- **Rhodotorula et Trichosporon**: ce sont des contaminants fréquents produits aussi bien végétaux qu'animaux. Certaines espèces de *Trichosporon* sont des psychrophiles.
- **Sporobolomyces**: ce sont des contaminants des denrées alimentaires.

Candida : des levures comme *C. lipolytica* cause des accidents en margarinerie et *C.pseudotropicalis*.

II.10.5. Effets

Les levures occupent une place essentielle dans l'industrie alimentaire :

- Elles participent à la fabrication de nombreux produits (brasserie, cidrerie, vinification, fromagerie) mais aussi à la valorisation des déchets agricoles et industriels et à la production des protéines. Leur rôle est fondamental dans les industries de fermentation : les levures transforment les substrats sucrés ou amyliques en produits riches en alcool (*Saccharomyces*, *Kluyveromyces*). Les levures participent également à l'affinage des fromages (*Debaryomyces*, etc.). Actuellement, des industries nouvelles utilisent les levures. Grâce à leurs possibilités métaboliques et à leur composition chimique qui les rend aptes à servir d'aliment (en particulier en alimentation animale), les levures sont les microorganismes idéaux pour la revalorisation de déchets agricoles et industriels et pour la fabrication de protéines d'appoint. La présence de levures est donc fréquente dans beaucoup d'aliments et de nombreux industriels sont amenés à les manipuler.
 - Parmi les levures, seuls quelques rares espèces (*Candida albicans*, *Cryptococcus neoformans*) sont 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 contaminants et agents de dégradation surtout dans les produits acides, sucrés ou alcoolisés d'origine végétale et/ou animale.

III.1. Diverses aspects de la microbiologie alimentaire

Il existe quatre catégories de micro-organismes importants dans les aliments :

- ✚ Les micro-organismes « utiles », qui vont apporter à la denrée des propriétés organoleptiques (arômes, acidité, texture) ou une meilleure conservation ;
- ✚ Les micro-organismes « d'altération » qui dégradent les propriétés organoleptiques de l'aliment ;
- ✚ Les micro-organismes « indicateurs d'hygiène », dont le faible niveau de concentration indique l'acceptabilité du procédé de production ;
- ✚ Les micro-organismes « pathogènes », susceptibles de provoquer une maladie chez le consommateur (par l'invasion des cellules et/ou la production de toxines).

III.1.1. Origine des microorganismes des aliments

Les microorganismes des aliments ont trois origines possibles :

- ✚ Ils préexistent dans la matière brute de l'aliment avant toute manipulation ou transformation.
- ✚ Ils sont apportés accidentellement lors des manipulations ultérieures de l'aliment.
- ✚ Ils sont ajoutés volontairement.

➤ Préexistence avant transformation de la matière brute

Les aliments sont d'origine végétale ou animale. La flore normalement associée aux plantes et aux animaux est donc potentiellement présente. De plus, un apport microbien exogène est souvent inévitable (environnement, contact, manipulations, etc.). D'autre part, les animaux comme les végétaux, peuvent être malades, et les microorganismes pathogènes responsables peuvent se retrouver dans l'aliment correspondant.

➤ Apport accidentel lors de la transformation de la matière brute

- Le matériel utilisé pour les transformations (couteaux, broyeurs) ainsi que les eaux de lavage ne sont pas stériles. Ils apportent donc des microorganismes et cela d'autant plus qu'ils ne seront pas propres.
- Les hommes manipulant les aliments peuvent apporter eux aussi de nombreux microorganismes (par l'intermédiaire de la peau qui est souvent en contact direct avec l'aliment ; par l'intermédiaire de la bouche « éternuements » mais aussi la classique dégustation des plats par les cuisiniers prélevant l'aliments avec les doigts et par l'intermédiaire des vêtements).
- Le problème des infections ou rhino-pharyngées et de l'hygiène générale du personnel est donc crucial.
- Le problème des porteurs sains ou personnes hébergeant comme commensaux des bactéries pathogènes ou potentiellement pathogènes, est beaucoup plus délicat.
- L'air peut aussi transmettre des microorganismes par l'intermédiaire de poussières par exemple.
- Les insectes comme les mouches, forment des vecteurs très dangereux de microorganismes ; imaginons où va la mouche qui s'est posée sur une crotte de chien.

➤ Addition volontaire

Certains aliments, comme les yaourts sontensemencés par des « ferments », le plus souvent des bactéries lactiques.

III.1.2. Microorganismes utiles

Les microorganismes sont utilisés dans diverses industries et en particulier dans l'industrie alimentaire dans des buts variés: obtention de produits fermentés, de cultures microbiennes ou de métabolites comme additifs alimentaires, épuration, etc.

III.1.2.1. Fermentations

La fermentation transforme le produit en modifiant dans un sens favorable ses propriétés. La valeur alimentaire peut être améliorée par destruction de substances toxiques ou indigestes, par apparition de facteurs de croissance d'origine microbienne (vitamines, acides aminés) ou de manière plus générale par une modification favorable de la composition chimique. Les qualités organoleptiques peuvent être modifiées par transformation ou apparition de goûts et d'odeurs dans un sens favorable. Enfin, l'aptitude à la conservation peut être meilleure grâce à la stabilisation du produit par élimination de substance aptes au développement de contaminants indésirables, par « effet de masse » de la flore technologique sur l'implantation de contaminants, ou par production de substance à effets stabilisant ou antimicrobien (acides, alcools, produits générateurs de phénomène d'antibiose, etc.). Les transformations en cause ne sont pas spécifiques : la même réaction peut selon le produit, les conditions d'apparition ou même le goût du consommateur, se révéler nuisible pour la qualité d'un produit ou utile dans le cadre d'une fermentation. Suivant la nature des produits issus de la réaction enzymatique, on distingue plusieurs types de fermentation (Tableau 4) :

Tableau 4. Types de fermentations microbiennes

Type de fermentation	Microorganismes	Utilisation
Fermentation alcoolique (éthanol et CO ₂)	Levures (Saccharomyces)	La fabrication du vin, de la bière, du cidre et de diverses boissons fermentées.
Fermentations lactiques (acide lactique)	Bactéries lactiques	La fabrication des fromages et yaourts, mais aussi de nombreux produits végétaux fermentés (ensilages, choucroute, olives, cornichons, etc.) et la charcuterie (saucisson, etc.).
Fermentation acétique (acide acétique)	Acétobacter	La fabrication du vinaigre.
Fermentation hétéro lactique avec production de gaz	Bactéries lactiques	La formation de cavités de gaz qui sont très importantes pour certains types de fromage. Exemple : dans les fromages à pâte persillée, c'est dans les cavités que se développera le <i>Penicillium roqueforti</i> .
Fermentation hétéro lactique sans production de gaz	<i>Bifidobacterium</i>	Utilisation comme additif dans certains yaourts en raison de leur action bénéfique sur le milieu intestinal (probiotique).
Fermentation mixte (alcool-acide) (éthanol + acide acétique)	Levure+bactéries acétiques	Dans le cas du cacao, la fermentation des fèves est due à des levures qui détruisent le mucilage et fabriquent l'éthanol qui va servir aux bactéries acétiques. L'acide acétique formé est un élément essentiel de la transformation du contenu de la fève.
Fermentation butyrique (acide butyrique)	<i>Clostridium butyricum</i>	L'acide butyrique est responsable de l'odeur putride et du goût piquant de certains fromages à pâte cuite.
Fermentation propionique (acide propionique et acide éthanoïque)	<i>Propionibacterium</i>	L'acide propionique (ou propanoïque) et l'acide éthanoïque sont responsables de la saveur des fromages à pâte cuite et le gaz carbonique responsable de l'ouverture de ces fromages (Comté, Gruyère et Emmental).
Fermentation malolactique (acide malique)	<i>Oenococcus oeni</i>	Elle est recherchée dans la vinification des vins rouges et au contraire évitée pour les vins blancs et rosés pour lesquels on souhaite garder l'acidité apportée par l'acide malique.

III.1.2.2. Autres utilisations microbiennes dans le domaine alimentaire

Divers produits utilisables comme additifs alimentaires sont fabriqués par fermentation microbienne, et de nombreuses enzymes d'origine microbienne sont utilisables au cours de la transformation alimentaire, le [tableau 5](#), représente autres utilisations microbienne dans le domaine alimentaire.

Tableau 5. Autres utilisations microbiennes.

Activité	Microorganismes utiles	Utilisation
Activité enzymatique	Levures, microcoques, bactéries protéolytiques et moisissures.	Transformations postérieures à la fermentation (au cours de l'affinage) : protéases, amylases, lipases, pectinases, etc.
Production de biomasse	Levures (diététiques), ferments lactiques,	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation alimentaire directe • Comme source de métabolites • Pour production des levains.
Production de métabolites	Bactéries, levures, moisissures, algues, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Additifs alimentaires</u> <p>Acides aminés : la lysine, l'acide aspartique, la thréonine ou l'acide glutamique, etc.</p> <p>Acides organiques : l'acide lactique, acétique, citrique, fumarique, gluconique, etc.</p> <p>Facteurs de croissance (vitamines) : l'acide ascorbique (vitamine C), la riboflavine (vitamine B2), la cyanocobalamine (vitamine B12), la vitamine D, etc.)</p> <p>Antibiotiques (agents de conservation alimentaire) : Subtiline, tylosine, nisine, pimarcine, etc.</p> <p>Agents de sapidité et des matières grasses ;</p> <p>Polysaccharides : alginates, pullulane, glucanes, etc.</p>

III.1.2.3. Mise en œuvre des fermentations industrielles

➤ Déclenchement des fermentations

Il existe différentes possibilités :

01. Déclenchement spontané

Les matières alimentaires brutes contiennent une flore originelle qui peut entraîner le démarrage spontané d'une fermentation. Pour que celle-ci soit efficace, il faut que la flore initiale du type souhaité soit abondante et en bon état physiologique. Il faut également que les conditions nutritionnelles et physico-chimiques de l'aliment lui soient favorables. Ce type de mise en œuvre se rencontre en œnologie, en fromagerie, plus rarement en brasserie. Il faut noter que ce type de fermentation met en œuvre des flore complexes. Lorsque le déroulement est correct, il en découle un produit riche en composés secondaires qui sont favorables aux qualités organoleptiques. Cependant, la possibilité d'une mauvaise orientation fermentaire et donc d'un accident de fabrication, doit être envisagée.

02. Utilisation d'un ensemencement empirique

Le déclenchement de la fermentation peut être obtenu en ajoutant un élément ou un additif contenant la flore souhaitée. Ainsi, par exemple, dans la fabrication traditionnelle du fromage de Roquefort, l'apport de *Penicillium* était obtenu par ajout du pain moisi. La fermentation des fèves de cacao est améliorée en les couvrant de feuilles de bananier qui sont naturellement riches en levures. Souvent, c'est la cuverie utilisée pour une fermentation qui constitue le réservoir de microorganismes. Les accidents de fabrication sont minimisés par rapport au cas précédent.

03. Utilisation d'une fermentation antérieure ou d'un levain

Il s'agit de proliférer du développement de la flore souhaitée dans une fermentation pour ensemercer la suivante. Cette technique est utilisée en fromagerie, en brasserie, en boulangerie. Le démarrage de l'activité microbienne est favorisée. Cependant, si un trop grand nombre d'opérations se succèdent, on peut craindre la dégénérescence du levain, qui se manifeste par une activité plus faible et par l'augmentation des contaminants « sauvages ».

04. Ensemencement par une culture pure

Cette méthode permet l'utilisation d'une souche sélectionnée (il peut s'agir d'un mélange). Lorsque l'aliment contient une flore naturelle, il peut y avoir compétition avec celle-ci. Cependant l'apport massif d'un micro-organisme favorise son implantation (effet de masse). Ce type de fermentation donne un produit de qualité en général régulière et permet de limiter les accidents de fabrication. Dans certains cas, l'ensemencement est réalisé sur un produit stérilisé ou pasteurisé, ce qui permet une meilleure standardisation et limite encore plus les risques, mais la qualité organoleptique est plus faible. Ces types d'ensemencement sont actuellement les plus fréquents dans les fabrications industrielles : fromagerie, brasserie, etc.

➤ Orientation et contrôle des fermentations

Lorsque une fermentation met en œuvre des flores complexes, les différents micro-organismes interviennent successivement au cours du temps, soit spontanément, soit en fonctions du processus, il y a succession des flores. Lors d'une évolution spontanée c'est la flore la plus performante est la mieux adaptée. qui se développe en premier, ce développement aboutissant généralement à une modification des paramètres du milieu. Ceux-ci peuvent devenir défavorables pour cette flore et au contraire favorable pour une autre qui prend alors le relais et ainsi de suite. Le cours d'une fermentation industrielle va être modifiée par les traitements technologiques et par la modification des conditions physico-chimiques au niveau du produit ou de l'environnement. Le choix des traitements et l'ajustement des conditions permettent le contrôle du déroulement du processus microbien. Par exemple en fromagerie, différents facteurs concourent à l'orientation des fabrications en favorisant ou non une flore donnée : brassage, salage, pressage, cuisson, anaérobiose (fromage de grand volume, enrobage, etc.). le choix d'une flore initiale pourra conditionner l'implantation d'une flore plus tardive. Ainsi, dans les fromages « persillés », le développement d'une flore hétéro-lactique crée les cavités, où après diffusion de l'oxygène, se développeront les moisissures.

Divers microorganismes peuvent provoquer des altérations des aliments. D'ailleurs, certains microorganismes utiles dans les uns peuvent être nuisibles dans d'autres.

- Les bactéries lactiques utiles au yaourt et nuisibles au lait.
- Les moisissures utiles aux fromages bleus mais nuisibles dans la plupart des autres aliments.

Pour être nuisibles, les microorganismes doivent être en grand nombre pour que l'altération soit perceptible.

Les microorganismes les plus souvent rencontrés appartiennent aux genres : *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Moraxella*, *Alcaligenes*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Clostridium sporogones* et *Flavobacterium*.

La diversité des altérations dépend :

- De la nature de l'aliment ;
- Du niveau de contamination initiale ;
- Des propriétés et des exigences des microorganismes ;
- De la variété des microorganismes en cause qui provoquent l'altération :
 - ✚ Par leur présence physique.
 - ✚ Par leurs métabolismes.
- Des facteurs agissant sur le développement : pH, a_w , T°...etc.
- Des traitements technologiques

III.1.3.1. Autres causes d'altération alimentaire

Les altérations alimentaires sont dues aux plusieurs agressions (Tableau 6):

Tableau 6. Causes d'altération alimentaire

Agressions externes ,	Agressions internes ,
<p>01- Par des organismes vivants ,</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Micro-organismes : bactéries, levures, moisissures. <input type="checkbox"/> Insectes : mouches, blattes, charançon, fourmis ... <input type="checkbox"/> Rongeurs : rats, souris <p>02- Par des agents physiques ou chimiques ,</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Chaleur <input type="checkbox"/> Froid, gel <input type="checkbox"/> Humidité <input type="checkbox"/> Sécheresse <input type="checkbox"/> Choc <input type="checkbox"/> Oxygène de l'air 	<p>Elles sont dues aux enzymes des aliments :</p> <p>ce sont des substances présentes naturellement dans un produit animal ou végétal qui, après sa mort, vont entraîner rapidement sa dégradation.</p>

III.1.3.2. Altérations provoquées par les microorganismes

- **Altération de l'aspect ou de la texture**

- Pigmentation anormale (rose pour *Serratia*, noir ou verdâtre pour les moisissures) ;
- Film visqueux ou irisé (dû aux bactéries aérobies strictes dans les aliments conservés à l'état libre) ;
- Dégagement gazeux anormaux ;
- Viscosité anormale (gélification par les bactéries capsulées ou par production du dextrane à partir de saccharose par *Leuconostoc*).

Ces altérations peuvent ne pas provoquer de toxicité mais rendent le produit peu appétissant ou invendable.

- **Altération du goût et de l'odeur**

- Odeur de moisi (moisissures, actinomycétales) ;
- Goût de rance du au 2,3 butane dione produit par *Leuconostoc*.
- Présence d'H₂S ou d'indole (entérobactéries).

- **Altération des qualités nutritives**

-Par l'apparition de substances toxiques ;

-Par destruction des molécules nutritives (comme par exemple les acides aminés essentiels) d'où une diminution de la valeur nutritive de l'aliment.

III.1.3.3. Types des bactéries d'altération

Les bactéries d'altération dégradent le goût, l'odeur et l'aspect d'un produit. Parmi celles-ci on distingue:

- **Les bactéries protéolytiques**, qui attaquent les protéines des aliments. Les aliments les plus riches en protéines comme la viande, les œufs, les poissons et les produits laitiers, prennent en se dégradant une odeur caractéristique « d'œuf pourri ».
- **Les bactéries lipolytiques**, qui dégradent les matières grasses des huiles, beurres, mais aussi des poissons et des viandes, leur conférant une odeur rance.
- **Les bactéries cellulolytiques et glucidolytiques**, qui attaquent les sucres des fruits et légumes: la cellulose et les amidons sont hydrolysés, provoquant le ramollissement puis la pourriture des aliments.

L'altération de l'aliment est perceptible à des taux supérieurs à 10^7 bactéries/g et 10^5 levures /g.

La modification des glucides. La modification des glucides s'effectue de plusieurs façons (**Tableau 7 et 8**):

- L'hydrolyse des polysaccharides, ce qui affecte la texture du produit ;
- Les fermentations alcoolique, lactique, butyrique, gluconique, le cycle de Krebs, etc.
- La formation des acides carboxyliques, d'alcools, de cétones, d'aldéhydes, des odeurs et des saveurs.

La modification des protéines. Elles s'effectue de diverses façons (**Tableau 9**):

- L'hydrolyse des protéines en peptides et acides aminés affectant ainsi la texture du produit ;
- Les réactions de décarboxylation conduisant à la formation d'amines ;
- Les réactions de désamination conduisant à la formation d'acides organiques $+NH_3$;
- La fermentation putride et la putréfaction résultent de ces différentes réactions.

La modification des lipides : Elle est la résultante de deux types de réactions :

- La lipolyse qui conduit à la libération des acides gras.
- L'oxydation des lipides conduisent au phénomène de rancissement.

N.B :

Pour une modification donnée, il n'est pas toujours possible de déterminer son origine. Les modifications de couleur peuvent être dues à l'oxydation, mais aussi à l'intervention de bactéries.(L'oxydation des A.G insaturés peut être de nature purement chimiques ou l'effet de lipoxydases tissulaires ou microbiennes).

Tableau 7. Exemples de réactions indésirables catalysées par la présence d'enzymes microbiennes dans les boissons riches en sucres et en acides aminés

Substrats	Organismes responsables	Produits de la réaction
Glucose, fructose, saccharose.	<i>Lactobacillus spp.</i>	Acide lactique+ acide acétique+ CO ₂
Glucose	<i>Acetobacter spp</i>	Acide gluconique
Fructose	<i>Lactobacillus brevis</i>	Mannitol+ac.lac+ ac.acétique+ CO ₂
Maltose, Saccharose	<i>Leuconostoc mesenteroides, E. coli.</i>	Amylose+glucose+fructose
Saccharose	<i>Leuconostoc mesenteroides, Bacillus subtilis, Streptococcus viscosum.</i>	Dextrane+ Fructose+ Levane+ Glucose.
Ethanol	<i>Acetobacter spp</i>	Acide acétique+ H ⁺
Acide citrique	<i>Acetobacter spp</i>	Acide lactique+acide acétique+ CO ₂
Acide citrique	<i>Bacterium succinum</i>	Acide succinique+ 2CO ₂
Acide malique	<i>Leuconostoc mesenteroides, Lactobacillus spp.</i>	Acide lactique+ CO ₂
Acide tartrique	<i>Lactobacillus plantarum</i>	Acide lactique+ CO ₂

Tableau 8. Types de dégradations associées au métabolisme des glucides dans divers aliments et boissons.

Aliments	Altération produite	Agnts responsable
Jus de fruits	Acidifications, CO ₂ , alcool, acide butyrique, acétification, dépôt visqueux.	<i>Lactobacillus spp, Levures, Clostridium spp, Acetobacter spp, Leuconostoc spp.</i>
Vins	Acétification, trouble, dépôt visqueux.	<i>Acetobacter spp, Acetomonas spp, Leuconostoc spp.</i>
Bières	Dégagement gazeux, trouble visqueux.	<i>Saccharomyces spp.</i>
Lait	Acidification lactique, acétique, alcoolique, CO ₂ .	<i>Lactobacillus spp, Streptococcus spp, Lactobacillus spp, Micrococcus spp, Microbacterium lacticum.</i>
Jus de canne	Inversion, acidification et fermentation divers, viscosité.	<i>Saccharomyces spp. Bacillus spp, Clostridium spp. Torulopsis spp.</i>
Pain	Surissement, goût de moisi, Filage (mie visqueuse, filandreuse).	<i>Rhizopus oryzae, Mucor, Aspergillus spp, Bacillus mesentiricus.</i>
Céréales	Altération de couleur, Germe brun, odeur de moisi	<i>Rhizopus nigricans, Asp spp, Serratia spp, Penicillium spp.</i>
Fruits divers	Inversion, acidification et fermentations diverses, viscosité.	<i>Streptococcus faecalis, Penicillium spp.</i>
Oranges, agrumes	Pourriture noire, Pourriture molle.	<i>Alternaria spp, Penicillium spp ;</i>
Légumes	Pourriture, surissement.	<i>Bacillus polymyxa.</i>

Tableau 9. Altération liées à la dégradation d'origine microbienne des protéines contenues dans certains aliments.

Aliments	Altération produite	Agnts responsable
----------	---------------------	-------------------

Lait	Coagulation de la caséine, Odeur, rancissement, putréfaction, cadavérine.	<i>Bacillus subtilis, Bacillus cereus, Proteus vulgaricus, Pseudomonas putrefaciens, Streptococcus liquefaciens, Streptococcus lactis.</i>
Viandes et produits carnés	Surface visqueuse, liquéfaction, dégradation du collagène, de l'élastine et de la kératine, putréfaction et production de putrescine, de calavérine, d'indole, d'amines, de H ₂ S, de NH ₃ .	<i>Clostridium perfringens, Clostridium welchii, Clostridium histolyticum, Clostridium sporogenes, Flavobacterium elastoleticum, Aeromonas spp, Proteus spp, Pseudomonas spp.</i>
Poissons et produits dérivés	Odeurs suspecte, triméthylamine, diméthylamine, indole, cadavérine, putrescine, H ₂ S, surface visqueuse, arêtes avariées	<i>Achromobacter spp, Pseudomonas spp, Flavobacterium spp, Micrococcus spp, Sarcina spp, Proteus spp, Bacillus spp</i>
Volailles	Liquéfaction, Os avariés, Rancissement.	<i>Clostridium aerofoetidum, Cl. bifermentans, Cl. hystolyticum, Cl. putrefaciens, Cl. perfringens, pseudomonas fluorescens, vibrio costicolus. Micrococcus candidus, M. luteus.</i>
Œufs	Jaune gélatineux et noir ; Albumen gris, fluorescences verdâtres, pourriture noire, brune, jaune foncé du jaune, consistance visqueuse ou farineuse du jaune et de l'albumen, infection fongique.	<i>Aeromonas liquefaciens, Clostridium sporogenes, Clostridium putreficum, Cladosporium herbarum, Proteus vulgaris, Pseudomonas fluorescens, Cloaca spp, Penicillium glaucum.</i>
Fromages	Moisissures	<i>Penicillium glaucum, Penicillium expansump.</i>

III.1.4. Micro-organismes « marqueurs » ou témoins de la qualité hygiénique

Pour mesurer la pollution microbienne d'un aliment il existe des indicateurs d'hygiène qui sont appliqués dans les industries agro-alimentaires.

Certaines bactéries ou groupes bactériens mis en évidence par des tests spécifiques peuvent être considérés comme témoins de contamination d'origine humaine ou fécale et indiquer la présence possible de pathogènes d'écologie similaire. Ainsi, en est-il par exemple de *Staphylococcus aureus*, témoin de contamination cutano-muqueuse ; d'*Escherichia coli*, du groupe des coliformes fécaux regroupant notamment *E.coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, des enterocoques, témoins de contamination fécale.

- **La FMAT (flore mésophile aérobie totale).** Dans le cas des aliments, ces microorganismes totaux sont en général dénommés « microorganismes aérobies » et parfois « germes aérobies mésophiles », ils doivent être recherchés et dénombrés à 30°C sauf, dans de rares exception. Le nombre de microorganismes est exprimé en nombre de germes par g ou ml d'aliment. La non conformité de la flore aérobie à 30°C peut avoir une origine due à une manque d'hygiène, à un traitement thermique insuffisant ou à des conditions de conservation défectueuses. Le dénombrement de cette flore ne doit pas être interprété comme donnant une indication sur la salubrité des produits : des valeurs élevées n'indiquent pas nécessairement la présence de pathogènes ou, surtout, des valeurs encore basses peuvent accompagner la présence de pathogènes à des niveaux dangereux
- D'autres flores peuvent être intéressantes à dénombrer dans la mesure où elles fournissent une indication sur la présence et le nombre de micro-organismes dotés de fortes activités métaboliques et susceptibles d'influencer l'aptitude à la conservation, à certains usages ou le maintien des

propriétés organoleptiques de certains produits : flore psychrotrophe, flore thermophiles, flore lipolytique, flore protéolytique, dénombrement des levures, des moisissures...

- **La recherche de staphylocoques à coagulase positive.** des aliments peuvent être contaminés lors de leur production ou de leur préparation par des souches de *Staphylococcus aureus* productrices d'entérotoxines ; la consommation de tels aliments crus ou cuits va déclencher une intoxication qui peut concerner une personne (TIA) ou un groupe de personnes dans une collectivité (TIAC). Cette intoxication alimentaire va s'exprimer très rapidement (2 à 4 heures en moyenne) par la survenue rapide de nausées, de douleurs abdominales, de vomissements répétés et de diarrhées qui vont durer 24 à 48 heures.
- **La recherche des *Enterobacteriaceae* (Coliformes, Salmonella, E.coli) :** D'autres groupes bactériens témoignent d'une contamination en cours de process et plus particulièrement d'une recontamination après traitement thermique. Tel est le cas du groupe des coliformes totaux incluant non seulement des espèces communes dans les fèces humaines ou animales, *E.coli* par exemple, mais surtout des microorganismes ubiquistes tels que *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Erwinia*, *Aeromonas*. Peut aussi avoir cette signification le groupe des *Enterobacteriaceae*. L'identification et le dénombrement des coliformes totaux ou des *Enterobacteriaceae* repose sur l'utilisation de techniques spécifiques. Leur présence ne doit pas être corrélée à une éventuelle contamination d'origine fécale : elle indique seulement un défaut de maîtrise de l'hygiène générale.
- **La recherche de *Clostridia* sulfitoréducteurs :** ils regroupent des espèces de *Clostridia* telles que *Clostridium perfringens*, *Cl.bifermens*, *Cl.sporogenes*, *Cl.novyi*, *Cl.fallax*, *Cl.septicum*..., ils sont ainsi dénombrés car ils sont capables de réduire les sulfites (sulfites de sodium, par exemple, présents dans le milieu de culture en sulfures ; ceux-ci se combinent avec un sel de fer pour donner du sulfure de fer noir. Les colonies noires entourées d'un halo noir sont caractéristiques de bactéries sulfétoreductrices (ou anérobies sulfétoréducteurs), de *Clostridium* ou de *Cl.perfringens* après confirmation selon les conditions de recherche.

Tous ces germes sont des germes indicateurs de contamination fécale : dans les eaux depuis des décennies et dans certains aliments.

III.1.5. Micro-organismes pathogènes

Les microorganismes peuvent être les causes des maladies. L'aliment peut être porteur de quelques germes pathogènes, qui vont se multiplier dans le corps humain et causer des maladies (fièvre typhoïde, choléra, dysenterie). L'aliment peut être le milieu où se multiplie une grande quantité de microorganismes qui, après, sont consommés avec l'aliment (intoxication alimentaire paratyphoïde). L'aliment peut être le milieu de multiplication de micro-organismes, qui sécrètent des substances toxiques (botulisme ; intoxication par les staphylocoques)

III.1.5.1. Différentes catégories de maladies liées à la consommation des aliments

- **Les maladies infectieuses.** sont dues à la prolifération du germe au détriment du tissu de l'hôte.
- **Les toxi-infections.** Les germes (10^6 - 10^9) produisent des substances toxiques spécifiques dont le pouvoir toxique dépend de la charge microbienne.
- **Les intoxications :** sont dues à des exotoxines produites par les micro-organismes ; dans ces cas, la présence des germes eux-mêmes dans l'organisme de l'hôte n'est pas indispensable.

III.1.5.2. Principaux micro-organismes pathogènes d'origine alimentaire

	Type : Maladie infectieuse
	Maladie : Diarrhée dont la durée moyenne est de 2-3 jours.

<i>Campylobacter jejuni</i>	Sources : aliments d'origine animale (lait, volaille, viande).				
	Caractéristiques :				
	T _{min}	T _{max}	T _{opt}	pH optimal	a _w
	30°C	45°C	42°C	5.0-8.0	Très sensibles à la dessiccation
	Valeurs de D et z : 4,5 minutes (50°C), 6-8°C.				
Maladies infectieuses : Dose infectieuse > 5x10 ² cellules vivantes.					

<i>Listeria monocytogenes</i>	Type : Maladie infectieuse (Listériose)				
	Maladie : elle provoque la méningite et aussi dans certains cas une septécimie périnatale.				
	Sources : le germe est transmis par les aliments tels que le lait cru, les produits laitiers non ou mal pasteurisés, les viandes et les poissons.				
	Caractéristiques :				
	T _{min}	T _{max}	T _{opt}	pH optimal	a _{w-min}
	0°C	45°C	30°C	5.0-9.0	survit dans les conditions sèches.
Valeurs D : 17s (64°C) , 8s(68°C).					
Valeur de z : 6,6°C.					

<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Type : Maladie infectieuse				
	Maladie : La tuberculose.				
	Sources : elle est transmise par le lait cru (sécrétion des malades).				
	Caractéristiques : <i>Mycobacterium tuberculosis</i> est inactivée par la pasteurisation.				
	Valeurs D : 15 min (60°C).				
Valeur de z : 6°C.					

<i>Shigella dysenteriae</i>	Type : Maladie infectieuse (Shigellose)				
	Maladie : Elle se manifeste par la dysentérie, la diarrhée et la fièvre. Ses symptômes apparaissent après 10h.				
	Sources : Elle est couramment transmise par les aliments crus tels que les légumes et les salades.				
	Caractéristiques :				
	T _{min}	T _{max}	T _{opt}		
5°C	45°C	37°C			

	Type : Toxi-infection et intoxication				
	Maladie : Diarrhée abondante après 10 jours (toxi-infection) ou vomissements très violents après 30 min-5h (intoxication)				

<i>Bacillus cereus</i>	Sources : <i>B.cereus</i> est transmise par les produits à base de viande et de volaille, les puddings et les mets à base de riz cuit à l'avance				
	Caractéristiques :				
	T _{min}	T _{max}	T _{opt}	pH optimal	a _w min
	10°C	40°C	30°C	5.0-9.0	0,91-0,95
	Bacillus cereus produit deux types de toxines : l'entérotoxine protéique (facteur diarrhéique) et la toxine polypeptidique (facteur émétique).				
	Valeurs de D : 0,04 minutes (121°C, pH 6,8).				
	Valeurs de z : 9-10°C.				
Toxi-infection : Dose infectieuse > 10 ⁸ cellules vivantes.					

<i>Clostridium perfringens</i>	Type : Toxi-infection et intoxication				
	Maladie : Diarrhée, nausée, vomissements ; les symptômes apparaissent après 8-24 h.				
	Sources : les aliments d'origine animale (viande, poissons).				
	Caractéristiques :				
	T _{min}	T _{max}	T _{opt}	pH optimal	a _w min
	15°C	50°C	40°C	5.8-8.0	0,93
	anaérobie strict.				
	le nombre de bactéries végétatives diminue dans les aliments réfrigérés ou congelés.				
	Valeurs de D : 10 minutes (115°C).				
La toxine de Clostridium perfringens n'est pas thermostable.					
Toxi-infection : Dose minimale > 10 ⁸ cellules vivantes. tg= 40 min.					

<i>Escherichia coli</i> entéropathogène	Type : Toxi-infection.				
	Maladie : On distingue des différents types pathogènes :				
	EPEC : <i>E.coli</i> entéropathogène.				
	ETEC : <i>E.coli</i> entérotoxique (responsable de gastro-entérite et de la « diarrhée des voyageurs » (dose minimale > 10 ⁸ cellules vivantes).				
	EIEC : <i>E.coli</i> entéro-invasive.				
	EHEC : <i>E.coli</i> entéro-hémorragique (notamment <i>E.coli</i> O157:H7)				
	Sources : Elle est transmise par les aliments tels les viandes mal cuites, les produits laitiers crus et les pâtisseries.				
	Caractéristiques :				
	T _{min}	T _{max}	T _{opt}	pH optimal	
	10°C	40°C	37°C	4.4-9.0	
N.B. : <i>E. Coli</i> et ses entérotoxines sont sensibles à la chaleur.					
Type : Toxi-infection (endotoxine) et maladie infectieuse.					
Maladie :					
<ul style="list-style-type: none"> • Gastro-entérite et fièvre internationale par toxi-infection . 					

<i>Salmonelles</i>	Les symptômes apparaissent après 12–24 h, et peuvent persister pendant plusieurs semaines. Dose minimale >10 ⁵ cellules vivantes.				
	<ul style="list-style-type: none"> • Fièvre (para) typhoïdes (maladie infectieuse) : Symptôme : nausée, mal de tête, fièvre élevée et persistente (quelques semaines), malaise. Les symptômes apparaissent après 7–28 jours selon la dose d'infection. Causée par de faibles doses de <i>Salmonella typhi</i> et <i>S.paratyphi</i> .				
	Sources : Viandes, volailles, poissons, oeufs, cycles d'infection par les eaux de surface et les effluents, les ustensiles, les mains.				
	Caractéristiques :				
	T _{min}	T _{max}	T _{opt}	pH optimal	a _{w min}
	5°C	46°C	37°C	5.0–9.0	0,94
	Endotoxines : thermostable				
	Valeurs de D : 1,5–4,5 minutes (63°C, pH 6,8).				
Valeurs de z : 4–5°C.					
Toxi-infection : Dose infectieuse > 10 ⁸ cellules vivantes/g. t _g :25 min.					

<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Type : Toxi-infection.				
	Maladie : elle provoque une gastro-entérite accompagné de nausées et de vomissements. Les symptômes apparaissent après 72h.C'est une maladie particulièrement grave chez les personnes atteintes de troubles hépatiques.				
	Sources : elle est principalement transmise par les produits de la mer (poisson, crevettes, etc).				
	Caractéristiques :				
	T _{min}	T _{max}	T _{opt}	pH _{min}	a _{w min}
	5°C	43°C	37°C	5	nécessite 3–9% NaCl.
	tg : 12 min.				
	Remarque : <i>Vibrio parahaemolyticus</i> est une espèce halophile que l'on trouve donc dans les produits salés.				
Maladie infectieuse : ≥10 ⁵ /g.					

<i>Yersinia enterocolitica</i>	Type : Toxi-infection.				
	Maladie : Elle se manifeste par la gastro-entérite, la fièvre, la méningite, la polyarthrite. Les signes cliniques disparaissent au bout de 48 h.				
	Sources : Le germe est transmis par les aliments crus, en particulier le lait et les produits laitiers, les viandes et les volailles.				
	Caractéristiques :				
	T _{min}	T _{max}		pH optimal	
	0°C	45°C		5.0–9.0	
Dose de toxi-infection : >10 ⁹ /g.					

<i>Clostridium botulinum</i>	Type : Intoxication (botulisme) ; il existe 8 sérotypes (A, B, C ₁ , C ₂ , D, E, F, G)				
	Maladie : Les toxines inhibent l'activation de l'acétylcholine au niveau des synapses neuro-musculaires, conduisant à des troubles nerveux, des vomissements, des crampes abdominales, des troubles respiratoires, la paralysie et la mort du sujet si aucun soin adéquat ne lui est apporté. Les symptômes apparaissent après 12 à 72 h. La botulisme est un des poisons les plus violents connus. DL50= 10 ⁻⁸ – 10 ⁻⁹ g par Kg de poids corporel.				
	Sources : De nombreux aliments présentent de très grands risques de contamination, notamment les conserves qui subissent un traitement thermique insuffisant. C'est le cas des conserves de viande, de poisson et de légumes. Elle n'est cependant pas transmise par les aliments acides.				
	Caractéristiques :				
		T _{min}	T _{max}	pH _{min}	a _{w min}
	A, B, C	10°C	48°C	4,6	0,94
	B, E, F	3°C	45°C	5,0	0,97
	<i>Clostridium botulinum</i> est une bactérie anaérobie stricte.				
	Valeur D : Type A et D : 1min. 113°C. Type C : 1min. 100°C. Type E : 1min. 80°C.				
	Valeur de z : 7-12°C				
Stérilisation : 12 D					
Remarque : La germination des spores et la prolifération du germe peuvent être inhibées par addition de nitrite (agent conservateur) à des doses supérieures à 20 ppm. Les toxines sont aussi dénaturées par les chauffages à 80°C pendant 10 min, ou à 100°C pendant 5s.					

<i>Staphylococcus aureus</i>	Type : Intoxication				
	Maladie : Gastro-entérite, vomissements ; les symptômes sont rapides (2-4h) ; le rétablissement est rapide (1-2 jours). c'est une cause majeure d'intoxication alimentaire.				
	Sources : Les aliments à forte teneur en sel ou en sucre (fromage, viande, volaille et poisson séchés). <i>S.aureus</i> révèle une contamination après la transformation .				
	Caractéristiques :				
	T _{min}	T _{max}	T _{opt}	pH _{optimal}	a _{w min}
	6°C	45°C	35°C	4,0-9,0	0,86
	<i>S. aureus</i> produit plusieurs entérotoxines qui sont thermostables.				
	Valeurs de D : 7-20 minutes (63°C, pH 6,8).				
	Valeurs de z : 5-5,1 °C.				
	Intoxication : Dose toxique : 1-25 µg d'entérotoxine ; ce niveau faut ≥ 10 ⁶ /g cellules vivantes.				

Les virus	Type : Maladie virale.
	Maladie : Les virus transmis par les aliments provoquent des maladies telles que la diarrhée, l'hépatite et la poliomyélite. Les virus les plus importants sont Norwalk (NLV), rotavirus et hépatitis-A virus.
	Sources : Ils sont transmis par divers types d'aliments tels que le lait, l'eau, les coquillages, les fruits et les légumes.
	Caractéristiques : Les virus ne peuvent pas croître dans les aliments ; ils sont assez thermostables. Leur inactivation nécessite des températures > 70°C. Ils ne sont pas tous dénaturés par le séchage ; ils sont résistants aux antibiotiques ; les maladies peuvent être provoquées par des dizaines de particules.

Les mycotoxines	Ce sont les métabolites de divers champignons parasites et moisissures. Elles sont produites lorsque des moisissures se développent sur des graines ou leurs tourteaux.
	Fumonisines : Elles sont produites par le développement de <i>Fusarium moniliforme</i> , surtout dans les produits d'origine tropicale, par exemple, le maïs. Selon leur structure chimique on connaît 06 types (A ₁ , A ₂ , B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄). Les fumonisines sont cytotoxiques et cancérigènes. Chez l'homme on a constaté le cancer de l'oesophage, chez les chevaux la leuco-encéphalomalacie fatale, et chez les porcs d'œdème pulmonaire. Comme les fumonisines sont solubles dans l'eau on a pu réduire la contamination du maïs par la mouture et l'extraction en phase humide.
	Ochratoxine : C'est une mycotoxine produite par le développement d' <i>Aspergillus ochraceus</i> et <i>Penicillium cytopium</i> sur les scéréales, les fièvres, l'arachide. Elle cause la dégradation des reins et l'entéritis.
	Stérigmatocystine : Cette mycotoxine est produite par le développement d' <i>Aspergillus versicolor</i> , et <i>Aspergillus flavus</i> sur les graines de café et les grains de blé. Elle est cancérigène.
	Patuline : Elle est produite par le développement de moisissures du genre <i>Aspergillus</i> sur des pommes. Elle cause des œdèmes et des hémorragies.

D_T : est le temps nécessaire pour réduire la population d'un facteur 10 à la température T. Cette valeur est valable pour un micro-organisme donné. Cette valeur D dépend de l'environnement du microorganisme.
Z : facteur de réduction décimale ; il s'agit d'un paramètre complémentaire de D _T ; c'est l'écart de température exprimé en °C permettant de faire varier D _T d'un facteur 10.

Les maladies diarrhéiques constituent un des problèmes de santé les plus importants dans les pays en voie de développement. Elles conduisent souvent à :

- une issue fatale ;
- une alimentation réduite ;

- la perte d'éléments nutritifs ou leur mauvaise absorption ;
- le déclenchement ou l'aggravation de la malnutrition.

le respect des règles d'hygiène dans chaque maillon de la chaîne de fabrication, l'entretien des locaux et du matériel dans un bon état de propreté, le respect des consignes de traitement (chauffage, pasteurisation, stérilisation, etc.) et de conservation, sont indispensables pour sauvegarder la santé des consommateurs.

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

III.2.1. Facteurs du milieu influençant la flore d'altération des aliments (pH, A_w , pression osmotique, température, salinité, etc.).

Les facteurs les plus importants qui influencent la croissance des micro-organismes dans les aliments sont : le pH, la température, l' a_w et le potentiel d'oxydoréduction.

Dans les aliments, les germes de contamination auront un sort différent sous l'influence de nombreux facteurs :

- **Les facteurs intrinsèques** tenant aux caractères physico-chimiques de la substance qui les héberge tels que l' A_w , le pH, la pression osmotique, la salinité, le potentiel redox, ou à leur nature-même, c'est à dire leur composition biochimique et aux substances antimicrobiennes qu'ils peuvent contenir ;
- **Les facteurs extrinsèques** c'est à dire extérieurs à l'aliment tels que la température de conservation, l'humidité relative et les gaz environnants ou atmosphère de conservation

III.2.1.1. Facteurs intrinsèques

2.1.1.1. Activité de l'eau

- **Définition**

Dans un milieu (un aliment par exemple) l'eau se répartit de la façon suivante :

- Eau de solvatation, qui sert à la dissolution des solutés ;
- Eau d'imbibition retenue par les forces de capillarité (on la rencontre dans l'hydratation des colloïdes) ;
- Eau adsorbée à la surface de la phase solide ;
- Eau de constitution ;
- Eau libre .

L'activité de l'eau (A_w) représente l'eau disponible (eau libre) pour la réalisation des réactions métaboliques, en particulier pour les réactions enzymatiques. En effet, pour être actives, les macromolécules doivent être dans un état hydraté.

L'activité de l'eau est définie comme le rapport de la pression partielle de vapeur d'eau d'une solution ou d'un aliment (P^o) sur la pression partielle de l'eau pure (P) à la même température : $A_w = P^o/P$.

L'activité de l'eau est inversement proportionnelle à la pression osmotique d'un composé. Ainsi, elle est affectée par la présence plus ou moins importante de sels ou de sucres dissous dans l'eau (**Tableau 10**) .

Tableau 10. Valeur d'activité de l'eau en présence de NaCl et aux températures négatives.

A_w	Concentration en NaCl (P/V)	Température de l'eau	A_w	Concentration en NaCl (P/V)	Température de l'eau
0.995	0.9%		0.90	16.5%	

0.99	1.75%		0.88	19.5%	-15°C
0.98	3.5%		0.86	22.3%	-20°C
0.96	7%		0.823		-25°C
0.952		-5°C	0.784		-30°C
0.94	10.3%		0.750		-40°C
0.92	13.5%	-10°C	0.680		-50°C

La congélation entraîne également une diminution de l'activité de l'eau dans la mesure où l'eau libre est piégée sous forme de glace. Les valeurs de l' A_w sont comprises entre 0 et 1, la valeur de $A_w = 1$ étant réservée à l'eau pure.

- **Action sur les microorganismes**

Dans les cellules microbiennes, l'eau joue le rôle du solvant des substances nécessaires à la vie cellulaire (sels minéraux, substances organiques, gaz), elle permet l'ionisation des substances dissoutes, elle sert de transporteur de différentes substances chimiques. Elle participe à la polarisation des membranes et maintient la turgescence de la cellule, elle participe à de nombreuses réactions enzymatiques (hydrolyse, oxydoréduction) et assure l'hydratation et donc l'activité des macromolécules (protéines, acides nucléiques). Lorsque l'activité de l'eau est trop proche de 1, les microorganismes ont du mal à se développer car ils peuvent dépenser une énergie importante pour expulser l'eau des cellules. Une activité de l'eau faible entraîne une déshydratation intracellulaire et une perturbation importante du métabolisme qui va jusqu'à s'arrêter. Les valeurs d'activité de l'eau incompatibles avec la croissance entraînent progressivement une destruction des populations microbiennes.

Le [tableau 11](#) donne les valeurs d' A_w tolérées par différents microorganismes. De façon générale, la grande majorité des bactéries (plus de 95% des espèces) ne se développent plus en dessous de 0.95.

Certains microorganismes de ce tableau sont relativement résistants. Ce sont les xérophiles que l'on peut séparer en deux groupes : les microorganismes halophiles qui ont besoin de sel (NaCl) pour leur croissance ; cette concentration peut varier de 1 à 6% pour les faiblement halophiles, jusque 15 à 30% pour les bactéries halophiles extrêmes (*Halobacterium halobium*) ; les halotolérantes acceptent des concentrations modérées de sels mais non obligatoires pour leur croissance (ex : *Staphylococcus aureus*). Les microorganismes osmophiles supportent des concentrations modérées de sucres mais non obligatoires pour leur croissance.

Tableau 11. A_w minimale de croissance selon le type bactérien

Limite d' A_w	Microorganismes inhibés à la limite inférieure d' A_w	Exemples d'aliments se situant dans l'intervalle correspondant d' A_w
-----------------	---	---

0.99-0.95	<i>Pseudomonas, Proteus, Shigella, Escherichia, Klebsiella, Vibrio, Alcaligenes, Citrobacter, Serratia, Clostridium botulinum</i> et <i>C. perferingens</i> .	Très divers : lait, saucisses, aliments contenant jusqu'à 7% de sel.
0.95-0.91	<i>Salmonella, Vibrio, Serratia, Lactobacillus</i> , la plupart des coques, <i>Bacillus</i> , des levures : <i>Rhodotorula, Pichia</i>	Aliments à 55% de saccharose ou à 12% de NaCl Fromage à pâte pressée.
0.91-0.87	<i>Micrococcus</i> , la majorité des levures, <i>Cladosporium</i> .	Aliments à 65% de saccharose ou à 15% de NaCl. Sauxisson sec, fromage de type parmesan.
0.87-0.80	<i>Staphylococcus aureus</i> (0.83), <i>Saccharomyces</i> , la majorité des moisissures.	Farine, riz, légumes secs...renferment 15 à 17 % d'humidité. Cake, lait concentré sucré (0.83).
0.80-0.75	<i>Halobacterium, Aspergillus</i>	Aliments à 26% de NaCl (à saturation) pâte d'amande, confiture et marmelades.
0.75-0.65	Moisissures xérophiles	Flocons d'avoine
0.65-0.60	Levure osmophile (<i>S. rouxii</i>) quelques moisissures (<i>Monascus</i>)	Fruits déshydratés renfermant 15 à 20% d'humidité, caramel mou et bonbon.
0.50	Limite inférieure de prolifération microbienne.	Pâtes alimentaires, épices avec environ 10% d'humidité.
0.40		œufs entiers en poudre.
0.30		Biscuits, chapelure, croûte du pain
0.20		Lait entier en poudre, légumes déshydratés, flocons de maïs.

2.1.1.2. pH

Il est égal au cologarithme de la concentration en H_3O^+ , il détermine l'acidité ou la basicité d'un milieu et peut varier entre zéro et 14 ([Tableau 12](#)).

La majorité des bactéries se multiplient préférentiellement à des pH voisins de la neutralité (6.5 à 7.5), mais elles sont capables de se croître dans une large gamme de pH. Par exemple, *Escherichia coli* peut se multiplier à des pH compris entre 4.4 et 9.0.

Certaines bactéries qualifiées d'acidophiles préfèrent un pH acide. C'est le cas des lactobacilles dont le pH optimal est de 6. Parmi les bactéries n'ayant pas d'intérêt en microbiologie alimentaire, on peut citer *Thermoplasma acidophilum* dont le pH est compris entre 0.8 et 3.

Au contraire, les bactéries basophiles (ou alcalophiles) préfèrent des pH alcalins. Ainsi, le pH optimal est de pour *Vibrio cholerae*. La majorité des espèces bactériennes (plus de 95%) sont inhibées à un pH inférieur ou égal à 4.5. Les levures et les moisissures sont en générales acidophiles.

Tableau 12. Zones de pH de développement pour certains groupes microbiens

Zone de pH	Microorganismes
<3.7	Moisissures, Levures, Acetobacter, de nombreuses bactéries lactiques

4.5-3.7	Les mêmes + <i>Bacillus spp.</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Acetobacter</i> , <i>Clostridium tyrobutyricum</i> , <i>C. pasteurianum</i> .
5.3-4.5	Les mêmes + coliformes, certaines Gram-oxydatives, <i>Clostridium</i> divers, <i>Staphylococcus</i> .
6.5-5.3	Les mêmes + <i>Aeromonas</i> , <i>Pseudomonas</i> , toutes les entérobactéries, <i>Micrococcus</i> , <i>Bacillus stearothermophilus</i> , <i>Staphylocoques</i>
Neutre (7.0 à 6.5)	Les mêmes + <i>Microbacterium</i> ., <i>Vibrio</i> , <i>Sarcina</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Moraxella</i>
Alcalin (>7.0)	prédominance des Gram-

Au cours des cultures, le métabolisme bactérien engendre des composés acides ou basiques qui sont susceptibles d'entraver la multiplication bactérienne. Cette propriété est utilisée et contrôlée dans la fabrication des produits fermentés comme les yaourts ou le saucisson sec.

Les ions H_3O^+ ne peuvent pas pénétrer dans la cellule sans l'aide de perméases, leur forte concentration dans le milieu n'est donc pas directement responsable du pH intracellulaire. Par contre les acides faibles, à pH bas sont en grande partie sous forme non dissociée et peuvent pénétrer passivement dans la cellule où ils vont modifier le pH interne. Le pH du milieu est cependant important car il sera d'autant plus difficile pour la cellule d'évacuer ses protons vers l'extérieur si la concentration externe est déjà très élevée.

Lorsqu'on s'éloigne du pH optimal, les réactions du métabolisme sont affectées. Les enzymes endocellulaires ont un pH optimal pour une ionisation particulière de leurs sites actifs, et de mêmes les acides nucléiques doivent être à l'état ionisé (polyanions) pour assurer la synthèse des protéines. Une modification du pH entraîne le changement de l'ionisation et le ralentissement, voire l'arrêt, du métabolisme.

2.1.1.3. Potentiel d'oxydoréduction

Ce potentiel est mesuré grâce à un couple d'électrodes, une de référence à hydrogène et l'autre de mesure. Il est d'autant plus élevé (valeurs positifs) que le milieu est oxydant, tandis que les valeurs négatives correspondent à un milieu réducteur. L'oxygène est l'oxydant le plus courant dans le milieu environnant et c'est lui qui est la plupart du temps responsable du potentiel d'oxydoréduction.

Lors de leur métabolisme énergétique, les microorganismes aérobies ou aéro-anaérobies utilisent l'oxygène moléculaire comme accepteur final d'électrons. Ils ont obligatoirement besoin d'oxygène libre et sont qualifiés d'aérobies. L'oxygène, en captant des électrons, sera réduit en espèces toxiques pour la cellule.

Au contraire, les bactéries anaérobies ne peuvent se multiplier et survivre qu'en l'absence d'oxygène. Elles utilisent d'autres composés organiques ou minéraux comme accepteur finaux d'électrons (acide pyruvique par exemple) et ne possèdent pas les enzymes de détoxication.

2.1.1.4. Facteurs nutritifs

2.1.1.4. 1. Substances antimicrobiennes

Le principe d'activité des agents antimicrobiens consiste en :

- L'inhibition de la synthèse des acides nucléiques, des protéines ou de la paroi cellulaire ;
- L'altération des membranes ;
- L'interférence avec certains processus métaboliques essentiels.
- Certains sont microbiocides, d'autres sont microbiostatiques, la différence étant due surtout à la concentration utilisée.

2.1.1.4. 2. Constituants naturels

Les substances antimicrobiennes existent dans les aliments d'origine végétale et animale ;

- **Aliments d'origine végétale .**
 - les huiles essentielles
 - les tanins
 - les glucosides
 - les glycoprotéines (lectines)
- **Aliments d'origine animale .**
 - les immunoglobulines
 - les facteurs qui captent le fer comme le lactoferrine

Les agents antimicrobiens ont une action spécifique, qui ne protège pas systématiquement des altérations à cause des phénomènes de résistance surtout dans les aliments d'origine animale qui sont labiles.

- Lacténines du lait, conalbumine, ovomucoïde et avidine de l'œuf.
- Lysozymes
- Facteurs non identifiés du miel qu'on appelle des inhibines
- Facteurs peu connus d'activité faible et passagère existant dans la viande fraîche de mammifères, la viande de volaille et les aliments d'origine marine.

Ces principes antimicrobiens sont facilement neutralisés comme c'est le cas du blanc d'œuf. De ce fait, leur rôle est pratiquement limité.

2.1.1.4. 3. Facteurs produits lors du stockage

Des facteurs antimicrobiens peuvent se former dans les aliments pendant leur stockage. Les sirops concentrés, brunis au cours de leur conservation, sont protégés de la fermentation par certains dérivés du furfural. De même, les composés de Maillard (résultants de la combinaison des acides aminés avec les sucres=amines) engendrent un brunissement et empêchent la croissance bactérienne. Ainsi, le processus d'altération chimique au cours du stockage entraîne une certaine altération de la flore.

III.2.1.2. Facteurs extrinsèques

III.2.1.2.1. Température et humidité . La température et l'humidité relative sont des facteurs extrinsèques importants dans l'avarie d'un aliment. Les microbes se développent plus rapidement dans une humidité relative élevée, même à basse température (particulièrement lorsque les réfrigérateurs n'ont pas de dégivrage). Quand des aliments secs sont mis à l'humidité, ils absorbent l'eau en surface, ce qui permet finalement une croissance microbienne.

III.2.1.2.2. Atmosphère de conservation. L'atmosphère, dans laquelle la nourriture est conservée, est également importante. C'est particulièrement vrai pour des aliments emballés sous plastique, car beaucoup de films plastique permettent une diffusion de l'oxygène qui favorise la croissance de micro-organismes superficiels. Un excès de CO₂ peut réduire le pH de la solution inhibant ainsi le développement microbien. La conservation de la viande dans une atmosphère riche en CO₂ inhibe les bactéries Gram-négatives, en produisant une population dominée par les Lactobacilles.

L'atmosphère où l'aliment est stocké a de l'importance ; cette observation a suscité la mise au point de l'emballage sous atmosphère modifiée. L'utilisation moderne de matériaux d'emballage rétrécissant et de la technologie du vide rend possible un emballage des aliments sous atmosphères contrôlée. Si le contenu en dioxyde de carbone de l'atmosphère qui entoure l'aliment est de 60% ou plus, les mycètes inducteurs de pourriture ne pourront pas croître même si l'oxygène est présent à faibles concentrations. On laisse un peu d'oxygène parce que, s'il est complètement éliminé, le psychrophile *Clostridium gasigenes* peut se développer. Cet organisme peut produire du gaz en 14 jours à 2°C, ce qui fait gonfler les

emballages. Ces procédés d'emballage sous atmosphère modifiée, tout en contribuant à la conservation de l'aliment, entraînent aussi un glissement dans la structure générale de la communauté microbienne, qui passent des organismes Gram-négatifs aux Gram-positifs.

III.2.2. Facteurs induits par l'effet de traitement physiques et physico-chimiques.

Bien que de nombreux micro-organismes soient bénéfiques et nécessaires au bien être humain, les activités microbiennes peuvent avoir des conséquences indésirables telles que la détérioration de la nourriture et la maladie. En conséquence, il est essentiel de pouvoir détruire les micro-organismes ou d'inhiber leur développement de manière à minimiser leurs effets destructeurs. Le but est double :

- Il faut détruire les agents pathogènes et empêcher leur transmission et,
- Il faut réduire ou éliminer les micro-organismes responsables de la contamination de l'eau, des aliments et d'autres substances.

III.2.2.1. Définition de termes fréquemment utilisés

La terminologie est particulièrement importante lorsqu'il est question du contrôle des microorganismes parce que des mots, tels que désinfectant et antiseptique, sont souvent utilisés de manière inappropriée. La confusion augmente encore car, selon les conditions, un traitement particulier peut soit inhiber la croissance soit tuer.

La capacité de contrôler les populations microbiennes sur des objets inanimés, comme la vaisselle et les instrument chirurgicaux, est d'une importance pratique considérable. Il est parfois nécessaire d'éliminer tous les micro-organismes d'un objet alors qu'une destruction partielle de la population microbienne peut être suffisante dans d'autres situations.

- **Stérilisation**

La stérilisation du latin sterilis, stéril, infécond est le procédé par lequel on détruit ou on élimine d'un objet ou d'un habitat toutes les cellules vivantes, les spores viables, les virus et les viroïdes. Un objet stérile est totalement exempt de micro-organismes, de spores, ou d'autres agents infectieux viables ; lorsqu'un agent chimique permet la stérilisation, on l'appelle un agent stérilisant. Par contraste,

- **Désinfection**

La désinfection est la destruction, l'inhibition ou l'élimination des micro-organismes potentiellement pathogènes. Les désinfectants sont des agents habituellement chimiques, normalement utilisés sur des objets inanimés. Un désinfectant ne stérilise pas nécessairement un objet parce qu'il peut encore laisser des spores viables et quelques micro-organismes

- **Décontamination**

La décontamination est étroitement associée à la désinfection. Par ce processus, la population microbienne est réduite à des niveaux considérés sans danger par les normes de santé publique. L'objet inanimé est ordinairement nettoyé et partiellement désinfecté. On utilise par exemple, des agents de décontamination pour nettoyer la vaisselle dans les restaurants.

Il est fréquemment nécessaire de contrôler les micro-organismes sur un tissu vivant par des agents chimiques.

- **Antiseptie**

L'antiseptie (du grec anti, contre et sepsis, putréfaction) est la prévention de l'infection par l'utilisation d'antiseptiques, des agents chimiques appliqués sur les tissus dans le but de détruire ou d'inhiber le développement de l'agent pathogène. Parce qu'ils ne doivent pas trop détruire le tissu hôte, les antiseptiques sont généralement moins toxiques que les désinfectants.

On emploie un suffixe particulier pour indiquer le type d'agent antimicrobien. Les substances destructrices d'organismes ont souvent **le suffixe-cide** (du Latin coedere, tuer) ; un germicide détruit les germes pathogènes (et de nombreux non pathogènes) mais pas nécessairement les endospores. Un désinfectant ou un agent antiseptique peut être particulièrement efficace contre un groupe spécifique d'organismes, dans ce cas, on l'appelle un bactéricide, un fongicide, un algicide ou un virucide.

D'autres substances chimiques ne tuent pas mais elles empêchent le développement. Leurs noms se terminent par **le suffixe-statique** (du grec statikos, provoquant une situation debout, s'arrêtant), par exemple : bactériostatique et fongistatique.

III.2.2.2. Conditions affectant l'efficacité de l'activité des agents antimicrobiens

La destruction des micro-organismes et l'inhibition du développement microbien ne sont pas choses simples car l'efficacité d'un agent antimicrobien (un agent qui tue les microorganismes et inhibe leur croissance) est affectée par au moins six facteurs.

- **La taille de la population** ; il faut plus longtemps pour détruire une population importante qu'une population plus petite.
- **La composition de la population** ; l'efficacité d'un agent varie fortement avec le type de microorganismes traité car les microorganismes varient fortement en sensibilité. Et les endospores bactériennes sont beaucoup plus résistantes à la plupart des agents antimicrobiens que les cellules végétatives.
- **La concentration ou l'intensité d'un agent antimicrobien** ; souvent mais pas toujours, plus un agent chimique est concentré ou plus un agent physique est intense, plus les microorganismes sont détruits rapidement. Généralement, l'effet de la concentration ou de l'intensité sur l'efficacité n'est pas linéaire. Par exemple l'éthanol à 70% est plus efficace que l'éthanol à 95%, car son activité s'accroît en présence d'eau.
- **La durée d'exposition**, plus longtemps une population est exposée à un agent germicide, plus nombreux sont les organismes tués.
- **La température**, un accroissement de la température à laquelle une substance chimique agit, augmente souvent son activité. On peut utiliser fréquemment une plus faible concentration de désinfectant ou d'un agent stérilisant à une température plus élevée.
- **L'environnement local**, la population à détruire ou à inhiber n'est pas isolée mais elle est soumise à des facteurs de l'environnement qui peuvent offrir une protection ou favoriser la destruction. Par exemple, comme la chaleur tue plus facilement à pH acide, la nourriture et les boissons acides tels que les fruits et les tomates, sont plus facilement pasteurisées que les denrées alimentaires plus neutres comme le lait. Un second facteur très important de l'environnement est la matière organique qui peut protéger les microorganismes contre la chaleur et les désinfectants chimiques. Les biofilms sont un bon exemple. La matière organique à la surface d'un biofilm va protéger les micro-organismes. De plus il sera difficile d'enlever le biofilm et ses organismes. Il peut être nécessaire de nettoyer un objet avant de le désinfecter ou de le stériliser.

III.2.2.3. Utilisation de méthodes physiques dans le contrôle

On utilise ordinairement la chaleur et d'autres agents physiques pour stériliser des objets comme on peut s'en rendre compte par l'utilisation courante de l'autoclave dans chaque laboratoire de microbiologie. Les quatre agents les plus fréquemment employés sont :

- **la chaleur (humide, sèche) ;**
- **les basses températures ;**

- **la filtration et ;**
- **les radiations.**
- L'efficacité de la destruction thermique est souvent indiquée par la durée thermique mortelle ou le temps de réduction décimale.
 - **La durée thermique mortelle (DTM)**, c'est le temps le plus court requis pour tuer tous les organismes d'une suspension microbienne à une température spécifique et dans des conditions déterminées.
 - **Le temps de réduction décimale ou valeur (D)**, est le temps requis pour tuer 90% des micro-organismes ou des spores dans un échantillon à une température spécifique
- Bien que le traitement par l'eau bouillante pendant 10 minutes tue les formes végétatives, il faut utiliser un autoclave pour détruire les endospores par chauffage à 121°C (1 bar de pression pendant 20 min).
- La chaleur humide tue en dégradant les acides nucléiques, en dégradant les acides nucléiques, en dénaturant les enzymes et les autres protéines et en détériorant les membranes cellulaires.
- On peut préserver les liquides thermosensibles par pasteurisation, en chauffant à 63°C pendant 30 minutes ou à 72°C pendant 15 secondes (flash-pasteurisation). Un chauffage à 140-150°C pour une à 3 secondes (stérilisation à température ultra-élevée) peut être aussi utilisé.
- On stérilise la verrerie et les autres objets thermostables par la chaleur sèche entre 160 et 170°C pendant 2 à 3 heures.
- La réfrigération et la congélation servent à contrôler la croissance et la multiplication des micro-organismes
- On peut éliminer les micro-organismes efficacement par filtration à travers des filtres épais ou des membranes filtrantes.
- Les hottes de sécurité biologiques munies de filtres particulaires de grande efficacité, stérilisent l'air par filtration
- On peut utiliser les radiations de courte longueur d'onde ou à haute énergie, les radiations ultraviolettes et ionisantes, pour stériliser les objets.

III.2.2.4. Utilisation d'agents chimiques dans le contrôle

- Les agents chimiques agissent habituellement comme désinfectants parce qu'ils ne peuvent détruire facilement les endospores bactériennes. L'efficacité d'un désinfectant dépend de la concentration, de la durée du traitement, de la température et de la présence de matière organiques.
- Les dérivés phénoliques et les alcools sont des désinfectants courants qui agissent par dénaturation des protéines et en détériorant les membranes cellulaires ;
- Les halogènes (Iode et chlore) tuent en oxydant les constituants cellulaires ; les protéines cellulaires peuvent également être iodées. L'iode est utilisé sous forme de teinture ou d'iodophore. On peut ajouter le chlore à l'eau sous forme de gaz, d'hydrochlorite ou de dérivé organique chloré
- Les métaux lourds sont plutôt des agents bactériostatiques. Ils sont utilisés dans des situations particulières telles que l'instillation de nitrates d'argent dans les yeux des nouveau-nés et l'utilisation du sulfates de cuivre dans les lacs et les piscines.
- On utilise souvent les détergents cationiques comme désinfectants et antiseptiques ; ils perturbent les membranes et dénaturent les protéines.

- Les aldéhydes, comme le formaldéhydes et le glutaraldéhydes, peuvent aussi bien stériliser que désinfecter car ils tuent les spores.
- Le gaz d'oxyde d'éthylène pénètre les emballages plastiques et détruit toute forme vivante en réagissant avec les protéines. Il est utilisé pour stériliser les matières thermosensibles emballées.
- Il y a différentes manières de déterminer l'efficacité de désinfectants parmi lesquelles : la méthode de coefficient phénol, la mesure des vitesses de destruction par les germicides, la méthode des « portes-germes » et le test en conditions réelles.

Références bibliographiques

- Ahmed Ghouini. **Nutrition appliquée à la santé publique**. Office des publications universitaire (OPU), 2016 (2^{ème} édi). P : 115. ISBN : 9789961018668.
- Camille Dellaras. **Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyse ou de contrôle sanitaire**. Tech & Doc-Medicale internationale.Lavoisier, 2007. P : 463. ISBN : 9782743009458.
- Henri Dupin. **Alimentation et nutrition humaines**. Esf Editeur, 1992. P : 1533. ISBN : 2710108925, 9782710108924.
- Jean-Paul Larpent. **Listeria**. Tech & Doc, Paris, 2000 (2^{ème} édi).P :157.ISBN :2743003820.
- Josef-Pierre Guiraud. **Microbiologie alimentaire**. Dunod, Paris,2003. P : 615. ISBN : 2100072595.
- Lansing M.Prescott, Jean .P. Harley, Donald Aklein. **Microbiologie**. De Boeck & Larcier.s.a.,2003 (2^{ème} édi). P :1101.ISBN : 2804142566.
- Laurient Surta, Michel Fedirighi, Jean-Louis Jouve. **Manuel de bactériologie alimentaire**. Polytechnica, Paris, 1998. P : 307. ISBN : 2840540568.
- Marlène Frénot, Elisabeth Vierling. **Science des aliments : Biochimie des aliments diététique du sujet bien portant**. Doin, Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine, 2001. P : 301 . ISBN :11591102.
- Naoual Ait Abdelouaheb. **Microbiologie alimentaire**. Office des publications universitaire (OPU), 2007 (2^{ème} édi). P : 147. ISBN : 9789961005187.

Glossaire

Anthropozoonose .	Une anthropozoonose (du grec anthropos = homme, zôon = animal, et nosos = maladie) est une maladie ou infection qui se transmet naturellement des animaux vertébrés à l'être humain. C'est une hémizoonose.
Arthralgie .	Une <i>arthralgie</i> est un terme médical générique désignant toutes les douleurs articulaires.
Asthénie .	L'asthénie est une fatigue anormale lorsqu'elle subsiste même après le repos (ou lorsqu'elle ne disparaît que partiellement). Elle provoque la sensation désagréable et pénible d'être incapable de mener à bien ses activités quotidiennes. La personne souffrant d'asthénie ressent ainsi un déséquilibre entre ce qu'elle doit accomplir et ce qu'elle se sent capable de faire.
Effet Immunodépresseur .	On appelle immunosuppresseurs des médicaments utilisés dans le traitement immunosuppresseur pour inhiber ou prévenir l'activité du système immunitaire ; dont le but de prévenir le rejet de greffe d'organes et de transplantés (par exemple moelle osseuse, cœur, rein, foie)
Effet Trémorgénique .	Ce qui signifie qu'elle provoque des tremblements comme réponse neurologique.
Endocardites .	Une endocardite est une inflammation de l'endocarde (structures et enveloppe interne du cœur, incluant les valves cardiaques). C'est une maladie assez rare mais souvent grave. Selon leur origine, les endocardites sont classées en : endocardites non infectieuses ; ce sont les plus rares.
Essaimage .	L'essaimage est un phénomène observé dans les ruches d'abeilles, quand la reine et une partie des abeilles quittent la ruche pour former une nouvelle colonie.
Excoriation .	L'excoriation est une perte des couches superficielles de l'épiderme qui provoque l'apparition de régions dénudées, généralement causée par le grattage, mais qui peut aussi l'être par certaines enzymes.
Glandulaires .	Les tissus glandulaires peuvent être classés selon plusieurs critères. On distingue les glandes exocrines dont le produit de sécrétion est acheminé vers l'extérieur ou dans un organe creux par un ou des canaux excréteurs et les glandes endocrines qui déversent leur produit de sécrétion (appelé hormone) dans le sang.
Granulome .	En médecine, un granulome est un terme assez général désignant de petites papules érythémateuses ou tumeurs vasculaires inflammatoires ou diverses formes d'amas de cellules épithélioïdes entourés de lymphocytes, qui apparaissent sur la peau, des muqueuses ou des organes internes.
Hépatite .	L'hépatite désigne toute inflammation aiguë ou chronique du foie. Les causes les plus connues étant les infections virales du foie et l'alcoolisme. Mais l'hépatite peut aussi être due à certains médicaments ou à un trouble du système immunitaire de l'organisme.
Hépatome .	Un hépatome est une tumeur primitive du foie qui peut être bénigne ou maligne. Elle se développe à la place des cellules du parenchyme. Ces cellules ont une capacité de sécrétion hormonale.
Hépatomégalie .	L'hépatomégalie (repérable à la palpation chez l'homme) est une hypertrophie du foie c'est-à-dire une augmentation du volume du foie, palpable sous le rebord costal droit. Il peut s'agir d'une augmentation de volume de l'organe en entier, d'un lobe en particulier ou d'un secteur plus circonscrit.
Hépatospléniques .	phase a lieu dans le foie et la rate ; en fait essentiellement hépatique.
Herbivores .	Un phytophage, souvent désigné comme herbivore au sens large, est, dans le domaine de la zoologie, un animal (mammifère, insecte, poisson, etc.) qui se nourrit exclusivement ou presque de plantes vivantes et non de chair, d'excréments, de champignons ou nécro masse.

Immunité à médiation cellulaire :	L'immunité cellulaire, ou immunité à médiation cellulaire, est l'immunité adaptative dans laquelle les lymphocytes T cytotoxiques jouent un rôle central.
Infection Ostéo-Articulaires :	Une infection ostéo-articulaire est une infection qui touche un os, une articulation ou une prothèse articulaire. Leur fréquence est rare mais il s'agit de pathologies graves susceptibles de mettre en jeu le pronostic fonctionnel du patient.
Infection :	Une infection est l'envahissement plus ou moins brutal de l'organisme par un microbe (bactérie, parasite, virus ou champignon) pathogène (capable d'entraîner une maladie).
Insidieux :	Dont l'apparence bénigne masque au début la gravité réelle.
Intoxication :	Une intoxication est un ensemble de troubles du fonctionnement de l'organisme dus à l'absorption d'une substance étrangère, dite toxique, d'origine biologique, physique ou chimique.
Intoxication Alimentaire :	Trouble survenant à la suite de l'absorption d'une ou de plusieurs toxines produites par des micro-organismes pathogènes dans un aliment. Les toxines de <i>Staphylococcus aureus</i> ou de <i>Bacillus cereus</i> sont à l'origine de troubles digestifs spectaculaires mais sans gravité. Les toxines de <i>Clostridium botulinum</i> provoquent des troubles nerveux graves, voire mortels.
Myalgies :	La myalgie est le terme couramment utilisé pour caractériser des douleurs musculaires. Ces dernières peuvent être la conséquence d'un état grippal, d'un lumbago ou encore de courbatures musculaires liées à un effort sportif.
Mycotoxine :	Les mycotoxines sont des toxines élaborées par diverses espèces de champignons microscopiques telles que les moisissures
Neuroméningées :	La méningite est une inflammation des méninges, les membranes qui enveloppent le cerveau et la moelle épinière, tandis que l'encéphalite est une inflammation de l'encéphale, lequel constitué du cerveau, du cervelet et du tronc cérébral.
Orchiépididymite :	L' <i>orchi-épididymite</i> est une inflammation du testicule et de l'épididyme, le plus souvent d'origine infectieuse.
Ostéo Articulaire :	La notion d' infection ostéo articulaire recouvre diverses pathologies touchant à la fois l'os et l'articulation, induisant des troubles musculosquelettiques.
Phase Subaigüe :	Caractérise une maladie se trouvant à un stade situé entre la forme aigüe et la forme chronique.
Phylas (Phylum.S) :	Un phylum désigne une lignée évolutive en nomenclature systématique, située entre le royaume et la classe; il détermine un synonyme d'embranchement monophylétique, c'est-à-dire que les espèces le composant sont toutes issues d'un même ancêtre. Généralement, il y a plusieurs classes dans chaque phylum.
Polyalgie :	Les polyalgies désignent des douleurs musculosquelettiques qui se différencient des douleurs « régionales » par une extension plus importante, touchant au moins trois régions non contiguës des membres et/ou du tronc. Les polyalgies sont un motif très fréquent de consultation.
Protistes Supérieurs :	Les protistes supérieurs ou eucaryotes qui possèdent un noyau entouré d'une membrane, des chromosomes, un appareil de mitose et une structure cellulaire complexe (mitochondries notamment).
Réticulo-Endothélial :	Le Système phagocytaire mononucléaire ou Système réticulo-endothélial selon l'ancienne nomenclature est un ensemble de cellules immunitaires qui se trouvent au niveau des tissus réticulaires et dont le mécanisme immunitaire implique la phagocytose.
Réticulohistiocytaire :	Le <i>système réticulo-histiocytaire</i> (RHS) ou système réticulo-endothélial (RES) comprend l'ensemble des cellules phagocytaires et endothéliales libres ou fixées. Celles-ci servent dans le cadre du système immunitaire de la défense et l'élimination des déchets et des

	particules étrangères ainsi que des agents pathogènes. En tant que cellules présentatrices d'antigène, ces cellules remplissent également des fonctions dans la défense spécifique.
Septicémie .	Maladie (infection générale grave) provoquée par le développement de germes pathogènes dans le sang.
Splénomégalie .	On appelle splénomégalie (SMG) une augmentation de volume (« -mégalie ») de la rate (« spléno- »). Ceci est repérable à la palpation ou à l'échographie.
Spondylodiscite .	La spondylodiscite, également appelée discospondylite désigne l'infection d'un disque intervertébral et des corps vertébraux adjacents. Il s'agit d'une urgence médicale qui nécessite une prise en charge rapide et une antibiothérapie longue (6 à 12 semaines).
Sudoro Algique .	Relatif à une fièvre accompagnée de douleurs et de sueurs, symptôme possible de la brucellose.
Toxi-Infection Alimentaire .	Une toxi-infection alimentaire (T.I.A.) se définit comme une infection par des bactéries, des virus ou des parasites, due à la consommation d'un aliment contaminé. L'attaque microbienne peut être liée aux propriétés invasives du micro-organisme et/ou aux produits toxiques qu'il est capable d'élaborer au cours de sa croissance.
Trichothécènes .	Les trichothécènes sont des mycotoxines sécrétées par certaines espèces de champignons du sol qui peuvent devenir des parasites de végétaux ; les Fusarium, Myrothecium, Trichoderma, Trichothecium, Cephalosporium, Verticimonosporium, et Stachybotrys.
Type Asthénie .	Selon les facteurs qui interviennent, on distingue plusieurs types d'asthénie : réactionnelle, psychique, liée à une maladie, due à la prise de médicaments ou de substances toxiques.
Xénobiotiques .	un xénobiotique est une molécule chimique polluante et parfois toxique à l'intérieur d'un organisme, y compris en faibles voire très faibles concentrations. Deux cas typiques de xénobiotiques sont les pesticides, et les médicaments, en particulier les antibiotiques.