

Chapitre 1 : Altérations des aliments par les contaminants microbiens (Bactéries et Mycètes) des filières agroalimentaires

En générale, les matières premières alimentaires se sont contaminées que de manière superficielle, sauf la matière première d'origine animale qui peut être contaminée en profondeur. La contamination des aliments se produit souvent au cours de leur procédés de fabrication.

1.1. Profil microbien des aliments

1.1.1 Origine des microorganismes (voies possibles de contamination)

L'organisme animal, tout comme l'organisme humain, est porteur de très nombreux microorganismes en surface mais aussi en profondeur, *via* les muqueuses et le tube digestif (Entérobactéries, *Clostridium*, *Lactobacillus* et *Staphylococcus*...etc). Ces microorganismes ont pour rôle principale d'occuper le terrain afin d'éviter l'implantation de microorganismes pathogènes.

➤ **Origine endogène**

1/ Bactériémie d'abattage

Le passage des microorganismes du tube digestif vers le muscle peut se faire après la digestion. En effet, les microorganismes peuvent passer à travers la paroi intestinale dans la lymphe et dans le sang. Ils sont en générale arrêtés par les ganglions ainsi que le foie.

Lorsque l'animal est abattu dans un état de stress, ou s'il est fatigué, on observe une production de catécholamine qui paralyse ce système, entraînant ainsi la libération dans le sang des microorganismes qui ont été piégés par les ganglions et par le foie. Les microorganismes contaminants la carcasse de cette manière sont majoritairement éliminés lors de la saignée, mais certains peuvent adhérer au capillaire sanguin et se multiplier.

2/ Plaie de saignée

Ce n'est pas à proprement parler une contamination d'origine endogène, puisque dans ce cas, les microorganismes proviennent de l'extérieur pour se répondre dans tout l'organisme lors de la saignée. Cependant, elle entraîne une contamination à cœur des muscles avec les mêmes conséquences que précédemment.

Lors de la saignée, les microorganismes se trouvant sur les couteaux mal nettoyés ou sur les poils de l'animal (souillures fécales au niveau du collet de l'animal) peuvent être entraînés par le flux sanguin lors de la coupure des carotides par l'opérateur. Ces contaminations peuvent être extrêmement dangereuses, car potentiellement riches en microorganismes pathogènes.

3/ Eviscération tardive

L'éviscération tardive est considérée comme telle lorsqu'elle se produit au-delà 45 min après l'abattage, même s'il est rare que l'on retrouve des microorganismes dans les muscles de l'animal en un laps de temps si court. Les tissus digestifs, fragilisés après la mort de l'animal, permettent un transit aisé des microorganismes du tube digestif dans le muscle. Les dangers résultants d'une éviscération tardive sont amplifiés par la température et la durée entre l'abattage et l'éviscération de l'animal.

C'est une pratique encore utilisée et qui entraîne une modification des qualités organoleptiques de la viande *via* le passage des microorganismes au niveau du muscle.

4/ Œuf

Le contenu de l'œuf provenant de poules saines est habituellement stérile sauf dans le cas d'une transmission transovarienne qui a été démontrée dans le cas de *Salmonella enteridis*. Dans la mesure où le jaune d'œuf n'est pas cuit à des températures élevées dans certaines préparations culinaires, son ingestion par le consommateur pourra conduire à une salmonellose sévère.

5/ Lait

Le lait peut lui aussi être contaminé de manière endogène dans la mamelle par des bactéries l'ayant colonisée. Lorsqu'une telle colonisation se produit, elle provoque une inflammation de la mamelle appelée mammite, conduisant à l'excrétion d'un nombre important de bactéries (exemple mammite à *Staphylococcus aureus*, à *Listeria monocytogenes* et à *Salmonella*)

Origine exogène

La matière première alimentaire est bien souvent contaminée de manière superficielle dès sa production et les opérations technologiques subies par cette matière première vont modifier de manière considérable la flore microbiologique de l'aliment obtenu. Certaines opérations limitent le développement des flores microbiennes (congélation, traitements thermiques) alors d'autres créent des conditions favorables à la multiplication de certaines flores utiles (fermentations). Les vecteurs de contamination des aliments sont extrêmement diversifiés. Ils regroupent :

- L'homme et les animaux ;**
- Le sol, l'eau et l'air qui forment un *pool* commun ;**
- Les déchets et sous-produits ;**
- Les surfaces et les machines ;**
- Les locaux.**

1/ Homme et animaux

L'homme est susceptible de contaminer les aliments, d'une part par ces **mauvaises pratiques hygiéniques** (opérateur ramassant au sol un fruit contaminé par ce contact et le réintroduisant dans la chaîne de fabrication par exemple).

En générale les personnes souffrant de **maladies infectieuses** exercent une grande quantité de microorganismes pathogènes. Ces personnes ne doivent pas être en contact avec les aliments lors de leur fabrication.

Les animaux, par leur présence incontrôlée dans l'entreprise, peuvent être également **vecteurs de nombreux microorganismes pathogènes**. Les cas les plus fréquentes sont les rongeurs, les oiseaux et les insectes.

2/ Sol

Le sol n'est pas un milieu très favorable à la survie des microorganismes dans la mesure où les conditions physico-chimiques (température, teneur en eau superficielle) peuvent varier de manière considérable et assez rapidement. **Les bactéries à Gram positif** sont bien représentées par rapport des bactéries à Gram négatif en raison de leur résistance plus importante liée à la richesse de leur paroi en peptidoglycane.

On trouve aussi dans le sol les levures et les bactéries lactiques qui peuvent contaminer les matières premières. Les bactéries pathogènes assez peu résistantes au milieu environnemental, peuvent toutefois transiter dans les sols par les excréments des animaux.

3/ Eau

L'eau est utilisée en agroalimentaire pour l'élaboration des aliments, pour les opérations technologiques et pour le nettoyage. Le niveau de qualité hygiénique de l'eau attendu dépend de la nature de son utilisation. Une eau destinée au nettoyage des locaux pourra ainsi être de moindre qualité au plan microbiologique qu'une eau servant à l'élaboration des aliments.

Assez peu d'espèces bactériennes sont capables de se développer dans l'eau, notamment en raison de sa température souvent inférieure à 20°C (exemple les **psychrotrophes** : *Pseudomonas*). D'une manière générale assez peu de microorganismes pathogènes dans l'eau, sauf si celle-ci a été en contact avec une source de contamination (eau d'irrigation de culture de fruits et légumes contaminée avec un élevage)

4/ Air

Les microorganismes présents dans l'air sont en général véhiculés par des particules solides provenant du sol, des végétaux ou de l'homme et des animaux. Par conséquent, la

contamination de l'air est en fonction de son agitation (vents, courants d'air) et de la densité de sources de contamination (exemple : charge microbienne élevée dans les halls d'abattage).

Les microorganismes présents dans l'air sont comme pour le sol et l'eau, peu pathogènes en général et correspondent à des **espèces microbiennes plutôt résistantes** aux variations de conditions environnementales (bactéries à Gram positif, spores bactériennes et spores fongiques)

Au niveau des entreprises produisant des aliments conditionnés après un traitement thermique (lait pasteurisé, lait UHT, boissons gazeuses...etc), dans ce cas, l'air est stérilisé par filtration.

5/ Déchets organiques

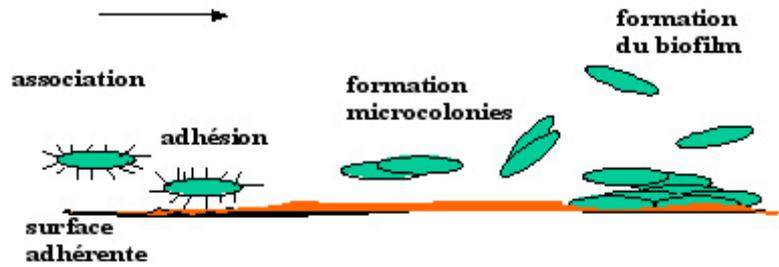
Les entreprises doivent gérer plusieurs types de déchets organiques, provenant par exemple des os, abats d'animaux ou des épluchures des légumes. Comme solution et à fin de limiter les contaminations des aliments par les déchets, ceux-ci doivent être élaborés selon le principe de « **la marche en avant** », qui veut qu'en aucun cas un produit issu d'un secteur propre en aval de la chaîne de fabrication ne transite par un secteur souillé en amont de celle-ci.



6/ Surfaces et matériel

Une surface mal entretenue peut lors de la préparation des aliments accumuler la matière organique dans ses anfractuosités et entraîner ainsi la prolifération des microorganismes. Il peut se former au cours du temps des **biofilms bactériens** qui résultent de l'adhésion aux surfaces de microorganismes d'espèces et genres différents.

Un biofilm est une communauté microbienne immobilisée sur une surface qui est souvent enfouie dans une matrice de polymères extracellulaires formant une couche muqueuse la protégeant des agressions extérieures. Les biofilms sont donc une limite aux opérations de nettoyage et désinfection en entreprise agroalimentaire.



Les industriels doivent donc tenter de limiter la formation de biofilms dans leurs installations :

- en utilisant des surfaces lisses, non poreuses ;
- en remplaçant rapidement les surfaces endommagés ;
- en utilisant des équipements conformes aux règles de conception hygiénique (nettoyabilité des machines) ;
- en maîtrisant l'eau (optimiser sa qualité bactériologique) ;
- en effectuant régulièrement le nettoyage à chaud (éviter l'accumulation de matières organiques) avant la désinfection qui doit être efficace (choix des désinfectants).

7/ Locaux

Le principe de la marche en avant exige des locaux adaptés et spécifiques à chaque procédé alimentaire. C'est pourquoi l'élaboration de **locaux fonctionnels** doit se faire en concertation avec les architectures et les spécialistes de l'hygiène alimentaire.

1.1.2 Facteurs affectant l'évolution des microorganismes dans les aliments

A chaque aliment correspond un profil microbien qui lui est propre. Ce profil dépend d'une part de la flore présente sur l'aliment et de l'origine de la contamination et d'autre part, de facteurs physico-chimiques intrinsèques à l'aliment tels que la structure, la composition, le pH, l' a_w , le potentiel d'oxydoréduction, la présence de composés inhibiteurs naturels, et de facteurs environnementaux tels que la température.

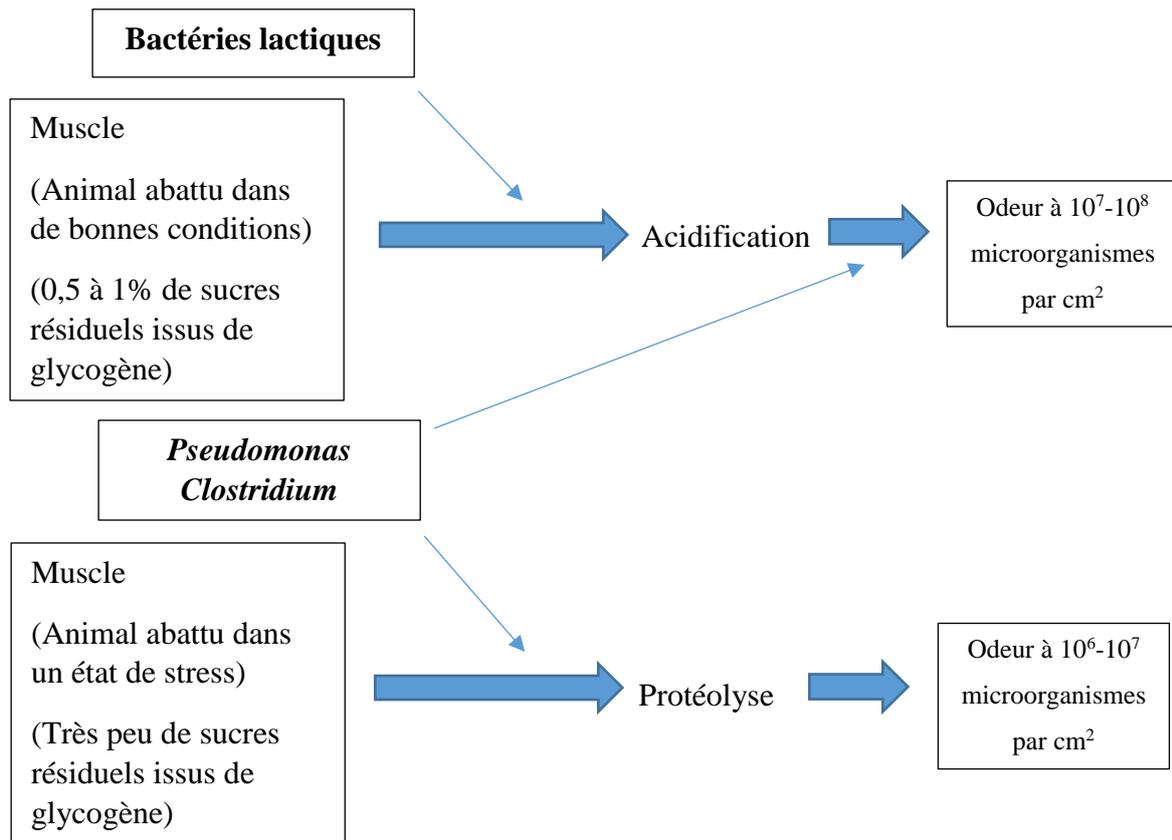
✓ Structure de l'aliment

La matière première est souvent protégée de l'attaque des microorganismes par des structures difficilement dégradables (peau des fruits, tissu collagène du muscle, coquille des œufs...etc.). Seules des espèces microbiennes possédant les enzymes adaptés (cellulase, pectinase, protéase...etc.) pourront s'attaquer à ces structures. Dès que des opérations technologiques sont effectuées sur les matières premières pour élaborer l'aliment, cette protection disparaît et

l'aliment devient plus vulnérable au développement des microorganismes (exemple : viandes hachées).

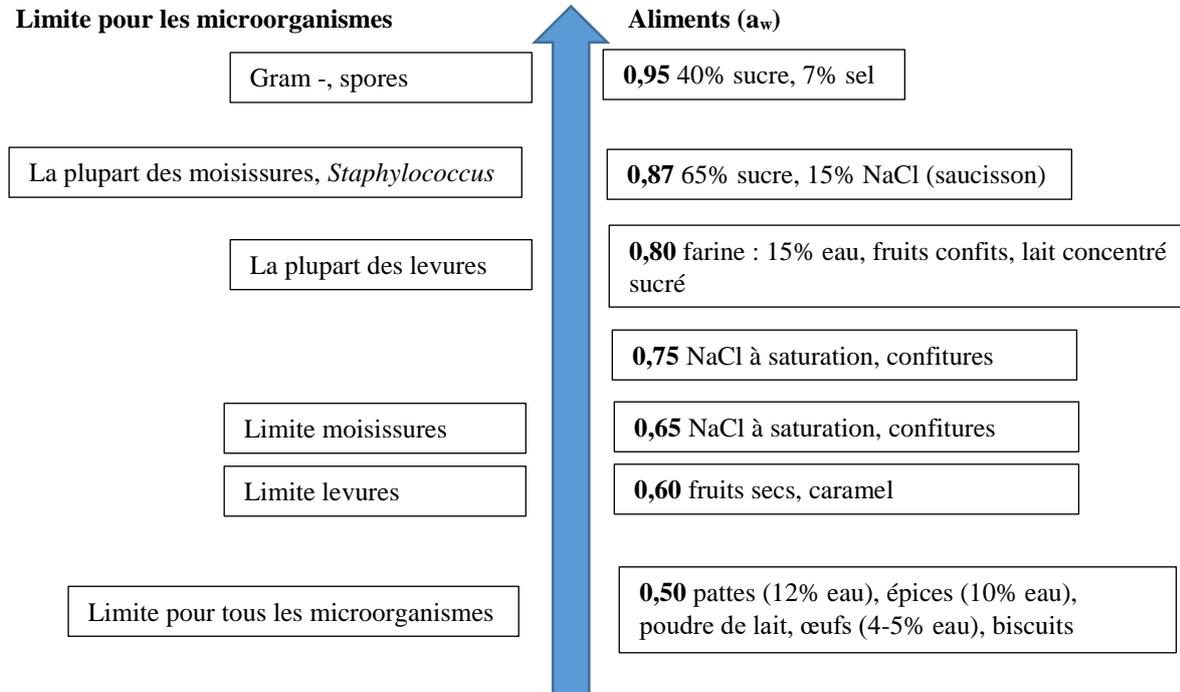
✓ Composition de l'aliment

La composition en nutriments des aliments influence également le développement de l'espèce la plus adaptée. Des aliments riches en protéines ou en sucres favorisent respectivement le développement de microorganismes possédant des protéases ou métabolisant ces sucres lors d'une fermentation.



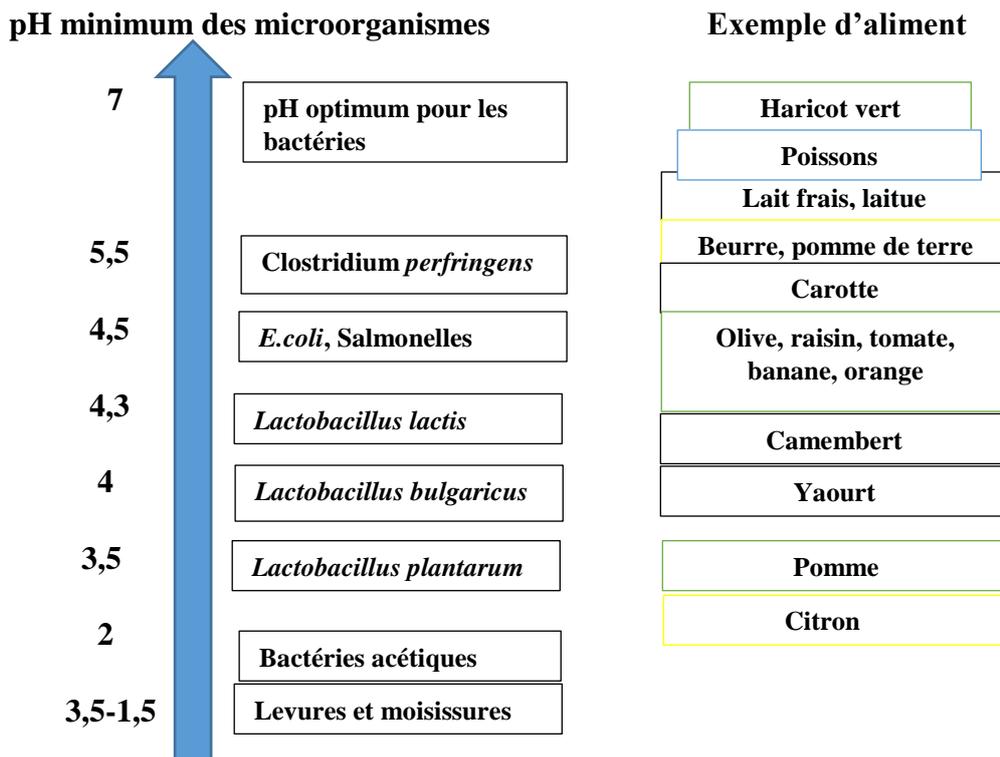
✓ Activité de l'eau

L'activité de l'eau est un facteur essentiel à la croissance des microorganismes. En effet, l'eau est indispensable pour les réactions d'hydrolyse permettant la production d'énergie et de métabolites variés, pour le transfert des nutriments et pour l'excrétion des métabolites.

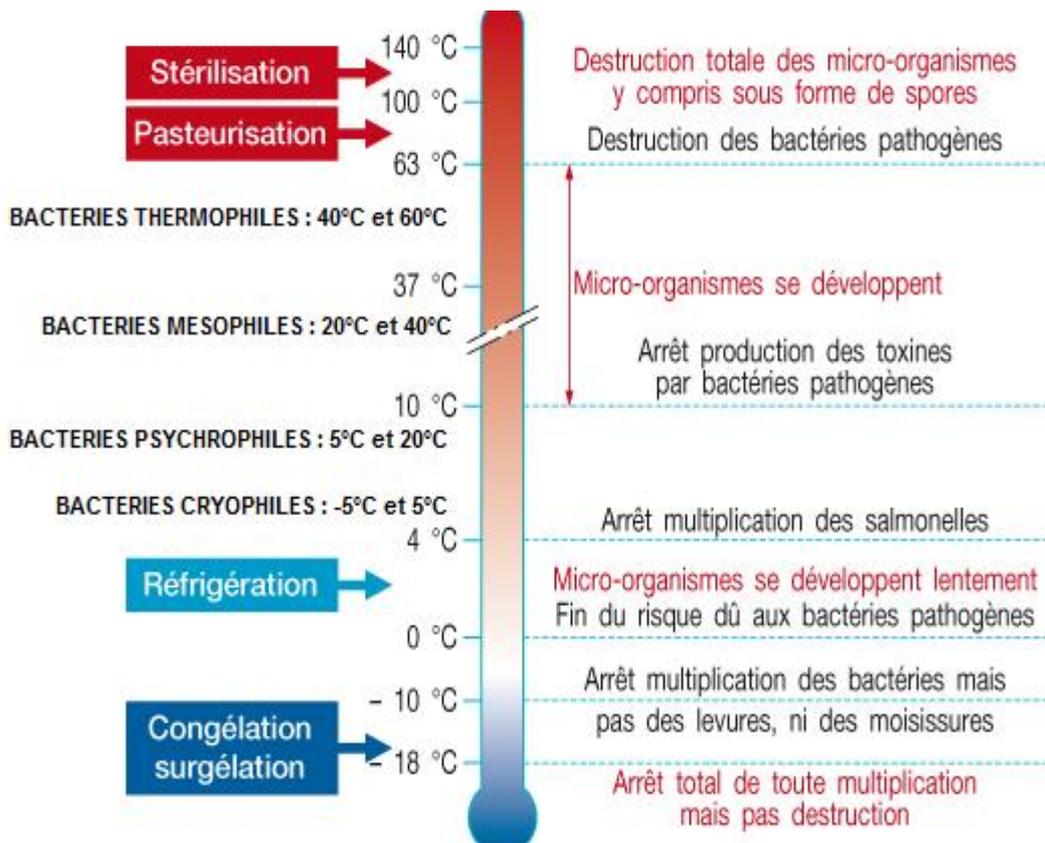


✓ pH

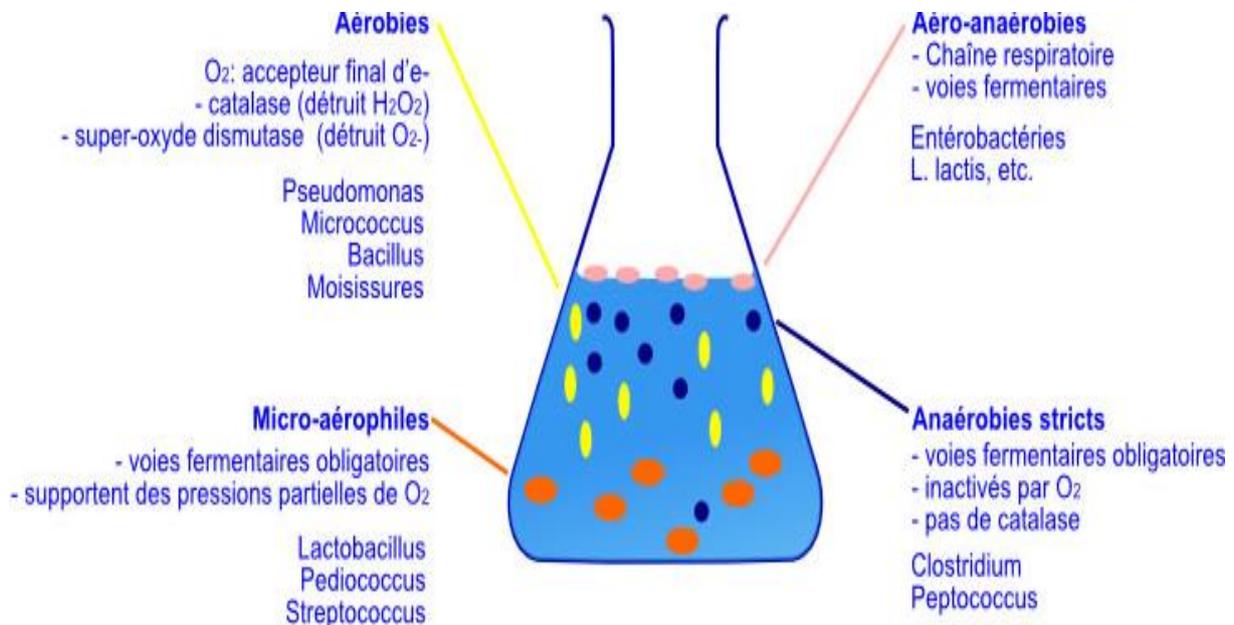
La plupart des microorganismes se développent à des pH proches de la neutralité, ce qui correspond au pH du cytoplasme bactérien et est optimal pour les activités enzymatiques bactériennes. Lorsque le microorganisme est confronté à un environnement trop acide ou trop basique, il régule son pH intracellulaire jusqu'à un certain point. Une acidification ou une alcalinisation importante du milieu a pour effet de ralentir considérablement la croissance bactérienne, voire d'entraîner la mort cellulaire lorsque des enzymes indispensables sont inhibées.



✓ **Température (effet sur la survie)**



✓ **Potentiel d'oxydoréduction**



✓ **Composés antimicrobiens**

Ce sont des molécules qui ont un **pouvoir bactériostatique** et/ou **bactéricide**. Il en existe une gamme très variée, de compositions chimiques et de modes d'actions hétérogènes. Elles peuvent avoir une **origine endogène** (lysozyme dans les œufs et le lait, huiles essentielles dans

les épices), être des produits de fermentation (acide lactique) ou être ajoutés pour la conservation des aliments (additifs).

✓ **Phénomènes d'interactions**

Au-delà de l'influence spécifique de chacun d'eux, ces paramètres physico-chimiques (pH, a_w , température et additifs) interagissent et il est nécessaire de considérer globalement leur action couplée sur le développement des microorganismes. Ces interactions peuvent être favorables ou défavorables en fonction du microorganisme cible, de l'aliment qui le supporte et de l'adjonction d'additifs en respect de la législation en vigueur.

Exemple d'antagonisme : l'action des bactéries lactiques à l'égard de la flore banale et psychrotrophe. Les effets inhibiteurs sont attribués à la baisse du pH et à la production de peroxyde d'hydrogène 'H₂O₂' et de bactériocines.

Exemple de synergie : bactéries lactiques, seules ou en relation avec des levures, dans les levains.

1.2 Modifications des aliments

1.2.1 Altérations des aliments

L'altération liée à l'activité des microorganismes conduit à une dépréciation des qualités organoleptiques et sanitaires de l'aliment. Elle se caractérise par une modification de la structure, de la couleur et du goût de l'aliment. On peut remarquer que ce qui constitue une altération pour certains aliments peut être recherché pour d'autres (fabrication de fromages)

- **Altération par le développement des microorganismes en surface** : lorsque la surface de l'aliment est suffisamment humide pour permettre la croissance des microorganismes, on observe au bout d'un certain temps dépendant des paramètres environnementaux (température, pH, etc.) la présence d'un biofilm colonisant la surface, appelé limon. Si les microorganismes produisent des enzymes capables de **dégrader les protéines** en surface de l'aliment, il y a apparition **d'odeurs désagréables**, provenant du catabolisme des acides aminés. En revanche, certaines bactéries qui ne font essentiellement **qu'acidifier le milieu** (bactéries lactiques) sont moins néfastes.
- **Altération par le développement des microorganismes en profondeur** : ce type d'altération modifie considérablement la structure et la texture de l'aliment. Elle est en fonction de l'espèce microbienne et par conséquent de son métabolisme (production de

protéases capables de **dégrader les protéines, production de gaz** résultant de différentes voies métaboliques).

1/ Modifications de la texture et de la structure

-Dégradations de protéines : les protéines alimentaires peuvent être dégradées par une succession d'enzymes produits par les microorganismes. Les protéases dégradent les protéines en plus petits fragments (**peptides**), qui peuvent eux-mêmes être dégradés en plus petits peptides ou en acides aminés libres par les peptidases (spécifiques), donc la dégradation des protéines conduit à une détérioration de la structure de l'aliment.

-Production de gaz : certains microorganismes produisent du gaz lors de leur développement dans l'aliment, entraînant alors le gonflement de l'aliment lui-même ou de l'emballage. Les gaz produits peuvent être le gaz carbonique (**CO₂**), l'hydrogène (**H₂**), le sulfure d'hydrogène (**SH₂**) et l'ammoniaque (**NH₃**).

-Production de polysaccharides : les **polysaccharides** produits par les microorganismes lors de leur développement sont également des molécules responsables d'altérations. Ils forment en général une capsule ayant un rôle de protection de la bactérie. Ces polysaccharides donnent à l'aliment un aspect visqueux, très fortement dépréciateur.

2/ Modifications de la flaveur

Le développement des microorganismes peut modifier en profondeur les caractéristiques de l'aliment, par la production de molécules ayant un effet sur la flaveur. De nombreux acides sont produits par fermentation (**acides lactiques, butyrique, propionique, acétique**) qu'ils ont une odeur propre.

1.2.2 Risque de pathogénicité

- **Microorganismes pathogènes et/ou toxigènes**

1/ *Clostridium botulinum*

Cette bactérie à Gram positif est sporulée et anaérobie stricte. Elle est mésophile dont le pH optimum est de 7. Elle est présente dans le sol et dans l'eau, supports à partir desquels elle est en mesure de contaminer tous les aliments (**végétaux, laits, œufs, viande, conserves 'anaérobiose'**, etc.).

La maladie est due à une **neurotoxine thermolabile** qui est produite par la bactérie lors de sa **multiplication dans l'aliment**. Les symptômes apparaissent de 2 à 24h après l'ingestion, suivant la quantité de toxine ingérée. Ils se manifestent par une paralysie oculaire accompagnée

d'une sècheresse de la bouche, suivie par des troubles de l'élocution et de la déglutition, une constipation et une rétention d'urine, et enfin par une paralysie respiratoire et des troubles de la conscience peuvent entrainer la mort de l'individu.

2/ *Clostridium perfringens*

Cette bactérie à Gram positif est sporulée et anaérobie stricte. Elle possède la particularité de se développer à des températures plus élevées : sa température optimale de croissance est en effet de 45°C. De ce fait, les toxi-infections alimentaires à *Clostridium perfringens*, en mesure de se développer rapidement lors d'un refroidissement lent des aliments, sont plus fréquentes que celles liées à *Clostridium botulinum*. **Elles concernent notamment la consommation de plats en sauce mal refroidis, car la température de cuisson inférieur ou égale 100°C ne détruit pas les spores, qui peuvent germer aux alentours de 50°C lors du refroidissement et se multiplier activement.**

La maladie est due à une **toxine** produite **dans le tube digestif**, à ce milieu la bactérie se germe. Afin que des symptômes apparaissent, il est nécessaire d'atteindre une population d'au moins 10⁸ bactéries/g ; l'incubation de la maladie est de 12h. La toxine se fixe sur les **entérocytes** et provoque une sécrétion de sodium et de chlorure, ce qui entraine un afflux d'eau dans l'intestin et conduit à des diarrhées assez violentes qui finissent par régression après 24 à 48h.

3/ *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus est une bactérie à Gram positif qui présente comme caractéristique principale de pouvoir se développer sur des aliments à a_w relativement faible (jusqu'à 0,83). Sa température optimale de croissance est de 37°C et son pH optimum de 7 et elle est résistante dans le milieu environnemental.

Les aliments incriminés sont essentiellement des aliments manipulés par l'homme. La maladie est due à **plusieurs toxines** produites par la bactérie. **L'entérotoxine A** qui est la plus fréquente nécessite au moins 10⁶ bactéries/g d'aliment pour entrainer une pathologie. Les toxines sont généralement **thermorésistantes** et résistent aux enzymes digestives. Elles passent dans le sang et agissent sur un site de stimulation du centre cérébral du vomissement. Les symptômes se produisent 1 à 6h après ingestion et se traduisent par des vomissements violents, des diarrhées et des douleurs abdominales importantes, sans fièvre. La maladie régresse spontanément au bout de 2 à 3 jours. Mais se caractérise par une longue fatigue pouvant durer de une à plusieurs semaines.

4/ *Bacillus cereus*

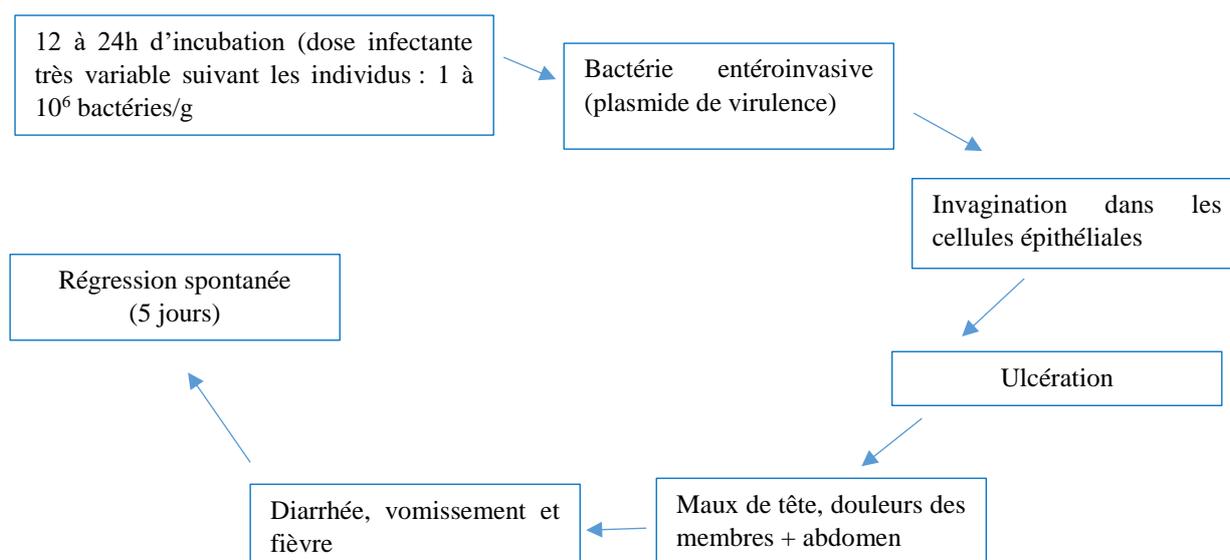
C'est une bactérie à Gram positif et anaérobie facultative, sporulée et capable de se développer entre 5 et 50°C et peuvent croître même à froid. Les aliments incriminés sont très souvent le riz et les viandes, les plats cuisinés ou les pâtisseries.

Bacillus cereus peut provoquer une intoxication généralement bénigne, causée par deux types de toxines : une **toxine émétique (émétisante)** et des **entérotoxines (toxines diarrhéiques)**.

5/ *Salmonella*

Les salmonelles sont des bactéries à Gram négatif, mésophiles. Elles sont en général considérées comme de mauvais compétiteurs dans les écosystèmes complexes, mais sont en revanche assez résistantes dans le milieu environnemental.

La principale niche écologique des salmonelles est **le tube digestif** de l'homme et des animaux, en particulier des **volailles**. **Le jaune d'œuf** étant un milieu très favorable à la croissance des salmonelles. Celles-ci pourront alors de développer jusqu'à sa commercialisation, et en cas de cuisson modérée, conduire à une salmonellose aiguë.



2/ *Escherichia coli* O157 : H7

C'est une bactérie à Gram négatif, elle a comme habitat naturel **le tube digestif** de l'homme et des animaux. Peu résistante dans le milieu environnemental, on la retrouve essentiellement sur **la viande** et les **produits d'origine animale**, plus **rarement sur les légumes**. En générale, elle n'est pas présente en quantité suffisante dans ces matières pour conduire à des intoxications : il faut pour cela qu'elle se multiplie.

L'incubation est de 3 à 9 jours et conduit à des violentes diarrhées (parfois hémorragiques) aqueuses associées à des crampes abdominales.

3/ Campylobacter

C'est une bactérie à Gram négatif, se trouve essentiellement dans **le tube digestif** des animaux, et plus particulièrement dans celui de **la volaille**. On peut la retrouver assez fréquemment dans **le lait cru**. La dose infectante est relativement faible puisqu'elle n'est que de 500 bactéries. La maladie commence après une incubation de 2 à 7 jours et se caractérise par une diarrhée pouvant être très forte, voire saignante dans certains cas, associée à une **fièvre** très élevée. Elle peut aussi s'accompagner de vomissements. Il en résulte une **fatigue** pouvant perdurer pendant plusieurs semaines.

1.3 Moisissures responsables de la production de mycotoxines

Les spores des moisissures sont extrêmement résistantes dans le milieu environnemental. Leur germination nécessite des conditions spécifiques. Toutes les moisissures ne sont pas responsables de la production de mycotoxines, qui sont des produits issus de leur métabolisme et peuvent donc varier suivant le substrat et les conditions environnementales (pH, T, Aw, O₂). *Penicillium roqueforti*, qui est utilisée dans la production du Roquefort, peut ainsi produire des mycotoxines lorsqu'elle se développe sur d'autres aliments que les produits laitiers fermentés. Les aliments incriminés sont ceux qui stockés dans de mauvaises conditions, permettent le développement de moisissures à leur surface.

Les moisissures peuvent se développer lors du stockage, mais aussi en champ avant récolte. Il en résulte par ce biais une contamination du système de la vache et du lait. Le mode d'action des mycotoxines est très varié. Certaines sont **tératogènes**, **neurotoxiques** et ou **cancérogènes**. La toxicité varie suivant la toxine et la dose journalière absorbée. Les toxines passent de l'aliment dans le sang via la muqueuse digestive et s'attaquent aux organes.

L'aflatoxine est connue pour provoquer une nécrose du parenchyme hépatique, conduisant à un cancer si l'ingestion est régulière.

La patuline (produite par *Penicillium expansum* et *Aspergillus clavus*) peut se trouver sur des pommes moisies et entraîne des lésions des poumons, des reins, de la rate et des neurones. La prévention consiste à éviter le stockage trop long dans de mauvaises conditions (chaleur, humidité, aérobiose), et pour une meilleure conservation des aliments, on peut utiliser des fongicides (acide propionique, acide sorbique).

Très bonne chance

Chapitre 2 : Méthodes de décontamination des aliments (destruction et stabilisation)

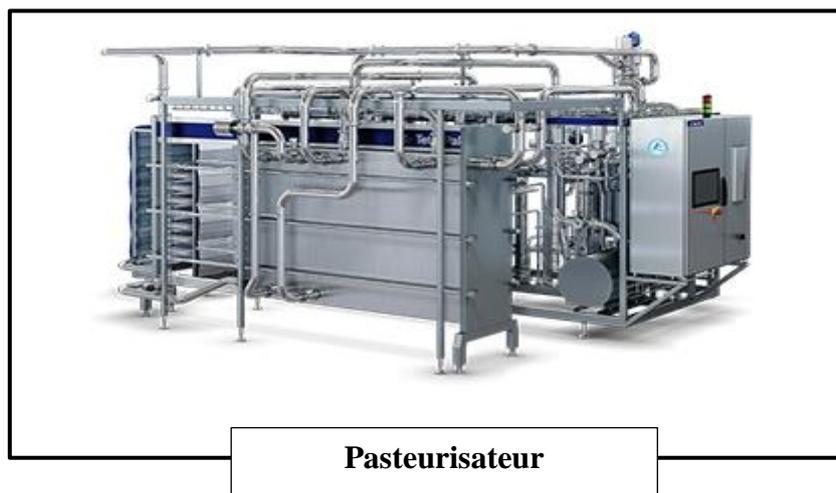
Les traitements de conservation appliqués aux aliments visent à préserver leur comestibilité et leurs propriétés gustatives et nutritives en empêchant le développement des bactéries, champignons et microorganismes qu'ils contiennent et qui peuvent dans certains cas entraîner une intoxication alimentaire.

1. Destruction par traitements thermiques

Le traitement des aliments par la chaleur est la technique la plus utilisée pour la conservation de longue durée

- **La pasteurisation**

Elle a pour but la destruction des micro-organismes **pathogènes** et **d'altération**. La technique utilisée consiste à soumettre les aliments à une température comprise entre 85° C et 100° C pendant une durée déterminée et à les refroidir brutalement. Avantage de cette méthode : elle préserve les caractéristiques des denrées alimentaires, notamment leur saveur. Les denrées pasteurisées comportent une date limite de conservation (**DLC**) et sont à conserver au frais.



- **La stérilisation**

Il s'agit d'un traitement thermique à des températures **supérieures à 100° C** visant à détruire **toute forme microbienne**, ce qui assure la stabilité à température ambiante des denrées.

- **Le traitement à ultra haute température**

Avec cette méthode de conservation, le produit (lait, par exemple) est porté à une haute température au-delà de 135°C pendant une courte période (1 à 5 secondes), puis immédiatement et très rapidement refroidi. Il est ensuite conditionné aseptiquement. Ce traitement permet une conservation longue à température ambiante.

- **Appertisation (conserves)**

Ce procédé associe deux techniques : un conditionnement dans un récipient étanche. Un traitement thermique (la stérilisation).

Les produits obtenus peuvent se conserver **plusieurs années** à température ambiante (5 ans maximum). Elles comportent une date de durabilité minimale, la date passée, la denrée perd de ses qualités gustatives ou nutritives sans pour autant constituer un danger pour celui qui la consommerait.

- **Les semi-conserves**

Les semi-conserves sont des denrées alimentaires périssables, conditionnées en récipients étanches aux liquides, et ayant subi un traitement de conservation (pasteurisation, salage, etc.) en vue d'en assurer une **conservation plus limitée** que les conserves.

Elles doivent être stockées au froid. Elles comportent le plus souvent une date limite de consommation, mais peuvent comporter, compte tenu de leur durée de conservation (le plus souvent de quelques mois), une date de durabilité minimale.

2. Stabilisation par le froid

Le froid arrête ou ralentit l'activité cellulaire, les réactions enzymatiques et le développement des micro-organismes. Il prolonge ainsi la durée de vie des denrées alimentaires en limitant leur altération. Néanmoins, les micro-organismes éventuellement présents ne sont pas détruits et peuvent reprendre leur activité dès le retour à une température favorable.

- ✓ **La réfrigération**

Terme utilisé pour des températures de stockage basses mais **supérieures de 0°C** « **froid positif** ». La réfrigération a pour effet de ralentir les réactions enzymatiques et chimiques, et par conséquent la multiplication et le métabolisme de microorganismes, mais elle ne permet qu'une conservation relativement courte (**quelques jours**).

- ✓ **La congélation**

La congélation permet **d'abaisser la température** d'une denrée alimentaire de façon à faire passer à l'état solide l'eau qu'elle contient. Cette cristallisation de l'eau contenue dans la denrée permet de **réduire l'eau disponible** (A_w) pour des réactions biologiques et donc de ralentir ou d'arrêter l'activité microbienne et enzymatique. La combinaison de ces deux effets permet de conserver les aliments **plusieurs mois à température négative**. Néanmoins, **le rancissement des acides gras insaturés reste un problème même à -20°C**.

✓ La surgélation

La surgélation consiste à congeler rapidement une denrée saine et en parfait état de fraîcheur, en abaissant sa température très rapidement jusqu'à **-18° C en tous points**.

Grâce à ce procédé, l'eau contenue dans les cellules se cristallise finement limitant ainsi la destruction cellulaire. Les produits ainsi traités conservent leur texture, leur saveur et peuvent être conservés plus longtemps. Les produits surgelés doivent être étiquetés comme tels et ne doivent pas, au cours de leur stockage ou de leur transport, subir de variations de températures. **Ceux-ci ne doivent pas être recongelés après une décongélation.**

2.1 Facteurs affectant la croissance microbienne des aliments réfrigérés

2.1.1 Nombre initial de microorganismes

Avec des tissus animaux et végétaux sains, la contamination microbienne est absente ou niveau bas sauf pour les surfaces extérieures. Par exemple, **le muscle** frais des animaux en bonne santé sont généralement microbiologiquement stériles et du **lait** tiré de manière aseptique provenant de vaches en bonne santé ne contient que quelques micro-organismes (principalement des streptocoques et microcoques) dérivés du canal du trayon. De même, l'intérieur des **légumes** non endommagés ne contiennent pas de micro-organismes bien que l'extérieur peut être contaminé par un large éventail de microorganismes d'origine du sol.

Au cours de **l'abattage** ou de **la récolte**, de **la transformation** ultérieure et de **l'emballage**, ces matières premières sont contaminées à partir d'un large éventail de sites. En règle générale, ces sites inclure **eau, air, poussière, sol, peaux, animaux, personnes, équipement** et d'autres matériaux alimentaires. Par conséquent, une large gamme de microorganismes peut être isolée des aliments. Ceux qui sont capables de grandir peuvent potentiellement donner lieu à détérioration microbienne ou problèmes de santé publique. Les pratiques hygiéniques de tous les aliments de l'abattage et de la récolte à la consommation, en passant par la vente au détail, affecter le niveau de contamination microbienne des produits. ***En général, plus le niveau initial de contamination est élevé, plus le temps écoulé avant la détérioration microbienne est important.***

2.1.2 Type de l'aliment

Les propriétés intrinsèques (p. Ex. pH, activité de l'eau, acidité, antimicrobiens naturels) de différents aliments varient considérablement. De tels **facteurs** affectent la capacité des microorganismes à croître. **Les aliments riches** en nutriments (viande, lait, poisson) permettent une croissance plus rapide que ceux avec un statut nutritionnel inférieur (par exemple, des

légumes) et sont donc plus susceptibles de détérioration. **Les pratiques d'abattage** et de **récolte** peuvent affecter les propriétés intrinsèques d'un aliment.

Même au sein d'un même ingrédient alimentaire ou produit, les variations de pH, potentiel redox peut se produire et donc affecter la nature et le taux de la multiplication microbienne. La situation peut être encore compliquée dans le cas d'un aliment à plusieurs composants où la migration des nutriments et les gradients de pH, a_w et conservateurs peuvent se produire.

2.1.3 Procédure

▪ Stockage à froid

La durée de stockage affectera les nombres microbiens. En général, les nombres microbiens augmentent avec le temps dans les aliments réfrigérés à pH neutre, faibles concentrations de sel et l'absence de conservateurs. Cependant, des valeurs de pH basses ou des teneurs élevées les concentrations dans les aliments peuvent provoquer une stase microbienne, des blessures voire la mort. Au froid, cependant le taux de mortalité est souvent réduit et le microorganisme peut survivre plus longtemps que d'autres (p. ex. températures ambiantes). *Dans de nombreux cas, une combinaison de traitement et de facteurs de conservation peuvent être utilisés pour obtenir un produit sûr, de haute qualité et une durée de vie acceptable.*

Certains microorganismes (principalement des **psychrotrophes**) sont mieux adaptés à la croissance à froid. Par conséquent, lors de la conservation au froid, non seulement le nombre total de microorganismes change, mais **la composition de la microflore** va également changer. Par exemple, avec du lait fraîchement tiré, la microflore est dominée par les cocci et les bacilles à Gram positif, qui peuvent dégrader le produit en acidifiant si elles sont conservées à des températures chaudes. À températures froides, ces microorganismes sont en grande partie incapables de se développer et la microflore devient rapidement dominée par des bactéries en forme de bâtonnets à Gram négatif 'psychrotrophes' (le plus souvent *Pseudomonas*).

▪ Chauffage

Dans le cadre de leur fabrication, de nombreux aliments réfrigérés sont soumis à un processus de chauffage. Ce réduira le nombre microbien, aboutissant généralement à une pasteurisation plutôt qu'à un produit stérilisé, sinon le stockage au froid serait inutile.

En général, **les bacilles à Gram négatif**, qui prolifèrent dans **les aliments réfrigérés**, sont **sensibles à la chaleur** et sont facilement éliminés. Bien que ces bactéries puissent être isolées et même dégradées, des aliments chauffés, *leur présence est généralement attribuable à la contamination post-chauffage*. Certaines bactéries à **Gram positif** sont **tolérantes à la**

chaleur (certaines espèces de *Lactobacillus*, *Streptococcus* et *Micrococcus*). Cependant, les processus de pasteurisation sont conçus pour détruire toutes cellules végétatives. Cependant, d'autres bactéries (*Clostridium*, *Bacillus*) produisent des **spores** résistants à la chaleur qui peuvent survivre et qui comprennent à la fois des souches pathogènes et des souches nuisibles.

▪ **Acidification**

Plusieurs types d'aliments réfrigérés sont **naturellement acides** (jus de fruits) ou acidifiés en utilisant soit un procédé de **fermentation** (yaourt), soit par **addition** directe des acides. Comme pour la température, les microorganismes ont des limites de pH pour la croissance. **Le pH optimal pour la plupart des bactéries pathogènes est généralement compris entre 6,8 et 7.4 qui est similaire au pH du corps humain dans lequel elles sont adaptées grandir.**

Microorganism	Minimum pH	Minimum a_w
<i>Bacillus cereus</i>	4.9	0.91
<i>Campylobacter jejuni</i>	5.3	0.985
<i>Clostridium botulinum</i> (non-proteolytic)	5.0	0.96
<i>Clostridium botulinum</i> (proteolytic)	4.6	0.93
<i>Clostridium perfringens</i>	5.0	0.93
<i>Escherichia coli</i>	4.4	0.95
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	3.8–4.2	0.97
<i>Lactobacillus</i> species	3–3.5	0.95
<i>Pseudomonas</i> species	5.0	0.95
<i>Salmonella</i> species	4.0	0.95
<i>Staphylococcus aureus</i>	4.0 (4.6) ^a	0.86
Many yeasts and moulds	< 2.0	0.8–0.6
<i>Yersinia enterocolitica</i>	4.6	0.95

^a Minimum pH with toxin production.

Les acides organiques (lactique, acétique, citrique et malique) sont plus antimicrobiens que **les acides inorganiques** (chlorhydrique, sulfurique).

Le pH et la composition acide ne restent pas constants pendant la vie de certains aliments.

Avec certains aliments, la fermentation entraîne une diminution du pH pendant le stockage alors que chez d'autres, une augmentation peut être notée. **Par exemple**, pendant la maturation des **fromages affinés**, le pH du fromage près des surfaces augmente en raison de l'activité protéolytique de la moisissure, ce qui est lié à la capacité de *Listeria monocytogenes* à se développer dans ces produits, mais pas dans fromages non affinés.

- **Réduction Aw**

L'Aaw d'un aliment peut être réduite soit par la suppression de eau (par exemple séchage) ou par addition de solutés (par exemple sel ou sucre). Ainsi, le produit peut être infecté et que certains microorganismes, principalement des **levures et moisissures** se développent après ouverture du produit.

- **Conservateurs**

Afin de maintenir la stabilité microbienne, de nombreux produits réfrigérés contiennent des agents de conservation naturels ou ajoutés (comme le sel, nitrite, acide benzoïque, acide sorbique).

Le nombre et le type de micro-organismes capables de proliférer dans les aliments réfrigérés conservés dépendent du type d'aliment, du type d'agent de conservation, du pH de nourriture, concentration de conservateur et le temps de stockage. Dans l'ensemble, les levures et les moisissures ont tendance à être plus résistantes aux conservateurs par rapport aux bactéries et peuvent donc dominer la détérioration finale.

Les tendances récentes dans la transformation des aliments ont eu tendance à réduire ou à éliminer l'utilisation de conservateurs. *Une telle approche nécessite des précautions, même les plus petites modifications peuvent compromettre la sécurité du produit et la stabilité microbiologique.*

- **Atmosphère de stockage**

Utilisation d'atmosphères modifiées, y compris d'emballage sous vide, pour le stockage des aliments réfrigérés est en augmentation. Souvent, ceux-ci sont choisis pour maintenir sensorielle caractéristiques d'un produit, mais beaucoup inhiberont ou retarderont également le développement **microflore d'altération «normale»**.

Les espèces de *Pseudomonas*, le principal groupe de détérioration dans les aliments protéinés réfrigérés, nécessitent la présence d'oxygène pour se développer.

Par conséquent, l'utilisation d'emballages sous vide ou d'atmosphères modifiées excluant l'oxygène empêchera la croissance de ce groupe microbien. Alors que d'autres micro-organismes peuvent se développer en l'absence d'oxygène, ils se développent généralement plus lentement et donc le temps de détérioration microbienne est augmenté. La détérioration des viandes emballées sous vide est généralement dominée par **les bactéries lactiques**.

- **Combinassions**

De nombreux produits de refroidissement ne dépendent pas d'un seul système de conservation pour leur stabilité microbienne, mais une **combinaison des facteurs** décrits ci-dessus. En outre, l'utilisation de deux ou plusieurs systèmes associés peuvent sélectionner un type microbien particulier. **Par exemple**, le traitement «sous vide» implique le vide dans l'emballage des aliments, suivi d'un traitement thermique relativement doux (pasteurisation). Le traitement thermique éliminera les microorganismes végétatifs mais pas les bactéries formant des spores. Au cours du stockage ultérieur au froid (jusqu'à 30 jours) dans le conditionnement sous vide, les bactéries anaérobies formant des spores, y compris *Cl. botulinum*, peut se développer en l'absence d'autres micro-organismes. Afin d'éviter cela, se produit doit être conservé en dessous de la température minimale de croissance de *Cl. Botulinum*, donc il faut reformuler le produit pour prévenir la croissance, ou le traitement thermique appliqué doit être augmenté.

3. Stabilisation par modification de l'atmosphère

- **Le conditionnement sous vide**

Il **réduit la quantité d'air** autour de la denrée alimentaire et donc l'action de l'oxygène sur celle-ci. Cela permet d'empêcher d'une part le **développement des micro-organismes**, dont la prolifération est une des causes de l'altération du produit, et d'autre part les **réactions d'oxydation** également à l'origine de dégradations du produit.

- **Le conditionnement sous atmosphère modifiée**

Il permet de **remplacer l'air** qui entoure la denrée alimentaire par **un gaz ou un mélange gazeux** (en fonction du type de produit), et de prolonger ainsi la durée de vie de celle-ci. Cette technique de conservation est associée à un stockage à basse température tout au long de vie du produit. Une mention inscrite sur l'étiquetage indique « *conditionné sous atmosphère protectrice* ».

4. Stabilisation par élimination de l'eau

- **La concentration et le séchage**

Il consiste à **éliminer partiellement ou totalement l'eau** contenue dans l'aliment. Du fait d'une faible activité de l'eau (A_w), les micro-organismes ne peuvent proliférer, et la plupart des réactions chimiques ou enzymatiques de détérioration sont ralenties.

▪ **La lyophilisation**

Il consiste à **congeler un aliment puis à le placer sous vide** : l'eau passe ainsi directement de l'état solide à celui de vapeur (sublimation). La forme et l'aspect des produits sont bien conservés, leur qualité aromatique est bien supérieure à celle des produits séchés. Du fait de son coût, cette technique est réservée aux denrées alimentaires à forte valeur ajoutée tels que **les champignons, le café soluble, certains potages instantanés et les céréales pour petit déjeuner**.

▪ **Le fumage ou fumaison**

Consiste à soumettre une denrée alimentaire à **l'action des composés gazeux qui se dégagent lors de la combustion de végétaux**. Le fumage joue plusieurs rôles : aromatisation et coloration, préservation par effet antimicrobien et modification de la texture du produit. Il s'applique principalement aux produits carnés pour lesquels le séchage suivi du fumage permet de conserver les viandes et poissons grâce à l'action combinée de la déshydratation et des antiseptiques contenus dans la fumé.

▪ **Le salage**

Il vise à soumet la denrée alimentaire à l'action du sel soit en le répandant directement à la surface de l'aliment (salage à sec), soit en immergeant le produit dans une solution d'eau salée (saumurage). Cette technique est essentiellement utilisée **en fromagerie** et pour la conservation de certaines espèces de **poissons**.

▪ **Le sucrage**

Généralement le consommateur associe les sucres à la saveur sucrée. Mais les sucres jouent un rôle de par leur effet **dépresseur de l' A_w** au niveau de la conservation. L'ajout de glucides, comme le glucose, fructose ou le saccharose aux confitures et gelée empêche la croissance microbienne et permet **la conservation hors de la chaîne du froid**.

La déshydratation osmotique des fruits par immersion dans des sirops est couramment utilisée. On peut également ajouter des sucres aux légumes en boîte pour conserver leur texture et minimiser l'oxydation à fin d'éviter l'altération de la saveur et du couleur.

5. Stabilisation par l'ajout des additifs

Parmi les additifs alimentaires, on distingue les additifs de conservation, ou conservateurs chimiques (E200 à E 297), qui sont utilisés dans le but de prolonger la durée de conservation des aliments.

Ils ont comme objectifs d'assurer :

- **L'innocuité de l'aliment**, par inhibition de la multiplication des microorganismes pathogènes et de la production de toxines.
- **La stabilité organoleptique** de l'aliment par inhibition des microorganismes d'altération.

Les conservateurs chimiques n'ont pas la capacité de rendre sain un produit qui ne l'était pas avant son traitement, ni d'améliorer la qualité d'un mauvais produit ; ils peuvent seulement conserver au produit ses caractéristiques initiales plus longtemps qu'à l'ordinaire.

6. Fermentation

Elle permet la conservation des aliments tout en améliorant les qualités nutritionnelles des produits et en augmentant les qualités organoleptiques des aliments. La maîtrise du processus de fermentation consiste à favoriser une flore utile au détriment d'une flore indésirable afin de prévenir les risques sanitaires pouvant survenir chez les consommateurs.

7. Autres techniques

L'ionisation ou irradiation, micro-ondes, la microfiltration et la nanofiltration... etc.