



Maitrise et développement microbien

Dr. Faradji-Hamma Samia

Niveau concerné : Master 1 Microbiologie appliquée

Année 2020/2021

Liste des figures

Figure 1 : Courbe de croissance généralisée d'une culture bactérienne

Figure 2 : courbe de croissance de bactéries psychrophiles, mésophiles et thermophiles selon la température

Figure 3 : courbe de croissance de bactéries selon le pH du milieu

Figure 4 : Nature des facteurs environnementaux

Figure 5 : source de rayonnement

Liste des tableaux

Tableau I : Développement des microorganismes selon l'activité d'eau

TableauII : Rôle du froid sur la maîtrise de la croissance des microorganismes=

Tableau III Aliments autorisés

SOMMAIRE

I .La croissance microbienne et Les facteurs influençant cette croissance.....	
I.1 .Courbe de croissance.....	
I.2.Sources d'énergie.....	
I.3. Conditions physico-chimiques de la croissance.....	
I.3.1. Effet de l'oxygène.....	
I.3.2 . Effet de la température.....	
I.3.3Effet du Ph.	
I.3.4. Effet de l'eau libre.....	
II Les micro-organismes dans les aliments	
II.1.Les facteurs intrinsèques	
II.1.1Le pH	
II.1.2 L'eau et sa disponibilité.....	
II.1.3 Le potentiel d'oxydo-réduction	
II.1.4 La structure physique	
II.2 <u>Les facteurs extrinsèques.....</u>	
II.2 .1 La température et l'humidité	
II.2 .2 Effet de l'augmentation de la température.....	
II.2 .3Effets du froid sur les bactéries.....	
3.1Réfrigération	
3.2Congélation	
II.2 .4L'atmosphère,	
II.2 .5Conservateurs / antimicrobiens.....	
II.2 .5.1 <i>Conservateurs</i> minéraux:.....	
II.2 .5.2 <i>Conservateurs organiques</i> :.....	
III Traitements Technologiques de Conservation des Aliments.....	
III1 Ionisation: Conservation des Aliments par Irradiation.....	

III.1.2.L'innocuité des produits	
III.2. Pascalisation: traitement des aliments à Haute Pression.....	
III.2.1.Principe	
III.2.2.Effet sur les constituants des aliments	
IV. Nouveaux traitements physiques (conservation aliments).....	
IV.1 Champs pulsés: électriques, magnétiques, sons, ultraviolets.....	
IV.1.2.Champs électriques pulsés.....	
IV.1.3.Champs magnétiques pulsés	
IV.1.4.Ultrasons.....	
IV.1.5.Ultraviolets & lumière pulsée	
IV.2.Conditionnements sous atmosphère modifiée.....	
IV.2 .1Effet sur les bactéries.....	
IV.2 .2Effet sur les lipides.....	
IV.2 .3Viandes sous atmosphères modifiées, avec ou sans oxygène, ou sous vide.....	
IV.2 .4Fruits sous atmosphère modifiée.....	
Références Bibliographiques	

I. La croissance microbienne et Les facteurs influençant cette croissance.

I 1 - Courbe de croissance

Les cellules bactériennes sont capables de se multiplier dans des milieux de culture liquides ou sur milieux solides artificiels, dans des conditions physico-chimiques approchant les conditions de leur écosystème naturel. Cependant, certaines espèces bactériennes ne sont pas cultivables sur milieux artificiels

Le mécanisme général de la croissance bactérienne, étudiée par culture *in vitro*, est celui du remplacement d'une cellule mère par deux cellules filles identiques. À chaque division, il y a donc un doublement de la population bactérienne, et cela se produit avec une périodicité constante pour chaque espèce bactérienne dans un milieu de culture donné. Ce temps de génération peut aller de quelques minutes pour des bactéries à croissance rapide - ensemencées dans des milieux riches convenablement aérés.

Le développement d'une culture microbienne est habituellement représenté à l'aide d'un graphique donnant le nombre de bactéries ou mieux le logarithme de ce nombre en fonction du temps. C'est la courbe de croissance. Elle rend compte du cours de développement de la culture considérée. Celui-ci reflète l'interaction de la population bactérienne en voie de croissance et du milieu.

Après inoculation du milieu, quatre phases principales se distinguent dans toute courbe de croissance (fig. 1) :

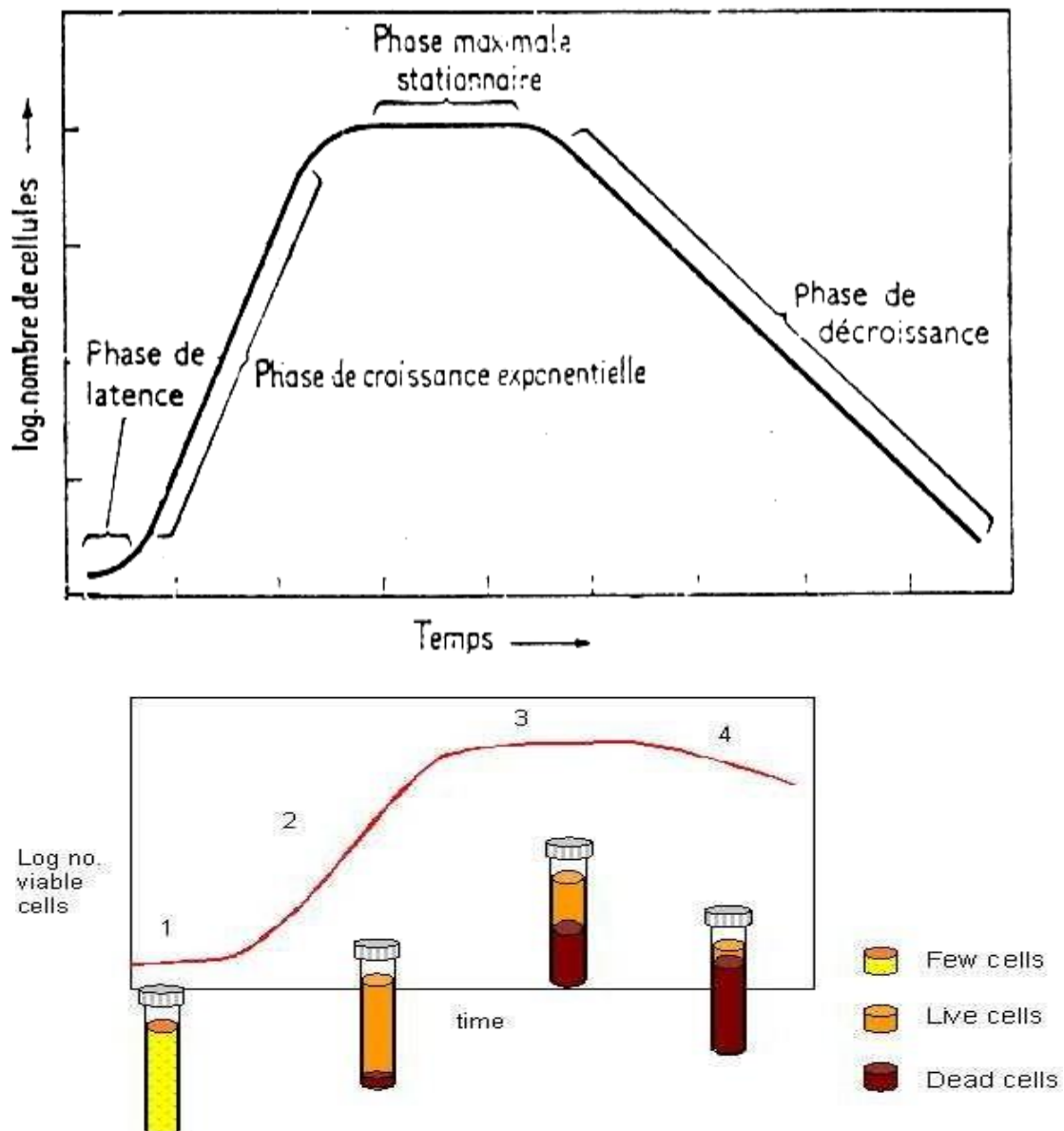


Figure 1 - Courbe de croissance généralisée d'une culture bactérienne (D'après STANIER, et *al.*, 1966)

1.1 PHASE DE LATENCE: Pendant cette période le taux de croissance est nul puis augmente légèrement. Elle traduit l'adaptation des bactéries au milieu. Elle est sous l'influence de plusieurs facteurs :

- les conditions physico-chimiques du milieu : pH, température...

·les caractères propres des bactéries notamment leur état physiologique,

·**la composition du milieu.** Lorsque la population bactérienne ne trouve pas dans le milieu les facteurs de croissance indispensables, elle est incapable de se développer. La croissance ne peut alors débuter que si l'inoculum contient des cellules mutantes, c'est-à-dire présentant brusquement une modification d'un caractère transmissible héréditairement.

Selon ces facteurs, la phase de latence peut être plus ou moins longue : de deux à trois heures à plusieurs jours. . La durée de latence dépend de l'état du germe (fort inoculum en phase exponentielle dans milieu identique = latence très brève; germes très peu nombreux stockés au frigo ou lyophilisés = la latence longue).

La latence sera longue si faible inoc. ou milieu défavorable (pH acide, température basse).

I.1.2 PHASE EXPONENTIONNELLE OU LOGARITHMIQUE: Ici, les bactéries se multiplient sans entrave ; le taux de croissance est maximum et constant, c'est-à-dire que le taux de génération est minimum. Ce taux est caractéristique d'un microorganisme donné qui est lui-même sous la dépendance des conditions d'environnement comme la nature et la concentration des nutriments, le pH et la température. Ces facteurs ont une grande influence. C'est ainsi que pour *Escherichia Coli* le taux de croissance est de 0,5 à 18°C et de 3, 3 à 40°C. Dans le cas des bactéries thermophiles, la pente de la droite représentant la phase exponentielle est habituellement plus forte que pour les mésophiles et plus faible pour les psychrophiles et les psychrotrophes.

La croissance exponentielle est d'assez courte durée (quelques heures). Elle est limitée par l'apaisement du milieu en nutriments ou par l'accumulation de produits du métabolisme devenant toxiques au-delà d'une certaine concentration.

Il est évident que la phase exponentielle de croissance d'une cellule ne peut être maintenue de façon continue. Si tel était le cas, une seule bactérie ayant un temps de génération de vingt minutes donnerait en quarante huit heures une descendance dont la masse totale serait approximativement quatre mille fois plus grande que celle de la terre ! Pour des bactéries "rapides", T=15-20 min (3 ou 4 doublements par heure).

I.1.3 PHASE STATIONNAIRE MAXIMALE: Le milieu devenant de moins en moins favorable à la croissance, le nombre de cellules viables reste constant à sa valeur maximale, généralement pendant quelques heures ou même quelques jours. Ce phénomène traduit un équilibre entre le nombre de bactéries provenant de la multiplication et le nombre de celles qui meurent. Il peut aussi indiquer la persistance de bactéries vivantes en l'absence de toute multiplication. Il peut avoir plusieurs causes : épuisement en nutriments, accumulation de déchets toxiques, conditions d'environnement devenant défavorables (pH, température...).

I.1.4 PHASE DE DÉCROISSANCE OU DE DÉCLIN: Pendant cette dernière phase les bactéries ne se reproduisent plus. Beaucoup d'entre elles meurent et sont décomposées plus ou moins rapidement par les enzymes libérées au moment de leur mort. Ce processus d'autodigestion constitue l'autolyse. Le taux de mortalité peut être constant comme le taux de croissance. Il est alors représenté par une droite, le nombre de cellules étant proportionnel au temps. La pente de cette droite dépend de l'espace bactérienne ainsi que des conditions de l'environnement.

Cependant, il peut se produire assez fréquemment des déviations de l'ordre exponentiel de déclin en raison de divers degrés de résistance des cellules. Dans certains cas aussi des bactéries peuvent survivre et se multiplier aux dépens des nutriments libérés par la décomposition des autres cellules.

1. 2 . Sources d'énergie

Les bactéries puisent dans leur milieu nutritif les substrats à partir desquels elles synthétisent leurs propres constituants. Cette synthèse s'effectue à partir de monomères précurseurs, les métabolites essentiels, auxquels s'ajoutent des vitamines et des molécules résultant de l'activité externe des exoenzymes bactériennes. L'apport énergétique nécessaire à la construction des macromolécules, à partir des monomères précurseurs, se fait par l'adénosine triphosphate (ATP) synthétisée par la bactérie. Selon les groupes bactériens, différentes sources d'énergie et de substrats carbonés sont utilisées, définissant le type trophique de la bactérie. Les bactéries et cyanobactéries capables d'utiliser l'énergie lumineuse sont les bactéries phototrophes.

Les bactéries chimiotrophes puisent leur énergie à partir de composés minéraux ou organiques. Elles utilisent des donneurs et des accepteurs d'électrons. Elles utilisent les

produits de l'oxydation de composés organiques, par métabolisme aérobie ou anaérobie. Ce dernier type trophique est le plus commun dans le monde bactérien comme dans la majorité des cellules eucaryotes. Les bactéries parasites intracellulaires obligatoires, incapables de croître en dehors de la cellule hôte, ont un type trophique désigné sous le nom de paratrophie

Le carbone est l'un des éléments les plus abondants de la bactérie. Le plus simple des composés est l'anhydride carbonique ou CO_2 . Celui-ci peut être utilisé par la bactérie pour la synthèse de certains métabolites essentiels qui ferait intervenir une réaction de carboxylation. Les sources de carbone sont très variées. Certaines bactéries, photo- ou chimio-lithotrophes notamment, utilisent directement le carbone du gaz carbonique sans que la présence de matière organique préformée soit nécessaire à leur croissance ; on les dit autotrophes. Certaines sont strictement autotrophes et leur croissance peut même être inhibée en présence de matière organique préformée. Pour d'autres bactéries, au contraire, la présence de matière organique est indispensable à la croissance : ce sont les bactéries hétérotrophes. C'est le cas notamment des bactéries photo- et chimio-organotrophes. La complexité des substrats organiques indispensables à la croissance de ces bactéries hétérotrophes est variable. Les bactéries prototrophes croissent en présence de composés simples tels qu'un sucre ou un acide organique qui serviront de matière première pour l'ensemble des synthèses cellulaires. Les bactéries auxotrophes, au contraire, ont besoin que le milieu de croissance contienne déjà des constituants préformés qu'elles seraient incapables de synthétiser.

Le CO_2 est la seule source de carbone pour les bactéries autotrophes. Les bactéries hétérotrophes utilisent facultativement le CO_2 . Les bactéries hétérotrophes dégradent une grande quantité de substances hydrocarbonées (alcool, acide acétique, acide lactique, polysaccharides, sucres divers).

Les bactéries ont besoin de substances azotées pour synthétiser leurs protéines. La provenance de cet azote peut se faire par fixation directe de l'azote atmosphérique ou par incorporation de composés azotés (réactions de désamination, de transamination). Les besoins en azote des bactéries sont généralement assurés par les produits de dégradation des substrats organiques sous forme ammoniacale. Quelques espèces sont capables de fixer directement l'azote de l'air ou d'assimiler les nitrates et les nitrites ; elles jouent un rôle très important en agronomie et sont étudiées d'une façon intensive, en vue d'améliorer, grâce à leur utilisation éventuelle, le rendement de croissance des végétaux. D'autres espèces bactériennes, au

contraire, sont totalement incapables de synthétiser les substances azotées indispensables à leur structure, et leur croissance exige l'apport, dans les milieux de culture, de substrats préformés tels que des acides aminés (bactéries auxotrophes).

Le soufre est incorporé par les bactéries sous forme de sulfate ou de composés soufrés organiques.

I.3. Conditions physico-chimiques de la croissance

I.3.1- Effet de l'oxygène

Il existe plusieurs classes de bactéries en fonction de leurs rapports avec l'oxygène.

I.3.1 .1 . Les bactéries aérobies strictes

Elles ne se développent qu'en présence d'air. Leur source principale d'énergie est la respiration. L'oxygène moléculaire, ultime accepteur d'électron, est réduit en eau (*Pseudomonas, Acinetobacter, Neisseria*).

I.3.1 2 . Les bactéries microaérophiles

Elles se développent mieux ou exclusivement lorsque la pression partielle d'oxygène est inférieure à celle de l'air (*Campylobacter, Mycobacteriaceae*).

I.3.1.3 - Les bactéries aéro-anaérobies facultatives

Elles se développent avec ou sans air. C'est le cas de la majorité des bactéries rencontrées en pathologie médicale : les entérobactéries (*Escherichia, Salmonella*), les streptocoques, les staphylocoques. L'énergie provient de l'oxydation des substrats et de la voie fermentaire.

I.3.1 4 - Les bactéries anaérobies strictes :

Elles ne se développent qu'en absence totale ou presque d'oxygène qui est le plus souvent toxique. Ces bactéries doivent se cultiver sous atmosphère réductrice. La totalité de l'énergie est produite par fermentation.

I.3.2 - Effet de la température

La température influence la multiplication et le métabolisme. Selon leur température optimale de croissance, on distingue schématiquement diverses catégories de bactéries.

I.3.2.1_ Les bactéries mésophiles : elles préfèrent une température moyenne comprise entre 20 et 40 °C. Les psychrotrophes ont une température optimale de multiplication de 20 à 25 °C, mais elles peuvent également cultiver à 0 °C.

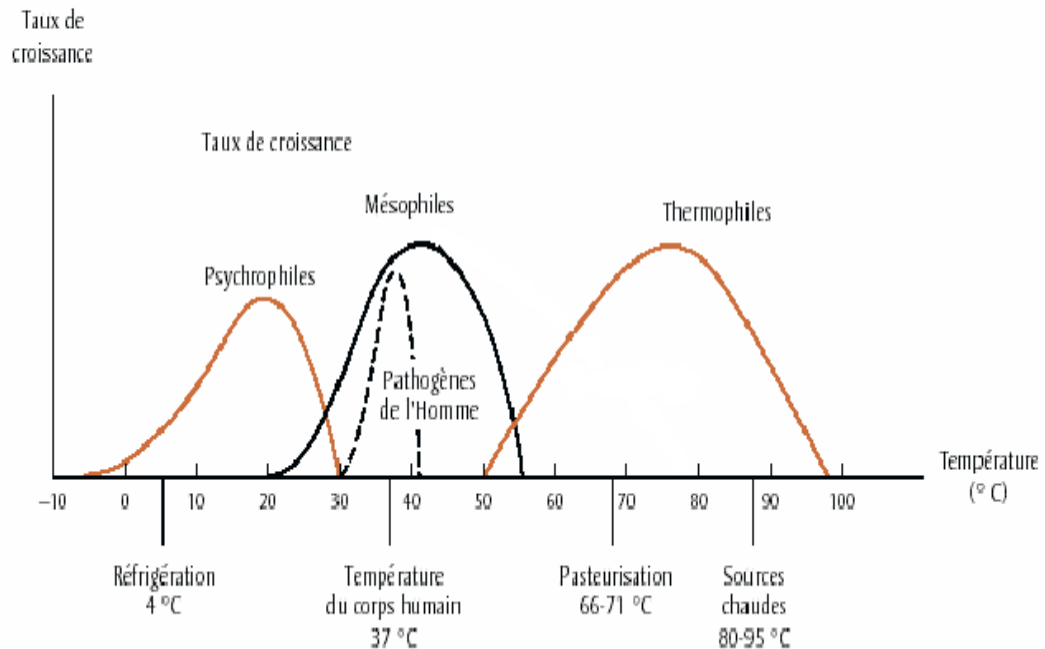
I.3.2.2 Les bactéries psychrophiles : elles ont une température optimale de croissance située aux environs de 10 °C, mais elles peuvent cultiver à 0 °C. Les cryophiles peuvent se développer à des températures négatives. Par exemple, *Trichococcus patagoniensis*, isolé en Patagonie des fèces de pingouins, cultive à - 5 °C.

I.3.2.3 Les thermotrophes: elles se développent à 50 °C, mais leur température optimale de croissance est comprise entre 30 et 40 °C. Les thermophiles se multiplient préférentiellement entre 45 et 55 °C.

I.3.2.4 Les hyperthermophiles: elles ont une température optimale de croissance supérieure ou égale à 70 °C. *Methanothermus sociabilis* cultive à 97 °C, *Pyrobaculum islandicum* cultive à 100 °C, *Pyrococcus furiosus* a une température optimale de croissance de 100 °C, *Pyrodictium occultum* a une température optimale de croissance de 105 °C,

Methanopyrus kandleri cultive à 110 °C et le record semble être détenu par *Pyrolobus fumarii* apte à se multiplier à 113 °C. Les bactéries constituant les flores bactériennes des mammifères ainsi que les bactéries pathogènes pour les mammifères et les oiseaux sont des bactéries mésophiles. Les bactéries psychrotrophes et psychrophiles jouent un rôle important car elles peuvent contaminer et altérer des produits biologiques (sang et dérivés du sang) ainsi que des

Figure 2. Courbes de croissance des microorganismes psychrophiles, mésophiles et thermophiles selon la température



La plupart des cultures bactériennes sont effectuées à 37°C par analogie avec la température centrale des mammifères, à cause, sans doute, des coutumes acquises en bactériologie médicale pour l'isolement de bactéries pathogènes à partir des prélèvements humains ou animaux, à la température desquels elles sont supposées s'être adaptées. Cependant, certaines bactéries ne se comportent qu'occasionnellement comme des parasites des organismes supérieurs (infections à bactéries « opportunistes »), et leurs conditions de vie habituelles dans le milieu extérieur leur confèrent une adaptation soit à des températures inférieures à 30 °C (bactéries psychrophiles), soit à des températures de l'ordre de 40 à 45 °C (bactéries thermophiles). La majorité des bactéries tolère une échelle de températures comprises entre 20 et 45 °C : ce sont les bactéries mésophiles. La température, paramètre sélectif pour la croissance des bactéries, conditionne la prolifération exclusive de certaines espèces dans un biotope donné ; ainsi, les bactéries thermophiles seront abondantes dans les sources chaudes ou dans des bains de refroidissement de centrales thermiques ou thermo-nucléaires. Certaines bactéries psychrophiles posent des problèmes majeurs et de plus en plus fréquents en microbiologie alimentaire, du fait de la généralisation des procédés de stockage des denrées au réfrigérateur. Le stockage risque d'entraîner la prolifération d'espèces

pathogènes pour l'homme, essentiellement des bactéries Gram négatives, capables de se multiplier à + 4 0C, alors que la plupart des bactéries contaminantes habituelles des aliments sont mésophiles et ont un métabolisme inhibé à basse température.

I.3 .3Effet du pH

Les bactéries sont généralement tolérantes à des variations de pH entre 6 et 9, grâce à la régulation exercée par leur membrane cytoplasmique à l'encontre des ions H⁺. Dans les cultures en milieux non tamponnés, les alcalins libérés à partir notamment des réactions de décarboxylation des acides aminés ou les acides libérés par dégradation des carbohydrates peuvent modifier le pH dans des conditions telles que le milieu devient toxique pour les bactéries.

Les bactéries pathogènes ou liées à l'écosystème humain se développent le plus souvent dans des milieux neutres ou légèrement alcalins.

On distingue les bactéries:

I.3 .3.1- neutrophiles qui se développent pour des pH sont compris entre 5,5 et 8,5 avec un optimum voisin de 7. La plupart des bactéries médicalement importantes sont ainsi.

I.3 .3.2- - alcalophiles qui préfèrent les pH alcalins: cas de *Pseudomonas* et *Vibrio*, donc milieux de culture particuliers

I.3 .3.3 - acidophiles qui se multiplient mieux dans des milieux acides : cas des *Lactobacillus*.

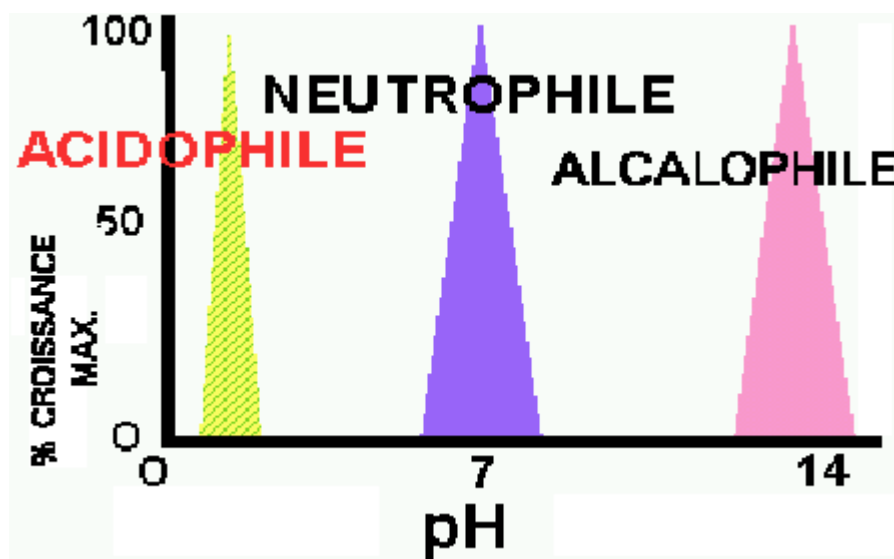


Figure 3 : courbe de croissance de bactéries selon le pH du milieu

I.3 .4. Effet de l'eau libre

La disponibilité de l'eau présente dans l'atmosphère ou dans une substance intervient dans la croissance bactérienne. L'activité de l'eau (A_w) 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.

- Présence de sels : Les bactéries halophiles nécessitent du sel (NaCl) pour leur croissance. Cette concentration peut varier de 1-6% pour les faiblement halophiles jusque 15-30% pour les bactéries halophiles extrêmes (*Halobacterium*).

Les bactéries halotolérantes acceptent des concentrations modérées de sels mais non obligatoires pour leur croissance (Ex. : *Staphylococcus aureus*).

- Présence de sucres : Les bactéries osmophiles nécessitent des sucres pour leur croissance. Celles osmotolérantes acceptent des concentrations modérées de sucres mais non obligatoires pour leur croissance. Enfin les bactéries xérophiles peuvent se multiplier en l'absence d'eau dans leur environnement.

II Les micro-organismes dans les aliments

Parce qu'ils nous fournissent les éléments nutritifs, les aliments sont aussi d'excellents milieux pour la croissance des micro-organismes. Cette croissance est contrôlée par des facteurs liés à l'aliment lui-même, ou facteurs **intrinsèques**, et aussi par d'autres, liés à l'environnement ou l'aliment est conservé, ce sont les facteurs **extrinsèques**. Les facteurs intrinsèques ou associés aux aliments comprennent le pH, l'humidité, l'activité ou la disponibilité de l'eau, le potentiel d'oxydo-réduction, la structure physique de l'aliment, les éléments nutritifs disponibles et la présence possible d'agents anti-microbiens naturels. Les facteurs extrinsèques ou environnementaux concernent la température, l'humidité relative, les gaz (CO_2 , O_2), les types et les quantités de micro-organismes présents dans l'aliment.

➤ **L'effet des bactéries dépend de leur Densité :**

Les effets des bactéries ne sont "visibles" qu'**au delà d'une certaine densité**

(sauf germes très pathogènes: une seule cellule de *Mycobacterium* peut donner une tuberculose)

- 10^6 germes/g suffisent en général à donner une TIAC (dose minimale infectieuse Salmonelles)
- 10^7 germes/g suffisent à donner une odeur désagréable à un aliment, à troubler un liquide
- 10^8 germes/g suffisent à modifier l'aspect de surface (limon gluant)
- 10^9 germes = une colonie visible sur une boîte de pétri

➤ **Facteurs nécessaire à la croissance bactérienne**

Pour croître la bactérie a besoin d' @ **ETTANO** (fig.4)

@**ETTANO** = Eau + Temps + Température + Acidité + Nutriments + Oxygène.

@**ETTANO**: les valeurs critiques dépendent évidemment de l'espèce bactérienne

E- Eau, humidité suffisante, mesurée par: Aw

T- Temps : durée suffisante dans les bonnes conditions

T- Température permettant la croissance

A- Acidité, pH permettant la croissance. *Bactery préfère la neutralité. Est-elle Suisse ?*

N- Nutriments : les bactéries doivent manger !

O- Oxygène, ou PAS d'oxygène (anaérobiose) : cela dépend de la bactérie

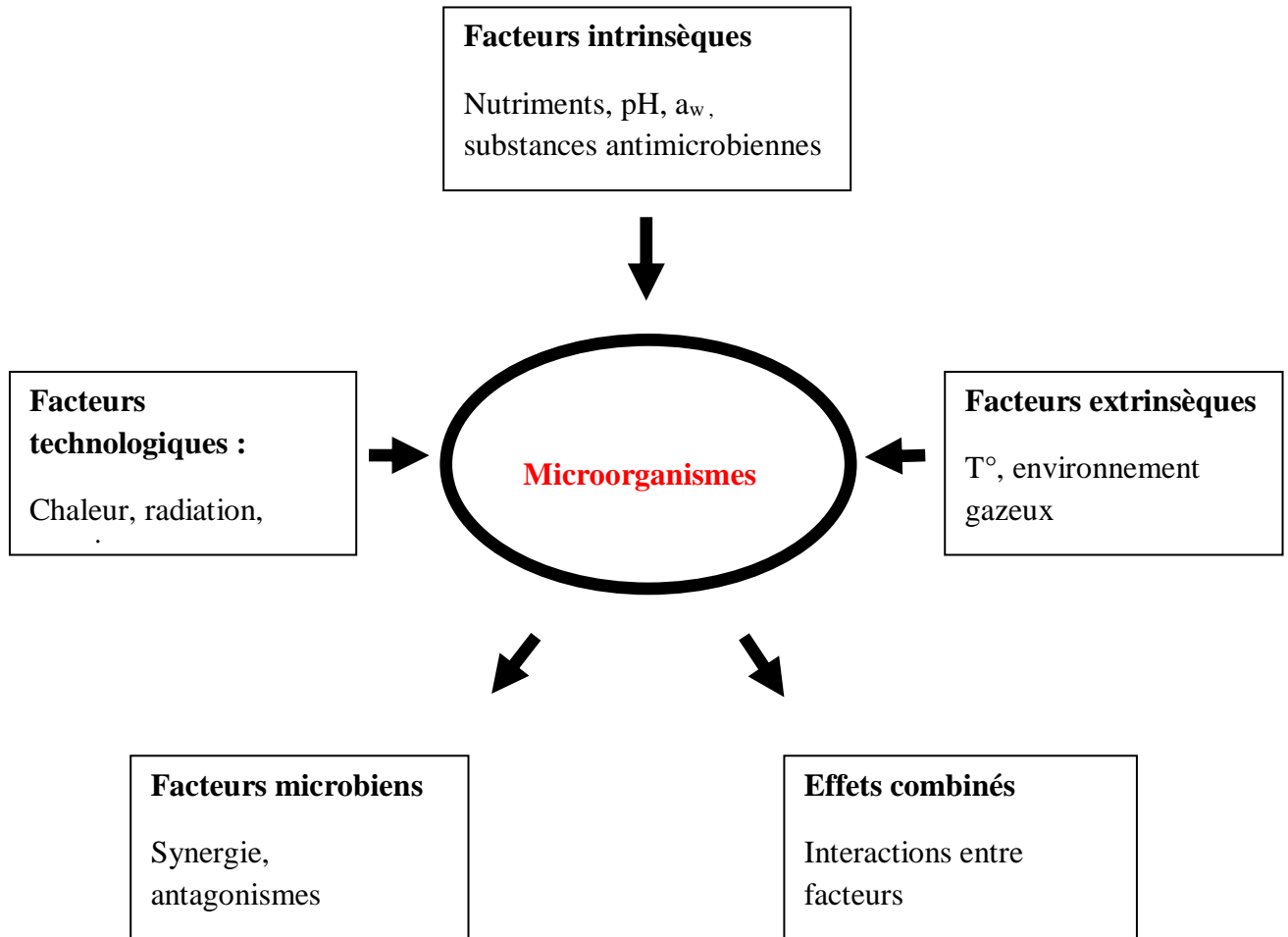


Figure4 : Nature des facteurs environnementaux

II.1 Les facteurs intrinsèques

La composition de l'aliment est un facteur intrinsèque crucial qui influence la croissance microbienne. Si un aliment consiste essentiellement en glucides, sa détérioration ne produira pas beaucoup d'odeurs. Des aliments, comme le pain, les confitures et certains fruits, gâtent d'abord sous l'action de mycètes. Au contraire, lorsque l'aliment contient de grandes quantités de protéines et/ou de graisses (par exemple, la viande et le beurre), sa détérioration peut s'accompagner de toute une variété d'odeurs infectes. Il suffit de penser aux œufs pourris. Cette protéolyse et la dégradation anaérobie des protéines qui donnent des composés aminés nauséabonds s'appellent la putréfaction. Une source importante d'odeur est l'amine organique, appelée cadavérine. La dégradation des graisses ruine tout autant la nourriture. Par exemple, la production à partir des lipides, d'acides gras à courtes chaînes rend le beurre rance et désagréable.

II.1.1 Le pH : le pH d'un aliment est aussi critique, car un pH faible favorise le développement des levures et des moisissures. Les bactéries prédominent au cours du processus de détérioration et de putréfaction des aliments à pH neutre ou alcalin, comme les viandes. Différents types de détérioration peuvent se produire selon le substrat principal.

II.1.2 L'eau et sa disponibilité : affectent la capacité qu'ont les micro-organismes de coloniser les aliments (tab.I). En séchant simplement un aliment, on arrive à contrôler ou éviter la détérioration. On peut rendre l'eau moins disponible, même si elle présente, en ajoutant des solutés comme le sucre et le sel. La disponibilité en eau est mesurée en termes d'activité de l'eau. Cette activité représente le rapport entre l'humidité relative de l'air au dessus d'une solution test et celle de l'eau distillée. Les micro-organismes sont pour la plupart déshydratés par les conditions hypertoniques et ne se multiplient pas si on ajoute de grandes quantités de sel ou de sucre aux aliments. Des micro-organismes osmophiles se développent mieux dans ou sur des milieux dont la pression osmotique est élevée alors que les micro-organismes xérophiles préfèrent un environnement où l'activité de l'eau est faible et peuvent ne pas se développer si celle-ci est élevée.

Tableau I : développement des microorganismes selon l'activité d'eau

Valeurs de W_a	Aliment	Type de microorganismes
1 -0,86	Yaourt , fruits ,légumes	Bactéries, levure, Moisissures
0,86-0,7	Farine, riz, légumes sec, lait concentré, sucré, confiture	levure, Moisissures
0,7-0,6	Fruits déshydratés, caramel mou, flacon d'avoine	Moisissures
0,6-0,4	Pâte, épice, œuf en poudre	Absence de développement de microorganismes
0,4-0,3	Biscuit sec, chapelure	Oxydation des lipides
0,3-0,2	Lait en poudre	Réaction enzymatique limitée
Moins de 0,2	Tout types de produits	Aucune activité enzymatique

II.1.3 Le potentiel d'oxydo-réduction : d'un aliment influence aussi la détérioration. Après cuisson, les dérivés carnés, particulièrement les bouillons, ont souvent des potentiels d'oxydo-réduction faibles. Ces dérivés, contenant acides aminées, peptides et facteurs de croissance directement disponibles, sont des milieux idéaux pour le développement d'anaérobies comme *Clostridium*.

II.1.4 La structure physique : d'un aliment affecte également le déroulement et l'étendue de la décomposition. Broyer et mélanger des aliments des aliments, tels que les saucisses et les hamburgers, non seulement, augmentent la surface de la nourriture et altèrent la structure cellulaire, mais dispersent aussi les germes contaminants partout dans la nourriture. Ceci provoque une détérioration rapide si ces aliments sont mal conservés. Les légumes et les fruits ont des épidermes qui les protègent d'une altération. Les micro-organismes du pourrissement

ont souvent des enzymes spécialisée qui les aide à affaiblir et à pénétrer les pelures protectrices, surtout lorsque les fruits et les légumes ont été blessés.

De nombreux aliment contiennent des **substances antimicrobiennes naturelles**, parmi lesquelles des inhibiteurs complexes et des enzymes. Les coumarines présentes dans les fruits et les légumes montrent une activité antimicrobienne. Le lait de vache et les œufs contiennent également des substances anti-microbiennes. Les œufs sont riches en lysozyme, une enzyme lytique pour les parois des bactéries Garm-positives contaminantes. D'autres aliment intéressants, dotés d'activités anti-microbiennes sont les sauces épicées qu'on utilise avec les huîtres crues et autres fruits de mer. Le tabasco et autres sauces au poivre rouge possèdent apparemment des caractéristiques antimicrobiennes particulièrement intéressantes.

Les herbes et les épices contiennent souvent des substances antimicrobiennes importants : les mycètes y sont généralement plus sensibles que la plupart des bactéries. La sauge et le romarin sont deux épices les plus antimicrobiennes. Il y a des composés aldéhydiques et phénoliques dans la cannelle, la moutarde et l'origan ; ce sont des inhibiteurs de la croissance microbienne.

L'ail, qui contient l'allicine, et les clous de girofle, avec l'eugénol, sont d'autres inhibiteurs importants. Cependant, les épices peuvent aussi contenir des organismes pathogènes et inducteurs de pourriture. Des coliformes, *B. cereus*, *C. perfringens* et des espèces de *Salmonella* ont été détectés dans la plupart des épices. Les micro-organismes peuvent être éliminés ou réduits en nombre par stérilisation des herbes dépourvues de *Salmonella*, et réduire de 90% la teneur générale en organismes inducteurs de pourriture.

Les thés vert et noir fermentés ont aussi des propriétés anti-microbiennes bien étudiées, à cause de leurs contenus en polyphénols, qui diminuent apparemment lors de la fermentation. Ces thés sont actifs contre les bactéries, les virus et les mycètes et peuvent avoir des propriétés anti-cancéreuses.

II.2 Les facteurs extrinsèques

II.2 .1La température et l'humidité relative sont des facteurs extrinsèques importants dans l'avarie d'un aliment. Les microbes se développent plus rapidement dans l'avarice 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 les aliments secs sont mis à l'humidité, ils absorbent l'eau en surface, ce qui permet finalement une croissance microbienne.

II.2 .2 Effet de l'augmentation de la température

Aucun développement bactéries pathogènes si $t^{\circ}\text{C} > 63^{\circ}\text{C}$

Destruction pathogènes f. végétatives si $T^{\circ} > 70^{\circ}\text{C}$ un temps suffisant
Destruction des spores pathogènes si $T^{\circ} > 100^{\circ}\text{C}$ un temps suffisant

II.2 .3 Effets du froid sur les bactéries

(effets plus fort sur mésophiles que sur psychrophiles):

3.1 Réfrigération = abaissement de la température à une valeur inférieure à la température ambiante mais supérieure au point de congélation du produit (l'eau reste liquide)

3.2. Congélation = abaissement de la température à une valeur **inférieure au point de congélation** (zéro degré dans l'eau pure, mais pour la viande : $< -1,4^{\circ}\text{C}$)

3.1 Réfrigération:

- réfrigération **diminue la vitesse de croissance** (augmente le temps de doublement)

réfrigération **diminue la vitesse de démarrage** (augmente la phase de latence)

- réfrigération **augmente donc fortement la conservation des aliments**

(en gros la viande se garde 1 jour à 22°C mais 10 j à 0°C)

réfrigération **sélectionne les bactéries psychrophiles**

(ex.: bien que "lentes", *Pseudomonas* et *Listeria* sont avantagées au frigo)

- réfrigération **pousse bactéries à s'adapter** (*mais c'est long*)

(plus d'AGPI dans membranes, pigments, lipases *Pseudomonas* du lait)

3.2 Congélation:

- congélation **arrête la croissance** bactérienne (eau libre disparaît, lipides membranes solides)
- congélation **tue certaines bactéries (9 cellules Gram- sur 10)**: effet létal partiel et sélectif (coques et gram+ résistent mieux).

Comment la congélation agit-elle sur certaines bactéries ?

- les **spores résistent** très bien, les **coques gram+** bien aussi, les bacilles gram- plutôt mal
- les cellules en phase de croissance sont plus sensibles que les cellules en latence
- la destruction se produit **au moment où l'eau gèle**. Ensuite, le nombre reste stable
- une **congélation lente tue plus** de bactérie qu'une congélation très rapide (on fait une congélation "flash" dans l'azote liquide pour conserver des souches).
- certaines substances protègent les bactéries = **cryoprotecteurs** (amidon, sucre, lait, glycérol)
- Facteurs qui inhibe la croissance (1): Perturbation de la perméabilité par **solidification des lipides membranaires**
- Facteurs qui inhibe la croissance (2): Modification de la concentration saline du milieu car les cristaux de glace sont en eau pure. L'eau non gelée contient donc tous les sels et sa **pression osmotique monte**
- Facteurs qui inhibe la croissance (3): Action mécanique des **cristaux de glace** qui écrasent ou percent les cellules.

Tableau II : rôle du froid sur la maîtrise de la croissance des microorganismes=

Température(°C)	Croissance bactérienne
+10	Staphylocoques (toxine) <i>Clostridium A et B</i>
+7,5	<i>Bacillus cereus</i> (multiplication +toxine)
+6,7	Staphylocoques (multiplication)
+6,5	<i>Clostridium perfringens</i> (multiplication)
+5,2	Salmonelles (multiplication)
0	Arrêt ou ralentissement de la multiplication bactérienne
-10	Arrêt de toute multiplication bactérienne
-18	Arrêt de toute multiplication des levures et des moisissures

II.2 .4L'atmosphère, dans laquelle la nourriture est conservée, est également importante.

C'est particulièrement vrai pour des aliments emballés sous plastique, car beaucoup de films plastiques 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-positives, en produisant une population dominée par les lactobacilles.

L'atmosphère ou 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 atmosphère 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'emballages sous atmosphères modifiées, tout en contribuant à la conservation de l'aliment, entraînent aussi un glissement dans la structure générale de la communauté microbienne, qui passe des organismes Gram-négatifs aux Gr

II.2 .5Conservateurs / antimicrobiens

II.2 .5.1Conservateurs minéraux:

- **Chlorure de Sodium** : NaCl. **Un conservateur MAJEUR.** L'utilisation du sel est largement développée dans le cours sur les salaisons. Son effet majeur sur les bactéries est d'inhiber la croissance en **diminuant l'activité de l'eau a_w**

Nitrates et nitrites: Na et K - NO₃ et NO₂. Utilisés en salaison (E250 **max 150 ppm**) pour **inhiber** *Clostridium botulinum* (germination et croissance) et pour donner avec l'hémoglobine une belle **couleur rouge**. Utilisé aussi sur certains fromages (Hollande) pour inhiber la germination des clostridies gazogènes qui font exploser ces fromages.



Le mode d'action antibactérien est mal connu. Toxicité mineure (sauf nouveaux-nés) vue ailleurs.

- **Sulfite** de sodium (E220): permet le contrôle de la vinification (inhibe bactéries et moisissures en épargnant les bonnes levures), et ajouté aux fruits secs

(pruneaux).

II.2 .5.2 Conservateurs organiques

- **Acides organiques.**

- **Acides gras** : acide **acétique** $\text{CH}_3\text{-COOH}$ et acétates (E260). Conservation des cornichons, des "pickles", marinades (poisson) dans le vinaigre. **Propionate** $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$ de calcium (E280 antifongique / pâtisseries sous plastique, car sans effet sur levure boulanger).

-**Acide sorbique** (E200 avec 6 C & 2 =) et acide benzoïque (E210 cycle $\text{C}_6\text{-COOH}$) inhibent moisissures et levures. Acide **ascorbique**, **citrique** (E330) et **lactique** ajoutés: baisse du pH.

-**Fermentations**: **Acide** propionique naturel du gruyère anti-moisissures. Acide lactique naturel du yogourt. Acide acétique de la choucroute. Toxicité nulle. **Alcools** : les produits naturellement fermentés se conservent bien (le vin contient plus de 10% d'alcool et son pH <4). Les pâtisseries contenant un peu d'alcool (ajouté) ne moisissent pas.

-**Fumage**: traitement par la chaleur et élimination d'eau et dépôt de substances antiseptiques, notamment acides, phénols, et aldéhydes (mais risque de dépôt de cancérigène comme le benzo-a-pyrène si fumage mal conduit)

-**Sucre** : utilisé dans **les confitures**. Comme le sel (mais moins fort), le sucre diminue l'activité de l'eau, a_w . De plus, la cuisson solubilise la pectine des fruits, qui se solidifie en refroidissant, mais uniquement s'il y a assez de sucre dans le milieu. Le gel ainsi formé limite la dispersion des contaminants et la progression des microbes.

-**Antibiotiques** : en France, interdit d'ajouter un antibiotique dans l'aliment (la Nisine, antibiotique produit par *Lactococcus lactis*, est ajoutée dans des fromages aux USA pour lutter contre *C. perfringens* et listeria)

-**Protéines inhibitrices du lait** :

- **Lysozyme**: lyse la paroi des bactéries Gram+ (important dans lait de femme)

-Lactoperoxydase + eau oxygénée, détruit les streptocoques (utilisé pour pasteuriser à froid)

-Lactoferrine: chélate le fer => les bactéries en manquent. (très important dans lait de femme)

L'œuf aussi contient du lysozyme, et une globuline chélatant le fer.

Condiments et épices: Thym, menthe, poivre, clou de girofle, ail, oignon, citron, huile d'olive contiennent des molécules antimicrobiennes (et d'autres fortement anti-oxydantes). Leur effet est probablement insuffisant, mais peut s'ajouter aux autres facteurs.

III. Traitements Technologiques de Conservation des Aliments

Ionisation et autres rayons, Pascalisation, Atmosphères

III.1 Ionisation: Conservation des Aliments par Irradiation

Ioniser c'est soumettre **des denrées alimentaires à l'action radiations ionisantes** pour les assainir ou les stériliser, et augmenter leur durée de vie commerciale.

On peut utiliser trois types de radiations:

1. **Rayons gamma** émis par du **cobalt 60**, très **pénétrants** (énergie **1 MeV**), très utilisés.
2. **électrons** accélérés de moins de 10 MeV (e^- , contrairement à R.gamma & R.X = photons)
3. Rayons X d'énergie inférieure à 5 MeV (millions d'électrons volts). Pas utilisé en pratique.

Ces rayons éjectent des électrons des atomes, sans toucher au noyau atomique, ce qui **lése l'ADN** (effet direct, recherché). Ils génèrent aussi des **produits de radiolyse** (à éviter), surtout dans l'eau ou en présence d'oxygène (on traite donc **à sec, congelé ou sous vide**).

III.1.1 avantages de l'ionisation pour assainir ou stériliser:

1. traitement **à froid** : respecte les produits fragiles bien mieux que le chauffage.
2. traitement de produits **déjà conditionnés** : pas de recontamination bactérienne possible.
3. **pas de résidus** : produits de radiolyse sont très instables (contrairement aux conservateurs).

L'innocuité des produits irradiée est reconnue par tous les scientifiques : on le reverra.

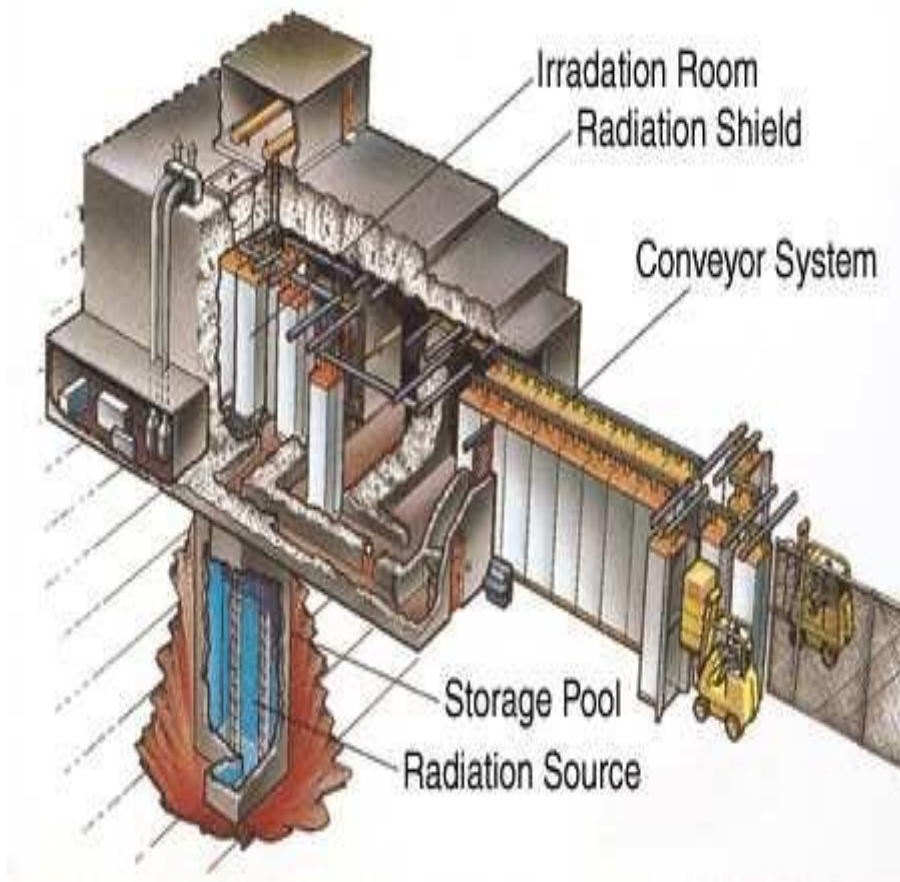


Figure 5 : source de rayonnement

Concrètement: La source est une masse de **cobalt 60** incluse dans des "descrayons" d'acier inox., gardée au fond d'une piscine (profondeur 8 m). Les produits à ioniser suivent un circuit autour de la source remontée par un treuil, sur des nacelles guidées par un rail, transportant les palettes ou des caisses. Le circuit traverse un labyrinthe de béton (2m d'épaisseur) empêchant la sortie des rayons (portes inutiles). Coût fixe important: on ne fait pas de mini-ionisateur, et il faut optimiser sa charge. Sur les emballages, on colle des dosimètres: ce sont des pastilles qui changent de couleur quand une dose donnée a été reçue

III1.2.L'innocuité des produits irradiée

L'innocuité des produits irradiée est reconnue par tous les scientifiques

-Les produits irradiés ne pourraient devenir radioactifs que sous un rayonnement supérieur à **10 MeV** (le seuil d'action sur les **noyaux** atomiques est de 13 MeV). Même s'il y a surdosage, **les aliments ne peuvent donc pas devenir radio-actifs** (énergie cobalt: 1 MeV). La contamination par le cobalt radioactif est évitée par **confinement** du cobalt dans une double enveloppe en acier inox. Aucun contact, donc aucun danger "radioactif".

-**Aucune toxicité n'est détectée chez les animaux** nourris d'aliments ionisés, au contraire (animaux en meilleur santé que ceux qui mangent des aliments thermisés: moins de produits de Maillard dans les aliments). Facteur de sécurité de 2000 pour les

produits de radiolyse eux-même De plus, l'ionisation évite l'usage de conservateurs toxiques (carbamate /germination, acide benzoïque /crevettes).

-Presque **Aucun des produits de radiolyse n'est "spécifique"** du traitement = on retrouve les mêmes après un traitement par la chaleur. Un gros avantage pour la toxicité, mais un gros inconvénient réglementaire: c'est très dur de prouver l'ionisation d'un aliment. Excepté la production d'alkylcyclobutanones à partir du palmitate dans les viandes grasses (ACBs, peu toxiques et doses infimes).

L'identification des produits traités est donc **très difficile**, puisque aucun produit de radiolyse n'est spécifique. Elle repose sur des méthodes complexes: résonance paramagnétique électronique, thermoluminescence, nature des lipides mineurs

-En 1980 l'OMS concluait à l'absence de risque pour l'homme des denrées traitées à moins de 10kGy. En 1997, FAO/OMS concluent à l'innocuité de la technique quelque soit la dose! En 2007 l'AFSSA conclu pareil « Revue des données récentes relatives à l'ionisation des denrées destinées à l'alimentation humaine » Avril 2007,(rev.08 <http://www.afssa.fr/Documents/AAAT-Ra-Ionisation.pdf>)

-DOSES ionisantes et EFFETS biologiques (à savoir)

<u>kGy = kilo Gray</u>	<u>Effet</u>	<u>Nommé</u>
- 0.1 kGy <i>suffit à tuer un prof</i>	inhibe la germination (bulbes, tubercules)	<i>0.1 kGy</i>
- 1 kGy	retarde maturation des fruits (ex: fraises)	
- 1 kGy	tue les insectes , les parasites	radurisation
- 5 kGy	pasteurise	radacidation
- >10 kGy	stérilise radappertisation	
- Gray = unité de dose absorbée : (1 Gy = absorption de 1 joule /kg = 100 Rad, ancienne unité)		
- L'ionisation n'est pas magique: si la contamination est trop forte, la stérilisation sera incomplète! Comme pour les traitements thermiques, on parle de dose de réduction décimale (1 DRD réduit la population bactérienne d'un log, donc de 90%). Suivant les produits, il faut 25 à 50 kGy pour stériliser vraiment. Pour les insectes, signalons l'éradication de la lucilie bouchère en Afrique du Nord par lâcher de mouches stériles: irradiées à 0.06 kGy.		

L'ionisation a peu d'effets sur les nutriments :

-Les protéines et les glucides sont très peu affectés.

-Les **lipides rancissent** : oxydation des Acides Gras Poly Insaturés(d'où l'ionisation sous vide ou congelé).

-Les **vitamines sont sensibles**, surtout les vitamines liposolubles (A & E),

mais **pas plus** sensibles qu'à un traitement par la chaleur

III.13 Réglementation: liste positive et étiquetage.

Premier décret du 8 mai 1970. Directives Europ. 99/2 & 3/CE, du 22/2/1999, transcrites par Arrêté du 20 Août 2002

1- Liste positive: Toute ionisation est interdite sauf celles autorisées.

2- L'installation doit être agréée.

3- L'ionisation doit s'appliquer à des produits salubres (normes sur Nb de germes dans l'aliment avant irradiation)



Mention obligatoire d'étiquetage :

logo Radura. Directive Européenne 1999 impose la mention "traité par ionisation" ou "traité par rayonnements ionisants" sur tout produit contenant un ingrédient ionisé (même en très faible quantité, par ex. herbes, épices & aromates).

voici quelques produits parmi les 14 de la **liste positive** française (08/2002)

Tableau III : Aliments autorisés

<u>Produit</u>	<u>But</u>	<u>Dose (kGy)</u>	<u>depuis</u>	<u>tonnes</u> <u>2006</u>
Herbes aromatiques, épices	stériliser (spores)	10	1985	106
Viand. Sépar. Mécan. volailles	anti-salmonelles	5	1985	1780
Cuisse grenouille congelées	anti-salmonelles	5	1988	965
Oignon, ail	anti-germination	0.1	1984	

Autres aliments autorisés: fruits secs & légumes secs (1 kGy), flocons & germes céréales (10 kGy), sang & plasma déshydraté (10), farine de riz (4), herbes aromatiques surgelées (10), viande ou abats de volaille (5), crevettes surgelées (5), blanc d'oeuf (3), régime stérile pour animaux de laboratoire (60 kGy), caséine, colostrum de bovin destiné aux veaux (10).

Autres applications importantes : **stérilisation du matériel médical plastique** (gants, seringues, tubes...), pharmaceutiques, de laboratoire. Décontamination des produits cosmétiques.

Aux Etats Unis: steak haché bovin. En effet, ne pouvant de se débarrasser des contaminations des viandes la FDA a autorisé l'irradiation de la viande bovine fin 1997. (par ex. 12 millions de Kg de viande hachées retirée du marché à cause d'*E.coli* O157:H7. Pb aussi avec *Salmonella*, *Campylobacter*) (FDA: Food & Drug Administration)

En France, 3 000 tonnes traitées par an dans 6 centres, le double aux Pays-Bas et en Belgique. 500 kt traitées en Russie pour désinsectiser des céréales. **Pourquoi si peu en France?**

L'ionisation est **techniquement au point** (efficace, sans danger, et rentable = coût <0.2 E/kg) mais **mal acceptée par le consommateur** (voir les nombreux sites internet anti-ionisation)

III.2. Pascalisation: traitement des aliments à Haute Pression.

Nombreux travaux des Japonais, longtemps hostiles à l'irradiation.

III.2.1.Principe: Soumettre des denrées alimentaires à de fortes pressions, entre **1 et 10 kbar (1 bar = 1 atm = 1 kg/cm² = 0.1 MPa)** pour assainir et transformer les produits.

Concrètement, l'aliment est mis dans un **emballage hermétique souple, puis immergé dans de l'eau, comprimée** par une pompe hydraulique dans un cylindre d'acier. Cette pression s'exerce de façon **isostatique** (uniformément = partout pareil), **instantanée**, avec un léger échauffement. Le maintien en pression n'exige pas d'énergie supplémentaire.

Trois étapes:

- Préparation = emballage des solides (les liquides sont pressurisés directement)

Pressurisation = traitement discontinu

Conditionnement des produits traités (aseptique pour préserver l'hygiène après)

III.2.2.Effet sur les constituants des aliments (aux pressions supérieures à 2 kbar):

- destruction des liaisons faibles: ioniques & hydrophobes (liaisons covalentes résistent)
- augmentation de la température de fusion des lipides (= solidification)
- gélification partielle des glucides
- déplissement partiel des protéines, dissociation des structures IV, et gélification partielle.

d'où **formation de gels** très digestes (amidon, chair de poisson) et léger attendrissement des viandes, sans modification de la couleur ni du contenu en vitamines.

III.2.3.Effet sur les microorganismes:

la pressurisation à **4 kbar pendant 10 min**, soit à pH acide (2,5-4,5) soit à "chaud" (50°C), **réduit d'au moins 10⁵** la teneur en levures, moisissures et bactéries (mais pas les spores), par un effet sur les **membranes**:

-effet mécanique: écrasement, lésions de la membrane (surtout bacilles gram-).

-effet physico-chimique: solidification des phospholipides membranaires, d'où fuites.

-Bactéries: Gram négatives détruites à 3 kbar, les Gram positives détruites à 5 kbar.

Durée : 10-20 minutes nécessaires. Plus efficace à température élevée, et à pH bas.

- **Spores: très peu sensibles**, car pauvres en eau et de forme sphérique

- **Levures, moisissures très sensibles** (plus que les bactéries)

- **Parasites et insectes**, relativement **sensibles** (bon assainissement viande et poissons)

La pascalisation est donc intéressante pour les aliments acides ou sucrés, où les **spores** ne peuvent germer: jus de fruit, confitures (en plus, la pression fait rentrer le sucre dans les fruits).

La pascalisation pourrait être utile sur les ovoproduits (salmonelles non sporulées; pression nuit moins que chauffage aux propriétés technologiques des oeufs, même si coagulation si P trop forte).

Actuellement au Japon, on "pasteurise" et stabilise à long terme des aliments "nouveaux": jus de fruits (mandarine, pamplemousse pas amer),

confitures crues (framboise, kiwi, pomme), conservant saveur et couleur du fruit frais,

et fruits, jambons, et seiches en respectant l'arôme la couleur et la valeur nutritionnelle. Ces produits sont largement vendus **au Japon depuis 1990** (marque Meidi-Ya). En 1994 España introduit sur le marché espagnol du jambon cuit traité aux hautes pressions.

En France, des essais en cours montrent que le fromages au lait pressurisé conserve les qualités des fromages au lait cru, que le **foie gras** pressurisé a la qualité d'un foie mi-cuit, que la viande pressurisé est plus appétente ("attendrie"), et que les "**purs jus**" de fruits réfrigérés sont biens meilleurs qu'après chauffage. Lancement en 1996, d'un jus de fruits Pampryl «fraîchement pressé» par la société ULTI.

Conclusion: La pascalisation (4 kbar, 10 min, 50°C) correspond donc à une **pasteurisation à froid** qui laisse intacte les **qualités organoleptiques** et nutritionnelles, et améliore les qualités technologiques de certains aliments. Technologie propre, multiples applications, produits nouveaux. La "**pascalisation**" doit cependant faire ses preuves de rentabilité économique (investissement nécessaire assez lourd): les industriels français attendent.

IV. Nouveaux traitements physiques (conservation aliments)

IV.1.Champs pulsés: électriques, magnétiques, sons, ultraviolets.

IV.1.2.Champs électriques pulsés : Un champ électrique intense sur un temps très bref (> 5000 volts/cm, qq micro-secondes), détruit les microorganismes. Le champ est émis entre deux plaques (électrodes), entre lesquelles passe l'aliment (liquide). On obtient une réduction de 4 à 6 log₁₀ de la population microbienne. Aucun aliment traité par les champs électriques pulsés n'est commercialisé actuellement, mais l'entreprise californienne *Pure Pulse Tech.* Développe le procédé. Elle envisage la pasteurisation de jus de fruits, de lait, de blanc d'oeuf, de soupes. Faible consommation électrique (10% d'un traitement UHT), mais investissement important.

IV. 1.3.Champs magnétiques pulsés : Un champ magnétique intense oscillant avec une fréquence importante (>5 Tesla, 100 kHz) détruit partiellement les microorganismes (2 à 4 log₁₀). Ce type de procédé, encore au stade de la recherche, pourrait peut-être se développer.

IV1.4.Ultrasons : Des ultrasons de très forte intensité (20 kHz et plus, $>10\ 000\ \text{W/m}^2$), provoquent la "cavitation" (formation de microbulles) qui tue les bactéries. C'est lent : une heure est nécessaire pour diminuer une population microbienne de plusieurs \log_{10} . Mais l'association des ultrasons avec chaleur et haute pression (pascalisation) permet de pasteuriser vite un aliment. Ce procédé est encore du domaine de la recherche.

IV1.5.Ultraviolets et lumière pulsée : Les rayons UV C (UV les plus courts), sont germicides (optimum 254 nm). Ils agissent sur l'ADN en induisant des mutations létales. L'efficacité germicide dépend de l'intensité (W/cm^2) et de la durée, et augmente très fortement quand la lumière est pulsée (multiples flashes). Les UV sont très efficaces, et très utilisés pour **les produits transparents (air, eau potable)**, ou en surface des produits lisses (**emballages** plastiques, métalliques). Ils sont peu efficaces sur les surfaces des aliments (coquille d'oeuf, carcasse), et n'ont pas d'effet "dans la masse".

IV.2.Conditionnements sous atmosphère modifiée

La conservation **sous atmosphère modifiée** a pour but de remplacer l'air par des gaz, principalement **l'azote et le dioxyde de carbone. CO_2 et N_2** agissent sur le produit et sur les micro-organismes. Avantage: le produit se conserve plus longtemps par inhibition de la croissance microbienne, inactivation des enzymes, et absence d'oxydation des lipides. Presque tous ces produits doivent être **conservés au frais**, et sous un emballage imperméable aux gaz, mais le délai de consommation peut atteindre plusieurs semaines.

IV.2 .1Effet sur les bactéries

L'emballage sous atmosphère modifiée ralentit le développement des bactéries aérobies en raison de l'absence d'oxygène, et aussi de l'effet bactériostatique du CO_2 . Cela réduit les pertes d'aliments causées par *Pseudomonas sp.* en favorisant la croissance de bactéries lactiques. Cependant, si cette forme d'emballage parvient très bien à stopper la flore bactérienne aérobie nuisible, les bactéries anaérobies ou microaérophiles ne sont pas inhibées: *Clostridium spp.*, *Campylobacter spp.*, *Listeria monocytogenes*. On utilise donc en même temps d'autres moyens bactériostatiques: aw, pH, temps et température de stockage.

IV.2 .2Effet sur les lipides

L'emballage sans oxygène **empêche de rancir les aliments riches en matières grasses**. Dans certains "emballages actifs", des matériaux sont ajoutés afin de modifier la composition des gaz pendant le stockage. Des adsorbants d'oxygène présents dans l'emballage (sachet d'oxyde de fer, par ex.) réduisent le niveau d'oxygène et protègent les graisses.

IV.2 .3 Viandes sous atmosphères modifiées, avec ou sans oxygène, ou sous vide

1. Avec oxygène: Un mode de conditionnement ancien est celui **sous atmosphère modifiée avec oxygène (O₂)**. La viande est conservée dans une ambiance composée pour l'essentiel d'oxygène (60 à 80 %) auquel il a été **ajouté du gaz carbonique (CO₂)** qui ralentit la multiplication des microbes. La durabilité de la viande ainsi conservée est très faiblement augmentée. Par contre, cette méthode permet de conserver plus longtemps une **couleur rouge** caractéristique de la viande.

2. Sans oxygène: Le mode de conditionnement sous atmosphère **sans oxygène** est apparu plus récemment (CO₂ et/ou N₂). C'est très efficace pour allonger la durée de vie des viandes réfrigérées : on peut avoir une durabilité jusqu'à quatre à six mois mais la température de réfrigération doit être abaissée à - 1,5°C. Cette technique de conservation a été développée par la Nouvelle-Zélande et l'Australie pour augmenter leurs exportations de viandes vers l'Europe. Cette pratique concerne pour l'essentiel **le stade de gros**. Cependant, certains steak hachés sont conditionnés en l'absence d'oxygène, et se gardent ainsi beaucoup plus longtemps. Ils ne présentent par contre pas la belle couleur rouge de la viande fraîche. Ils sont donc emballés dans une barquette opaque, sur laquelle est collée la photo d'un steak bien rouge !

3. Sous vide: Le "sous-vide" est un mode de conservation où l'air ambiant a été éliminé: **aucun gaz n'est présent dans l'emballage**. Le plastique est donc "collé" sur la viande. La durée de

conservation des viandes sous vide, à température 0-2°C, est de 4-6 semaines au stade de gros et 2-3 semaines au détail. Au détail, en France, une faible proportion de la viande de boeuf est conditionnée sous vide (0,3 %) ou sous atmosphère modifiée (0,7 %). Par contre **au stade du gros, le conditionnement sous-vide est très répandu**.

Note: Pour les plats cuisinés, on distingue la cuisson sous vide et l'emballage sous vide. Dans le premier cas, l'opération consiste à cuire à la vapeur (pasteurisation) des produits frais, sous vide, dans un film plastique adapté. Cette technique implique que les denrées soient emballées avant le traitement thermique. Le délai de consommation de ces produits atteint 21 jours, tout en les conservant à une température de + 4°C. Dans le deuxième cas, le conditionnement sous vide peut s'opérer après une cuisson traditionnelle du plat. La durée de vie de ces plats est alors de 6 jours à une température de + 4°C.

4.Effet sur la qualité nutritionnelle

Ces trois modes de conditionnement : (1) atmosphère modifiée avec oxygène ; (2) sans oxygène ;

(3) sous-vide, ne modifient pas la qualité des viandes : les divers modes de conditionnement sont équivalents. Actuellement, l'offre au consommateur est présentée sous atmosphère modifiée ou sous vide (2 % du marché environ). Dans ce cas, le décret du 29 septembre 1998 prévoit une mention d'information pour le consommateur sous la forme «**conditionné sous atmosphère protectrice** ». L'étiquetage du produit comporte également la DLC (date limite de consommation) permettant d'en garantir les qualités et l'évolution microbologique jusqu'à leur utilisation par les consommateurs. Sur un plan économique, ces techniques permettent de proposer aux consommateurs des viandes de provenances éloignées à prix compétitifs. Dans ce cas, l'indication de l'origine permet au consommateur d'être informé.

IV.2 .4Fruits sous atmosphère modifiée

Certains fruits sont disponibles à toutes les saisons car conservés sous atmosphère modifiée pendant six mois ou plus. Cela consiste à évacuer l'air présent dans l'installation de stockage et à le remplacer avec un air "reconstitué", pauvre en oxygène et riche en azote et en dioxyde de carbone (pour pommes, cerises par ex.). Ceci va ralentir le métabolisme global du fruit (tant respiratoire que biochimique). Cette atmosphère se crée également pour des fruits emballés individuellement (fruits tropicaux: mangue par ex.), lorsque l'équilibre s'établit entre la respiration du fruit (tout fruit continue à être vivant après la récolte et continue à respirer) et l'emballage autour de lui. Cet emballage permettant la création de l'atmosphère modifiée peut être formé d'un film plastique, ou d'un enrobage de cires jouant le même rôle, mais qui est déposé à la surface du fruit directement en contact avec l'épiderme. Les avantages sont donc :

- réduction de perte de poids (dessiccation et flétrissement) ;
- ralentissement de la maturation ;
- maintien de la qualité (couleur, humidité, flaveur) ;
- diminution des pertes au niveau distribution (moisissures) ;

Références Bibliographiques .:

Bonjour, P., 1992, Le traitement des denrées alimentaires par les radiations ionisantes. CES d'Hygiène IAA, ENVT.

Cheftel J.C., Applications des hautes pressions en technologie alimentaire. IAA mars 1991: 141-153.

Federighi M. et al. Traitement HP et denrées alimentaires Microbiologie-Aliments-Nutrition, 1995, 13: 115-126 et 225-239.

Guillou, M. 1999. L'ionisation fait enfin l'objet d'une harmonisation européenne. Notre Alimentation (lettre d'information sur les réglementations et les contrôles relatifs à la qualité et à la sécurité de la chaîne alimentaire) 17:2-3.

Jolibert F., Utilisation des HP en agro-alimentaire. Dossier scientifique de l'IFN (Inst.Français pour la Nutr.), Technologies agro-alimentaires: les hautes pressions, les atmosphères modifiées. 3, Sept.1993.

Jicquel JL 1999 Dossier Ionisation, RIA, Janv.99.

Laizier J., Thomas JC, Nairaud, D. 1998. l'ionisation des denrées alimentaires. Let. Sci. IFN. 61:1-6.

Moreau, C., Lebas, J.M., La conservation des produits alimentaires par les HP : une réalité technologique et économique. IAA mai 1995: 293-297.

. Guiraud. J-P. 2003. Microbiologie alimentaire Ed. Dunod (Paris).

Petit, B., Ritz, Federighi, 2002, Nouveaux traitements physiques de conservation des aliments: Champs électriques et magnétiques pulsés, ultrasons, ultraviolets, lumière pulsée. Rev. Méd. Vét., 153: 547-556 & 653-664.

Roux, J.L. 1994, Conserver les aliments p.286-333. Lavoisier Tec&Doc.

Saint-Lebe, L., Raffi, J.J., 1995, Le traitement ionisant des aliments. Cah Nutr Diét. 30 (2) 117-122.

Steele, JH et Engel RE. 1992, Radiation processing of food. J.Am.Vet.Med.Assoc. 21: 1522-1529. **Vasseur** JP, 1991, Ionisation des produits alimentaires, Tec&Doc. Bon article sur pascalisation, http://sci.agr.ca/crda/pubs/art12_f.htm (site canadien)

Abonnement de la bibliothèque aux ressources électronique de l'éditeur elsevier : www.sciencedirect.com et au système SNDL