

Ecologie Microbienne des Aliments

Contamination, Multiplication et Destruction des Micro-organismes

Introduction en 6 questions:

1- Pourquoi conserver les aliments ? Pour ajuster production et consommation.

Aliments périssables Ex.: *"Into the wild"* Christopher tue l'élan: il ne peut conserver la viande et perd tout!

2- Qu'est-ce qui gâte l'aliment ?

La dégradation des aliments est surtout due aux **germes** (bactéries, moisissures), et c'est ce que l'on va étudier ci-après. Dégradation due aussi aux "pests" (insectes), aux **enzymes** (peroxydase des petits pois, polygalacturonase qui hydrolyse la pectine des tomates...), et à des facteurs physiques (transfert de gaz dans l'oeuf) et chimiques (oxydation des lipides).

3- Qu'est-ce que l'écologie vient faire ici ?

Ecologie = étude des interactions (les vivants dans leur environnement). Ici, les microorganismes, l'environnement c'est les aliments. Faire de l'écologie c'est étudier les facteurs environnementaux qui déterminent la croissance (ou la non-croissance) de chaque microorganisme. Le but étant d'utiliser ces facteurs comme « barrières » pour conserver l'aliment sous forme comestible le plus longtemps possible.

4- Comment résister aux microbes ?

Pour conserver les aliments, il faut combattre les germes, par 3 approches complémentaires :

- 1- Eviter la contamination,
- 2- Tuer les germes, et/ou
- 3- Inhiber leur développement =>



5- Le plus important de ce cours:

1- On peut **tuer les bactéries par la chaleur**. Retenir qq t°C critiques + expliquer D& z

2- On peut **inhiber les bactéries par le froid**. Il faut retenir quelques t°C critiques

3- Les aliments "**secs**" ou "**acides**" sont **protégés**. Il faut savoir quelques a_w et pH critiques

6- Quelles questions sont souvent tombées aux exams ?

- Paramètres caractérisant la thermorésistance d'un micro-organisme: quels sont-ils? Que représentent-ils? Comment les déterminer ?
- Conséquences pour fabriquer des conserves ?
- Effets du froid sur les micro-organismes et conséquences en conservation des aliments
- Facteurs intervenant dans la résistance des micro-organismes aux températures négatives

I - Micro-organismes des aliments : Contaminations

Quels sont ces germes ? C'est grave, docteur, ces microbes ?

a- Nature des micro-organismes:

Bactéries, Moisissures, et Levures peuvent se développer dans l'aliment et le dégrader.

Parasites et Virus n'y "poussent" pas mais peuvent présenter un danger pour le consommateur

b- Conséquences de la présence de micro-organismes: amélioration, dégradation, danger

1- Amélioration de l'aliment: meilleure conservation et qualités organoleptiques, grâce à une flore utile, auxiliaire de fabrication (ex: yaourt, choucroute, fromage, vin...)

2- Dégradation de l'aliment: détérioration des qualités diététiques et organoleptiques, à cause de la flore banale de contamination (germes non pathogènes qui pourrissent, moisissent, ramollissent, poissent et créent de mauvaises odeurs et couleurs sur les aliments = répugnant)

3- **Danger** pour le consommateur:

- Accumulation de bactéries pathogènes & leurs toxines (ex. Salmonelles, cf. cours TIAC)
- Accumulation de métabolites toxiques (mycotoxines, catabolites toxiques comme l'histamine) cf. cours TIAC

D'où viennent ces microbes ?

c- **Contaminations : origine des micro-organismes dans les aliments**

Microbes du dedans:

1- **Contamination endogène** (maladie infectieuse, bactériémie)

- L'animal est **malade** avant l'abattage
- AM du 9 Juin 2000: abattage des animaux malades interdit
- Lésions sur la carcasse: cf. cours & TD inspection des viandes
- Rôle de l'inspection sanitaire pour éliminer ces carcasses de la chaîne alimentaire
- Contamination endogène par **bactériémie**
- Bactériémie digestive/bactériémie d'abattage: il y a un passage post-prandial normal de bactéries et de spores depuis la lumière intestinale vers le sang ou la lymphe
- Importance de la diète hydrique, de la saignée complète, éviscération précoce.
- Dans les élevages de poules pondeuses avec infection latente par *Salmonella enteritidis*, certains œufs sont contaminés avant la ponte (contamination verticale)

Microbes du dehors:

2- **Contamination exogène** (animal, environnement, personnel)

- * **Germes présents "sur" l'animal:** il faut éviter leur transfert à viande, œuf, lait
- Peau, plumes, coquille: principalement contaminations fécales. Animaux propres (diète hydrique, transport sans stress, lavage au jet), "habillage" rapide après abattage, élimination des matières fortement souillées (gestion des flux dans l'abattoir)
- Tube digestif (densité & diversité bactériennes sans égales): éviscération tardive néfaste, et contamination post mortem par excréments (très difficile à maîtriser en abattoir de volailles)

* **Contamination par l'environnement :**

cf. les "**5M**" (cours Hygiène en industrie agro-alimentaire) @ *Mama mit mes mains*

Matières-I, Matériel, Milieu, Méthode et Main d'oeuvre, **Milieu** : Bâtiments et locaux (ds cours Hygiène: @ *SMALADE*)

- **Eau:** on doit utiliser de l'eau potable (directive 93/43 CEE)
- Surfaces de travail **Lavées** (si mal nettoyées un jour, contamination majeure le lendemain), -
- Matières premières:** contamination croisée (ex.: épices pleines de spores de *Bacillus*, légumes terreux...)
- Main d'oeuvre :** Hygiène & formation du personnel. Pb des porteurs sains (AM du 10/03/77)

- Pasteur -



Louis est furieux que Nicolas ait inventé l'**appertisation**, un truc plus fort que sa **pasteurisation**. Et en plus qu'il soit sur un timbre à 12F Quels gamins, ces savants!



II – Multiplication des micro-organismes dans les aliments

Courbe de croissance

X= temps, Y= Log₁₀ (nb cell./ml)

En simplifiant on distingue 4 phases:

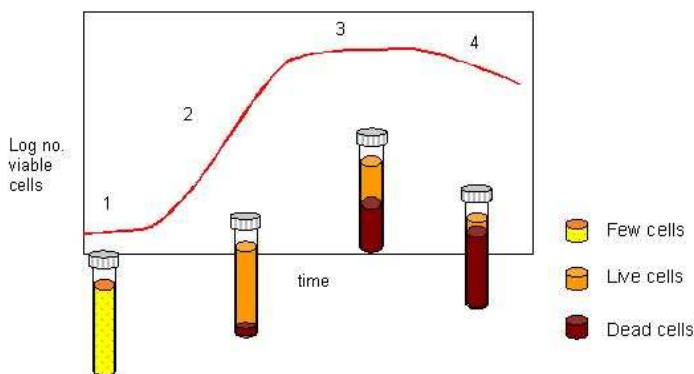
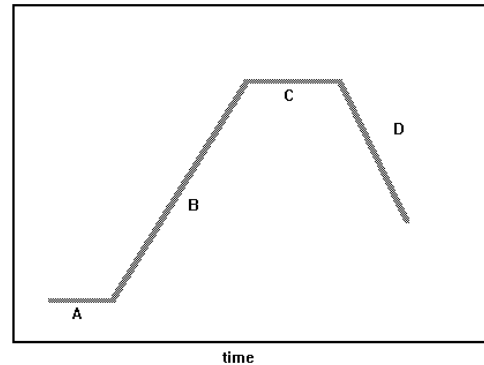
A ou 1- phase de **latence**

B ou 2- phase de **croissance exponentielle**

C ou 3- phase **stationnaire**

D ou 4- phase de **décroissance**

y axis = log cell number



En fait les courbes réelles sont plus arrondies, le plateau dure longtemps, et la décroissance est lente.

On distingue aussi parfois une phase d'accélération (entre A & B) et une phase de décélération (entre B-C). *Mais est-ce bien utile ?*

Que se passe-t-il pendant ces 4 phases ?

1- phase de latence: le **taux de croissance est nul**, le nombre de bactéries est constant. Les germes se réparent et se préparent: Ils s'adaptent au milieu en synthétisant les enzymes nécessaires, et se réparent trous et cassures. 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).

2- phase de croissance exponentielle (donne une droite en Log): taux de croissance maximal, chaque cellule peut se diviser, il n'y a pas de nutriment limitant.

Pour des bactéries "rapides", T=15-20 min (3 ou 4 doublements par heure).

3- phase de croissance stationnaire: ce n'est pas statique, mais autant de germes meurent que de germes naissent. C'est le milieu de culture (ou l'aliment) qui détermine la densité bactérienne au "plateau", qui est fonction du nutriment limitant, et éventuellement des compétitions entre bactéries d'espèces différentes (*c'est ça, l'écologie*).

4- phase de décroissance: lyse des bactéries, car trop de "déchets" dans le milieu (par ex acide lactique qui diminue le pH) et plus assez de nutriments.

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)

- 10⁶ germes/g suffisent en général à donner une TIAC (dose minimale infectieuse Salmonelles)
- 10⁷ germes/g suffisent à donner une odeur désagréable à un aliment, à troubler un liquide
- 10⁸ germes/g suffisent à modifier l'aspect de surface (limon gluant)
- 10⁹ germes = une colonie visible sur une boîte de pétri

Qu'est-ce qui fait pousser une bactérie ? Facteurs nécessaires à la croissance bactérienne

Pour croître la bactérie a besoin d' @ ETTANO (pas d'éthanol !)

@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

Aliment: facteurs dedans ou dehors ?

La teneur en eau, le pH et les nutriments sont "**dans l'aliment**": **facteurs intrinsèques**

La température (et le temps) et l'oxygène sont "**autour de l'aliment**": **extrinsèques**

C'est plus "facile" de modifier les facteurs extrinsèques, et le plus important c'est: (Temps x Température), donc je commence par ça. De plus, en passant sur le facteur "Température", je traiterai du froid et du chaud. Mais du coup, on verra comment tuer les bactéries (et leurs spores), ce qui n'est pas vraiment du domaine de l'inhibition de "croissance" bactérienne

Facteurs extrinsèques (extérieurs à l'aliment, qu'on peut donc modifier)

Température: rien de plus important que la température dans les extrinsèques

@ Chaud tue – Froid stoppe C'est simple, mais **très** important :

- **Température supérieure à t°C maxi TUE les bactéries** (enzymes dénaturées). Sauf s'il y a des spores. Donc le chaud va permettre de stériliser les aliments, stables ensuite à t°C ambiante.

- **Température inférieure à t°C mini STOPPE les bactéries** (enzymes immobilisées).

Donc, le froid ne va PAS stériliser les aliments. Ils sont stables tant qu'il fait froid, mais quand la t°C remonte, les germes redémarrent et l'aliment peut se dégrader si les autres facteurs....



II- Facteurs extrinsèques / Température / Chaud

Action de la CHALEUR sur les bactéries

La chaleur peut tuer les bactéries.

Pourquoi? Car le chaud inactive les enzymes et coagule les protéines de structure (dénaturation irréversible), et stoppe la réplication de l'ADN. On doit chauffer plus ou

moins suivant 1/ la **thermorésistance de "la bactérie"**, 2/ le **nombre de bactéries à détruire**, 3/ les **conditions de milieu (pH notamment)**, et 4/ le **type d'aliment à obtenir (pasteurisé ou stérilisé)**. Nous allons voir tout cela en détail.

La thermorésistance, c'est la capacité d'une bactérie à résister à un traitement thermique léthal, caractérisée par 3 paramètres: D à une température donnée (t°C) et z.

II- Facteurs extrinsèques / Température / Chaud /

D_t = temps de réduction Décimal (D comme Dé-cimal, et D est un temps, en minutes)

La thermorésistance d'une souche à une température donnée se détermine en pratique ainsi:
- répartir dans des tubes un nombre égal de bactéries (ou de spores). Par ex: un million/tube
- chauffer tous les tubes **à la même température**, létale (par ex. 60°C pour des salmonelles, non sporulées. Ou bien 121°C pour des spores de *Clostridium*). Mais les tubes sont chauffés des **temps croissants** (par ex: 0, 15, 30, 45, 60 min).

- refroidir et compter les germes vivants dans chaque tube (par dilution décimale, étalement sur boîte de pétri des dilutions, incubation, et comptage des colonies)

- la courbe ainsi obtenue (Y= Nombre de survivants, X= temps de chauffage à t°C fixé) est une exponentielle décroissante. Au début, on tue beaucoup de bactéries. A la fin, on en tue beaucoup moins. A la limite, c'est impossible de tuer la dernière !

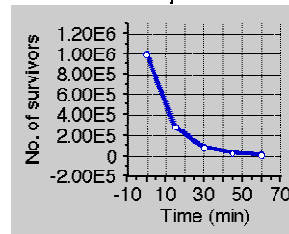
- en coordonnées semi-logarithmiques, on obtient une droite: Il faut un temps identique pour "descendre" de chaque $\log_{10}$.

Pour un germe donné, à une température donnée, dans un milieu donné, le temps pour diviser la population bactérienne par dix est une constante:

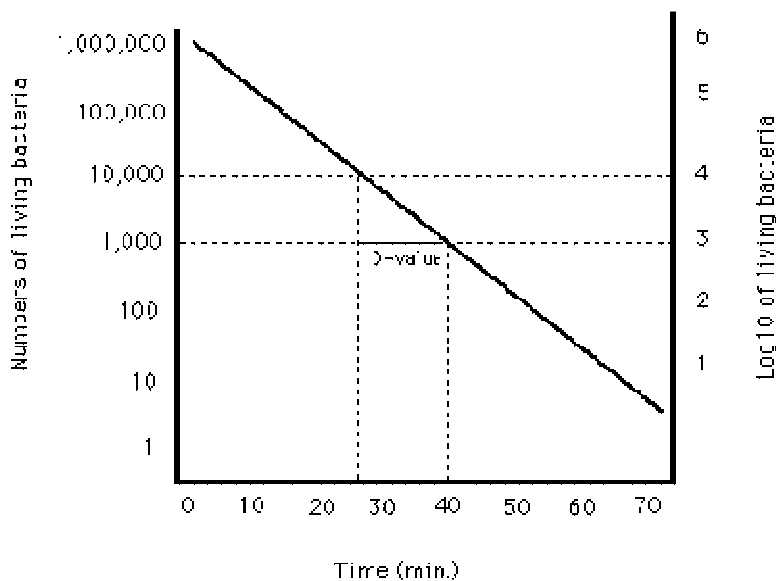
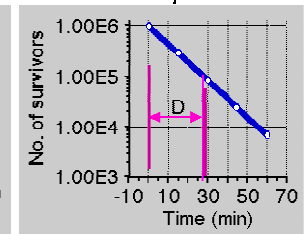
C'est **D_t = temps de réduction décimal** à la température t . Pour simplifier, on dit "D"
(pôvre t! c'est parce qu'il est petit qu'on laisse tomber t ?)

Microorganisms & D values.

■ Linear scale of population vs. time at one temperature.



■ Log scale for population vs. time at one temperature.



Le temps nécessaire pour "stériliser" un milieu va donc dépendre du nombre de germes au départ. En simplifiant, si on a un million de bactéries dans un aliment, il faut chauffer 6xD pour les tuer. Si au départ il y a juste 100 bactéries, un temps de chauffage 2xD suffira. (vous suivez ? $\log(\text{un million}) = 6$ et $\log(100) = 2$)

MAIS en fait la droite $\log N_b = f(t)$ descend en dessous de 1, sans jamais atteindre le zéro = ça va être dur de stériliser de façon « absolue »

Et combien ça vaut, D_t ?

pas la peine de l'apprendre par cœur, sauf pour botulinum, car on trouve des données assez différentes suivant les sources (D dépend du milieu et de la souche précise) mais en gros:

Salmonella,	$D_{t=60^\circ\text{C}}$	=	2 min
Staphylocoque doré,	$D_{t=60^\circ\text{C}}$	=	2 min
<i>Clostridium botulinum</i>,	$D_{t=121^\circ\text{C}}$	=	0,21 min
<i>Clostridium sporogenes</i> ,	$D_{t=121^\circ\text{C}}$	=	0,8 min

(*C. botulinum* est le pathogène le plus résistant à la chaleur, mais d'autres sporulés sont plus thermorésistants)

Ouf ! Et de un. Allez, z maintenant !

II- Facteurs extrinsèques / Température / Chaud /

Z = augmentation de t°C divisant D par 10

(je vous conseille d'apprendre ça par cœur, car c'est dur de retrouver comment le formuler)

D_t est défini pour une température donnée. Que se passe-t-il si on change cette température? Sûrement, D va changer. Mais comment? Evident, si t°C augmente, D_t va diminuer, on le "sent". Faudra chauffer moins longtemps si chauffe plus fort. "z" permet de savoir "de combien". Démonstration:

- on détermine D_t pour trois températures différentes (cf. figure).

La température la plus forte, T1, donnera un temps de réduction décimale très court D_{T1} .

D_{T2} et D_{T3} vont être plus longs, pour des températures T2 et T3 plus basses.

Bon, tu es toujours d'accord. Alors continue, c'est là que cela devient plus "sioux".

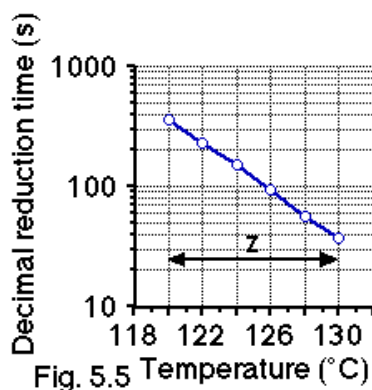
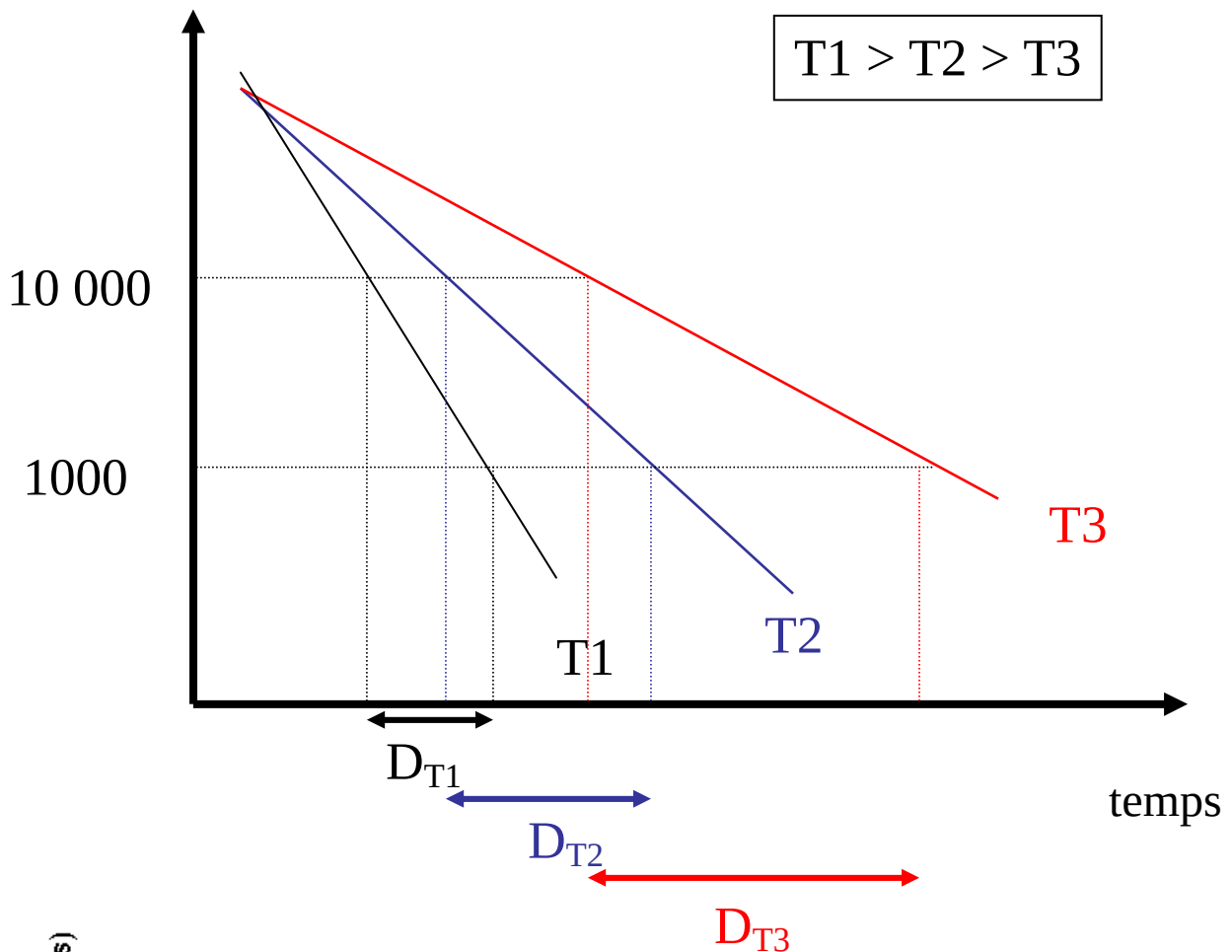
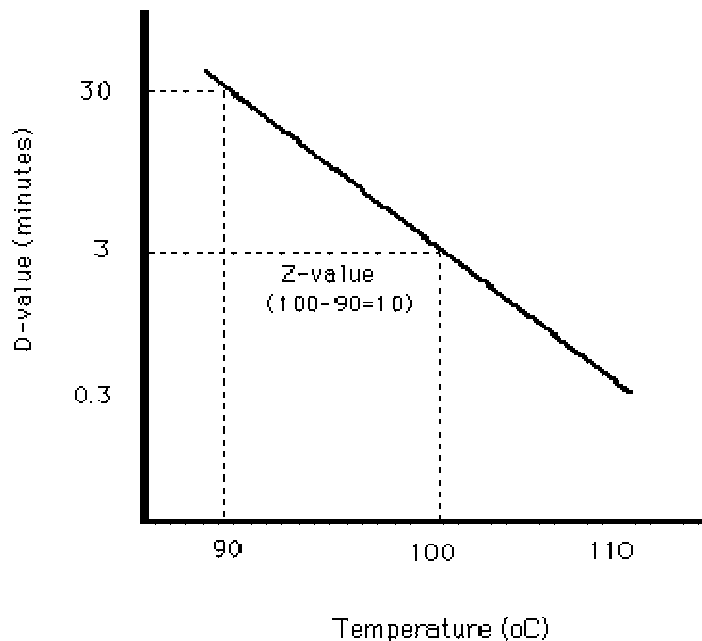


Fig. 5.5 Temperature (°C)

- On détermine ainsi expérimentalement les valeurs de D_t pour des températures étagées (par ex. de 118 à 130°C).
- On trace ensuite **la courbe des valeurs de D_t en fonction de t°C**. Et, coup de bol, sur du papier semi-logarithmique (ou pour $Y = \log D_t$ et $X = t^\circ\text{C}$) on obtient encore une droite ! On définit à partir de cette droite, pour une bactérie donnée, la valeur de z en °C :

z augmentation de t°C divisant D par 10



II- Fact. extrinsèques / Température / Chaud
 $z = \text{augmentation } t^{\circ}\text{C divise } D \text{ par } 10$

Bon, tout ça c'est de la théorie ! En pratique, qu'est-ce que ça donne ?

En pratique, cela a permis le développement du **lait UHT** :
Au lieu de chauffer longtemps à 100°C pour stériliser le lait, qui prenait un goût de caramel brûlé et dont les protéines s'abîmaient, on a augmenté $t^{\circ}\text{C}$ et diminué beaucoup le temps de chauffe: **145°C pendant 3 secondes**. Les germes sont tués, mais les composants nutritionnels du lait sont respectés.

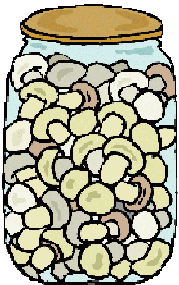
Combien vaut z ? En général, z est compris entre 5 et 10°C

Bactéries pathogènes non sporulées: $z = 5^{\circ}\text{C}$ (4 à 6)

Bactéries sporulées & lactobacilles: $z = 10^{\circ}\text{C}$ (7 à 20)

Prenons l'exemple de ...

Clostridium botulinum (tu l'aurais parié, non ? Il te faudra l'apprendre de toutes façons)



Pour ***C. botulinum***: $D_{121^{\circ}\text{C}} = 0,21 \text{ min}$

Donc si

on chauffe 1000 spores de *C. botulinum* à 121° pendant 0.21 min,
on divise leur nombre par 10 (c'est la définition de D),
il ne reste que 100 spores vivantes.

Pour ***C. botulinum*** $z = 10^{\circ}\text{C}$

Cela veut dire que si au lieu de 121°C on chauffe à

$111^{\circ}\text{C} = 121 - z \Rightarrow D$ sera 10 fois plus grand,

$D = 10 \times 0.21 = 2,1 \text{ minutes}$

$101^{\circ}\text{C} = 111 - z \Rightarrow D$ sera encore 10 fois plus grand,

$D = 10 \times 2.1 = 21 \text{ minutes}$

*Presque une demi-heure d'ébullition, pour ne tuer que 9 spores sur 10 :
il en restera donc beaucoup de vivantes!*

Nous verrons page suivante comment vraiment stériliser...avec 12 D !



II- Facteurs extrinsèques / Température / Chaud /

Stérilisation = Appertisation

La technologie sera présentée dans un cours spécifique.

On voit ici juste l'application de z et D.

Dans l'industrie de la conserve, le but n'est pas de "diviser par 10" le nombre de spores, ni de le "baisser d'un log".

Le but c'est que **aucune boîte** ne contienne une spore vivante.

Même si on tue un seul consommateur, 1 seule fois, ça fait désordre!

Alors on les chauffe combien de temps ces boîtes ?

Le principe est de **tuer 10^{12} spores de *C. botulinum***, donc **12 x D**.

- En gros le raisonnement est du genre : "Au pire il pourrait y avoir 10^4 spores par gramme, si j'ai mal lavé l'aliment (terre, matière fécale). Et je fabrique 10^8 g (= 100 tonnes) de conserves sur 10 ans. Je veux zéro spores sur l'ensemble de la production." Donc il faut tuer $10^4 \times 10^8 = 10^{12}$ spores: j'applique 12D.

- Autre raisonnement possible: "dans la viande, c'est possible qu'il y ait 1 spore par gramme. Donc 1000 spores par boîte d'un kg. En appliquant 12D je me retrouve avec 10^{-9} spores par boîte, ou plutôt une chance sur un milliard qu'une boîte contienne une spore. C'est le risque maxi que je peux accepter: j'applique 12D"

Il faut donc appliquer la **valeur stérilisatrice = 12 D** à chaque conserve. Tu te souviens que pour *C. botulinum* $D_{121^\circ\text{C}} = 0,21$ min, $12 \times 0,21 = 2,52$, en arrondissant, **12 x D = 3 minutes**. Cette valeur, 3 min à 121°C , s'appelle aussi "Force stérilisatrice", ou **valeur stérilisatrice sanitaire**, et se note **F₀ = 3 min**. C'est donc le traitement thermique minimal pour les conserves neutres, qui permet de détruire **10^{12} spores de *Clostridium botulinum***.

Si on chauffe moins fort, faut chauffer plus longtemps.

Reprenons le raisonnement de la page d'avant sur z, mais pour 12D. Comme $z = 10^\circ\text{C}$, si on fait des conserves à 111°C ($=121-z$), il faut chauffer $10 \times 3' = 30$ minutes pour avoir 12 D.

En théorie si on fait des conserves en les faisant bouillir (pour simplifier, disons à 101°C , car l'eau est salée ce qui augmente la $t^\circ\text{C}$), il faut chauffer $10 \times 30' = 300$ minutes / $60' = 5$ heures.

Mais la loi entre D et $t^\circ\text{C}$ n'est pas extrapolable indéfiniment vers le bas, et z n'est pas "si constant" que ça : il faut bien chauffer à une température supérieure à la température "létale", qui dépend du germe en cause.

Pour les essais de stérilisation (tester un nouvel autoclave) on n'utilise pas des spores de *C. botulinum* mais celles de *Clostridium sporogenes* très gazogène et non dangereux. Si les boîtes gonflent après stérilisation, c'est qu'il reste des spores. De plus, D est supérieur pour *C. sporogenes* que pour *C. botulinum* on peut donc tester en ne mettant que 10^5 spores par boîte.

La pasteurisation consiste à tuer tous les germes pathogènes non sporulés.

La pasteurisation donne des **semi-conserves** (à conserver au froid, sauf quand elles sont acides), et elle respecte mieux les aliments que la stérilisation (lait, œufs, jus de fruits). Elle se pratique entre 60 et 75°C , et sera "vue" dans le cours sur les traitements technologiques. Vous y apprendrez que la valeur pasteurisatrice est le temps en minutes à 70°C pour détruire 13 log de *Streptococcus faecalis*.

Facteurs de variation de la thermorésistance des germes

- **Acidité**: la thermorésistance s'abaisse quand le pH s'abaisse. A **pH acide, D diminue** (il faut moins longtemps pour stériliser, surtout si $\text{pH} < 4,5$). C'est pour cela qu'on rajoute des aliments acides dans les conserves de poisson (maquereau au vin blanc, sardines au citron ou à la tomate): cela permet de les stériliser sans les chauffer trop.

- **Composition de l'aliment**: **protéines et les lipides "protègent" les bactéries**, et augmentent la thermorésistance. Sauf les acides gras poly-insaturés qui favorisent la stérilisation (par radicaux libres ?).

Quand on fait du foie gras, qui est riche en acides gras libres, il est inutile de chauffer $3 \times 121^\circ\text{C}$ pour le stériliser: heureusement, sinon le foie "fondrait".



- Activité en eau: la stérilisation est plus facile en milieu humide. L'eau favorise le transfert de chaleur, et "ramolli" les bactéries (bof?). Par contre la stérilisation est difficile en milieu gras ou sec: Ex. dans l'huile, pour *C. botulinum*, $D_{121^{\circ}\text{C}} = 21$ min (au lieu de $D_{121^{\circ}\text{C}} = 0,21$ min dans l'eau)

- Transfert de chaleur et physique de l'aliment : masse, forme, liquide ou solide, ...
Semble évident: on peut stériliser du lait sous forme de gouttelettes en 3 secondes à 145°C .
Par contre, pour des boîtes de conserve, on doit appliquer un barème de chauffage supérieur à 3 min x 121°C si l'on veut que le centre des boîtes subisse 12D. Du coup, la périphérie des boîtes subit un sur-chauffage, et le centre risque de ne pas être stérile: on doit faire des essais!

- Facteurs de thermorésistance liés aux germes:

Nature des micro-organismes: évident, sporulés > non sporulés. & streptocoques > coliformes

Nombre initial de germes: évident, plus il y a de germes, plus ils résistent (cf. courbe D).

Aussi: les substances libérées par les germes tués peuvent protéger les autres.

Stade physiologique: évident pour spore > forme végétative.

Aussi: cellules en phase de croissance exponentielle plus fragiles (*BB peau douce?*)

Association de germes: les plus résistants peuvent "aider" les autres (composés protecteurs)

II- Facteurs extrinsèques / Température / Froid /

Action du FROID sur les bactéries

On peut mettre nos aliments "au frigo" ou "au congélateur":

Quelles conséquences sur les germes, et sur les aliments ?

Frileuses ou "réchauffées", toutes les bactéries ne sont pas pareil:



Bactéries psychrophiles, mésophiles, thermophiles.

Températures: minimum, optimum, maximum

Psychrophile: ne pousse qu'à température basse, mini: $-5/5^{\circ}\text{C}$, opti: $12/15^{\circ}\text{C}$, **maxi**: $15/20^{\circ}\text{C}$

Psychrotrophe: aime froid, mais supporte tiède. **mini** $-1/5^{\circ}\text{C}$, opti: $25/30^{\circ}\text{C}$, maxi: $35/40^{\circ}\text{C}$

Mésophile: mini $5/15^{\circ}\text{C}$, **opti**: $30/45^{\circ}\text{C}$, maxi: $35/50^{\circ}\text{C}$

Thermophile: *termonichochô*: mini: $35/45^{\circ}\text{C}$, opti: $55/75^{\circ}\text{C}$, maxi: $60/90^{\circ}\text{C}$

(Figure: "Extreme thermophile" s'est glissé sur la photo en douce. Absent des aliments, il vient d'un geyser)

Le chaud boost:

Et c'est pas tout, à la $t^{\circ}\text{C}$ optimale :

- Thermophiles poussent beaucoup plus vite que les autres, mais meurent vite aussi (sauf s'ils font des spores) par ex.: dans une boîte de conserve "ratée" contenant des spores thermophiles, et testée à 55°C , le plateau est atteint en quelques h, et la boîte gonfle, mais "auto-stérilisation" en 12 h.

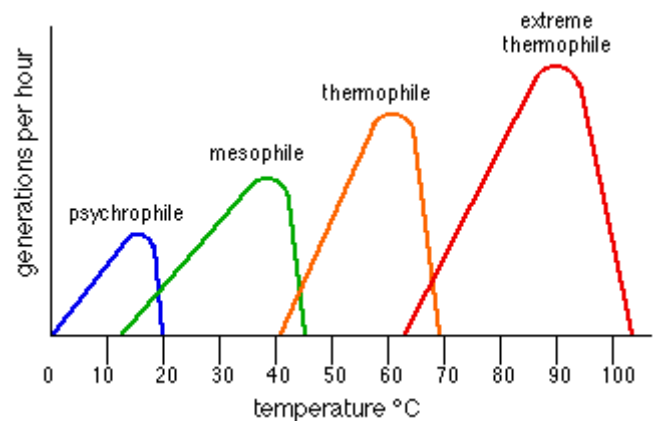
- **Psychrophiles poussent plus lentement** que les autres, et persistent très longtemps

Par ex.: dans un frigo pas assez froid, les *Listeria* atteignent leur plateau en quelques jours, et persistent des semaines...

Pour n'apprendre que l'essentiel, simplifions à outrance:

Psychrotrophes et Psychrophiles: température **mini** 0°C , mais croissance **lente**.

Mésophiles (majorité des pathogènes): **t mini** 10°C , **t optimale**: 37°C , **t maxi**: 50°C



II- Facteurs extrinsèques / Température / Froid /

Effets du froid sur les bactéries

(effets plus fort sur mésophiles que sur psychrophiles):

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)

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



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* & *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)

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 tue-t-elle 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)
- Ce qui tue (1): Perturbation de la perméabilité par **solidification des lipides membranaires**
- Ce qui tue (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**
- Ce qui tue (3): Action mécanique des **cristaux de glace** qui écrasent ou percent les cellules.

Y-a-t'il des bactéries PATHOGENES qui sont psychrophiles ?

Oui, hélas, et on les reverra avec les TIAC

Important à retenir, ils sont quatre, et c'est une "clique", la @ CLYC du Nord

- *Clostridium botulinum* E, pousse jusqu'à $3,3^{\circ}\text{C}$
- *Listeria monocytogenes*, 3°C dans l'aliment, et 0°C en milieu de culture, mais très lente
- *Yersinia enterocolitica*
- coli (*Escherichia pour les intimes, et seulement certaines souches sont "psy"*)

Bon, on pris un Chaud-Froid, qu'est ce qui nous attend encore comme facteurs extrinsèques?

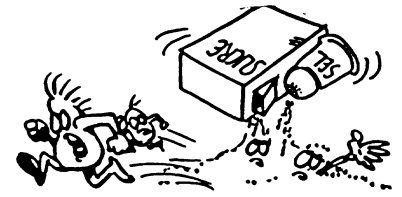
*On peut glisser dans l'aliment des **conservateurs**, qui vont gêner les microbes, ou placer l'aliment dans une drôle d'**atmosphère**, qui va aussi gêner certains microbes. Enfin, on peut carrément irradier l'aliment, ce qui tue les microbes (on dit "**ioniser**", ça fait moins peur).*

II- Facteurs extrinsèques / conservateurs/

Conservateurs / antimicrobiens



Ils peuvent être **extrinsèques** si on y plonge l'aliment (cerises à l'eau de vie, "petit salé"), ou si on les ajoute à l'aliment. Pour certains d'entre eux ils sont **aussi intrinsèques** lorsqu'ils sont présents naturellement dans l'aliment. Les deux sont présentés ici pour simplifier, minéraux d'abord, puis organiques.



Chlorure de Sodium : NaCl. Un conservateur MAJEUR. L'utilisation du sel sera 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).

Conservateurs organiques:

Acides organiques.

- **Acides gras** : acide **acétique** CH₃-COOH et acétates (E260). Conservation des cornichons, des "pickles", marinades (poisson) dans le vinaigre. **Propionate** CH₃-CH₂-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 C₆-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.

II- Facteurs extrinsèques / atmosphères /

Atmosphères modifiées (voir en fin de poly aspects technologiques)

La conservation **sous atmosphère modifiée** a pour but de remplacer l'air par des gaz, principalement **l'azote et le dioxyde de carbone**.

CO₂ agit sur le produit et sur les germes. 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 aliments doivent être **conservés au frais**, et **sous un emballage imperméable** aux gaz, mais le délai de consommation peut atteindre plusieurs semaines.



Effet sur les bactéries

L'emballage sous atmosphère modifiée **inhibe les bactéries aérobies** en raison de l'absence d'oxygène, et aussi de **l'effet bactériostatique du CO₂**. Cela réduit les pertes d'aliments causées par *Pseudomonas sp.* et **favorise 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.

Effet 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.

II- Facteurs extrinsèques / interactions entre bactéries /

Interactions entre Micro-Organismes dans l'Aliment

On distingue, comme pour les interactions entre animaux ou végétaux, différents types d'interactions: neutralisme, coopération (croissance favorisée des 2 bactéries en présence), commensalisme (meilleur développement de A sous l'influence de B), compétition ou antagonisme (croissance défavorisée des 2 bactéries), amensalisme (B inhibe A sans tirer de profit), parasitisme.

Trois exemples d'interactions importantes dans les aliments:

- **Coopération** (mutualisme): le **yaourt résulte de l'action de 2 ferments lactiques** à 40-45°C. *Streptococcus thermophilus* produit des facteurs de croissance favorables à *Lactobacillus bulgaricus*, et vice-versa. Au début de la fermentation, ce sont surtout les "streptos" qui agissent, puis ils laissent progressivement la place aux "lactos", plus résistants en milieu acide. Les 2 germes fermentent donc le lait plus vite et mieux qu'un seul.
- **Compétition** (antagonisme) : les microorganismes ont besoin d'un même substrat pour croître. C'est donc le microorganisme le plus rapide au niveau de son métabolisme qui domine. On a ainsi : bactéries > levures > moisissures. En effet, les bactéries sont des

procaryotes et se multiplient plus vite que les eucaryotes en conditions optimales (A_w élevé, pH neutre, aliment sucré).

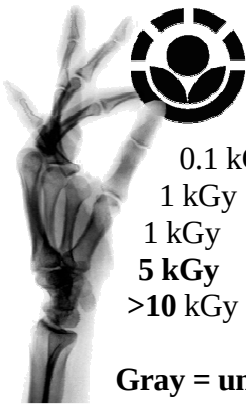
- **Inhibition** (amensalisme): *Leuconostoc* et *Lactobacilles* **synthétisent des bactériocines**. Ces protéines, actives surtout contre les Gram-, **inhibent les *Listeria* (G+)**. Ces interactions jouent un rôle en industrie laitière. Cependant, les industriels n'utilisent actuellement pas de souches spécifiquement sélectionnées sur ce critère (recherches actives aux USA).

II- Facteurs extrinsèques / ionisation/

Ionisation: conservation des aliments par irradiation

Ici, uniquement l'aspect « antimicrobien ». Utilisation concrète, réglementation : cours "techno" en fin de ce poly

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



DOSES ionisantes et EFFETS biologiques (à savoir)

<u>kGy = kilo Gray</u>	<u>Effet</u>	<u>Nommé</u>
0.1 kGy	inhibe la germination (bulbes, tubercules)	
1 kGy	retarde maturation des fruits (ex: fraises)	
1 kGy	tue les insectes , les parasites	radurisation
5 kGy	pasteurise	radicidation
>10 kGy	stérilise	radappertisation

Gray = unité de dose absorbée : (1 Gy = absorption de 1 joule /kg = 100 Rad, ancienne unité)

Cette main tient le logo "Radura" qui signale les aliments irradiés :

Les gens ont peur de l'ionisation, pourtant très sûre (d'après les données actuelles)

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 et leur contamination initiale, il faut 25 à 50 kGy pour stériliser vraiment

Pour les aliments, la législation impose que la dose moyenne soit **inférieure à 11 kilo Gray** (**10 kGy** étant la dose minimale nécessaire pour stériliser, on ne peut donc pas utiliser l'ionisation pour des aliments trop contaminés).

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

<u>Produit</u>	<u>But</u>	<u>Dose (kGy)</u>
Herbes aromatiques, épices	stériliser (spores)	10
Viand.Sépar.Mécan. volailles	anti-salmonelles	5
Cuisse grenouille congelées	anti-salmonelles	5
Oignon, ail	anti-germination	0.1

II- Facteurs intrinsèques / Eau

Facteurs Intrinsèques (de l'aliment)

Eau, pH, redox, composition et structure

Eau disponible, a_w Water activity (activité en eau)



a_w c'est l'activité en eau de l'aliment, ou activité hydrique.

Attention ! Ce n'est PAS la teneur en eau (eau "totale").

a_w c'est l'eau disponible pour la multiplication des germes (de 0 à 1).

C'est aussi l'eau qui peut s'évaporer à la température ambiante



Mesure de l' a_w

Dans une enceinte, avec un hygromètre. On mesure le taux d'humidité de l'air à l'équilibre sur de l'eau pure (référence 100%).

On mesure ensuite le taux d'humidité sur l'aliment à tester.

L' a_w est le rapport des deux taux: a_w de l'eau pure = 1.00

Aliment : comment baisser l' a_w ?

Les germes ont besoin d'eau disponible pour pousser. Les aliments naturels ont des a_w élevés (0.98 - 0.99), qui conviennent parfaitement aux germes. **Pour inhiber, faut baisser l' a_w**

Viande, poissons	$a_w = 0.99$	(teneur en eau 75%)
Légumes	$a_w = 0.99$	
Fruits	$a_w = 0.98$	
Charcuterie sèche	$a_w = 0.85-0.95$	
Pain frais	$a_w = 0.78$	(teneur en eau 30%)
Confitures	$a_w = 0.75-0.80$	
Céréales	$a_w = 0.70$	
Nouilles, épices	$a_w = 0.30-0.50$	

On va donc chercher à **diminuer l' a_w des aliments** pour diminuer la croissance des germes.

- L'idée la plus simple est **d'enlever de l'eau**: sécher, **déshydrater**, voire lyophiliser.

- **Ajouter sel ou sucre** (ou composés de petit PM) rend l'eau indisponible et abaisse l' a_w :

A 25°C, $a_w = 0.9$ pour une solution de sel (NaCl) à 160g/l et pour une solution de sucre (saccharose) de 1400 g/l.

- **Congeler** aussi abaisse l' a_w (glace à -18°C . $a_w = 0.84$)



Attention ne pas confondre a_w et teneur en eau,
même s'il y a un lien entre les deux.

Par exemple, les fruits secs contiennent 20% d'eau, la viande séchée 10% d'eau et les noix sèche 5% d'eau. Or ils ont tous trois **la même $a_w = 0.7$**

Pour ceux qui veulent savoir quel lien il y a, c'est exprimé par la **courbe de sorption**:

- Aux très faibles teneurs en eau, tout est très fortement lié, jusqu'à $a_w = 0.65$ (rien ne pousse)

- Quand la teneur en eau augmente au delà, une partie de l'eau devient disponible (eau solvante)

- Cependant si dans cette eau il y a beaucoup d'ions, d'électrolytes, de molécules de petit PM comme le sucre des fruits sec, l' a_w monte peu, et l'eau n'est pas disponibles pour les bactéries.

Les micro-organismes craignent la sécheresse, mais peut-on avoir des précisions?

Comme avec le froid, on range les micro-organismes dans différentes classes: hygrophiles, mésophiles, **xérophiles** (xeros = sec en grec).
On parle aussi de halotolérants et **halophiles** (halos = sel en grec).

Mais le plus utile à savoir c'est que

- les bactéries "normales" ont besoin de beaucoup d'eau libre: **Bactéries** $0,93 < a_w < 0,99$
- les coques tolèrent mieux le sec que les bacilles, et *S. aureus* est la plus "dromadaire" des bactéries pathogènes
- *Staphylococcus aureus* : a_w limite 0.86 mais croissance au dessus de 0.90
- les levures arrivent à croître au dessus de 0.8
- les moisissures sont les plus résistantes au sec, et poussent au dessus de 0.7, mais lentement

Pour les bactéries pathogènes les seuils minimaux de croissance sont

$a_w > 0.95$ *Clostridium perfringens*

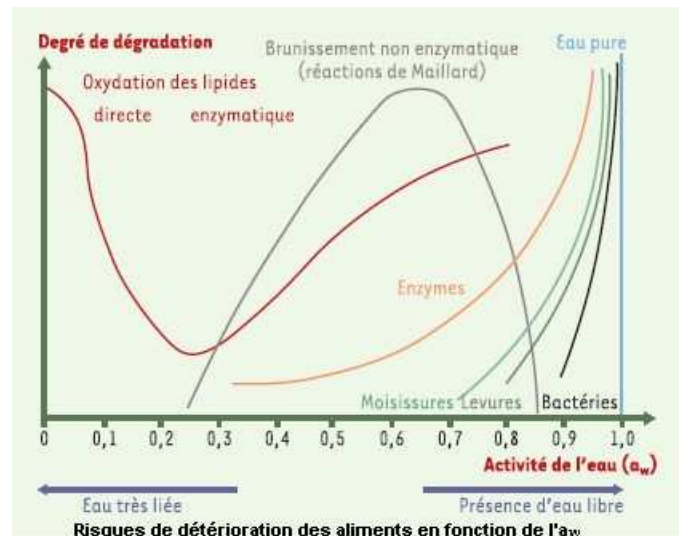
$a_w > 0.94$ *Salmonelles*

$a_w > 0.93$ *Clostridium botulinum* (correspond à 10% de NaCl)

$a_w > 0.90$ *Staphylococcus aureus* (on trouve aussi la valeur 0.86 car staph pousse au dessus de 0.90, mais "résiste" au dessus de 0.86, et ne fabrique de toxine qu'à + de 0.93)

Réglementation: **Préparation alimentaire stabilisée si** $a_w \leq 0.91$

Stable aussi si $a_w < 0.95$ et $pH < 5.2$



II- Facteurs intrinsèques / pH /

Acidité, pH des aliments

Les bactéries se multiplient bien vers pH 7

mais chaque bactérie a un pH optimal de croissance (entre 4.5 et 9). Les bactéries lactiques ont un pH optimal voisin de 5.

Staphylocoques et listeria sont relativement acido-tolérants (pH minimum croissance 4.2-4.3). Les levures (pH 2 à 9) et les **moisissures (pH 1.5 à 10)** ont des pH optimaux plus bas que les bactéries: les aliments acides moisissent facilement (pensez aux oranges)

Donc, la rémentation dit que:

Les aliments acides, pH < 4.5 sont considérés comme stables (pas de croissance bactérie)



Quel est le pH des aliments ?

500 foods'pH <http://www.cfsan.fda.gov/~comm/lacp-phs.html>



Certains aliments sont "très" acides: pas de croissance bactérienne possible (mais moisissures oui)

Yogourt pH 4.5 Jus et fruits pH 4 (3.5-4.9)

Citron & vin 2, Coca pH 1.5, Estomac pH 1

D'autres aliments sont relativement acides et donc **relativement protégés**,

Viande pH 5.6 (après la phase de rigidité cadavérique, mais **viande surmenée pH 6.2**)

Légumes pH 5.2-6.2 moins bien protégés que les fruits. Mais leur structure "cellulaire" rigide et leur pauvreté en protéines limite le développement bactérien dans les légumes, sauf bactéries spécialisées (*Erwinia carotovora*), non pathogènes pour nous.

Le blanc d'œuf a pH 9 (après quelques jours) est trop basique pour les salmonelles.

Par **contre les aliments neutres, comme le poisson pH 7, sont très "fragiles"**.

Les acides organiques sont-ils tous équivalents ?

- C'est la **forme non-dissociée des acides organiques (AH et non A- H+)** qui peut rentrer dans les bactéries, **qui inhibe**. (car la forme dissociée est ionisée (A- & H+), et que les ions hydrosolubles ne traversent pas la membrane lipidique). La dissociation d'un acide faible diminue avec le pH (*pour retenir, penser qu'il y a "trop" d'H+ dans l'eau. Ils "se collent" à leur acide faible A-*). Donc, **à pH acide, les acides organiques sont plus efficaces** contre les bactéries, car peu dissociés.

- Mais tous les acides ne sont pas pareil: Ainsi,

20% de l'acide citrique est non-dissocié à pH 4, alors que

85% de l'acide acétique est non-dissocié à pH 4.

Acétique sera donc plus antibactérien que citrique à pH 4.

Conséquence: une mayonnaise acidifiée au vinaigre présentera moins de risque de provoquer une salmonellose qu'une mayonnaise acidifiée au jus de citron.



Pourquoi les bactéries sont elles inhibées à pH acide ?

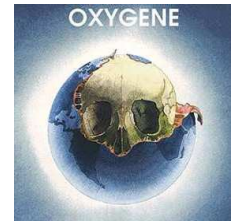
- Modification de la **disponibilité des métaux** du milieu (co-facteurs enzymatiques)

- Modification de la **perméabilité membranaire** (perméases des cations bloquées par H+)

- Ralentissement du métabolisme enzymatique: si **les acides entrent dans la cellule** (cf. ci-dessus) le cytoplasme s'acidifie et les **enzymes** intracellulaires ne sont plus au pH optimum.

II- Facteurs intrinsèques / Redox /

Redox : Potentiel d'oxydo-réduction et Oxygène



Le potentiel redox est la capacité à accepter ou **céder des électrons** (oxydation: perte d'électron / réduction: gain d'électron)

Dans l'aliment, le potentiel redox est difficile à mesurer et variable dans le temps.

- **La cuisson** de la viande (formation de composés de maillard, réducteurs) et **l'ébullition** (qui chasse l'air) **rendent l'aliment réducteur** (pot-au-feu, conserves).
- La croissance d'une importante population bactérienne rend l'aliment réducteur.
- Les **gros morceaux** compacts, les aliments pâteux gardent leur anaérobiose (jambon entier, gros morceau de bœuf du pot-au-feu, gruyère, sauce épaisse).
- La pression partielle en oxygène d'un aliment dans l'air est élevée en surface. Donc un aliment **peu épais** (tranche de jambon), liquide (lait), "poreux" et vivant (légumes), ou finement divisé (poudre) et **exposé à l'air** ne peut pas devenir réducteur,

Les bactéries ont des comportements variés vis à vis du potentiel redox et de l'oxygène:

- **Aérobies stricts**: exemple *Pseudomonas* psychrophiles des tanks à lait, *Bacillus*
Ces bactéries doivent (comme nous) se défendre contre la toxicité de l'oxygène, mais profitent (comme nous) de la respiration qui permet d'utiliser au mieux l'énergie des nutriments. Elles "détoxifient" les radicaux oxygénés grâce à des enzymes spécifiques (SOD= super oxyde dismutase, et catalase)
- **Aérobies facultatifs** ou Aéro-anaérobies: entérobactéries (*Salmonella*, *E.coli*), levures
- **Microaérophiles**: croissent en présence d'une faible teneur en O₂: lactobacilles & autres bactéries lactiques. Non pathogènes, ils entrent en compétition avec les pathogènes. On les utilise dans les produits laitiers fermentés (yogourt, fromages), et sur les viandes sous atmosphère modifiée (milieu microaérophile sous l'emballage étanche de la barquette).
- **Anaérobies stricts**: *Clostridium botulinum* et *perfringens*.

Applications de ces concepts:

- désinfectants oxydants (eau oxygénée, acide peracétique, produits chlorés ou iodés)
- risque des TIAC à *Clostridium* dans les grosses pièces de viande.
- utilisation des atmosphères modifiées pour favoriser les lactobacilles

II- Facteurs intrinsèques / Structure & Nutriments /

Structure physique et composition de l'aliment (nutriments)

Structure physique de l'aliment :Obstacles & barrières naturelles:

La "peau" est un "emballage" naturel anti-contamination, qui écarte les microbes.

- Peau et aponévroses des animaux, et de leurs muscles
 - Coquille et membranes coquillières de l'œuf entier
 - "peau" des fruits, paroi des cellules végétales
 - graisse solide isolant les parties aqueuses (confit, beurre, voire mayonnaise "solide")
- Inversement, les liquides (lait, sang) ne présentent pas d'obstacle à la diffusion des germes.

Souvent **les procédés technologiques conduisent à enlever ou fragiliser ces barrières**. On doit donc les reconstituer si possible: emballages divers, "croûte" du pain et du fromage, gels et émulsions qui "immobilisent" les bactéries, et tous les autres procédés vus ici (pH, aw, t°C)

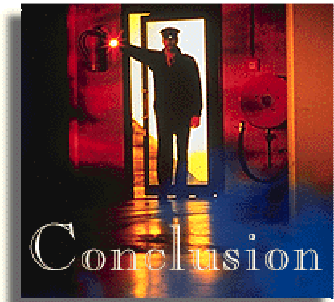
Nutriments favorables aux bactéries : Composition de l'aliment:

- Les aliments d'origine animale ou végétale sont a priori favorables au développement bactérien, car ils contiennent tous les nutriments nécessaires. Cependant l'équilibre de ces nutriments peut favoriser tel ou tel germe. Ainsi les produits **sucrés** (jus raisin) favorisent les levures.
- Les bactéries utilisent plus facilement le glucose que l'amidon, et les acides aminés que les protéines, mais beaucoup de micro-organismes ont des enzymes protéolytiques.
- Beaucoup de bactéries, les pathogènes notamment, se développent particulièrement bien sur les **denrées animales**, jus de viande et jaune d'œuf notamment (protéines).

Ecologie Microbienne des Aliments : CONCLUSION

En résumé, pour conserver les aliments, il faut combattre les germes, par 3 approches complémentaires :

- 1- **Eviter la contamination,**
- 2- **Tuer les germes, et/ou**
- 3- **Inhiber leur développement**

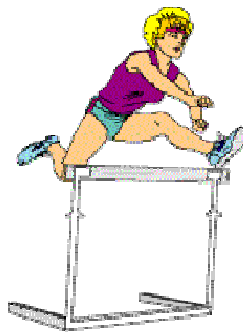


Le plus important de ce qui précède c'est que:

- 1- On peut **tuer les bactéries par la chaleur**. Savoir expliquer D, z et certaines t°C critiques
- 2- On peut **inhiber les bactéries par le froid**. Savoir quelques t°C critiques
- 3- Les aliments "**secs**" ou "**acides**" sont **protégés**. Savoir quelques a_w et pH critiques

Effet combiné des différents paramètres: Synergie des inhibitions.

Théorie des Barrières, ou « **haies** » : chacun des facteurs de maîtrise du développement microbien peut être considéré comme une "barrière". Les germes, pour se développer, pour arriver au but, doivent "sauter" successivement toutes les "haies". C'est une image, bien sûr, mais l'apposition de plusieurs barrières peut permettre d'éviter la multiplication microbienne: l'effet cumulé de plusieurs facteurs, chacun insuffisant (non inhibiteur pris individuellement), peut permettre de préserver l'aliment



Ainsi, une préparation alimentaire est **stabilisée si**

soit $a_w \leq 0.91$ (ex.: pain)

soit $pH \leq 4.5$ (ex.: yogourt)

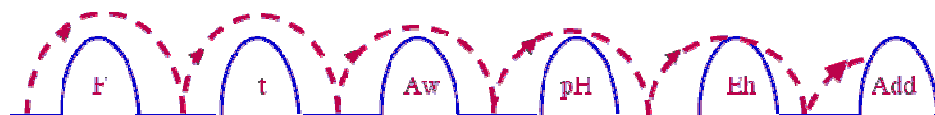
mais aussi si $a_w < 0.95$ **et** $pH < 5.2$ (ex.: saucisson)

Synergie: Un exemple simple est la baisse de thermorésistance des spores aux pH acides (*tu sais, le citron dans la boîte de sardines*).

- **L'association de facteurs inhibiteurs permet d'inhiber les bactéries**. Par exemple pour inhiber *C. botulinum* dans les poissons fumés sous vide, on associe : (froid + sel + fumée + cuisson). Et pour les "Roll Mops" (petits poissons en "pickle") on associe (froid + sel + pH + acide sorbique). Mais ces facteurs multiples se prêtent moins à une réglementation précise et chiffrée que deux caractères (a_w et pH). On fait donc des tests spécifiques, et on propose des modèles de **microbiologie prévisionnelle**.

Six barrières :

Chauffage F, Réfrigération t, Sécheresse A_w , Acidité pH, Oxydo-réd. Eh, Additifs Add



Microbiologie Prévisionnelle



On cherche à prévoir la vitesse de développement d'un germe dans des conditions écologiques données, et ainsi **déterminer une Date Limite de Consommation (DLC)**. Il ne s'agit plus de tuer ou d'inhiber "complètement" les bactéries, mais de **prévoir leur croissance**, pour vendre ou consommer l'aliment avant qu'il n'y ait danger ou dépassement des normes réglementaires.

Exemple : microbiologie prévisionnelle du développement de listeria sur du jambon de Paris

Jambon cuit : pH = 6.5 $a_w = 0.98$ et conservé entre 0 et 4°.

Listeria : conditions "minimales" de croissance pH = 5 $a_w = 0.92$ $t^{\circ}\text{mini} = 1^{\circ}$

Il y a donc risque de développement de listeria sur ce jambon, qui, même s'il est stérile au départ, peut se contaminer chez le charcutier ou chez le consommateur. Mais nous n'avons pas de moyen de bloquer ce développement d'où l'intérêt de déterminer une DLC.

Cette DLC est fixée à partir de **tests expérimentaux**: on **inocule** expérimentalement du jambon, et on **dénombre** les listeria après différents temps. Mais on ne peut tester pas "toutes" les combinaisons des valeurs de pH, a_w , et température (sans parler des autres paramètres). La microbiologie prévisionnelle cherche donc à établir, à partir des données expérimentales, un **modèle mathématique** prévoyant le développement d'un microorganisme en fonction des valeurs des paramètres. On va établir des courbes et prévoir non seulement la **vitesse de croissance** (taux de croissance exponentielle), mais aussi la **phase de latence**, et le **maximum de densité** bactérienne possible. A partir de ces courbes, l'industriel va éventuellement revoir ses formulations et ses procédés de fabrication, dans le cadre de son plan HACCP, et pourra **proposer une DLC sur une base rationnelle**.

La microbiologie prévisionnelle c'est l'avenir, mais ce n'est pas encore parfait !

Express Review of Microbial Ecology

Chaud tue : augmentation de la température

Valeurs seuils: 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
Paramètres thermorésistance: D_t = temps de réduction décimale à une température donnée
 z = augmentation de $t^{\circ}\text{C}$ divisant D par 10
 $F = 12D = 3$ minutes à 121°C = valeur stérilisatrice

Froid stoppe : diminution de la température

Valeurs seuils: Aucun développement microbien si $t^{\circ}\text{C} < -18^{\circ}\text{C}$
Pas de développement bactérien si $t^{\circ}\text{C} < -10^{\circ}\text{C}$
Pas de développement de pathogènes si $t^{\circ}\text{C} < +3.3^{\circ}\text{C}$ (*C. botulinum* type E)
Pas de développement rapide des germes si $t^{\circ}\text{C} < 10^{\circ}\text{C}$

Radiations ionisantes

Valeurs seuils: Destruction germes pathogènes : 10 kGy
Ionisation des DAOA : Liste positive (cuisses grenouilles congelées, VSM). Dose < 10kGy

Eau : activité en eau, a_w

Valeurs seuils : Aucun développement microbien si $a_w < 0,65$
Pas de développement bactérien si $a_w < 0,91$

DAOA: $0,85 < a_w = < 0,99$

Modification de l' a_w : Déshydratation, lyophilisation, salage, sucrage, congélation

Acidité, pH

Valeurs seuils: Aucun développement microbien si pH < 1,5
Pas de développement bactéries pathogènes si pH < 4,5

DAOA: $5,3 < \text{pH} < 9$ (viande bœuf 5.6, viande surmenée 6.2)

Modification du pH: Fermentation (lactique ou alcoolique), Ajout d'acides faibles

Potentiel d'oxydo-réduction

Valeurs seuils: Dépend des micro-organismes (aérobies stricts, facultatifs, anaérobies)

Traitements Technologiques de Conservation des Aliments

Ionisation & autres rayons, Pascalisation, Atmosphères
(vous verrez aussi plus tard : Froid, Chaleur, Sel, Séchage, ...)

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.

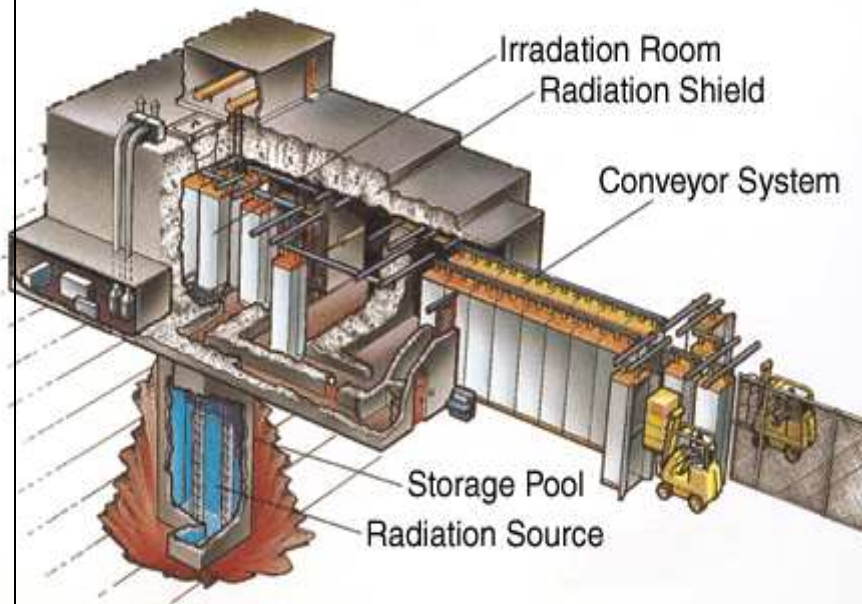
On peut utiliser trois types de radiations:

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**).

Trois avantages de l'ionisation pour assainir ou stériliser:

- traitement **à froid** : respecte les produits fragiles bien mieux que le chauffage.
- traitement de produits **déjà conditionnés** : pas de recontamination bactérienne possible.
- **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.



Concrètement: La source est une masse de **cobalt 60** incluse dans des "crayons" 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

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 meilleure 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 conclut 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)



kGy = kilo Gray

Effet

Nommé

0.1 kGy	inhibe la germination (bulbes, tubercules)	<i>0.1 kGy suffit à tuer un prof</i>
1 kGy	retarde maturation des fruits (ex: fraises)	
1 kGy	tue les insectes , les parasites	radurisation
5 kGy	pasteurise	radicidation
>10 kGy	stérilise	radappertisation

Gray = unité de dose absorbée : (1 Gy = absorption de 1 joule /kg = 100 Rad, ancienne unité)

Cette main tient le logo "Radura" qui signale les aliments irradiés :

Les gens ont peur de l'ionisation, pourtant très sûre (d'après les données actuelles)

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.

Gray = unité de dose absorbée : (1 Gy = absorption de 1 joule /kg = 100 Rad, ancienne unité)

Pour les aliments, la dose moyenne doit rester **inférieure à 11 kilo Gray = 11 kGy**, 10 kGy étant la dose minimale nécessaire pour stériliser (on ne peut donc pas utiliser l'ionisation pour des aliments trop contaminés).

UNITES: L'unité d'activité radionucléaire, le Becquerel (Bq) correspond à une désintégration par seconde.

C'est minuscule, notre corps fait 7000 Bq! L'unité de **dose**, le Gray = absorption de 1 joule /kg

L'unité d'**énergie** d'un rayonnement est l'électron-volt. 1 MeV= 1.6 10E-13 Joules. Si ionisation par électrons accélérés (peu utilisée en pratique), la loi impose une énergie inférieure à **10 MeV**, pour ne pas toucher le noyau.

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.

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).

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

Produit	But	Dose (kGy)	depuis	tonnes 2006
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).

Arrêté du 20 Août 2002 <http://www.sante.gouv.fr/adm/dagpb/bo/2002/02-36/a0362981.htm>

Demandes en cours: tisanes, poisson frais, VSM porc, charcuteries, plats cuisinés.

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)

On comprend qu'une boîte de conserve qui a été chauffée à 121°C ne reste pas longtemps brûlante, et qu'une fleur exposée au soleil ne soit pas lumineuse la nuit venue, mais on a peur, à tort, qu'un aliment ionisé ne reste "radioactif".

Pascalisation: traitement des aliments à Haute Pression.

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

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)

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.

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.

Nouveaux traitements physiques (conservation aliments)

Champs pulsés: électriques, magnétiques, sons, ultraviolets.

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 $\log_{10}$ 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.

Champs magnétiques pulsés : Un champ magnétique intense oscillant avec une fréquence importante (>5 Tesla, 100 kHz) détruit partiellement les microorganismes (2 à 4 $\log_{10}$). Ce type de procédé, encore au stade de la recherche, pourrait peut-être se développer.

Ultrasons : Des ultrasons de très forte intensité (20 kHz et plus, $>10\,000$ W/m²), 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.

Ultraviolets & 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/cm²) 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".

Conditionnements sous atmosphère modifiée

"Atmosphère, atmosphère, j'ai
une gueule d'atmosphère, moi?"
Arletty, "Hotel du Nord"

La conservation **sous atmosphère modifiée** a pour but de remplacer l'air par des gaz, principalement **l'azote et le dioxyde de carbone**. **CO₂ et N₂** 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.

Effet 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 CO₂. 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.

Effet 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.

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.

Information du consommateur

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 microbiologique 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.

Fruits 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);

Biblio.: 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. **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 & 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)

Quiz pascalisation, champs pulsés, atmosphères modifiées

Qu'est-ce que la pascalisation des aliments ? Quelles pressions sont utilisées pour pascaliser un aliment ?
Concrètement, comment applique-t-on la pression sur un aliment ?
Par rapport au chauffage, quels avantages des hautes pressions ?
Les hautes pressions modifient-elles les constituants des aliments ?
Quelles conditions sont nécessaires pour "pasteuriser" un aliment sous pression ?
Quels "germes" sont particulièrement résistants aux hautes pressions ?
Quels aliments sont pascalisés, ou pourraient l'être à court terme ?
Quels sont les traitements par l'électricité ou la lumière, qui permettraient de traiter les aliments pour mieux les conserver ? Certains d'entre eux sont-ils déjà utilisés ?
Principe des atmosphères modifiées? Trois grands types d'atmosphère modifiée?
Effets des atmosphères modifiées sur la viande? Utilisation principale de l'emballage sous vide?

Quiz ionisation

Qu'est-ce que l'ionisation des aliments ?
Irradier et ioniser des aliments, est-ce la même chose ?
Quel type de rayonnement est le plus utilisé? Pourquoi?
Comment l'ionisation agit-elle sur les germes ?
Avantages de l'ionisation pour conserver les aliments ?
Seuils maximaux d'énergie et de dose autorisés? why?
Les aliments irradiés peuvent-ils devenir radio-actifs ?
Les aliments irradiés sont-ils toxiques ?
Dose de rayonnement "pasteurisant" (ou stérilisant)?
Pour quels usages utilise-t-on l'ionisation ?
Quel effet néfaste de l'ionisation sur les nutriments ?
Citez 2 pts importants de la réglementation ionisation.
Citez 3 produits dont l'ionisation est autorisée. but ?
Est-il simple d'identifier un produit ionisé (pour le consommateur, pour le contrôleur)
L'ionisation est-elle au point ? Est-elle acceptée ?

Quiz Ecologie microbienne (rédaction en cours...) :

Quelles sont les trois grandes approches pour éviter la dégradation d'un aliment par les micro-organismes ?
Dessinez la courbe de croissance d'un germe en milieu liquide, et caractérisez les phases principales
Quels sont les facteurs nécessaires à la croissance d'une bactérie ? Facteurs extrinsèques / intrinsèques ?
Quels sont les

Questions qui tombent souvent aux exams

- Paramètres caractérisant la thermorésistance d'un micro-organisme: quels sont-ils? Que représentent-ils?
Comment les déterminer ? Conséquences pour fabriquer des conserves ?
- Effets du froid sur les micro-organismes et conséquences en conservation des aliments
- Facteurs intervenant dans la résistance des micro-organismes aux températures négatives
- Un exercice de stérilisation faisant intervenir D et z