



Revisiter l'efficacité de l'inactivation des micro-organismes par le traitement thermique

JEAN-LUC MARTIN

CTSCCV, 7 avenue du Général de Gaulle, 94704 Maisons-Alfort Cedex

Texte de la communication présentée le 19 mars 2002 au stage de formation CIA "Durée de vie des produits à base de viande"

Les crises alimentaires de ces dernières années, qui ont plus particulièrement touché des produits cuits, posent de façon cruciale le problème de la maîtrise des traitements thermiques. Pourtant, des travaux importants ont été menés, entre autres par le CTSCCV, pour sensibiliser les professionnels à une meilleure maîtrise de cette étape fondamentale du processus de fabrication.

VALEUR PASTEURISATRICE ET DURÉE DE VIE COMMERCIALE

La mesure de la température à cœur maximale a longtemps constitué le seul élément de contrôle des traitements thermiques. Au début des années 80, a été admis le fait que l'efficacité d'un traitement thermique devait prendre en compte, non seulement l'effet de la température, mais aussi celui de sa durée d'application. C'est ainsi que l'évolution de la température à cœur tout au long du traitement, pour les températures létales, a remplacé la seule température à cœur finale. Le concept de valeur pasteurisatrice, par analogie à la valeur stérilisatrice des conserves, a ainsi été développé.

La définition de la valeur pasteurisatrice est basée sur des données thermobactériologiques volontairement simplifiées, pour être facilement applicables dans un contexte de suivi quotidien du traitement thermique :

- Le choix du **micro-organisme de référence** pour caractériser l'effet léthal des traitements thermiques s'est porté sur *Enterococcus faecalis* (Streptocoque D à l'époque), qui ne représente ni une population fortement présente

dans la plupart des produits carnés, ni un risque pour la santé publique. *Enterococcus faecalis* a été choisi en raison de sa thermorésistance, considérée comme la plus élevée parmi les formes végétatives bactériennes. A partir de là, on peut raisonnablement considérer que les autres germes, moins thermorésistants, subissent une destruction plus importante. Ceci n'est pas forcément synonyme de stabilité microbiologique car la population initiale de ces micro-organismes est généralement toujours plus importante que celle d'*E. faecalis*.

- Le choix de **valeurs caractéristiques constantes de la thermorésistance** peut également être critiqué quand on connaît la variabilité engendrée, en particulier, par les conditions de milieu. Il constitue donc un biais au regard de la réalité.

Cependant dans le cadre d'une mise en œuvre pratique au quotidien, pour le suivi de barème de traitement thermique, il paraît bien difficile de faire intervenir un mode de calcul modulable au cours du temps et en fonction des produits. La principale préoccupation des précurseurs de cette approche était plutôt de l'expliquer, et de la faire accepter.

Revisiter l'efficacité de l'inactivation des micro-organismes par le traitement thermique

La valeur pasteurisatrice ainsi définie ($P^{70,10}$) reste donc un critère essentiel pour le calcul du niveau de stabilisation apporté par un traitement thermique. Son utilisation est bien plus puissante que la prise en compte de la seule température à cœur, puisque toutes les températures létales (supérieures à 55°C) interviennent dans le calcul.

Elle constitue alors un outil performant pour contrôler au quotidien la répétabilité des traitements appliqués, produit par produit. Elle permet également de modéliser les barèmes et de comparer différentes possibilités de chauffage pour un objectif donné (valeur pasteurisatrice cible).

Pour l'évaluation de ses effets bactéricides réels, elle doit systématiquement être validée par des analyses microbiologiques (contamination du produit fini, validation de DLC...).

La procédure d'utilisation normale de ce concept comprend les étapes suivantes :

1. définition précise des caractéristiques du produit pris en compte (composition, forme, dimensions, processus de fabrication, conditions de chauffage...).
2. modélisation éventuelle (à l'aide de logiciels, par exemple) de différents barèmes temps/température conduisant au même objectif de valeur pasteurisatrice, et choix a priori sur la base de données calculées (température à cœur, temps total de traitement, valeur cuisatrice...).
3. application du (ou des) barème(s) sélectionné(s) dans le cadre du processus de fabrication du produit défini initialement.
4. contrôles des paramètres permettant de caractériser objectivement les résultats :
 - suivi de la température de chauffage (palier par palier),
 - suivi de la température à cœur et calcul de la valeur pasteurisatrice réelle,
 - détermination de différents paramètres technologiques (pertes de cuisson...).
5. détermination de la stabilité des produits, en particulier par la validation de la DLC recherchée.

6. modification éventuelle du traitement (par exemple, augmentation de la valeur pasteurisatrice pour augmenter la durée de vie).

Comme le montre ce protocole, la valeur pasteurisatrice a été mise en place uniquement comme moyen de contrôle du traitement thermique, pour caractériser une destruction microbienne quantitative. Elle va donc dans le sens de l'amélioration de la durée de vie des produits cuits. Par contre, elle présente un certain nombre de limites qui ne permettent pas de lui accorder un crédit suffisant pour une approche orientée vers la **sécurité alimentaire**.

QUELLES SONT LES LIMITES DE LA VALEUR PASTEURISATRICE ?

CONDITIONS DE DÉTERMINATION DE D

Les premières limites de la valeur pasteurisatrice sont déjà contenues dans la détermination des caractéristiques de la thermorésistance :

- La détermination est très souvent réalisée sur **milieux synthétiques** de laboratoire, correspondant à des conditions favorables (température, pH, aw) au développement bactérien. Elle varie, par exemple, entre un milieu de laboratoire et un broyat de jambon (proche du produit réel).
- La variation de D est fonction des **conditions de recouvrement** mises en œuvre. La revivification des micro-organismes est directement influencée par ces conditions : composition du milieu, température, temps d'incubation, conditions d'aérobiose ou d'anaérobiose. Le résultat analytique obtenu peut même aller à l'encontre de l'effet réel du traitement (sous-estimation de la thermorésistance).
- Au sein d'une même population on constate une certaine **variabilité** qui peut expliquer différents comportements vis-à-vis de la thermorésistance. La détermination de D passe alors par une approche probabilistique qui tient compte également de la taille de la population.

EFFET DE L'AW

La thermorésistance bactérienne augmente lorsque l'aw diminue, jusqu'à un minimum entre 0,6 et 0,8 (assez difficilement envisageable pour un produit cuit).

Par exemple, on peut retrouver des salmonelles survivantes en surface de rôtis de bœuf séchés, puis cuits.

Globalement, **une aw élevée** (0,95 à 0,98) est donc associée à une **faible thermorésistance**. Quand les cellules bactériennes se trouvent dans des conditions physiologiques défavorables, elles peuvent produire des **protéines de choc thermique** si on leur applique une montée en température lente (0,2°C/min, par exemple). Dans ce cas, l'effet obtenu est tout à fait différent, à cause du phénomène de stress bactérien.

STRESS BACTÉRIEN

Le maintien d'une température légèrement inférieure à la température létale augmente la thermorésistance dans des proportions assez importantes. Les valeurs D (déterminées à différentes températures selon les expériences) peuvent être multipliées par un facteur allant de 1,5 à 2 (*L. monocytogenes*, *Escherichia coli*), voire 4,5 (*Salmonella typhimurium*).

Exemple : le maintien d'*E. coli* O157:H7 à 46°C pendant 15 minutes dans du bœuf haché multiplie sa thermorésistance par 1,5.

Ce phénomène est la conséquence de la synthèse des protéines de choc thermique, qui se déroule dans une zone de température entre 40 et 50°C. Maintenir la température, pendant un temps relativement long, dans cet intervalle, c'est augmenter la probabilité de trouver des

bactéries dont la thermorésistance est accrue. C'est le cas pour les produits chauffés lentement (jambons cuits ou produits cuits à basse température...).

EFFET DE CERTAINS ADDITIFS

L'effet de certains paramètres peut être différent selon les publications. Ainsi, les **polyphosphates** sont annoncés comme diminuant la thermorésistance (dans un jambon, par exemple, ils contribuent à conserver un milieu humide).

Certaines études ont, au contraire, montré leur influence dans le sens d'une augmentation de la valeur de D (**tableau I**).

L'effet du **nitrite** est également bien connu, en particulier vis-à-vis de *Clostridium botulinum*, même s'il n'est pas en rapport direct avec la thermorésistance. C'est **l'effet Périgo** : 30 mg de nitrite chauffés en présence de viande ont le même effet bactériostatique que 300 mg non chauffés.

VALEUR PASTEURISATRICE ET SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ?

Conférer trop de pouvoir à la valeur pasteurisatrice constitue une dérive risquée, qui a malheureusement été parfois suivie ces dernières années :

- Détermination directe d'une DLC sur la seule base de la valeur pasteurisatrice calculée (voire même parfois simplement estimée). Le risque est alors de ne pas prendre en compte la contamination réelle et de ne pas valider le résultat obtenu.

Température (°C)	D en minutes	
	Jambon sans polyphosphates	Jambon avec polyphosphates
60	27,6	45,4
64	14,6	25,3
70	7,2	11,7

TABLEAU I. Valeur D pour *Enterococcus faecalis* dans un broyat de jambon, avec ou sans polyphosphates ajoutés (Féry et al., 1995).

Revisiter l'efficacité de l'inactivation des micro-organismes par le traitement thermique

- Liaison d'une valeur pasteurisatrice avec un niveau de destruction de *L. monocytogenes*, sur la base des valeurs caractéristiques de thermorésistance de cette dernière...

L'utilisation qui en a été faite a parfois débordé ce simple cadre. Sa dénomination, qui fait référence à la **pasteurisation**, y est certainement pour beaucoup. Bien souvent, les utilisateurs (technologues, vétérinaires...) tentent de faire dire à la valeur pasteurisatrice bien plus qu'elle ne le peut, même au regard de l'approche "durée de vie". La corrélation entre valeur pasteurisatrice et durée de vie ne peut être définie qu'au cas par cas (produit + processus + conditions de conservation) et non d'une façon très générale comme cela est le cas assez souvent.

Pour éviter toute confusion, il vaudrait mieux revenir à son appellation originelle utilisée par les auteurs allemands : "**F value**" ou à tout autre terme permettant d'éviter la confusion. L'appellation "valeur pasteurisatrice" serait alors réservée à la seule approche "sécurité alimentaire", qui concerne la mise en œuvre de moyens qui assurent l'inactivation des germes pathogènes et de leurs toxines, jusqu'à un niveau ne compromettant pas la santé publique.

Dans ce cas, il s'agit de s'assurer que les produits sont aptes à la conservation durant toute leur durée de vie annoncée, et ne sont pas dangereux pour les consommateurs (quelle que soit leur appartenance à tel ou tel groupe de population, à risque ou non pour le danger considéré).

Il est donc nécessaire de bien définir les objectifs recherchés. L'identification des dangers microbiens devient alors un paramètre primordial. L'approche sera fondamentalement différente selon qu'on cherche à inactiver *Listeria* ou des formes sporulées telles que celles rencontrées pour *Clostridium botulinum*.

Des informations précises sur la thermorésistance, en fonction de paramètres liés au produit (pH, aw) seront également nécessaires, afin de déterminer quel traitement adéquat appliquer pour parvenir aux résultats visés. La combinaison de différents modes de traitement pourra être envisagée.

Les objectifs à atteindre devront également être bien fixés, non pas par rapport à une durée de conservation, mais en fonction du micro-organisme considéré. On devra alors différencier des objectifs tels que :

Taux de destruction déterminé

Par exemple, les exigences réglementaires américaines pour les processus de fabrication de produits prêts à consommer visent une réduction de 6,5 log10 pour du bœuf et de 7 log10 pour les produits de volaille.

Les conditions de traitement thermique ne sont, bien sûr, pas du tout identiques, selon qu'on recherche un taux de destruction de *Listeria monocytogenes* de 4 ou de 10.

Contamination des produits finis

Les critères microbiologiques pour *Listeria monocytogenes* sont basés sur deux niveaux de critères : ceux applicables au stade de la production et ceux applicables au stade de la distribution. Le fabricant doit pouvoir maîtriser les deux niveaux, en fonction du produit.

Les conditions de réalisation interviennent directement.

Par exemple, les critères recommandés pour les produits cuits dans leur conditionnement définitif (jambons entiers, plats cuisinés cuits sous vide...) ou conditionnés aseptiquement après traitement (plats cuisinés...) sont extrêmement rigoureux (absence dans 25 g).

Pour les rillettes et les langues en gelée, aucune tolérance n'est acceptée au stade de la production, contrairement aux autres produits cuits, manipulés avant conditionnement (jambon tranché, saucisses...).

En poussant le raisonnement à l'extrême, l'objectif peut être de faire entrer le produit dans la catégorie des "produits sûrs" définie par l'AFSSA dans son avis du 14 janvier 2002. Pour cela, le technologue doit faire en sorte que le produit fini réponde à des exigences très particulières, ne permettant pas la croissance de

Listeria monocytogenes : $a_w < 0,9$ ou $pH < 4,2$ (ou 4,5 si l'acidification est lactique ou acétique).

Dans le même ordre d'idée, en 2000, la crise de fièvre aphteuse a généré des exigences très particulières : traitement thermique à une température minimale de 70°C ou passage par une valeur de pH inférieure ou égale à 6. De telles conditions, si elles sont favorables à l'objectif de sécurité alimentaire, ne sont que faiblement compatibles avec la maîtrise des paramètres technologiques ou sensoriels.

On le voit, l'objectif de sécurité alimentaire semble parfois difficile à atteindre sans l'association du traitement thermique avec d'autres facteurs technologiques.

LE TRAITEMENT THERMIQUE EST-IL LE SEUL MOYEN D'INACTIVATION DES MICROORGANISMES ?

Le traitement thermique restera très probablement le moyen déterminant pour assurer la sécurité alimentaire, car il permet également :

- d'obtenir les caractéristiques recherchées,
- et d'apporter de la valeur ajoutée aux produits.

Différents moyens peuvent être mis en œuvre pour maîtriser ou compléter l'efficacité du traitement thermique. Ils sont développés sans préjuger, a priori, de la faisabilité de leur mise en œuvre en fonction du type de produit fabriqué.

FORMULATION

La maîtrise de l' a_w du produit conditionne fortement les caractéristiques intrinsèques du produit et la thermorésistance des bactéries.

L'augmentation de la teneur en gras ou en matières sèches va dans le même sens. L'effet protecteur des lipides est très sensible, par exemple pour des *Bacillaceae*.

L'utilisation d'additifs spécifiques (conservateurs) peut également apporter un effet synergique. C'est, par exemple, le cas du lactate, sans oublier celui du nitrite, mis en œuvre depuis bien longtemps déjà dans les produits de charcuterie.

La mise en œuvre directe d'acides organiques (par exemple, l'acide lactique ou acétique, mentionnés plus haut) paraît nettement plus aléatoire, dans la mesure où elle peut avoir des conséquences technologiques néfastes. Par exemple, l'acidification volontaire d'un jambon cuit nuit fortement à la qualité des matières premières, donc aux résultats, rendement technologique et tenue de tranche entre autres.

CONDITIONS DE TRAITEMENT THERMIQUE

Les facteurs dominants sur l'inactivation bactérienne sont les conditions environnementales durant le traitement thermique :

- température et humidité de l'air,
- durée de chauffage,
- intensité du chauffage et du refroidissement.

Les caractéristiques micro-environnementales autour du produit créent une couche-limite qui influe directement sur l'état de surface. Les caractéristiques de cette couche-limite sont essentiellement contrôlées par les paramètres de réglage du four (température, humidité et vitesse de l'air). Il apparaît donc que les mécanismes d'inactivation des pathogènes en surface ou tout près de la surface des produits sont contrôlés plus par l'humidité du four que par l' a_w du produit carné.

Ainsi, sur des pâtés de poulet, un chauffage à humidité élevée (injection de vapeur) induit une inactivation de salmonelles supérieure de 2 log à celle obtenue avec un traitement à basse humidité (air sec), pour une même température à cœur.

Ceci peut également s'expliquer par une différence de température réelle de chauffage, comme le montrent les **figures 1 et 2**.

COMBINAISON DE TRAITEMENTS ASSAINISSANTS

La mise en œuvre de traitements complémentaires au chauffage est déjà présente dans certains processus de jambons cuits. C'est le cas du traitement de sachets de jambons prétranché par les **hautes pressions**.

Revisiter l'efficacité de l'inactivation des micro-organismes par le traitement thermique

On peut également envisager le **traitement micro-ondes** de tranches, juste avant conditionnement. Cette méthode existe dans le procédé de fabrication de poitrines fumées précuites :

1. injection des poitrines
2. fumage et cuisson en cellule classique
3. refroidissement et stabilisation du produit
4. pressage
5. tranchage
6. cuisson finale des tranches dans des fours continus à micro-ondes.

MAÎTRISE DES PROCÉDÉS EXISTANTS

Le principal point critique dans le processus de fabrication des **rillettes** est la succession d'opérations entre la cuisson et le refroidissement final des produits :

1. vidange de la marmite
2. séparation des 3 phases (graisse, jus, fibres)
3. reformulation
4. battage
5. conditionnement

Les opérations 2 et 3 sont réalisées seulement pour assurer la maîtrise de la composition finale des rillettes, à cause d'une méconnaissance de la composition des matières premières. La conservation de pratiques technologiques spécifiques à ce type de produits intervient également dans leur application.

Résoudre ce problème ne doit pas rester particulièrement compliqué au regard de l'évolution des techniques analytiques. On peut ainsi envisager un processus de fabrication, déjà mis en œuvre dans les procédés continus :

1. analyse de la composition des matières premières
2. détermination de la composition en fonction d'un objectif de taux de lipides défini
3. cuisson en marmite assurant également le mélange et le battage
4. vidange directe (pompe + tuyauterie) vers le conditionnement (doseuse)
5. refroidissement

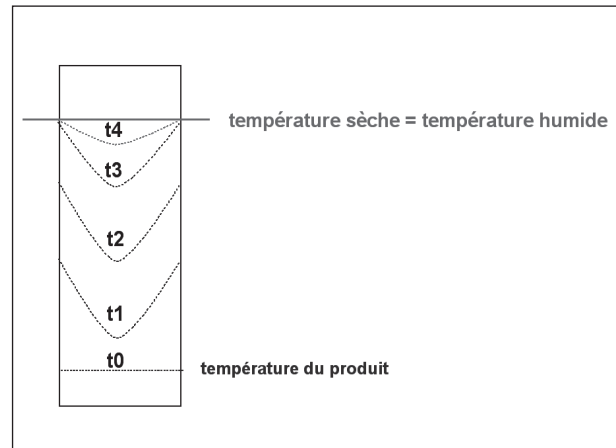


FIGURE 1. Chauffage humide.

La température de surface (température humide) atteint rapidement le niveau de température de chauffage (température sèche) réglée sur le four. La température à cœur se rapproche progressivement de la température ambiante.

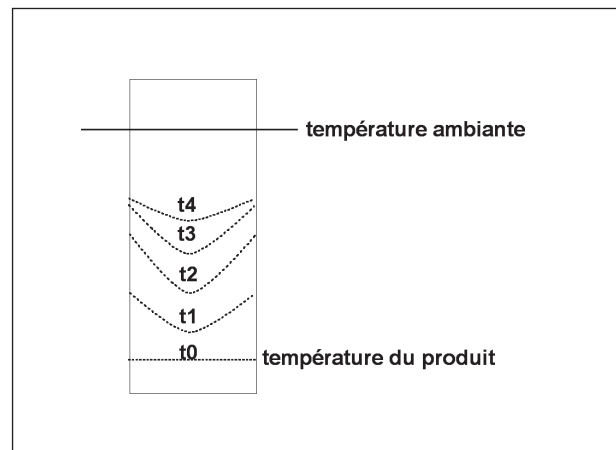


FIGURE 2. Chauffage à l'air sec.

La température de surface n'atteint jamais le niveau de la température de chauffage. La température à cœur ne peut pas atteindre le même niveau que la température ambiante.

Pour atteindre la même température de surface qu'en ambiance humide, il faut monter la température de chauffage. On combine alors l'effet de la température et de l'humidité réduite de l'air. Cette combinaison, si elle conduit à une meilleure inactivation, augmente les risques de croûtage.

CONCLUSION

Revisiter l'efficacité des traitements thermiques dans une optique de sécurité alimentaire conduit presque fatalement à revisiter en partie ou en totalité, le processus de fabrication des produits.