HAL
open science

Intégration des profils temps-température et appréciation de la croissance bactérienne

Philippe Rosset, Gérard Poumeyrol, Marie Cornu, Véronique Noël, Elisabeth Morelli

To cite this version:

Philippe Rosset, Gérard Poumeyrol, Marie Cornu, Véronique Noël, Elisabeth Morelli. Intégration des profils temps-température et appréciation de la croissance bactérienne. Revue Générale du Froid, 2003, 1038, pp.27-34. hal-00378365

HAL Id: hal-00378365

https://anses.hal.science/hal-00378365v1

Submitted on 24 Apr 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INTEGRATION DES PROFILS TEMPS-TEMPERATURE ET APPRECIATION DE LA CROISSANCE BACTERIENNE

EXEMPLE PRATIQUE D'APPLICATION

Par : Philippe Rosset, Gérard Poumeyrol, Marie Cornu, Véronique Noël, Elisabeth Morelli (*)

(*) Agence française de sécurité sanitaire des aliments, Laboratoire d'études et de recherches sur la qualité des aliments et sur les procédés agroalimentaires, 10 Rue Pierre Curie, 94709 Maisons-Alfort. Tél. : 01.49.77.26.36.

RESUME

L'analyse des dangers et la mise en place de mesures de prévention est une démarche nécessaire à la maîtrise de la sécurité sanitaire. Leur mise en oeuvre, réglementairement obligatoire, passe par l'étude de chaque recette. Ce travail s'avère long et fastidieux en restauration en raison du grand nombre de recettes proposées. Pour y remédier, les professionnels utilisent des méthodes simplifiées. Toutefois la nécessité de conduire une analyse complète pour les recettes sensibles en terme de sécurité alimentaire demeure. Pour ce faire, des critères quantitatifs sont à rechercher en vue d'aider à la décision. Jusqu'à présent le principal obstacle résidait dans la difficulté à quantifier la croissance microbienne dans les denrées. Sur les bases de la microbiologie prévisionnelle, le calcul d'un critère - le score - est proposé. Associé à l'expertise microbiologique il permet de prédire cette croissance à partir des profils temps-température associés à un aliment. Un exemple pratique, détaillant le mode de calcul, est donné en complément.

ABSTRACT

Conducting a hazard analysis and determining critical control points are necessary to achieve safety in food industry and mandatory in France. It has to be done for every food process separately. In food catering this wok is quite long and hard because of the high number of different prepared meals, and this explains why the professionals use simplified procedures. However a complete hazard analysis has to be done for ready-to-eat foods with a high risk level of foodborne outbreaks. In order to proceed with objectivity in hazard analysis quantitative criteria have to be used. Until now the main difficulty was to quantify the microbial growth in foods. Using standard predictive microbiology models a quantitative criterion is proposed. Through this criterion and according to a microbial expert's report, the effects of time-temperature profiles in foods can be integrated and the potential growth of pathogenic bacteria can be predicted. The method of calculation is illustrated by a practical and detailed example.

1. INTRODUCTION

La sécurité sanitaire est primordiale en restauration collective du fait du grand nombre de repas fabriqués (de quelques centaines à plusieurs milliers par jour et par cuisine). Ainsi 61% des cas d'intoxication alimentaire collective (TIAC), déclarés en 2001, sont survenus dans ce secteur [1]. Parmi les différents types de risques (physiques, chimiques,...), celui d'ordre microbiologique est le plus difficile à maîtriser. Pour y parvenir, outre les bonnes pratiques d'hygiène, la réglementation demande aux restaurateurs de mener une approche raisonnée et intégrée "en se fondant sur les principes utilisés pour développer le système dit HACCP" [2]. Cette démarche consiste principalement à identifier les

dangers microbiologiques potentiels et à mettre en place des actions spécifiques pour prévenir leur survenue [3].

La méthodologie d'analyse des dangers impose l'étude exhaustive d'un procédé de fabrication donné, ce qui constitue un travail long et fastidieux. De ce fait celle-ci ne peut être complètement appliquée en restauration en raison du grand nombre de recettes proposées. C'est pourquoi les professionnels de ce secteur ont considérablement simplifié la méthode HACCP décrite par le Codex Alimentarius soit en ne mettant en oeuvre que les bonnes pratiques d'hygiène, soit en raisonnant sur les étapes de travail dans la cuisine (livraison, stockage, cuisson,...) communes à plusieurs recettes [4]. Ceci malheureusement n'apporte pas toujours un niveau suffisant de sécurité sanitaire. Il est nécessaire, pour certaines recettes "sensibles", de réaliser des analyses de dangers complètes.

La première partie de cet article expose les différentes phases de l'analyse des dangers, en insistant sur l'importance de l'appréciation quantitative des éventuelles croissances bactériennes.

Dans une deuxième partie, une méthodologie permettant d'estimer la croissance microbienne à partir de profils temps-température est présentée. Un exemple pratique, appliqué aux conditions de conservation d'une entrée froide, complète ces propos. Cette méthodologie constitue une réelle avancée car jusqu'à présent les professionnels ne disposaient pas de moyens d'estimation objective des conséquences de dépassements ponctuels des températures réglementaires.

2. MODALITES D'ANALYSE DES DANGERS

L'analyse des dangers est une démarche visant à rassembler et à évaluer les données relatives aux dangers afin de décider lesquels d'entre eux sont significatifs au regard de la sécurité des aliments, et en conséquence mettre en œuvre les mesures de prévention les plus appropriées. Le recours à ce type d'études constitue l'un des éléments clefs de la sécurité sanitaire pour toutes les entreprises du secteur agroalimentaire, y compris celles de la restauration collective où cette étape est d'ailleurs obligatoire [2, 5]. Il est à noter que seule une appréciation quantitative, ou à défaut qualitative, des dangers liés aux procédés de préparation permet une mise en œuvre raisonnée et efficace des mesures de prévention.

La méthodologie d'analyse à suivre diffère sensiblement selon la nature des dangers considérés. Ceux-ci peuvent être microbiologiques, chimiques ou physiques. Dans le présent article, seule la méthodologie d'analyse des dangers microbiologiques est envisagée ; celle-ci comprend les phases suivantes : définition du champ d'application, élaboration de diagrammes de fabrication, choix des dangers à étudier, étude de chaque danger, appréciation globale des dangers par synthèse des éléments précédents, mesure de l'évolution des dangers par une approche quantitative ou qualitative.

■ Définition du champ d'application

Toute analyse des dangers ne doit concerner, par principe, qu'un seul procédé de fabrication à la fois car deux procédés peuvent présenter des différences, en apparence négligeables, mais s'avérant avoir une incidence forte sur la survenue des dangers. En restauration collective, du fait du grand nombre de recettes différentes préparées quotidiennement et de l'importance du travail d'analyse qui en résulterait, ce type d'étude ne peut pas être conduit pour chaque procédé. Il est cependant nécessaire d'effectuer ce travail pour les recettes les plus sensibles quant à la sécurité microbiologique des aliments.

Il est aussi possible de mener ces études par grande famille de procédés mais il convient alors de s'assurer que ces regroupements sont justifiés en terme de sécurité et que des recettes sensibles telles que, par exemple, la préparation des steaks hachés congelés distribués en liaison froide n'est pas oublié.

La délimitation des étapes concernées par l'étude ne présente, en général, pas de difficultés en restauration collective. Il apparaît en effet logique de commencer à la réception des matières premières pour terminer par la remise des denrées au consommateur.

■ Elaboration de diagrammes de fabrication

Cette phase est simple dans son principe. Elle consiste à noter sous forme de diagramme toutes les étapes de fabrication, sans oublier les éventuels ajouts de matières premières à chaque stade. Il est primordial de renseigner systématiquement chaque étape de fabrication et d'être le plus exhaustif possible, toute information, même mineure, pouvant se révéler ultérieurement importante. Pour ce faire, il ne faut pas se contenter des informations obtenues lors des entretiens avec les responsables de restauration, mais il est nécessaire de se rendre ensuite sur le terrain pour vérifier l'exactitude des éléments notés et éventuellement les compléter.

■ Choix des dangers à étudier

Les dangers microbiologiques correspondent aux divers micro-organismes capables d'avoir un effet néfaste sur la santé de l'homme.
Après établissement du diagramme de fabrication, il importe de sélectionner les dangers qui peuvent être raisonnablement attendus lors de la consommation du produit fini. Ainsi, dès le début de l'analyse, certains micro-organismes vont être écartés du fait de leur absence habituelle dans les produits concernés (exemple : *Vibrio parahaemolyticus* dans les viandes) ou de leur destruction totale au cours du procédé (exemple : salmonelles dans des plats cuisinés cuits sous-vide à température élevée).
Cette première sélection de micro-organismes potentiellement dangereux a pour but d'alléger le travail des étapes suivantes.

■ Etude de chaque danger

Pour un procédé de fabrication donné, il faut réaliser une étude particulière pour chaque danger retenu (voir paragraphe précédent).
Cette phase consiste à analyser, à chacune des étapes répertoriées dans le diagramme de fabrication précédemment établi, les possibilités de croissance ou de décroissance du danger considéré.

Ainsi sont à envisager, à chaque étape, les possibilités :

- de contamination initiale : en relation avec la qualité microbiologique des matières premières. Ne sont donc envisagées ici que les étapes du diagramme où il y a introduction de matières premières.
- de contamination secondaire : en rapport avec toutes les autres sources - directes ou indirectes d'apport du micro-organisme : manipulations, personnel, matériels, locaux, air...
- de multiplication : elles sont fonction des caractéristiques physico-chimiques propres au micro-organisme considéré (notamment, température minimale de croissance), ou celles dépendant de la denrée concernée (température, acidité, humidité,...).

- de destruction : en restauration les étapes de cuisson et de remise en température sont souvent les seules concernées. L'efficacité du traitement thermique dépend étroitement du microorganisme étudié : à intensité égale, un même traitement peut, selon le germe concerné, entraîner une destruction totale ou partielle, avec formation - ou non - d'éléments de résistance (spores).

■ Appréciation globale des dangers par synthèse des éléments précédents

Les renseignements obtenus au cours des étapes précédentes donnent une vue d'ensemble des causes d'apparition, d'augmentation ou de diminution du danger pour un procédé de fabrication. A partir de là, il est possible d'apprécier l'importance du danger et ainsi d'estimer si les mesures de prévention en place sont suffisantes ou améliorables.

Dans ce dernier cas, les informations recueillies permettent de déterminer beaucoup plus facilement les possibilités de réduction du danger,

- par augmentation de la durée et/ou la température des étapes de cuisson et de remise en température,
- par réduction de la durée et/ou de la température de conservation des denrées à certaines étapes du procédé,
- par renforcement des bonnes pratiques d'hygiène aux étapes du procédé pour lesquelles les contaminations (initiales ou secondaires) ont des effets néfastes déterminants.

L'analyse d'un procédé (par exemple fabrication de pâtisseries) peut aussi dans certains cas conclure à un danger important sans trouver de mesure adéquate de prévention (absence de local pâtisserie, défaut de personnels, difficulté à établir une séparation avec les autres circuits,...). Le procédé doit alors être profondément modifié (fabrication de uniquement de pâtisseries sans crème,...) ou carrément supprimé (avec, par exemple, achat par le restaurant de produits prêts à l'emploi proposés par l'industrie agroalimentaire).

■ Mesure de l'évolution des dangers : approche qualitative ou quantitative

Dans une approche qualitative, l'hygiéniste se borne à déterminer, aux différentes étapes du procédé, s'il y a augmentation ou réduction du danger (variations du taux de bactéries pathogènes ou de toxine) en notant seulement si ces modifications peuvent être importantes ou faibles.

Ce type d'analyse est certes suffisant dans les cas simples. Mais dans certains cas l'analyse des dangers montre une possibilité de multiplication bactérienne (ou de toxinogénèse) réelle mais probablement assez limitée, il n'est alors pas possible de déterminer de manière objective si le procédé de fabrication est satisfaisant ou non à ce niveau. Afin de pouvoir y répondre une approche quantitative est aujourd'hui largement souhaitée et de nombreux travaux de recherches sont menés dans ce domaine.

La microbiologie prévisionnelle a ainsi pour objectif de prévoir la croissance des différentes espèces microbiennes en fonction des paramètres environnementaux. Bien qu'il s'agisse d'une discipline en pleine évolution, certains de ses outils sont maintenant utilisables sur le terrain par les hygiénistes. Nous verrons dans le chapitre suivant qu'il est possible d'estimer la croissance potentielle d'une bactérie pathogène pour des denrées distribuées en liaison froide.

3. APPRECIATION DE LA CROISSANCE BACTERIENNE PAR INTEGRATION DES PROFILS TEMPS TEMPERATURES

3.1. Méthodologie

Les modèles de microbiologie prévisionnelle actuellement disponibles sous forme de logiciels prêts à l'emploi donnent la possibilité de calculer le potentiel de croissance d'un microorganisme retenu pour une température constante dans le temps. De ce fait ces logiciels ne sont donc pas adaptés lorsque la température varie. Aussi, pour y remédier, nous proposons un critère quantitatif élaboré à partir des modèles de base de la microbiologie prévisionnelle et permettant de traduire des profils temps-température en terme de croissance microbienne potentielle.
Cette approche, présentée ici dans le contexte de l'analyse des dangers, est également applicable dans le domaine de l'appréciation des risques [6].

Aux températures de réfrigération (c. à d. très inférieures à la température optimale de développement du micro-organisme), ce critère - le score - peut être écrit sous la forme d'une équation très simple.

Pour une température fixe, le score est égal à la durée considérée multipliée par le carré de la différence entre la température considérée et température minimale du micro-organisme.

Un profil temps-température peut être décomposé en n petites périodes durant lesquelles la température est supposée fixe, le score du profil étant alors égal à la somme des n scores de chaque période (formule A).

(A) $$\mathrm{SCORE} = \sum_{i=1}^{i=n} \left(T_i - T_{min}\right)^2 \, t_i$$

où t_i est le temps (jours) compris entre 2 mesures ;
T_i la température (°C) mesurée au temps i ;
T_{min} (°C) la température minimale de croissance du microorganisme considéré.

Ainsi, à chaque profil temps-température équivaut une valeur de score. Il est à noter que le score est indépendant de l'aliment examiné et n'est valable que pour un microorganisme donné.

Pour un profil temps-température - où la température évolue au cours du temps - le score permet de traduire ces données variables en paramètres constants. Il est, par exemple, possible de déterminer, à l'aide de la formule (B), quelle température constante (température équivalente $T_{éq.}$) aurait induit la même croissance bactérienne que celle issue des températures fluctuantes du profil considéré.

Quelle est la température constante de stockage de la denrée qui aurait induit la même croissance bactérienne ?

(B) $$\left(T_{éq} - T_{min}\right)^2 \times \text{durée} = \mathrm{SCORE}$$

donc $$T_{éq} = \sqrt{\frac{\mathrm{SCORE}}{\text{durée}}} + T_{min}$$

où T_{eq} est la température équivalente (°C) ;
T_{min} (°C) la température minimale de croissance du microorganisme considéré
durée : temps fixe de l'expérimentation (en jours)
.

Par ailleurs le score peut être utilisé pour déterminer, en fin de profil temps-température, l'importance de l'accroissement potentiel du microorganisme considéré. Il est à noter que cette indication ne prend pas en compte l'importance de la population microbienne initiale, qui demeure inconnue.
Pour ce faire la formule (C) suivante est utilisée :

(C) $$\Delta \log = \frac{\Delta \log_{\text{réf}}}{(T_{\text{réf}} - T_{\min})^2} \times \text{SCORE}$$

où Δlog est l'augmentation de population prédite (en logarithme décimal) ;

$\Delta \log_{\text{réf}}$ (log/jour) est la "vitesse de croissance" de référence, c'est à dire l'augmentation (en log décimal) de population par jour du microorganisme considéré dans l'aliment concerné à une température Tréf (°C)

Pour effectuer ce calcul, il est nécessaire de s'assurer l'aide d'un microbiologiste qui déterminera une « vitesse de croissance » de référence ($\Delta \log_{\text{réf}}$). Cette détermination peut être faite à partir de données publiées dans la littérature, ou obtenues en laboratoire, décrivant la croissance du microorganisme dans le même type de denrée.

Il est à noter que le microorganisme considéré peut présenter une croissance nulle dans certaines denrées, telles que les carottes [7] ou les tomates [8] pour *L. monocytogenes* dans le cas de notre exemple.

DEVELOPPEMENT DE LA FORMULE MATHEMATIQUE (DETAILS DONNES POUR INFORMATION)

La modélisation de la croissance bactérienne requiert l'emploi d'au moins deux modèles :

- un modèle primaire, décrivant l'évolution du nombre de bactéries au cours du temps, en fonction du taux de croissance maximal (appelé μ),
- un modèle secondaire, relatif à l'influence de l'environnement physico-chimique (par exemple l'influence de la température) sur le taux de croissance μ.

Nous nous appuyons sur les modèles les plus simples de la microbiologie prévisionnelle, aussi bien au niveau primaire (modèle exponentiel) qu'au niveau secondaire (modèle "square-root" - ou "racine carrée").

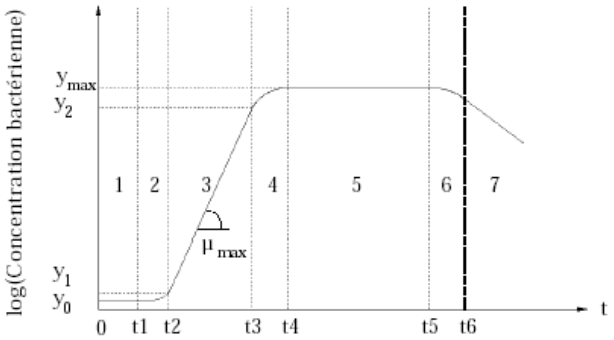

Figure A
Cinétique de la croissance d'une population microbienne pour une température constante
1 : phase de latence ; 2 : phase d'accélération ; 3 : phase de croissance exponentielle ;
4 : phase de décélération (ou de freinage) ; 5 : phase stationnaire maximale ;
6 : phase de décroissance ; 7 : phase de décroissance exponentielle
μ_{max} : taux de croissance maximale ; y_{max} : concentration bactérienne maximale

La croissance d'une population microbienne se décompose en sept phases cinétiques distinctes (cf. Figure A). Pour nous placer dans les conditions les plus pessimistes de prédiction ("choix sécuritaire"), nous considérons que la croissance microbienne se déroule pendant la phase de croissance exponentielle (phase 3), après la fin de la latence (phases 1 et 2) mais avant le début de la phase stationnaire (phases 4 et 5).

Le modèle primaire choisi est donc le modèle exponentiel :

(D) $$N_{i+1} = N_i \exp(\mu_i \ t_i) \Leftrightarrow \ln\left(\frac{N_{i+1}}{N_i}\right) = \mu_i \ t_i$$

où N_i est le nombre de microorganismes (CFU/g) présents au temps i ;
N_{i+1} le nombre de microorganismes (CFU/g) présents au temps i+1 ;
μ_i le taux de croissance (jour^{-1}) pour la période de i et i+1 ;
t_i la durée (en jours) comprise entre i et i+1.

Entre les instants i et i+1, la population N est ainsi multipliée par l'exponentielle du taux de croissance multiplié par le temps écoulé. L'incrément de croissance en bactéries durant cette période est alors représenté par $N_{i+1} - N_i$. Cette relation peut également se formuler en logarithme décimal, plus facile à interpréter :

(E) $$\log(N_{i+1}) - \log(N_i) = \frac{\mu_i \; t_i}{\ln(10)}$$

Le taux de croissance est très influencé par la température et de nombreux modèles ont été développés pour décrire cet effet (cf. Figure B).

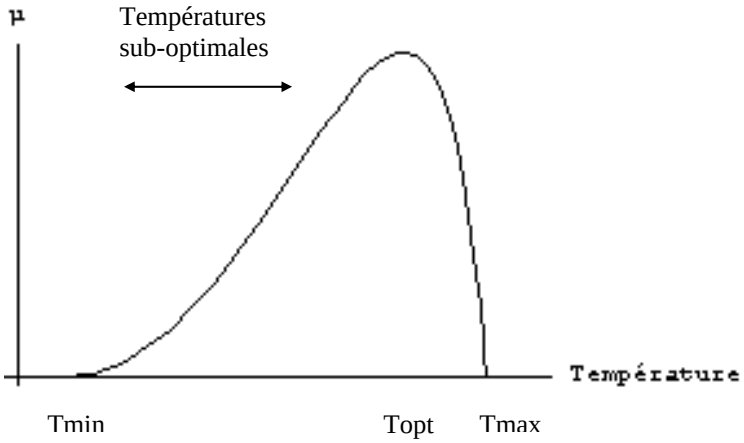

Figure B
Effet de la température sur le taux de croissance (d'après Rosso, 1995) [9]..
T_{min} : température minimale théorique de croissance ; T_{opt} : température optimale de croissance ;
T_{max} : température maximale théorique de croissance

Si la température considérée est très inférieure à T_{opt}, la température optimale du microorganisme considéré, ce qui est vrai en pratique aux températures de réfrigération pour la plupart des microorganismes, il n'est pas nécessaire de modéliser l'effet de toute la gamme des températures mais seulement l'effet des températures "sub-optimales". Il est alors possible de simplifier les calculs en adoptant le modèle secondaire "square-root" (ou " racine-carrée") de Ratkowski et al. [10], modifié par Zwietering et al. [11] :

(F) $$\mu_i = \mu_{réf}\left(\frac{T_i - T_{min}}{T_{réf} - T_{min}}\right)^2 = \frac{\mu_{réf}}{(T_{réf} - T_{min})^2}(T_i - T_{min})^2 = \frac{\ln(10)\,\Delta\log_{réf}}{(T_{réf} - T_{min})^2}(T_i - T_{min})^2$$

où T_i est la température (°C) pendant la période de temps comprise i et i+1 ;
T_{min} la température minimale (°C) de croissance de l'espèce bactérienne ;
μ_{ref} le taux de croissance (jour^{-1}) de l'espèce bactérienne dans l'aliment à la température T_{ref}
et $\Delta\log_{ref} = \ln(10)\,\mu_{réf}$

Il est donc nécessaire de partir d'une courbe de croissance à une température de réfrigération fixe, obtenue expérimentalement ou dans la bibliographie. Théoriquement, $\mu_{réf}$ est estimé en ajustant un modèle primaire aux données de la courbe de croissance. Plus simplement, on peut déterminer "visuellement" l'augmentation de la population microbienne en logarithme décimal au cours de la phase exponentielle de croissance, la diviser par la durée (en jours) de cette phase exponentielle et obtenir ainsi $\Delta\log_{réf}$ l'augmentation de population (en logarithme décimal) par jour.

A partir des formules (E) et (F), il est possible d'en déduire l'augmentation de la population microbienne, en logarithme décimal, entre chaque prise de mesure (durant un intervalle de temps t_i) :

(G) $$\log(N_{i+1}) - \log(N_i) = \frac{\mu_i \; t_i}{\ln(10)} = \frac{\Delta\log_{réf}}{(T_{réf} - T_{min})^2}(T_i - T_{min})^2 \, t_i$$

Cette dernière équation (G) nous permet d'obtenir l'incrément total de croissance pour l'ensemble des « n » mesures constituant un profil temps-température de « n » lignes d'une feuille de tableur (type Excel), les données étant notées à raison d'une mesure par ligne :

$$\Delta\log = \log(N_n) - \log(N_0) = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\Delta\log_{réf}(T_i - T_{min})^2 \, t_i}{(T_{réf} - T_{min})^2} = \frac{\Delta\log_{réf}}{(T_{réf} - T_{min})^2} \sum_{i=1}^{i=n} (T_i - T_{min})^2 \; t_i$$

$$\Delta\log = \frac{\Delta\log_{réf}}{(T_{réf} - T_{min})^2} \times \text{SCORE} \qquad \text{avec SCORE} = \sum_{i=1}^{i=n} (T_i - T_{min})^2 \; t_i$$

où t_i est le temps (jours) compris entre 2 mesures ;
T_i la température (°C) mesurée au temps i ;
T_{min} (°C) la température minimale de croissance.

3.2. Exemple d'application à une entrée froide

La démarche proposée ci-dessus est appliquée à titre d'exemple au suivi de la température d'une salade de maïs, depuis sa préparation jusqu'à sa distribution finale au consommateur, soit pendant une durée totale de 7 heures 30 minutes (soit 0,31 jour) (Figure 1). Le microorganisme considéré est *Listeria monocytogenes*.

A partir des relevés de température (Tableau 1) le score est calculé en appliquant la formule (A). L'intervalle de mesure (t_i) étant de 15 minutes (soit 0,01 jour) et la température minimale de croissance (T_{min}) pour *L. monocytogenes* étant égale à -2,7°C [12], le score correspondant est alors approximativement de 32.
Le détail du calcul est décomposé en Tableau 2.

- A partir du score, nous allons pouvoir aborder une première question :
  Que représente ce profil en termes de croissance microbienne (*L. monocytogenes* dans notre exemple) ?

Pour répondre à cette question, nous devons faire appel à un microbiologiste pour déterminer une "vitesse de croissance" de référence du microorganisme considéré (*L. monocytogenes* dans notre cas) dans la denrée concernée (maïs pour notre exemple).

La croissance de *L. monocytogenes* dans le maïs a été bien étudiée, notamment par Carlin et coll. [13]. A 10°C, ils ont observé une augmentation de population légèrement inférieure à 5 log en 8 jours. La "vitesse de croissance" de référence est ainsi de 5/8 = 0.6 log/jour pour une température de référence de 10°C. Une étude bibliographique plus large montre que cette valeur est cohérente avec ce qui a été observé par d'autres auteurs [14, 15, 16].

Cette expertise microbiologique nous permet alors, en appliquant la formule (C), de prédire l'augmentation (Δlog) de croissance de la population microbienne (*L. monocytogenes*) au cours du procédé étudié.

Dans notre exemple, le profil temps-température suivi par l'aliment depuis sa préparation jusqu'à sa distribution au consommateur entraînerait un accroissement de 0,1 log (Tableau 3) de la population microbienne initiale - que nous ne connaissons pas.

- Cette réponse amène à nous interroger sur le point suivant :
  L'aliment concerné est-il devenu de ce fait dangereux ?

Pour y répondre, il est nécessaire, avec le concours d'un microbiologiste, d'avoir, au préalable, défini un accroissement maximal tolérable. Ce seuil doit prendre en compte la nature de l'espèce microbienne considérée ainsi que la qualité microbiologique initiale de la denrée concernée (étude bibliographique, suivi microbiologique des matières premières).

Ainsi, dans le cas de l'aliment de notre exemple une augmentation de 1 log (correspondant à une multiplication par 10 du nombre initial de bactéries) est fixée comme seuil maximal tolérable. A cette limite correspond un score de 270 (Tableau 4). La valeur de score (32) calculée dans notre exemple est donc conforme aux limites fixées.

Pour information, il est à préciser qu'un doublement de population (soit une augmentation de log (2) = 0,3 log) serait obtenue pour un score de 80.

- Le calcul du score peut également nous permettre, en utilisant la formule (B), de répondre à la question suivante :

> Quelle est la température constante de stockage de la denrée qui aurait induit la même croissance bactérienne ?

Le score (32) de notre profil correspond, pour *L. monocytogenes*, au maintien de l'aliment (quel qu'il soit) à une température constante (température équivalente) de 7,5°C.
Le tableau 5 indique le détail du calcul, effectué à partir de la formule (B).. Le temps de référence est celui de notre process étudié, soit 7 heures 30 minutes (0,31 j).

4. CONCLUSION

La sécurité sanitaire est un objectif incontournable pour les professionnels de l'agroalimentaire. Pour ce faire, ils doivent, pour chaque procédé de fabrication, pratiquer une démarche d'analyse des dangers et mettre en oeuvre des mesures de prévention pertinentes. Cette approche, appliquée dans son intégralité, nécessite un travail important. Dans la pratique, ceci est difficilement réalisable en restauration du fait du grand nombre de recettes proposées. Aussi les professionnels de ce secteur ont ils tendance à avoir recours à des méthodes simplifiées. Cependant il existe, en restauration collective, certaines recettes sensibles en terme de sécurité sanitaire pour lesquelles il reste nécessaire d'effectuer de "véritables" analyses des dangers.

Jusqu'à présent le principal obstacle à ces études résidait dans la difficulté de quantifier la croissance bactérienne induite par les étapes de préparation, stockage et distribution des denrées. A partir des modèles de base de la microbiologie prévisionnelle, le calcul d'un critère quantitatif – le score – contribue à prédire cette croissance à partir des profils temps-température d'un aliment. Si ce mode de d'évaluation constitue une avancée méthodologique certaine, il n'est néanmoins à utiliser qu'avec pertinence et précaution. Ainsi, entre autres, une potentialité de croissance microbienne est à interpréter en relation avec la population initiale de la denrée concernée. Le score est donc un outil au service des hygiénistes qui se doivent de l'intégrer dans une approche globale de la sécurité sanitaire.

REMERCIEMENTS : Les auteurs remercient Aurianne Leseur, Séverine Cailler et Frédéric Hervé pour leur participation à ces travaux.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Haeghebaert S., Le Querrec F., Bouvet P., Gallay A., Espié E.., Vaillant V., 2002, Les toxi-infections alimentaires collectives en France en 2001. Bull. Epid. Hebdo., 50, 249-253

[2] Anonyme, 1997, Arrêté du 29 septembre 1997 fixant les conditions d'hygiène applicables dans les établissements de restauration collective à caractère social. JO 23 octobre 1997, 15437-15442

[3] Jouve J.L., 1996, La qualité microbiologique des aliments. CNERNA-CNRS, Ed PoyTechnica, Lassay-les-Châteaux (France), 563 p.

[4] Anonyme, 1998, Démarche HACCP en restauration - Guide pour l'analyse des dangers. CPRC, Ed BPI, Paris, 71 p.

[5] Anonyme, 1993, Directive 93/43/CEE du Conseil du 14 juin 1993 relative à l'hygiène des denrées alimentaires. JO Com Europ., L175, 1-11

[6] Cornu M., Bergis H., Miconnet N., Delignette-Muller M.L., Beaufort A., 2003, Appréciation des risques microbiologiques : présentation générale et applications. Rev. Gén. Froid, 1032, 33-42

[7] Nguyen The, C., Lund, B.M., 1991, The lethal effect of carrot in *Listeria* species. J. Appl. Bacteriol. 70, 479-488

[8] Pingulkar, K., Kamat, A.Bongirwar, D., 2001, Microbiological quality of fresh leafy vegetables, salad components and ready-to-eat salads: an evidence of inhibition of *Listeria monocytogenes* in tomatoes. Int J. Food Sci. Nutr. 52, 15-23

[9] Rosso, L., 1995, Modélisation et microbiologie prévisionnelle : élaboration d'un nouvel outil pour l'agroalimentaire. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1

[10] Ratkowsky, D.A., Lowry, R.K., McMeekin, T.A., Stokes, A.N., Chandler, R.E., 1983, Model for bacterial culture growth rate throughout the entire biokinetic temperature range. J. Bacteriol. 154, 1222-1226

[11] Zwietering, M.H., de Wit, J.C., Notermans, S., 1996, Application of predictive microbiology to estimate the number of *Bacillus cereus* in pasteurised milk at the point of consumption. Int. J. Food Microbiol. 30, 55-70

[12] Augustin, J.C.,Carlier, V., 2000, Modelling the growth rate of *Listeria monocy*togenes with a multiplicative type model including interactions between environmental factors. Int. J. Food Microbiol. 56, 53-70

[13] Carlin, F., Gontard N., Reich M., Nguyen-The C., 2001, Utilization of zein coating and sorbic acid to reduce *Listeria monocytogenes* growth on cooked sweet corn. Food Microbiol. Safety, 66, 9, 1385-1389

[14] Thomas, C., O'Beirne, D., 2000, Evaluation of the impact of short-term temperature abuse on the microbiology and shelf life of a model ready-to-use vegetable combination product. Int J. Food Microbiol., 59, 47-57

[15] Thomas, C., Prior, O., O'Beirne, D., 1999, Survival and growth of *Listeria* species in a model ready-to-use vegetable product containing raw and cooked ingredients as affected by storage temperature and acidification. Int. J. Food Sci. Technol. 34, 317-324

[16] Nguyen The, C., Halna du Fretay, B., Abreu da Silva, A., 1996, The microbiology of mixed salad containing raw and cooked ingredients without dressing. Int. J. Food Sci. Technol. 31, 481-487

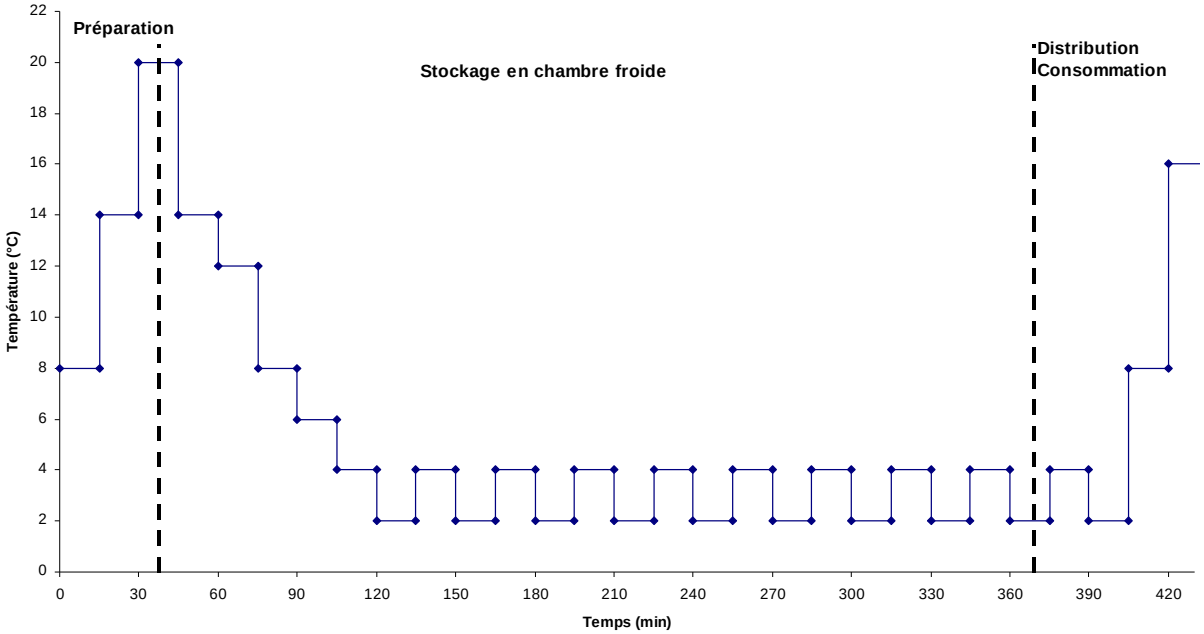

Figure 1
Evolution de la température d'une entrée froide de sa préparation à sa consommation finale
(temps (t_i) entre 2 mesures : 15 min.)

Temps (min.)	Température (°C)
0	8
15	14
30	20
45	14
60	12
75	8
90	6
105	4
120	2
135	4
150	2
165	4
180	2
195	4
210	2

Temps (min.)	Température (°C)
225	4
240	2
255	4
270	2
285	4
300	2
315	4
330	2
345	4
360	2
375	4
390	2
415	8
420	16
435	18

Tableau 1
Relevé des températures d'une entrée froide de sa préparation à sa consommation finale
(temps (t_i) entre 2 mesures : 15 min.)

Temps (min.)	Température (°C)	$(T_i - Tmin)^2 \times t_i$
0	8	[8 - (-2,7)]² x 0,01 = 1,14
15	14	[14 - (- 2,7)]² x 0,01 = 2,79
30	20	[20 - (- 2,7)]² x 0,01 = 5,15
45	14	[14 - (-2,7)]² x 0,01 = 2,79
60	12	[12 - (-2,7)]² x 0,01 = 2,16
75	8	[8 - (-2,7)]² x 0,01 = 1,14
90	6	[6 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,76
105	4	[4 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,45
120	2	[2 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,22
135	4	[4 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,45
150	2	[2 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,22
165	4	[4 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,45
180	2	[2 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,22
195	4	[4 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,45
210	2	[2 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,22

Temps (min.)	Température (°C)	$(T_i - Tmin)^2 \times t_i$
225	4	[4 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,45
240	2	[2 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,22
255	4	[4 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,45
270	2	[2 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,22
285	4	[4 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,45
300	2	[2 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,22
315	4	[4 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,45
330	2	[2 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,22
345	4	[4 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,45
360	2	[2 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,22
375	4	[4 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,45
390	2	[2 - (-2,7)]² x 0,01 = 0,22
415	8	[8 - (-2,7)]² x 0,01 = 1,14
420	16	[16 - (- 2,7)]² x 0,01 = 3,50
435	18	[18 - (-2,7)]² x 0,01 = 4,28
		TOTAL ≈ 32

Tableau 2
Calcul du score appliqué au profil temps-température d'une entrée froide pour *Listeria monocytogenes*
(temps (t_i) entre 2 mesures = 15 min. = 0,01 jour)

$$\Delta \log = \frac{\Delta \log_{\text{réf}}}{(T_{\text{réf}} - T_{\min})^2} \times \text{SCORE}$$

$$\Delta \log = \frac{0,6}{[10 - (-2,7)]^2} \times 32$$

$$\Delta \log \approx 0,1$$

Tableau 3
Accroissement de la population microbienne (*L. monocytogenes*)
correspondant au score (32) calculé pour l'entrée froide.

$$\Delta \log = \frac{\Delta \log_{\text{réf}}}{(T_{\text{réf}} - T_{\min})^2} \times \text{SCORE}$$

$$1 = \frac{0,6}{[10 - (-2,7)]^2} \times \text{SCORE}$$

$$\text{SCORE} \approx 270$$

Tableau 4
Valeur de score correspondant à un accroissement de 1 log
de la population microbienne (*L. monocytogenes*) d'une entrée froide.

$$SCORE = \left(T_{éq} - T_{min}\right)^2 t$$

$$32 = \left[T_{éq} - \left(-2{,}7\right)\right]^2 \times 0{,}31$$

$$\left(T_{éq} + 2{,}7\right) = \sqrt{\frac{32}{0{,}31}} = 10{,}2$$

$$T_{éq} = 10{,}2 - 2{,}7 = 7{,}5°C$$

Tableau 5
Traduction du score (32) en Température équivalente $T_{éq}$ pour un temps de 7 h 30 min.
Temps t = 7 h 30 = 0,31 j.