

# Traitements thermiques d'appertisation : optimisation de la qualité de surface d'un produit conducteur avec un profil à température variable

François Zuber, Albert Duquenoy, Housseem Abidi

► **To cite this version:**

François Zuber, Albert Duquenoy, Housseem Abidi. Traitements thermiques d'appertisation : optimisation de la qualité de surface d'un produit conducteur avec un profil à température variable. Jean-Jacques BEZIAN. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. ENSTIMAC, 5p., 2007. <hal-00155555>

**HAL Id: hal-00155555**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00155555>**

Submitted on 29 Aug 2007

**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.

# TRAITEMENTS THERMIQUES D'APPERTISATION: OPTIMISATION DE LA QUALITE DE SURFACE D'UN PRODUIT CONDUCTIF AVEC UN PROFIL A TEMPERATURE VARIABLE

Francois ZUBER <sup>a</sup>, Albert DUQUENOY <sup>b</sup>, Housseem ABIDI<sup>c</sup>

ENSIA - UMR GENIAL1 av des Olympiades, 91 744 Massy cedex  
abidih@ensia.fr

## Résumé :

Les traitements thermiques d'appertisation discontinus visent avant toute chose la destruction ou l'inhibition totale des micro-organismes et leurs toxines dont la présence ou la prolifération pourrait rendre le produit impropre à l'alimentation humaine ou animale. Dans le cas des produits s'échauffant exclusivement par conduction, l'effet de ces traitements thermiques n'est pas uniforme. Le plus généralement il est minimal au centre géométrique, maximal en périphérie. Du point de vue bactériologique c'est donc le centre qui présente le plus de risque et qui sert de référence quant à l'objectif sanitaire du traitement. Du point de vue de la cuisson, au regard de laquelle il n'existe pas de risque particulier, on déplore néanmoins certains effets néfastes comme la surcuisson de la surface du produit. Dans cet article, nous présentons un profil à température variable simple et réalisable qui permet de réduire la cuisson en surface du produit et améliore ainsi sa qualité.

## Mots Clés :

Appertisation - Traitement thermique - Traitement thermique à température variable – Valeur stérilisatrice – Valeur cuisatrice – Cuisson – Conduction.

## 1. INTRODUCTION :

### 1.1 Notions de valeurs stérilisatrices et cuisatrices :

Pour décrire l'effet létal des traitements thermiques, la notion de valeur stérilisatrice a été introduite. Par définition, la valeur stérilisatrice est une durée de traitement thermique, exprimée en minutes, à une température donnée (appelée température de référence), qui permet la destruction d'une certaine quantité de micro-organismes dont les caractéristiques de thermorésistance sont connues. La température de référence mondialement reconnue est de 121.1°C. La valeur stérilisatrice correspond ainsi à une durée de traitement thermique à 121,1°C. Elle est toujours calculée dans la zone du produit la moins exposée à la chaleur (au centre pour les produits conductifs) :

$$V_s = \int_0^{t_{final}} 10^{\frac{T(t)-121,1}{Z_s}} .dt \quad (1)$$

Mais, au-delà de l'effet de stérilisation, les procédés d'appertisation provoquent des modifications des qualités nutritionnelles et organoleptiques des produits alimentaires (couleur, saveur, texture ...). Ces modifications qualitatives, survenant en fonction du temps et de la température, sont décrites, en analogie avec la valeur stérilisatrice, par la valeur cuisatrice dont la température de référence est 100°C :

---

<sup>a</sup> Directeur Scientifique adjoint, Centre technique de la Conservation des produits agricoles (CTCPA)

<sup>b</sup> Pr. Albert Duquenoy, Ensia.

<sup>c</sup> Doctorant, Ensia.

$$V_c = \int_0^{t_{final}} 10^{\frac{T(t)-100}{Z_c}} .dt \quad (2)$$

### 1.3 Les traitements thermiques à température variable :

Les traitements thermiques couramment appliqués peuvent être décrits comme la succession de quatre phases : une phase de « Come Up Time » (CUT) consistant en une élévation de la température de l'enceinte, suivie d'une phase de palier durant laquelle la température est maintenue constante à une température  $T_r$ , puis une phase de refroidissement de « Come Down Time » (CDT) suivi d'un palier de refroidissement jusqu'à l'obtention de la température à cœur désirée.

Les méthodes d'optimisation des traitements classiques présentent des limites, notamment pour les produits à caractère conducteur où la chaleur se propage de proche en proche. Après un traitement thermique classique, ces produits présentent une forte hétérogénéité de cuisson entre le centre et la périphérie, affectant ainsi les caractères organoleptiques du produit qui devraient être préservés. Un procédé qui permettrait d'améliorer l'uniformité de la pénétration de la chaleur dans un produit conducteur apporterait beaucoup d'avantages par rapport aux barèmes classiques en termes de qualité, de temps total et peut être même de consommation énergétique. D'où le début des réflexions sur la problématique des traitements thermiques à température variable.

Les premières études sur les traitements thermiques à température variable se sont toutes intéressées à la maximisation du taux de rétention moyen de la thiamine dont la cinétique de dénaturation est connue et le dosage facile. Teixeira *et al.* [1], Saguy et Karel [2], en se focalisant sur l'optimisation de ce taux moyen, ont conclu au peu d'intérêt des traitements à température variable par rapport aux traitements classiques. Des études plus récentes ont adopté d'autres critères à améliorer comme la cuisson en surface ou le temps total, et montré l'apport des traitements thermiques à température variable. Ainsi, Banga *et al.* [3] et Noronha *et al.* [4] disent avoir amélioré la qualité de surface de 20%. Les traitements à température variable mentionnés dans la littérature sont majoritairement constitués de rampes linéaires de chauffage et de refroidissement. Durance [5] classe en deux types les profils à température variable présents dans la littérature, et ayant permis d'améliorer un marqueur de qualité ou de minimiser le temps total du procédé. Pour le premier type de profils, la température augmente en deux phases, le CUT puis une augmentation graduelle jusqu'à une température maximale. Pour le deuxième type de profils (Banga *et al.* [3], Noronha *et al.* [4]), la température croît très rapidement dès le début du traitement, puis baisse avant d'alterner deux phases de chauffage et de refroidissement précédant la phase du refroidissement rapide. Ce type de profils a été rapporté par Banga *et al.* [3], Almonacid-Merino *et al.* [6] et Erdoğan & Balaban [7].

Dans cet article, nous présentons un profil à température variable simple et réalisable industriellement dont les variables le décrivant ont été optimisées à l'aide de trois algorithmes différents afin de réduire la valeur cuisatrice à la surface d'un produit conducteur.

## 2. METHODOLOGIE :

### 2.1 Produit modèle :

Le produit modèle est de la purée de pomme de terre préparée avec du lait, du sucre et des flocons rajoutés en excès afin de s'assurer du caractère conducteur du produit final. Le produit a été conditionné dans des boîtes cylindriques métalliques d'un diamètre  $\varnothing = 100$  mm et de hauteur  $L = 118,5$  mm.

## 2.2 Simulation numérique :

La simulation a été réalisée grâce à un programme écrit en VB qui résout par différences finies (méthode explicite), l'équation de diffusion de la chaleur, et estime en différents points du produit, la température, la valeur stérilisatrice ( $V_s$ ), et la valeur cuisatrice ( $V_c$ ) en réponse à un traitement thermique qui lui est appliqué.

Paramètres de la simulation :

$\alpha$ ( $m^2.s^{-1}$ )	$Bi$ chauffage	$Bi$ refroidissement	$Z_s$ (°C)	$Z_c$ (°C)	T initiale produit et autoclave (°C)	T finale autoclave (°C)
$1.62 \cdot 10^{-7}$	93	46,5	10	25	20	20

Tableau 1 : Paramètres adoptés pour la simulation

## 2.3 Barème à température variable étudié :

Le barème à température variable étudié est composé de quatre rampes linéaires tel que le montre le schéma suivant :

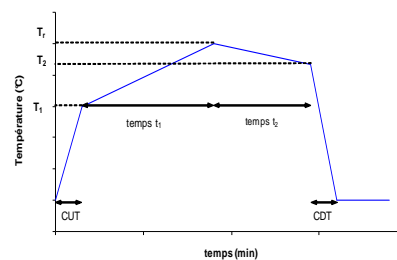


Figure 1 : Profil à température variable étudié

## 2.4 Approche d'optimisation :

Le problème d'optimisation consiste en la minimisation de la valeur cuisatrice à la surface ( $V_{c,s}$ ) du produit en respectant une contrainte microbiologique ( $V_s$  à cœur  $\geq 10$ ) minutes et une contrainte sur la température finale à cœur du produit qui doit être inférieure à  $60^\circ\text{C}$ . Trois algorithmes d'optimisation ont été testés : l'algorithme du simplexe de Nelder-Mead, la méthode du complexe de Box et le recuit simulé.

## 3. RESULTATS :

Pour pouvoir juger du bénéfice éventuel des barèmes à température variable, il est nécessaire de les comparer à des barèmes classiques. Le tableau 2 montre les résultats obtenus avec quatre barèmes classiques à différentes températures de régimes. Il est clair que les températures  $115^\circ\text{C}$  et  $120^\circ\text{C}$  sont les plus intéressantes. Quand  $T_r$  est égale à  $115^\circ\text{C}$ , nous obtenons la meilleure qualité de surface. La température  $T_r = 120^\circ\text{C}$  permet par contre un compromis entre une qualité acceptable de la surface et un moindre temps total. Dans la suite, nous allons donc comparer les résultats obtenus avec ceux de ces deux barèmes classiques, à  $T_r = 115^\circ\text{C}$  et  $T_r = 120^\circ\text{C}$ .

$T_r$ (°C)	$V_s$ (min)	$V_{c,s}$ (min)	Temps total (min)
110	10.0	614	325
<b>115</b>	<b>10.0</b>	<b>604</b>	<b>234</b>
<b>120</b>	<b>10.0</b>	<b>702</b>	<b>195</b>
125	10.0	888	174

Tableau 2 : Barèmes Classiques de référence

Les résultats obtenus montrent la capacité des barèmes à température variable à réduire la valeur cuisatrice en surface, et donc à améliorer la qualité de la surface du produit. Sans une modification de la température  $T_r$  par rapport au barème à deux paliers de référence, cette amélioration requiert généralement un rallongement du temps total. La figure 2 illustre pour une valeurs de  $T_r$  de 120°C comment la valeur cuisatrice de surface baisse quand le temps total augmente. Cette figure présente aussi des courbes à l'allure asymptotique. Quand la valeurs asymptotique est quasiment atteinte, l'augmentation du temps total n'a plus d'effet sur la valeur cuisatrice de surface. Ce fait a déjà été rapporté en littérature par Noronha *et al.* [4] : quand l'optimum « global » est atteint, aucune amélioration supplémentaire n'est possible avec le respect de la contrainte microbiologique.

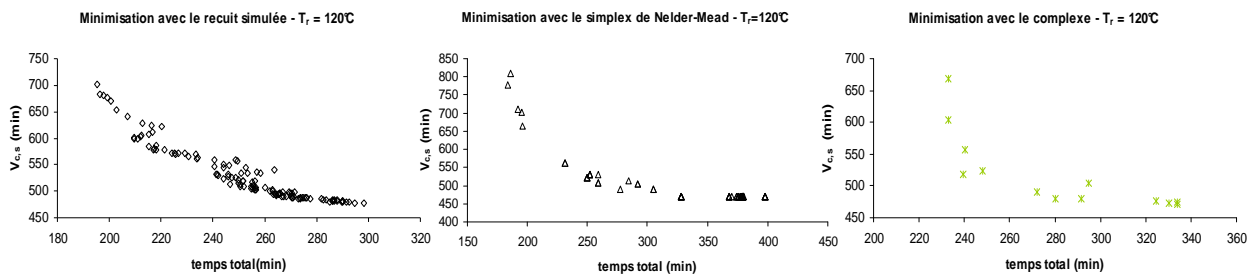


Figure 2 : la réduction de la valeur cuisatrice de surface avec le profil TV pour  $T_r = 120^\circ\text{C}$

Dans notre cas d'étude, quand le barème classique de référence est celui assurant un compromis entre la qualité de surface et le temps total ( $T_r = 120^\circ\text{C}$ ), les trois algorithmes d'optimisation n'ont permis une amélioration significative de la qualité de surface qu'accompagnée d'un rallongement du temps total. La réduction de la valeur cuisatrice de surface peut atteindre les 35% (Figure 3a). Dans l'autre cas, quand le barème classique de référence est celui assurant la meilleure qualité de surface ( $T_r = 115^\circ\text{C}$ ), la réduction maximale possible était de 25%. Mais, il était possible d'aboutir à des barèmes à température variable améliorant la qualité de surface de 9% avec le même temps total que la barème de référence, ou de réduire de 11% le temps total tout en garantissant la même qualité de surface (Figure 3b)

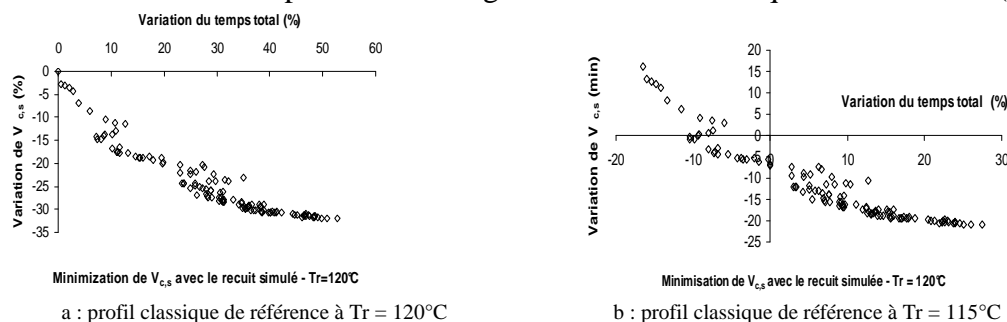


Figure 3 : Amélioration de la qualité de surface par rapport aux deux profils classiques

## CONCLUSION

Avec un profil à température variable simple et faisable à l'échelle industriel, il était possible de réduire significativement la valeur cuisatrice de surface, et améliorer ainsi la qualité de la surface d'un produit conducteur, mais avec des degrés différents selon le rallongement autorisé en temps total. Ces résultats restent néanmoins très liés au cas étudié. Une étude complète se doit d'intégrer pour plusieurs valeurs stérilisatrices les différents paramètres influant la qualité d'un produit appertisé comme le format du conditionnement, la cinétique ou les caractéristiques thermiques du produit.

## Nomenclature

T	Température, °C	CDT	Temps du refroidissement rapide, <i>min</i>
T <sub>r</sub>	Température de barème pour les barèmes classiques, °C Température de fin de la deuxième phase des barèmes à température variable, °C	$\alpha$	Diffusivité thermique, $m^2.s^{-1}$
t <sub>1</sub>	Durée de la deuxième phase des barèmes à température variable, <i>min</i>	Bi	Nombre de Biot
T <sub>1</sub>	Température à la fin de la première phase du barème à température variable, °C	V <sub>s</sub>	Valeur stérilisatrice, <i>min</i>
t <sub>2</sub>	Durée de la troisième phase des barèmes à température variable, <i>min</i>	V <sub>c</sub>	Valeur cuisatrice, <i>min</i>
T <sub>2</sub>	Température à la fin de la troisième phase du barème à température variable, °C	V <sub>c,s</sub>	Valeur cuisatrice en surface, <i>min</i>
CUT	Temps de première montée en température, <i>min</i>		

## Références

- [1] A. Teixeira, G.E. Zinmeister, J.W. Zahradnik, Computer simulation of variable retort control and Container geometry as a Possible Means of Improving Thiamine Retention in Thermally Processed Foods, *Journal of Food Science*, 40, 656-659, 1975.
- [2] I. Saguy et M. Karel, Optimal retort temperature profile in optimizing thiamin retention in conduction-type heating of canned foods, *Journal of Food science*, 44, 1485-1490, 1979.
- [3] J.R. Banga, R.I. Perez-Martin, J.M. Gallardo, and J.J. Casares, Optimisation of the thermal processing on conduction heated foods: Study of several objective functions, *Journal of food engineering*, 14, 25-51, 1991.
- [4] J. Noronha, A. Vann Loey, M. Hendrickx, P.Tobback, An empirical equation for the description of optimum variable retort temperature profiles that maximize surface quality retention in thermally processed foods, *Journal of Food Processing and Preservation*, 20, 251-264, 1996.
- [5] T. Durance, Improving canned food quality with variable retort temperature processes, *Trends in Food Science and Technology*, 8, 113-118, 1997.
- [6] S.F. Almonacid-Merino, R. Simpson, J.A. Torres, Time variable retort temperature profiles for cylindrical cans, Batch process time, Energy Consumption, and Quality Retention Model', *Journal of Food Process Engineering*, 16, 271-287, 1993.
- [7] F. Erdoğan, M. Balaban, Complex Method For Nonlinear Constrained multi-criteria (multi-objective function) optimization of thermal processing, *Journal of Food Process Engineering*, 26, 357-375, 2003.