

# SYNTHESIS REPORT

## FOR PUBLICATION

CONTRACT N° : BRE2-CT94-1587

PROJECT N° : CR-1384-91

TITLE: Conception and production of a multi-energy equipment  
for fast treatment of food products

### PROJECT

COORDINATOR : Y.LABESSE  
France Développement Gastronomique ( FDG )

### PARTNERS:

FDG  
SUBLIEM  
THIRODE  
CULIDEE  
ASIA FOOD  
KB TRYKKO

M. E.S. (scientific responsible)  
ENSIA  
ADRIA  
AL IMENTEC

STARTING DATE :01.01.95

DURATION : .18 MONTHS



PROJECT FUNDED "BY THE EUROPEAN  
COMMUNITY UNDER THE BRITE/EURAM  
PROGRAMME

DATE : 01 Mars 1996

## RESUME

Pour répondre à la demande du marché des produits alimentaires en rayons frais, une technologie multi-énergie efficace a été étudiée et mise au point. Cette technologie a nécessité plusieurs études et innovations, en prenant en compte les besoins spécifiques des P.M.E., à savoir :

- la modification et le choix des moyens d'emballage ont constitué un objectif majeur du contrat. En effet, l'emploi des microondes + air chaud ne conduit pas à une homogénéité thermique suffisante si la configuration et la nature des parties de l'emballage ne sont pas spécialement conçues (métallisation partielle, renfort diélectrique des fonds, etc.).

- le processus énergétique a dû être étudié dans le cas de ces emballages spécifiques. Une optimisation des puissances et des temps de traitement ont conduit à un gradient thermique limité à 2°C pour une température moyenne du produit de 80°C.

- des moyens nouveaux de transfert vertical sous microondes ont été étudiés et testés pour minimiser la surface au sol de l'atelier ainsi que les fuites de l'installation. Des pièges d'entrée et sortie ont été construits pour atteindre des fuites très inférieures aux normes de sécurité (5 mW/cm<sup>2</sup>).

On dispose ainsi de données complètes pour envisager la réalisation d'un prototype et valider le processus de pasteurisation en défilement continu.

# INTRODUCTION

Les aliments destinés à être distribués en **plats prêts à consommer, en rayon frais, doivent** répondre à **des normes bactériologiques précises et contrôlées** qui induisent notamment **une durée limite de conservation (II.L.C.)**. Compte tenu des insuffisances constatées sur **des nombreux produits** ou d'une D.L.C. trop limitée, **la pasteurisation des produits** est donc hautement recommandée. **Pour éviter une pasteurisation préalable des emballages, une solution** idéale consisterait à **pasteuriser ces aliments dans leur** emballage définitif (barquettes).

**La masse de produits à pasteuriser (500 kg à 1 tonne/h)** est telle que cette **opération** doit être réalisée **en continu, ce qui nécessite la mise en oeuvre de techniques** d'échauffement très **rapides** suivies d'un chambrage. **On sait que** les microondes **constituent** le moyen le plus rapide de monter en température dans la masse du produit.

Cependant, l'emploi **de la technique** microonde **est limitée par** plusieurs **facteurs bien connus :**

- l'homogénéité de la répartition thermique n'est pas suffisante **pour** garantir l'efficacité **de la** pasteurisation en volume même avec l'emploi d'un chambrage.
- les emballages **doivent** être adaptés à l'existence **d'un** **suppression** pendant le **traitement pour** éviter l'emploi d'une contre-pression très coûteuse.
- **la surface au sol des** équipements **doit rester** limitée pour être compatible **avec la place** disponible **dans** les ateliers **de** cuisson.

L'objet **des travaux** réalisés **dans ce contrat concerne** l'établissement **d'une** réponse à **ces divers points avant de** réaliser un équipement-prototype **qui** permette une validation du process.

# DESCRIPTION TECHNIQUE DES TRAVAUX

Les différents chapitres à traiter et les moyens employés sont les suivants :

- le choix des systèmes d'emballage qui doivent permettre **la** pénétration des microondes **et** la tenue **en** pression **pendant** le traitement. Plusieurs systèmes **ont** été testés : systèmes à **valves** avec **fusion de hot melt** (mauvaise **garantie du precede et mauvaise** tenue **aux manipulations**); systèmes à **double collage** mieux adapté **mais trop** compliqué à mettre **en** oeuvre; **collage** amélioré des couvercles sur P.E.T. **qui** résiste à la **suppression**, **ce** dernier système **ayant** été retenu **clans** cette première **phase de** recherche.

- **la mise en oeuvre d'un ensemble de** thermographie IR associé **a une** enceinte microonde **de grand volume a** permis **de mener une vaste** étude sur les **gradients** thermiques **internes au produit et** d'étudier **[es moyens** d'atténuer **ces gradients pour** diriger **et** contrôler l'application **des** microondes **au** produit. **Environ 15 types** différents **de masquage** ont été étudiés, comparés **et** analysés.

- l'association **d'une** énergie **de** chauffage **par convection (air chaud)** à l'énergie **des** microondes **a** été étudiée **puis** complétée **par** l'effet **d'un** **chambrage** postérieur. **Ces travaux ont** été menés **clans uric** autre **enceinte de realisation** récente **et** adaptée **a ce type** d'étude.

- l'étude **des** éléments constitutifs **d'un** appareil **de pasteurisation en** barquettes **a** été réalisée. Elle **a** nécessité :

- **la construction** d'une **maquette** microonde **a defilement horizontal** continu **pour** confirmer l'extension industrielle **des** données établies **en** enceinte à **plateau** tournant.

- l'étude **d'un** système **a transfert par** chaînes **compatible avec** les microondes.

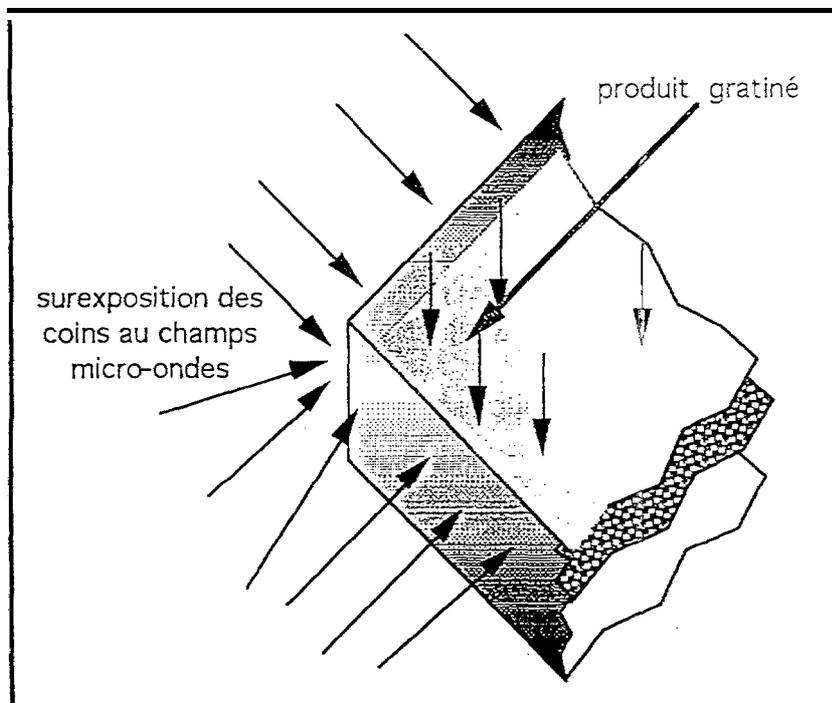
- l'étude d'un caisson à fentes *non rayonnantes* **pour la circulation** des supports de barquettes.

- l'étude **et la réalisation des** pièges **en** entrée **et sortie pour** démontrer la compatibilité **normative** des fuites.

# RESULTATS

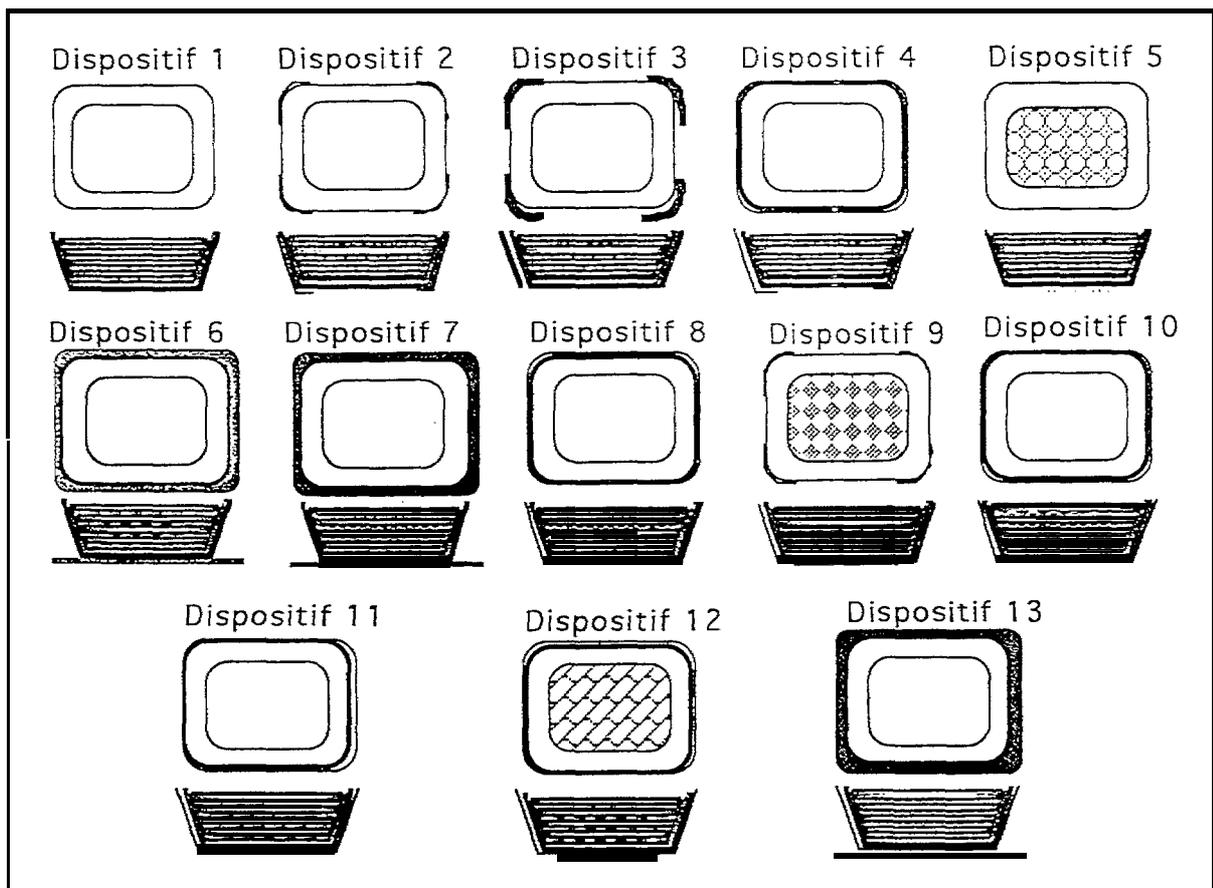
## PROFIL THERMIQUE ET EMBALLAGE

Pour déterminer le choix du type d'emballage à mettre en oeuvre dans la détermination de l'homogénéité optimale du traitement, nous avons étudié 15 types de modification d'une barquette standard en C. P.E.T.: masquages divers par métallisation partielle, ajouts d'un fond de nature et d'épaisseur variables, etc. La figure de la page suivante montre l'essentiel des cas étudiés. Dans chaque cas, les profils thermiques étaient analysés soit à partir de la caméra IR, soit à partir de l'implantation de thermocouples après traitement microondes (10 ou 20 mesures thermiques simultanées).



Effet de pointe sur un angle vif.

- Dispositif 5.- Barquette normale posée sur une plaque de samicanite de 2,5 mm d'épaisseur.
- Dispositif 6.- Barquette normale posée sur une plaque métallique chaude de 1,5 mm d'épaisseur.
- Dispositif 7.- Barquette normale posée sur **une** plaque métallique froide **de 1,5 mm** d'épaisseur.
- Dispositif 8.- **Barquette** avec les bords et la moitié périphérique masqués **par** une couche de bande métallique autocollante.
- Dispositif 9.- Barquette aux coins masqués **par** une bande métallique, tapis chargé de carbone.
- Dispositif 10.- Barquette complètement masquée **par** la bande métallique (0,14 mm d'épaisseur).
- Dispositif 11.- Barquette complètement masquée **p ar** la bande métallique doublée sur le fond.
- Dispositif 12.- Barquette aux coins et bords latéraux masques **par** une bande métallique collée sur une plaque de Teflon.
- Dispositif 13.- Barquette complètement masquée **par** de la bande métallique posée sur une plaque métallique.



Différents dispositifs utilisés pour améliorer l'homogénéité darts la lasagne.

# BILAN DES OBSERVATIONS

## DU PROFIL THERMIQUE

Afin d'apporter une solution aux problèmes d'hétérogénéité de température dans la lasagne lors du chauffage par microondes, nous avons testé plusieurs dispositifs dont certains nous ont permis d'améliorer le profil thermique. Nous avons également testé différentes positions du produit sur le plateau tournant pour essayer d'effacer les écarts de température entre les coins et le centre du produit.

Le grand nombre de thermocouples utilisés pour évaluer le profil thermique nous a permis de constater de grands écarts de température dans le produit dans le plan médian horizontal. Ceci nous permet de confirmer que la mesure de la température dans un seul point d'un produit chauffé par microondes n'est pas suffisante pour en tirer des informations sur la qualité de l'échauffement.

Par ailleurs, la caméra infrarouge utilisée nous a permis de vérifier le profil thermique dans le plan vertical diagonal et d'observer finement l'échauffement à l'intérieur du produit après l'utilisation des différents dispositifs.

Différentes hauteurs et positions du produit (tangentielle ou radiale) sur le plateau tournant ont été testées afin de trouver le couplage permettant de réduire l'hétérogénéité thermique. Nous avons constaté que c'est la position radiale qui donne un paramètre important.

Nous avons constaté que le masquage des coins avec un film métallique peut faire beaucoup varier l'écart de température entre les bords et le centre. Le film métallique, en empêchant une surexposition aux microondes du produit placé dans les bords, permet d'améliorer l'homogénéité du profil thermique.

Nous avons aussi conclu que le fait de placer le produit sur une plaque

métallique (froide ou chaude) augmente **la dispersion** thermique **et par conséquent** nous éloigne **de** l'objectif cherché.

En ce **qui** concerne l'apport **thermique par** le **fond**, nous avons testé **different** dispositifs tels **que la** samicanite, le tapis chargé **de car-bone et** le Téflon. La plupart **de ces** dispositifs **se sent** avérés **peu utile, mise à part** le Téflon. **Nous avons** constaté qu'en combinant le **Teflon et** le **film** métallique, le profil **de** température **peu** être inversé, c'est à **dire que [e** centre **est plus** chauffé **que [es** bords. Néanmoins, **ce dispositif** pénalise le rendement. **Il est** évident qu'aucun dispositif **n'arrivera** à **“effacer”** complètement l'hétérogénéité thermique. Aussi, il **faudra compter sur** le chambrage nécessaire **de toute** façon à **la réalisation de la pasteurisation, pour rattraper** les écarts résiduels. Ceux-ci devront être considérés **en terme de** valeur pasteurisatrice plutôt **qu'en** température comme **nous l'avons fait**.

## OPTIMISATION DES TRAITEMENTS

Ces essais visent à déterminer les puissances ou températures et temps permettant :

- D'atteindre au point le plus froid (au centre) une température à partir de laquelle la pasteurisation peut démarrer et être ensuite poursuivie par l'air chaud. Cette température sera au minimum de 70°C pour avoir un effet de pasteurisation sur les germes (VP = 1 par rein) et au maximum de 85°C (VP = 31.6 par min) afin de maîtriser la VP finale d'une part et de limiter le gratinage d'autre part.
- De limiter les hétérogénéités de température à l'intérieur de la barquette.

### Résultats

Le tableau no 2 récapitule l'ensemble des résultats obtenus aux 12 essais

La température minimale des lasagnes (au centre) varie de 54°C à 97.5°C et la température maximale (aux angles) de 99°C à 131.5°C pour une puissance micro-onde allant de 1 200 à 3600 W, un temps d'application de 10 à 14 minutes et une température initiale de 20°C.

L'analyse de variance met en évidence un effet très significatif ( $P < 0.0000$ ) de la puissance micro-onde, puis du temps d'application ( $P < 0.0002$ ) et enfin un effet significatif de l'interaction **puissance x temps** ( $P < 0.004$ ), à la fois sur les températures minimale et maximale (Cf. annexe n° 3, diagramme de Pareto).

Les températures minimale et maximale des lasagnes **sont** d'autant plus élevées que la puissance est élevée (de 1 200 à 3600 W) et que le temps d'application est long (de 10 à 14 rein).

Concernant l'interaction temps x **puissance**, le temps a peu d'effet sur la **température** minimale aux puissances élevées contrairement aux puissances faibles. L'inverse est observé pour la température maximale, à savoir un effet peu important du temps aux puissances faibles et par contre très important aux puissances élevées.

Les coefficients de régression récapitulés pour l'ensemble des contrôles dans le tableau n° 3 permettent de calculer les températures minimales et maximales selon les conditions de puissance et de temps. À partir de ces

TABLEAU N° 2 :

RECAPITULATIF DES RESULTATS  
 « OPTIMISATION DU TRAITEMENT MICR O-ON DES »

	Répetition	Puissance (W)	Temps (min)	T0 mini (°C)	T0 maxi (°C)	Delta T0 (°C)	T5 mini (°C)	T5 maxi (°C)	Delta T5 (°C)	S	SI	Perte de poids (%)
1	1	1200.0	10.0	53.5	99.0	45.5	61.0	89.0	28.0	0.2	5.0	6.1
2	1	1200.0	14.0	78.0	99.0	21.0	80.0	94.0	14.0	1.0	7.0	11.8
3	2	1200.0	10.0	55.0	99.0	44.0	59.0	91.0	32.0	0.2	5.0	5.7
4	2	1200.0	14.0	75.5	101.0	25.5	80.0	94.0	14.0	1.0	4.0	10.4
5	1	2400.0	10.0	70.0	104.0	34.0	78.5	87.0	8.5	2.0	7.0	22.4
6	1	2400.0	14.0	95.0	121.0	26.0	94.0	96.0	2.0	7.0	8.0	34.4
7	2	2400.0	10.0	74.0	104.0	30.0	79.5	88.0	8.5	3.0	8.0	24.0
8	2	2400.0	14.0	94.0	117.0	23.0	95.0	96.0	1.0	6.0	8.0	35.6
9	1	3600.0	10.0	97.0	110.0	13.0	96.0	96.0	0.0	7.0	10.0	40.8
10	1	3600.0	14.0	98.0	130.0	32.0	97.0	97.0	0	8.5	10.0	56.4
11	2	3600.0	10.0	98.0	114.0	16.0	98.0	98.0	0.0	6.0	9.0	36.0
12	2	3600.0	14.0	98.0	133.0	35.0	94.0	105.0	11.0	9.0	10.0	56.6

TABLEAU N° 3

RECAPITULATIF DE L'EFFET DES FACTEURS CLASSES  
PAR ORDRE D'IMPORTANCE DECROISSANTE

Contrôle	Facteurs	Effet en %
T0 mini	Puissance Temps <b>Puissance x Temps</b>	69 23 8
T0 maxi	Puissance Temps Puissance x Temps	63 26 11
Delta T0	Puissance x Temps Puissance	80 20
T5 mini	Puissance Temps <b>Puissance x Temps</b>	69 20 11
T5 maxi	Puissance Temps	51 49
Delta T5	Puissance Puissance x Temps	79
Intensité de gratinage	Puissance	100
Surface de gratinage	Puissance Temps	85 15
Intensité x Surface	Puissance Temps	88 12
Perte de poids	Puissance Temps Puissance x Temps	86 12 2

Un exemple est donné ci-dessous pour les températures minimales et maximales :

Exemple :  $T^{\circ}$  minimale 82-C      10' à 2800 W, la  $T^{\circ}$  maximale est alors aux environs de 107°C  
ou 12'52400 W, la  $T^{\circ}$  maximale est alors aux environs de 111 °C  
ou 73'52000 W, la  $T^{\circ}$  maximale est alors aux environs de 109 °C  
ou 14' a 1 500 W, la  $T^{\circ}$  maximale est alors aux environs de 705°C

L'écart entre les températures minimale et maximale varie de 13°C (3 600 W 10 rein) à 45.5°C (1 200 W 10 rein) ; cet écart est d'abord fonction de l'interaction temps x puissance ( $P < 0.0000$ ) puis de la puissance ( $P < 0.002$ ). Le temps seul n'a pas d'effet significatif sur l'hétérogénéité des températures, dans une barquette de lasagnes :

Cet écart diminue avec l'augmentation de la puissance aux temps courts et varie peu avec la puissance aux temps longs.

Un allongement du temps diminue l'hétérogénéité des températures aux puissances faibles alors qu'à l'inverse, cet allongement du temps entraîne une augmentation de l'hétérogénéité des températures aux puissances élevées.

Les courbes de réponse nous montrent que l'hétérogénéité des températures entre les bords et le centre sera plus limitée aux temps courts avec des puissances élevées ( $\approx 19^{\circ}\text{C}$  -10 min 3 200 W ou 11 min 3 600W) ou aux temps longs avec des puissances faibles ( $\approx 23^{\circ}\text{C}$  -14 min -1200 W).

Le contrôle des températures, 5 minutes après le traitement micro-ondes, montre une augmentation de la température minimale et à l'inverse une baisse de la température maximale (à l'exception des conditions extrêmes de puissance et de temps) et par conséquent une diminution de l'hétérogénéité des températures en raison du phénomène de conduction.

La température minimale varie cette fois de 60°C à 97°C et la température maximale de 87.5 à 100°C.

L'analyse de variance montre un effet très significatif de la puissance ( $P < 0.0000$ ) puis du temps ( $P < 0.0005$ ) et enfin de l'interaction temps x puissance ( $P < 0.002$ ) sur la température minimale après 5 minutes de traitement ( $P < 0.001$ ).

Cette température minimale augmente aux temps longs avec une puissance faible d'une part et aux temps courts avec une puissance élevée d'autre part.

Ce qui revient à dire qu'il convient d'appliquer un temps long aux puissances faibles ou un temps court aux puissances élevées pour obtenir une température minimale (au centre) élevée. L'augmentation du temps (de 10 à 14 min) est par contre inutile à 3600 W.

La température maximale, après 5 minutes de traitement, est significativement fonction de la puissance et du temps qui ont tous deux des effets similaires. Ces effets sont moindres que ceux constatés sur la température minimale ( $P < 0.04$ ).

La température maximale, après 5 minutes de traitement, augmente avec le temps et la puissance.

Les courbes de réponses nous montrent qu'une température de  $84 \pm 0.5^\circ$ , qui serait proche de celle souhaitée en phase de maintien, est obtenue :

- en 10 min à 2 800 W ; la température maxi est alors aux environs de  $93^\circ\text{C}$  ;
- en 12 min à 2 400 W ; la température maxi est alors aux environs de  $94^\circ\text{C}$  ;
- en 13 min à 2 000 W ; la température maxi est alors aux environs de  $94^\circ\text{C}$  ;
- en 14 min à 1 500 W ; la température maxi est alors aux environs de  $94^\circ\text{C}$ .

L'écart de température entre le centre et les bords, 5 minutes après chauffage micro-ondes, varie de 0 (3 000 W 10 min) à  $32^\circ\text{C}$  (10 min 1 200 W). Cet écart est principalement fonction de [la puissance ( $P < 0.001$ )], puis de l'interaction temps x puissance ( $P < 0.03$ ).

Les courbes de réponse nous montrent qu'une augmentation de la puissance réduit l'écart de température et que cet effet est plus important aux temps courts qu'aux temps longs.

Cet écart est de  $10^\circ\text{C}$  environ aux temps et puissances cités précédemment (10 min 2800 W) pour une température minimale de  $84 \pm 0.5^\circ\text{C}$ .

## Calcul de l'optimum

**Les conditions** optimales de traitement micro-ondes doivent répondre aux contraintes suivantes :

- atteindre une **température** minimale de pasteurisation, c'est-à-dire **70- 80°C**,
- limiter l'hétérogénéité des températures,
- obtenir un gratinage uniforme et peu intense afin de permettre un réchauffage ultérieur par le consommateur (en micro-ondes ou air chaud),
- limiter les pertes de poids.

**Le** tableau n° 5 présente les conditions optimales du traitement micro-ondes, pour 2 températures minimales (**75 - 80°C**), calculées à partir du modèle et validées.

Ces conditions optimales correspondent aux faibles niveaux de puissance (1 **200- 1 300 W**) et niveaux élevés de temps (13'30" et 14') aux deux températures testées. Ces niveaux s'expliquent du fait des contraintes imposées, à savoir gratinage et pertes de poids limitées.

La comparaison des valeurs calculées et mesurées montre un écart faible des températures (1 °C maxi pour la température minima/e et 2.4°C pour la température maximale), de l'intensité de gratinage et des pertes de poids (1.3 %).

Ce modèle peut donc être retenu pour le calcul des conditions optimales de traitement micro-ondes.

**TABLEAU N°5**

**CONDITIONS OPTIMALES DE TRAITEMENT MICRO-ONDES SEULES  
RESULTATS DU CALCUL ET DE LA VALIDATION DU MODELE**

	CAS N° 1		CAS N° 2	
TO minisouhaitée(°C)	<b>75</b>		<b>80</b>	
<u>Conditions optimales (*)</u>				
P (W) =	1 200		1 299-1300	
T (rein) =	<b>13,37</b> (13'22")		14	
<u>Contrôles</u>	Calcul	Mesure	Calcul	Mesure
TO mini (°C)	75	<b>74.7</b>	80	81
T O m a x i (°C)	100.7	99	102.4	100
Delta TO	25.7	24.3	22.4	19
Intensité gratinage	5.5	5	5.8	6
Perte de poids	10.7	10	13,4	12.1

(\*) Conditions optimales calculées avec les contraintes suivantes :

- \* Delta TO  $\leq$  20°C
- \* Intensité gratinage  $\leq$  5
- Perte de poids  $\leq$  15 %

# ETUDE DU PROTOTYPE

## CAPACITE RETENUE ET DIMENSIONNEMENT DU PROTOTYPE

Après avoir recueilli l'avis des différents proposant intéressés par ce point du projet, et après plusieurs simulations chiffrées, la capacité de l'équipement a été retenue pour 500 kg/h, avec une montée en température vers 75 à 80°C (ou plus), en partant de la température ordinaire (200 C).

Pour atteindre cette capacité de pasteurisation, un calcul énergétique classique conduit à la définition d'une puissance nécessaire de 35 kW.

Dans un système mixte microonde + air chaud, on doit généralement prévoir les deux tiers de la puissance à fournir sous forme microonde soit 24 kW.

L'autre partie (12 kW équivalent) sera fournie par l'air chaud associé aux microondes. Par contre, le dimensionnement habituel de l'air chaud conduit à prévoir environ 30 kW d'air chaud.

Le caisson microonde doit donc comporter 12 fois 2 kW microondes (12 générateurs) dont l'énergie est introduite par 12 antennes à fentes à étudier (dimensions, orientation des fentes, distance du produit, etc.).

## TRAITEMENT SIMULTANE

La définition des dimensions du prototype nécessite de connaître le nombre de barquettes traitées simultanément dans le tunnel général (air chaud + microondes).

L'approche actuelle repose sur un temps de traitement total de l'ordre de 15

**minutes (dent 4 a 5 minutes sous microondes).**

La capacité **retenue de 500 kg/h conduit** à **uric** capacité équivalente **de 125** barquettes en **15 minutes**.

**Les dimensions** moyennes d'une barquette **(280 x 170 mm)** conduisent **a une** largeur de tapis de **30 cm et une distance entre** barquettes de **20 cm**, soit 5 barquettes au mètre.

**Une** capacité contenue **de 125 barquettes correspond** à **une** longueur totale développée de tapis de 25 mètres.

**En admettant 4** rangées en hauteur, **la longueur active du caisson est de 6 mètres** ou **5** rangées en hauteur, **la longueur active du caisson est de 5 mètres**.

En **conclusion**, le traitement simultané de **125** barquettes **conduit a un caisson de dimensions** générales actives suivantes :

- longueur : 5 ou 6 mètres
- hauteur : 2,30 mètres
- largeur : **0,851** mètre

## ETUDE ET REALISATION D'UN CAISSON EXPERIMENTAL

Pour optimiser l'encombrement au sol, nous avons étudié la possibilité d'un transfert par balancelles sur plusieurs niveaux (4 ou 5). Cette solution impose que les moyens mécaniques de transfert se trouvent à l'extérieur du caisson microonde, les balancelles intérieures étant reliées aux chaînes par des axes en matière diélectrique.

Le risque majeur réside alors dans la difficulté à maîtriser les fuites par les ouvertures continues à pratiquer sur la longueur du caisson. Cette technique jamais pratiquée, a nécessité la réalisation pratique d'un caisson expérimental à fentes latérales.

Les fentes ont été prolongées par des lèvres en  $\frac{1}{4}$ .

Pour simuler une densité de puissance comparable à celle d'un tunnel normal, on a calculé une densité de l'ordre de  $20 \text{ W/dm}^3$ . Les entrées d'antennes à fentes ont été faites avec contre-bride de renfort qui permettent une suspension de l'antenne par la bride ce qui évite tout flash ou décharge électrique dans l'enceinte.

La distance optimale entre les antennes et le produit a été étudiée dans un système séparé décrit ensuite.

## ETUDE ET REALISATION D'UN SYSTEME DE PIEGEAGE

L'introduction et la sortie des balancelles nécessitent la construction de pièges de grande ouverture.

La technique retenue a conduit à la disposition suivante :

- 2 pièges  $\lambda/4$  disposés en série et séparés par une distance de  $3\lambda/4$ ,
- 1 chambre de dispersion des ondes en multimode, montée en série,
- 2 pièges  $\lambda/4$  semblables également en série.

L'ensemble du piégeage occupe une distance de 60 cm environ sur la longueur de circulation des balancelles. Ces pièges ont été montés sur le caisson expérimental par vissage et boulonnage.

### MESURE DE FUITE

L'ensemble caisson + piège a été équipé de 2 antennes à fentes alimentées par 2 générateurs de 2 kW.

#### Résultats

1 ) En déplaçant la sonde parallèlement aux fentes du caisson à distance réglementaire de 5 cm, on a mesuré des fuites comprises entre :

$$1,5 \text{ et } 3,5 \text{ mW/cm}^2$$

Ces données sont tout à fait satisfaisantes.

2) En disposant la sonde en sortie des pièges, on a mesuré les fuites limitées à  $3,5\text{-}4 \text{ mW/cm}^2$ .

## Conclusion

Les systèmes de piégeage conçus par M.E.S. fournissent des données compatibles avec les normes recommandées.

## POSITION DES ANTENNES

Comme on l'a indiqué précédemment, une étude spécifique a été réalisée pour étudier la distance optimale entre antennes et barquettes.

L'antenne a été disposée à l'extrémité d'une source microonde de puissance émise égale à 1200 W par l'intermédiaire d'un réflectomètre qui permet la mesure de la puissance réfléchie mesurée à l'entrée d'une antenne.

L'objectif consiste à modifier régulièrement la distance entre antenne et produit et à rechercher le minimum de réflexion donc le maximum de transfert au produit.

Cette étude a été faite :

- en espace libre
- à l'intérieur du tunnel pour observer la perturbation apportée par le tunnel

L'examen précis des données numériques montre l'intérêt de choisir une distance antenne X produit d'environ 15 cm pour optimiser le transfert.

Les éléments constitutifs du prototype microonde de pasteurisation sont ainsi complètement déterminés pour sa réalisation éventuelle à partir des maquettes réalisés.

## CONCLUSION

L'ensemble des études permettant de conduire à la réalisation d'un prototype, au choix des emballages, à leur adaptation aux microondes et à la maîtrise du process complet a été fait dans ce contrat.

Une maquette probatoire de capacité réduite et en défilement continu horizontal ainsi qu'une maquette des pièges ont été construites qui ont permis les mesures de pasteurisation et des fuites microondes.

La phase de pré-industrialisation a donc été atteinte. A partir d'un tel prototype, les phases de validation biologique et de détermination de la D.L.C. pourraient être réalisées.

## REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été exécutés dans le cadre d'un contrat CRAFT N°1 587 avec la Commission Européenne, intitulé "Conception and production of a multienergy equipment for fast treatment of food products".

## BIBLIOGRAPHIE

- Ayappa, K. G.; Davis, H. T.; Davis, E. A. et Gordon, J. (1991). Analysis of Microwave Heating of Materials with Temperature-Dependent Properties. *AIChE Journal*, 37(3), 313-322.
- Beaufort, A. et Rosset, R. (1 989). Durée de Vie des Plats Cuisinés Réfrigérés. *Indust. Alim. Agr.*, 106(6), 475-477.
- Berteaud, A. J. (1986). Nuisances Biologiques vers un Consensus International. *La Revue des Laboratoires d'essais*, (9), 35-36.
- Berteaud, A. J. (1995). Les Procédés Micro-ondes et la Transformation. *In* Vulcanisation et Polymerisation, Ed., M.E. S., M. M. I., Fresnes, France, Vol 1, 135 p.
- Chanteauminois, M. (1986). Rayonnements Électromagnétiques. *Technique*, 39-45.
- Electra (1991). Enseignement de l'Électrothermie; Exercices d'Électrothermie Issus de Projets industriels. Énoncés et Solutions. *In* : DOPEE 85, Avon.
- Forgeat, M. et Marchant, C. (1991). *f-es Applications Industrielles des Rayonnement Micro-Ondes.*, Park, France, 86 p.
- Hasted, J. (1 973). *Aqueous Dielectics*. Chapman & Hall, London.
- Heroin, P.; Dechamps, D.; Djian, R.; Jolion, M.; Lefeuvre, S.; Roqueplo, P. et Poitevin, J. P. (1980). *Les Micro-Ondes clans l'Industrie : Pourquoi Pas?*, La Documentation Française, Paris, France, 68 p.
- Marchand, M. (1 990). *Les Micro-ondes et les Hautes Frequencies dans l'industrie*, E. D. F.; D.E.R.
- Paccou, G.; Dortet-halet, J, et Drugeon, P. (1991). Temperage par Micro-ondes clans les Industrie Agro-Alimentaires. *Comité Français de l'Électricité*, 10 p.
- Thuery, J. (1 989). *Les Micro-Ondes et leurs Effets sur la Matière. Applications Industrielles, Agro-Alimentaires et Médicales*. 2<sup>eme</sup> ed., Lavoisier, France, 575 p.