



Foie gras et plats cuisinés

Micro onde pour une bonne qualité sensorielle

La stérilisation du bloc de foie gras et d'un plat cuisiné modèle par « un autoclave Micro-ondes » permet d'obtenir des produits se rapprochant, du point de vue des qualités organoleptiques, d'un produit pasteurisé, en des temps de stérilisation très inférieurs à un traitement en autoclave statique par immersion. Cette technologie est prometteuse, reste à réduire les hétérogénéités dans la répartition des températures avant de chiffrer le coût du traitement.

Une étude bibliographique a permis d'identifier les principes de fonctionnement des micro-ondes, les avantages de cette technologie mais aussi ses limites.

Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques qui associent un champ électrique et un champ magnétique. Ces deux champs sont perpendiculaires à la direction de la propagation et varient sinusoidalement à la fréquence de l'onde. Les micro-ondes occupent une large bande de fréquences (de 300 MHz à 30 GHz) dans la partie du spectre électromagnétique comprise entre les hautes fréquences et les infrarouges.

Dans le cas du chauffage par micro-ondes, le dégagement de chaleur a lieu à l'intérieur du milieu lui-même et non à l'interface avec son environnement. Ce ne sont plus uniquement les propriétés thermiques classiques du produit qui influent (produit convectif, conducteur ou mixte) mais ses propriétés dites "diélectriques".

Les propriétés diélectriques d'un matériau sont représentées par ses constantes diélectriques. Celles-ci n'ont de constantes que le nom, puisqu'elles varient en fonction de la température, de la teneur en eau du produit et de la fréquence du rayonnement.

Ces constantes sont fondamentales : de celles-ci dépend le rendement énergétique que l'on peut espérer obtenir, la qualité de pénétration de la chaleur et donc la faisabilité du traitement étudié. Les deux constantes diélectriques sont :

- la permittivité ϵ' : elle exprime l'aptitude du produit considéré à être pénétré par les ondes électromagnétiques ;
- le facteur de perte du milieu considéré ϵ'' : il évalue la densité volumique de puissance électrique convertie en chaleur.

Science et technique

MASSOUBRE E.

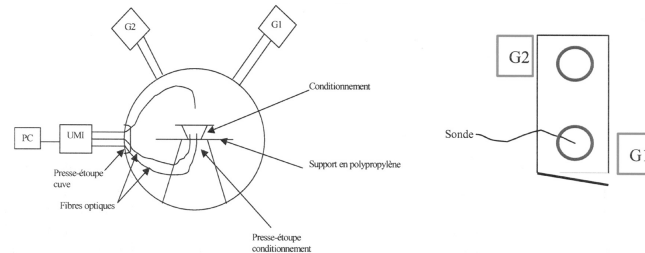
CTCPA
Zone Industrielle Est
Service Technologie
11 rue Marcel Luquet
32000 AUCH CEDEX

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les 3 partenaires du projet : le CTCPA, M.E.S. et Barriquand Steriflow ont travaillé à la conception d'un autoclave à énergie mixte vapeur-MO.

La maquette conçue peut théoriquement contenir 27 barquettes de 380 ml. Le premier objectif de l'étude est de valider l'intérêt du traitement par technologie MicroOndes sur l'amélioration des propriétés organoleptiques des produits stérilisés. Ces essais de validation de l'intérêt du procédé ont été réalisés avec 2 conditionnements dans l'enceinte. L'optimisation du chargement sera étudiée une fois cet avantage démontré. Les produits sont donc placés sur une plaque en polypropylène située dans le plan médian de la maquette dans la configuration schématisée sur la Figure 1.

Figure 1: MAQUETTE À ÉNERGIE MIXTE DE 140 LITRES



Schématisme de la position des produits dans la maquette

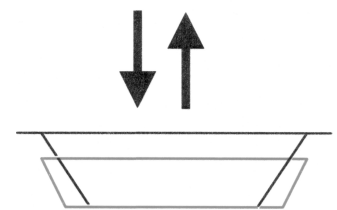
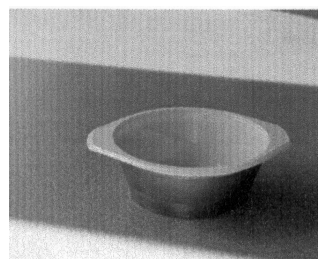
Le caractère innovant de l'étude a contraint les trois partenaires à résoudre certaines difficultés techniques non prévues initialement :

- Les fenêtres de quartz assurant le passage des ondes vers l'autoclave doivent résister à la pression d'épreuve, soit 9 bars. Leur épaisseur a dû être augmentée de 8 à 11 mm.
- La porte de l'autoclave doit assurer l'étanchéité vis-à-vis de la pression mais aussi vis-à-vis des ondes électromagnétiques. Une solution technique a consisté en la pose, autour de la porte, d'une tresse métallique pour éviter toute fuite d'onde.
- Le refroidissement de deux conditionnements dans un volume de 140 litres nécessite un système particulier pour pallier un manque d'efficacité du ruissellement. Un réservoir de collecte et de distribution d'eau de refroidissement ainsi qu'une rampe de refroidissement spécifique ont donc été mis en place.
- L'acquisition de compétences concernant l'exploitation de capteurs de température par fibres optiques. La mesure thermique en ambiance électromagnétique nécessite, en effet, un équipement fibre optique. L'acquisition du matériel et la fiabilisation des mesures ont nécessité plusieurs semaines de mise au point.
- Les conditionnements employés doivent être compatibles et transparents aux micro-ondes et résister à des températures de stérilisation élevées.

Une série d'essais préliminaires a été mise en œuvre pour identifier la pertinence de différents facteurs testés et les modalités de réalisation des essais :

- Des caches entourant les barquettes (système breveté par MES) réduisent les emballages thermiques et améliorent l'homogénéité au sein du conditionnement.
- L'énergie micro-ondes est distribuée en mode séquencé. Les générateurs peuvent être utilisés soit simultanément, soit alternativement à une puissance totale inférieure à 870 W pour le foie gras et inférieure à 1600 W pour les plats cuisinés. L'emploi de puissances trop élevées entraîne des surcuissons locales des produits.

Lors d'un traitement thermique classique, les deux paramètres "température de consigne autoclave" et "durée du traitement" suffisent à caractériser un barème de stérilisation pour un produit, un format de conditionnement, un type d'autoclave et une température initiale donnés. Dans le cas d'un traitement MO, il n'existe pas de fluide caloporteur. La méthode classique consistant à mesurer le couple temps/température du fluide caloporteur n'est donc pas envisageable. Il s'agit de développer une méthode spécifique de suivi du traitement thermique. L'énergie électromagnétique étant directement distribuée dans la matière, seul le relevé des températures, directement dans les produits, permet de piloter les essais.



Le tableau 1 regroupe les caractéristiques diélectriques du foie gras et des composés du plat cuisiné modèle sur lesquels nous avons travaillé. Ces mesures ont été réalisées à l'Ensam.

L'interprétation du rôle des constantes diélectriques permet de prévoir et d'observer une évolution centripète classique de la chaleur depuis la surface du produit vers l'intérieur. En effet, les ondes électromagnétiques pénètrent naturellement

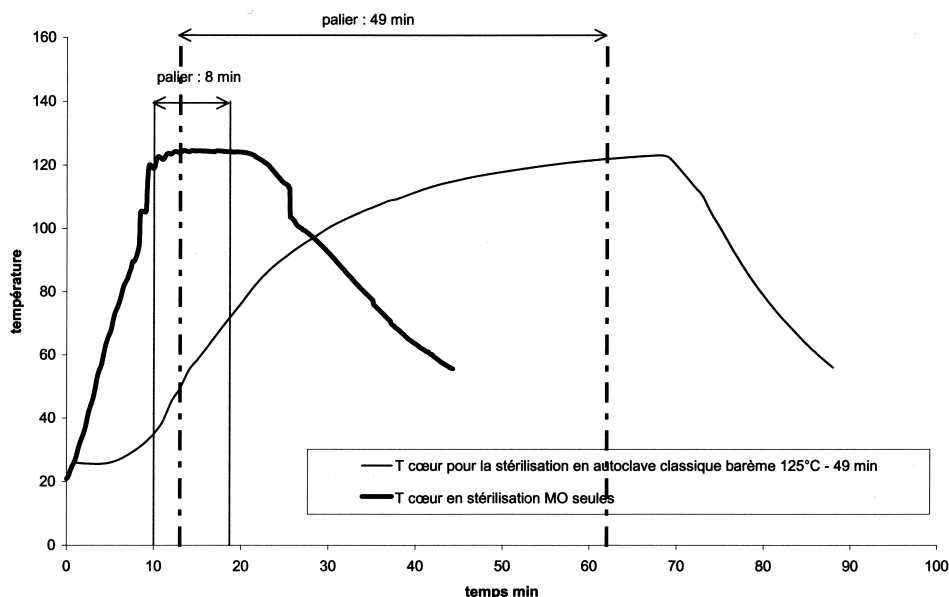
Tableau 1: CARACTÉRISTIQUES DIÉLECTRIQUES DU FOIE GRAS ET DES COMPOSÉS DU PLAT CUISINÉ

Produits	Caractéristiques diélectriques à 25 °C	
	ϵ'	ϵ''
Poulet cru	12,54	1,19
Courgettes blanchies	13,90	0,90
Tomates blanchies	12,80	0,63
Sauce	10,76	3,04
Bloc de foie gras	13,68	6,69
Foie gras entier	8,98	3,53

Chaque produit possède ses propres constantes diélectriques



Figure 2 : COMPARAISON DES COURBES DE STÉRILISATION DU PLAT CUISINÉ MODÈLE EN BARQUETTE 380 ML ENTRE UN TRAITEMENT EN AUTOCLAVE CLASSIQUE ET UN TRAITEMENT PAR MO SEULES



à la surface du produit et se transforme progressivement en chaleur. La cinétique de chauffe du produit est plus avantageuse que celle observée dans un traitement classique par fluide caloporteur car elle est nettement plus rapide.

L'inconvénient majeur concernant l'exploitation des micro-ondes (MO) pour la cuisson des produits alimentaires est l'hétérogénéité des températures relevées en fin de traitement. En effet, la tendance naturelle de l'énergie micro-ondes est de se dissiper dans les zones de plus grande facilité. Ainsi, contrairement à l'énergie thermique, l'utilisation de micro-ondes ne va pas vers l'homogénéisation de la température, mais plutôt vers une différenciation des températures. Poussé à l'extrême, ce phénomène peut provoquer un "emballement thermique" (forte augmentation de la température de certains points du volume traité).

Les réunions et les réflexions de différents partenaires du projet (le CTCPA, M.E.S. (Micro ondes Energie Systèmes) et Barriquand Stériflow) ont permis d'aboutir à la conception d'une maquette de 140 litres à énergie mixte vapeur - MO à 2450 MHz.

TROIS PROTOCOLES D'ESSAI EN 2002

L'année 2002 a permis la réalisation de nombreux essais de stérilisation du

foie gras et des plats cuisinés par technologie MO.

Trois protocoles de stérilisation ont été testés sur ces deux types de produits. Ils combinent l'utilisation des MO et de la vapeur en proportions variables et contrôlées.

Une stérilisation plus rapide des plats cuisinés Ces essais ont montré qu'un couplage MO-vapeur pendant toute la durée du cycle de stérilisation est néfaste à l'obtention d'un produit organoleptiquement supérieur (dégustation par un panel non entraîné d'industriels de la profession) à un produit stérilisé classiquement. Dans ce cas, les produits sont chauffés à la fois par la vapeur et par les MO ce qui peut expliquer une température en périphérie plus élevée qu'à cœur et un produit trop cuit au final. Des essais réalisés avec une utilisation plus réduite de la vapeur ou avec uniquement des MO ont permis d'obtenir des produits organoleptiquement satisfaisants (dégustation par un panel non entraîné d'industriels de la profession) pour un temps de stérilisation environ 50 % inférieur au temps de stérilisation en autoclave classique à VS comparable. Voir Figure 2.

Toutefois, la répartition de la chaleur au sein du produit est encore hétérogène et des essais reproduits dans les mêmes conditions expérimentales ne donnent pas les mêmes résultats. Des différences de températures entre

le cœur et la périphérie, variant entre 0 et 20 °C, sont en effet observées dans certaines conditions de traitement.

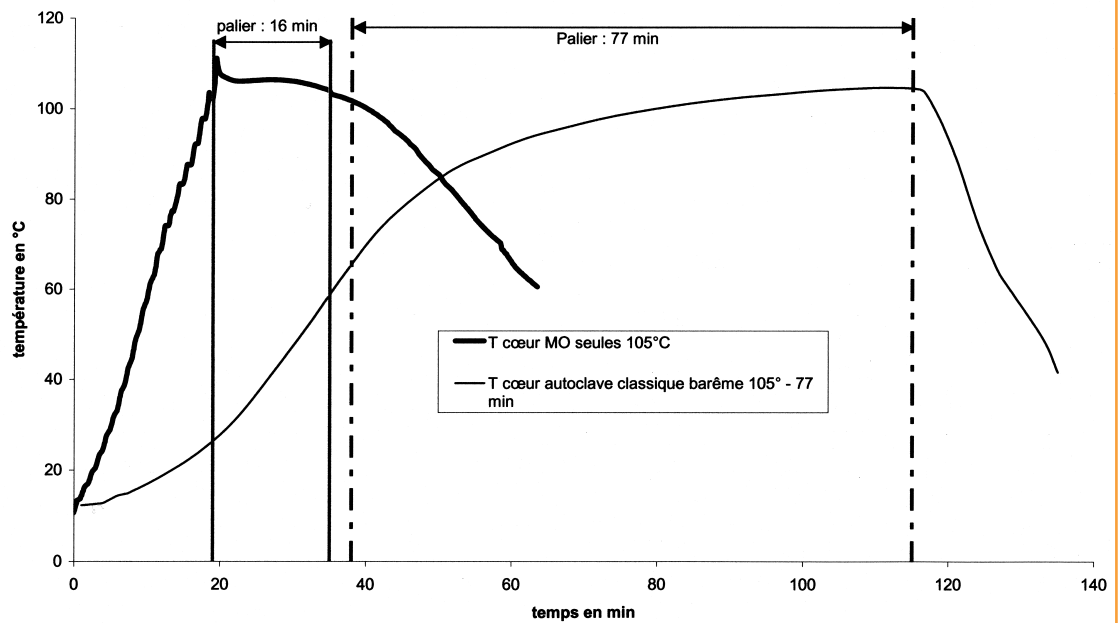
RÉDUIRE L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DES TEMPÉRATURES

Deux plans d'expériences de facteurs "puissance MO appliquée en mode alterné ou en mode simultané", "temps d'action MO dans le séquençage", "temps de palier" ont été réalisés. Ils ont pour but de déterminer l'influence des paramètres du procédé de stérilisation sur la réponse produit et l'homogénéité du traitement.

Le mode d'utilisation simultanée des générateurs n'est pas favorable à l'obtention de produits stables, ni à la réduction des hétérogénéités.

L'analyse du plan d'expériences utilisant les générateurs en mode alterné a permis de montrer que l'homogénéité était améliorée en réduisant le temps d'action MO du séquençage (séquençage = cycles de X s action MO - Y s repos) et en travaillant à une puissance totale de l'ordre de 1100-1300 W. Dans ces conditions d'utilisation, la réduction du temps de cycle par rapport au traitement classique reste significative (40 % de réduction sur le temps de traitement), bien que moins intéressante qu'avec un temps d'action MO plus long (70 % de réduction).

Figure 3 : COMPARAISON DES COURBES DE STÉRILISATION DU FOIE GRAS ENTIER EN BARQUETTE ENTRE UN TRAITEMENT EN AUTOCLAVE CLASSIQUE ET UN TRAITEMENT PAR MO SEULES



50 % de temps en moins pour stériliser le foie gras

BONS RÉSULTATS ORGANOLEPTIQUES POUR LE FOIE GRAS

Les produits testés, bloc de foie gras et foie gras entier, sont conditionnés en barquettes plastiques "micro-ondables". Ces essais ont montré qu'un couplage micro-ondes/vapeur pendant toute la durée du traitement était défavorable à l'obtention d'un produit organoleptiquement satisfaisant. Des essais conduits avec une utilisation plus réduite de la vapeur ou avec uniquement des MO ont permis d'obtenir des produits satisfaisants (foie gras ou bloc rosé et sans odeur de cuit, dégustation par un panel non entraîné d'industriels de la profession) pour un temps de stérilisation environ 50 % inférieur au temps de stérilisation en autoclave classique à VS comparable.

Toutefois, comme dans le cas des plats cuisinés, la répartition de la chaleur au sein du produit est encore hétérogène et des essais reproduits dans les mêmes conditions expérimentales ne donnent pas les mêmes résultats.

Un plan d'expériences de facteurs "puissance MO appliquée", "temps d'action MO dans le séquençage", "temps de palier" a été réalisé sur le bloc de foie gras. Les générateurs

sont utilisés alternativement. Ce plan d'expériences a permis de montrer que l'homogénéité était, également dans ce cas, améliorée en réduisant le temps d'action MO du séquençage et en travaillant à une puissance totale de l'ordre de 800 W. Dans ces conditions d'utilisation, la réduction du temps de cycle par rapport au traitement classique est moins nette (1 à 2 %) que dans le cas d'un séquençage à temps d'action MO plus long (70 %).

Pour les plats cuisinés comme pour le foie gras, les essais réalisés avec utilisation des MO seules ont montré un net différentiel sensoriel et une réduction notable des temps de cycles par rapport à la stérilisation classique. Il s'agit désormais de maintenir ces performances sensorielles et de productivité en améliorant la fiabilité du cycle (répétabilité, homogénéité du traitement...). Le programme de recherche sur l'autoclave MO se poursuit. Un aménagement de l'enceinte est prévu pour améliorer l'homogénéité de pénétration des ondes dans les produits et la reproductibilité des essais, tout en travaillant en mode de séquençage plus efficace sur la réduction des temps de cycles.

RÉDUIRE LES HÉTÉROGÉNÉITÉS

À ce stade du programme de recherche, nous avons pu démontrer que la stérilisation du bloc de foie gras et d'un plat cuisiné modèle par technologie Micro-ondes seule permettait d'obtenir des produits se rapprochant, organoleptiquement, d'un produit pasteurisé en des temps de stérilisation très inférieurs à un traitement en autoclave statique par immersion. En effet, à VS égale, les courgettes des plats cuisinés stérilisés par MO présentent une texture en bouche quasi inexistante après une stérilisation classique en autoclave par immersion. De la même façon, le foie gras stérilisé par MO est, à VS égale, ferme et rosé alors que son homologue stérilisé en autoclave par immersion présente une forte odeur de cuit et n'est pas rosé à cœur.

Le programme de recherche se poursuit par l'aménagement de l'enceinte de manière à réduire les hétérogénéités existant dans le cas du traitement MO présentant le meilleur différentiel sensoriel et de durée de cycle. Une fois les hétérogénéités réduites, il sera possible d'augmenter la quantité de produit stérilisé par cycle et de réaliser des tests sensoriels ainsi qu'une analyse réaliste du coût d'utilisation de l'appareillage.