**L'énergie RF à état-solide va-t-elle changer notre façon de cuisiner et de manger?**

*Par Ard van Roij et Gerrit Huisman, Ampleon*

Le règne de 60 ans du magnétron en tant que source d'énergie primaire dans un four à microondes commence à voir sa fin. Capable de fonctionner seulement à pleine puissance quand il est sous tension avec aucune autre alternative que la mise hors tension, et tributaire de techniques mécaniques telles qu'un agitateur ou une plaque tournante pour tenter de répartir l'énergie dans la cavité à microondes, le magnétron a fait son temps. Un autre inconvénient du magnétron est que sa puissance se dégrade au fil du temps. Typiquement, après plus de 3 - 4 ans, la puissance de sortie d'un magnétron peut perdre jusqu'à 30% de sa valeur. Cette dégradation s'applique aussi bien à un four industriel qu'à un four domestique. Peu de gens remarquent que la même nourriture doit généralement être cuite un peu plus longtemps à mesure que le four vieillit.

Il y a d'autres aspects d'un four microonde à base de magnétron qui sont devenus de plus en plus frustrants au fil du temps, le plus problématique d'entre eux étant que la nourriture n'est pas cuite uniformément, induisant des zones trop cuites ou pas assez cuites voire des aliments carrément crus. C'est pour cette raison que les microondes ne sont pas souvent utilisées pour cuire de la viande crue, finissant par servir simplement pour réchauffer ou décongeler des aliments. Une autre considération est qu'un magnétron ne peut délivrer que sa pleine puissance de sortie, de sorte que vous ne pouvez contrôler la quantité d'énergie qu'en ajustant le temps de service avec des cycles marche / arrêt. Par exemple, un four de 900 Watt en fonctionnement à 90 Watt pourrait produire 900 Watt pendant cinq secondes, puis s'éteindre pendant quarante-cinq secondes. Pour la cuisson d'éléments plus volumineux, il est important de prévoir suffisamment de temps pour que la conduction thermique élève la température interne à un niveau adéquat. Laisser un temps de cuisson suffisant pour un chauffage homogène est aussi important avec un magnétron qu'avec les procédés de chauffage classiques. Malheureusement, le test normalisé de la puissance d'un four microonde, IEC 705, est obsolète car il n'évalue que la capacité des appareils à chauffer un pot de 1 litre d'eau placé au centre de la cavité du four.

Alors, quelle est l'alternative? L'utilisation de composants à semi-conducteurs (à état-solide) en tant que source d'énergie primaire semble être la solution la plus prometteuse pour de nombreuses applications différentes : industrielles, domestiques ou dans la restauration. Un premier point particulièrement remarquable est que les fours de cuisson à état-solide sont capables de détecter les principaux styles de nourriture placée dans la cavité. De tels futurs fours seront en mesure d'adapter la

fréquence, la phase et la puissance de sortie en fonction de la cuisson d'un aliment spécifique, ou même de plusieurs aliments placés dans la cavité. Ainsi, il sera possible de cuire des aliments plus délicats, de conserver aussi bien l'humidité que la valeur nutritive, et donc de rendre la nourriture plus savoureuse et plus saine. Des profils de puissance peuvent être établis pour les aliments courants et les plats préparés. La puissance de sortie d'un four à état-solide peut également varier d'une manière linéaire, permettant beaucoup plus de contrôle par le biais, soit d'un contrôle linéaire, soit d'une technique de modulation de largeur d'impulsion. Contrairement au cas du seul magnétron, les fours à semi-conducteurs utilisent deux ou quatre «antennes» ou canaux à partir desquels l'énergie est rayonnée. Cette approche permet à l'énergie d'être distribuée d'une manière plus précise sur l'ensemble de la cavité en modifiant la phase de l'énergie de chaque canal. Les tubes de magnétron ont une seule puissance de 1kW alors qu'une version à état-solide peut être conçue avec une puissance plus faible, par exemple pour des appareils de table. Le concepteur de produits blancs a beaucoup plus de liberté de conception avec la technologie état-solide.

La figure 1 illustre les deux techniques : celle d'un four microonde classique et celle de son équivalent à état-solide. Mis à part les points mentionnés ci-dessus, on notera qu'il n'y a pas besoin de générateur de haute tension (4 kV) dans un four à état-solide. N'exigeant pas autant de pièces mécaniques volumineuses, un tel four sera également beaucoup plus léger, et l'utilisation de composants à semi-conducteurs signifie que la puissance de sortie ne se dégrade pas au fil du temps. La durée de vie du magnétron utilisé dans les fours industriels est un paramètre critique. Si le magnétron tombe en panne, les restaurants devront attendre son remplacement. En revanche, les modèles à semi-conducteurs sont conçus pour 20 ans de fonctionnement continu.

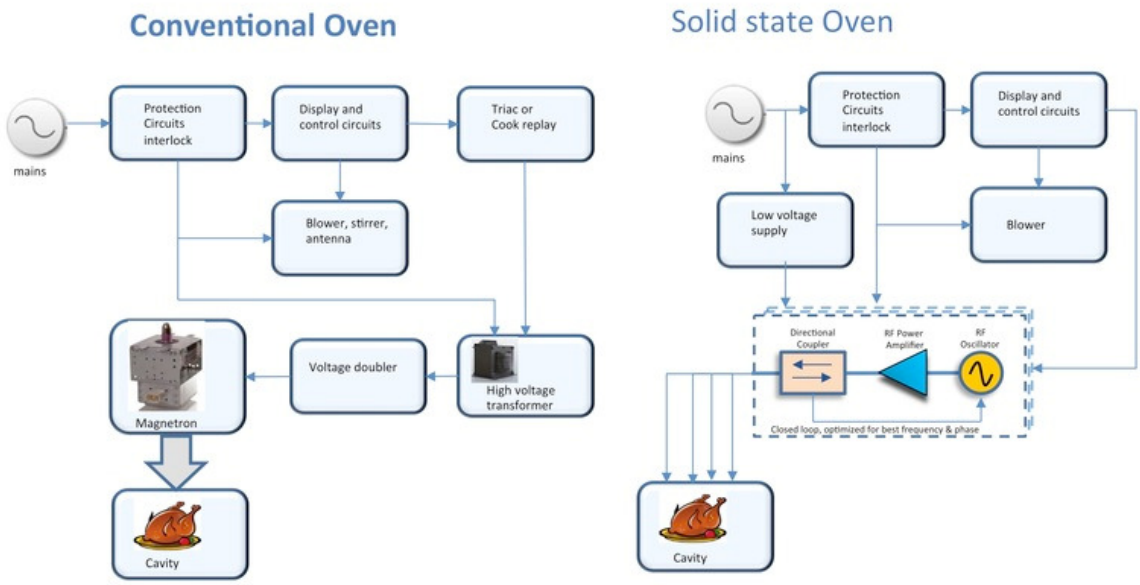



Figure 1 - Four conventionnel et four à l'état solide

C'est la capacité de contrôler la quantité d'énergie réfléchie en fonction de l'aliment à cuire dans la cavité qui différencie clairement un processus de cuisson à état-solide. Ce contrôle constant est optimal puisque la composition des aliments change en cours de cuisson. L'adaptation de la fréquence, de la phase et de la puissance peut être réalisée via le déploiement d'algorithmes. Il se trouve que différents aliments ne cuisent pas de la même manière, en fonction de la fréquence et de la phase du rayonnement appliqué. Cela peut être testé en plaçant deux échantillons d'aliments différents dans une cavité standard, en l'occurrence à quatre antennes, et en appliquant des fréquences différentes. Sur la figure 2, les lignes rouges et blanches représentent la «perte de retour» pour chacun des  ports, ce qui permet efficacement de quantifier l'énergie absorbée dans la cavité pour chaque port. Les lignes vertes montrent la perte de retour 'composée' combinée.

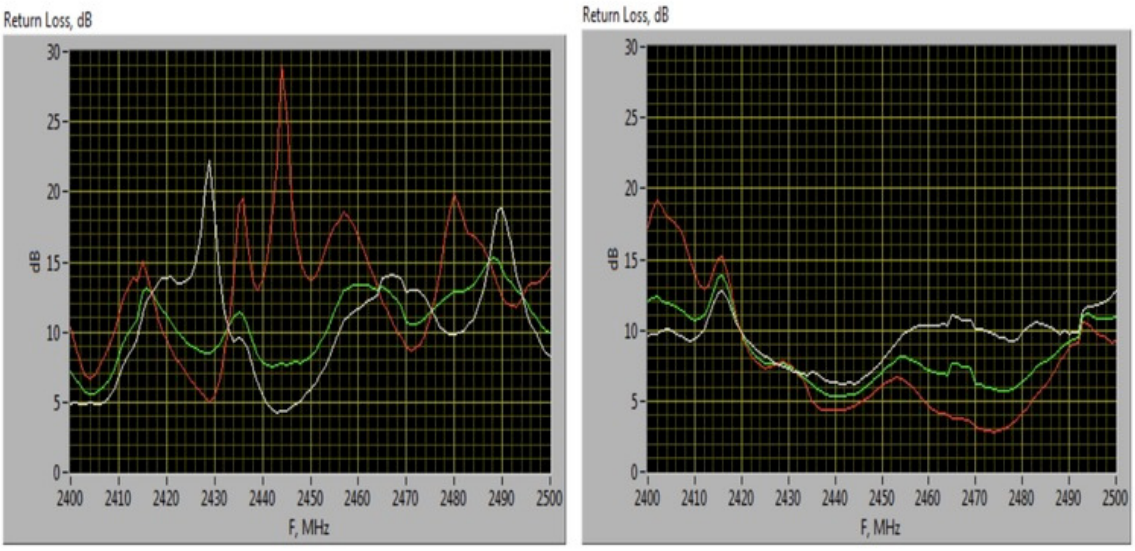



Figure 2

Dans un autre test de four à état-solide, des profils différents ont été développés pour la cuisson de pâte à crêpes en utilisant le spectre, d'une part d'une manière uniforme pour toutes les fréquences, et d'autre part par une approche adaptative sélectionnant seulement les modes affichant une très bonne rétention de puissance par la cavité. **Voir la figure 3.**

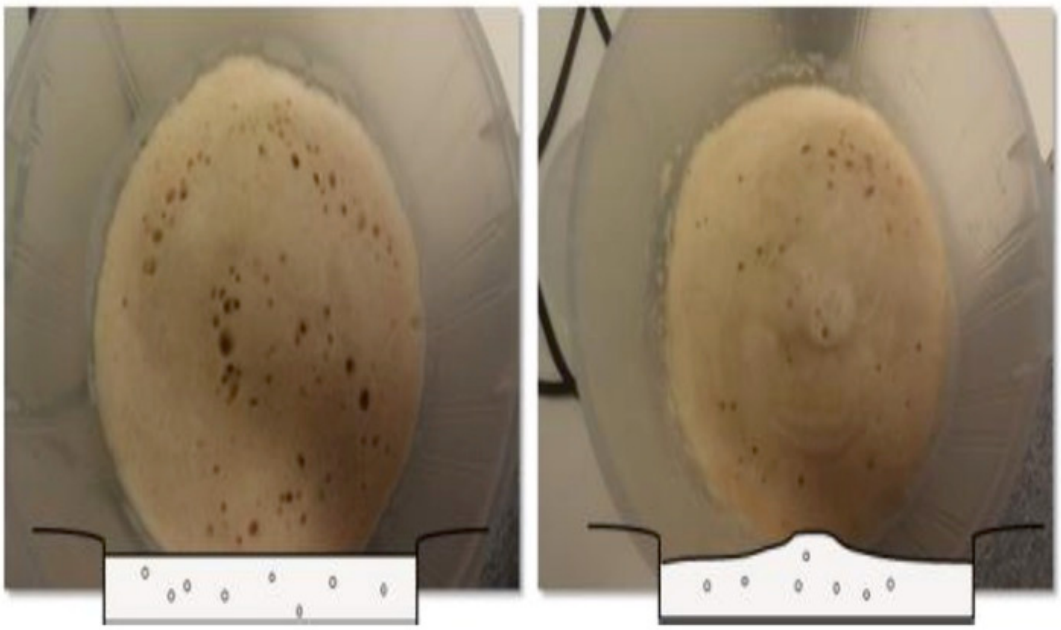


Figure 3

La figure 3 montre une pâte à crêpe épaisse chauffée d'abord en utilisant toutes les fréquences uniformément (à gauche) et en utilisant un algorithme de cuisson adaptatif intervenant de façon à utiliser uniquement les meilleurs modes pour une rétention efficace de la puissance par la cavité (à droite). L'algorithme adaptatif visant un couplage efficace de l'énergie et de la charge dans la cavité pour chauffer plus directement le centre de la pâte fait que cette pâte monte plus vite au milieu que sur les bords. L'algorithme qui utilise toutes les fréquences fait que la pâte a monté de manière uniforme.

De tels systèmes de rétroaction peuvent également être utilisés pour compenser la façon dont de nombreux aliments, tels que les hamburgers de bœuf, voient leurs caractéristiques d'absorption et d'humidité se modifier pendant la cuisson. L'utilisation d'une approche de cuisson à état-solide chauffe également la nourriture beaucoup plus rapidement qu'avec l'utilisation d'un magnétron traditionnel. Surtout pour des applications commerciales et industrielles, ceci est un important critère de valeur en

faveur de l'utilisation de la technologie état-solide et, dans certains tests effectués avec des clients d'Ampleon, a montré une cuisson près de 30% plus rapide.

Avec la capacité de prédire avec plus de précision les exigences de cuisson, on peut prévoir que les techniques à état-solide vont déclencher une série de nouveaux concepts de services alimentaires. Les fournisseurs de plats préparés, que ce soit pour la grande distribution ou pour la vente au détail, seront en mesure d'indiquer sur l'emballage le profil de cuisson exact nécessaire. En poussant plus loin ce concept, l'emballage des aliments pourrait avoir un dispositif RFID ou un code barre QR que le four pourrait lire transmettant ainsi des informations précises de cuisson, afin que le plat cuisiné conserve autant que possible sa texture et son goût ; et que ce résultat optimal soit atteint pour chaque repas cuisiné. Bien évidemment, les industries des services alimentaires et de la restauration rapide montrent beaucoup d'intérêt pour les résultats prévisibles, fiables et rapides que les fours à état-solide peuvent fournir.

## Conclusion

Les fours à microondes d'aujourd'hui laissent beaucoup à désirer. Leur capacité à chauffer les aliments dépend de leur âge, de la température du magnétron, du type d'aliment à chauffer, et du pattern d'ondes stationnaires créées par l'interaction entre la source, la nourriture et la cavité.

Le passage à la cuisson RF à état-solide, combinée avec de nombreuses techniques avancées développées à l'origine pour l'industrie des communications, permettra aux concepteurs de pallier un grand nombre des inconvénients du magnétron. Ils pourront également permettre aux concepteurs d'appareils de développer des techniques de chauffage adaptatif beaucoup plus sophistiquées ainsi que des nouveaux appareils de cuisson de faible puissance qui pourraient changer la façon dont nous cuisinons et ce que nous mangeons.

+++FIN