Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 67 (1976)

Heft: 8

Artikel: Le Four à Micro-Ondes : Economie d'énergie ou machine infernale?

Autor: Gardiol, F. E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915152

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Le Four à Micro-Ondes: Economie d'énergie ou machine infernale?

Par F. E. Gardiol

643.336:621.365.029.6

L'emploi de fours à micro-ondes permet de réduire considérablement la consommation d'énergie nécessaire à la cuisson des aliments. A l'instar d'autres formes de rayonnement, les micro-ondes peuvent présenter des dangers pour leurs utilisateurs. Toutefois, les effets nocifs n'apparaissent qu'à des niveaux de puissance de quelques ordres de grandeur plus élevés que ceux détectés au voisinage des fours à micro-ondes. On peut en conclure que les craintes émises dans plusieurs articles récents sont infondées. Les fours à micro-ondes permettent de remplir avantageusement la majorité des fonctions de cuisson, à l'exception des grillades; leur usage nécessite cependant une certaine habitude et des talents particuliers.

Der Einsatz von Mikrowellenöfen für das Kochen führt zu einer beträchtlichen Energieersparnis. Ähnlich wie andere Strahlungsformen können die Mikrowellen eine Gefahr für ihre Anwender mit sich bringen. Allerdings treten schädliche Auswirkungen erst bei Leistungspegeln auf, die um einige Grössenordnungen höher liegen als diejenigen, die man in der Nähe von Mikrowellenöfen feststellt. Man kann daraus schliessen, dass die in mehreren neueren Veröffentlichungen ausgedrückten Befürchtungen unbegründet sind. Die Mikrowellenöfen können mit Vorteil die meisten Kochoperationen ausführen, mit Ausnahme vom Grillieren; ihr Gebrauch setzt jedoch eine gewisse Angewöhnung und ein besonderes Geschick voraus.

1. Introduction

Des économies substantielles d'énergie peuvent être réalisées dans le chauffage et la cuisson d'aliments, en faisant usage d'un appareil électroménager peu connu chez nous: le four à micro-ondes. Bien que d'usage courant dans de nombreuses cafétérias et restaurants, ces fours n'ont pas encore trouvé leur place dans nos cuisines familiales, contrairement à ce qui se passe dans d'autres pays tels que les USA, la Suède ou le Japon. Cette situation est due au coût relativement élevé des appareils, aux craintes des dangers que pourrait provoquer le rayonnement, ainsi qu'à l'absence apparente d'avantages réellement significatifs à l'emploi. La nécessité d'économiser autant que possible l'énergie sous toutes ses formes introduit un facteur nouveau, les fours à micro-ondes permettant de réduire la consommation d'électricité. Il devient de ce fait souhaitable de réexaminer soigneusement la situation actuelle en vue de faire le point, sans se laisser influencer ni par la «mode», ni par les préjugés.

Reprenant des critiques émises il y a quelques années aux USA, plusieurs études ont été récemment consacrées aux fours à micro-ondes par des revues de consommateurs [1; 2; 3][1]). L'accent a surtout été mis sur les dangers que peuvent provoquer les micro-ondes. Les trois articles ont dans l'ensemble émis un avis défavorable. Si ces fours devaient faire courir de sérieux dangers à leurs utilisateurs, leur emploi devrait être formellement déconseillé. Il ne faut toutefois pas oublier que les moyens conventionnels employés pour la cuisson des aliments ne sont pas sans danger. Dans tous les cas, des précautions doivent être prises.

Un tout autre son de cloche provient de la CEI: «... *deux millions au moins de ces fours à haute fréquence fonctionnent de par le monde sans qu'on ait encore enregistré un seul accident*» [4]. Existe-t-il beaucoup d'appareils électroménagers dont on puisse en dire autant?

Le consommateur placé devant ces deux points de vue contradictoires est perplexe. Les effets du rayonnement électromagnétiques sur les êtres vivants sont extrêmement complexes; ils dépendent de façon critique de plusieurs paramètres, les principaux étant la fréquence et la puissance. Un effet bénin peut brusquement devenir nocif dès qu'un seuil a été franchi. Les organismes biologiques sont de nature fortement non-linéaire; ils font, de plus, preuve d'un caractère «auto-adaptatif» qui leur permet de s'habituer à la présence d'un phénomène prolongé. Il est difficile d'extrapoler ou de généraliser, ce qui complique fortement les études expérimentales. Les paramètres les plus importants qui définissent les propriétés du rayonnement seront considérés plus en détail dans la suite de cet article, qui vise à donner au lecteur une information suffisante pour se former une opinion personnelle (les informations transmises par les fournisseurs sont dans l'ensemble nettement insuffisantes).

Il reste le coût relativement important des fours à micro-ondes: lorsqu'on détermine les économies d'énergie et de manutention qui peuvent être obtenues, on constate que le coût supplémentaire peut être amorti dans un délai assez bref. Enfin, et contrairement aux idées couramment répandues, l'emploi de ces fours n'est pas limité au réchauffement de plats précuits. Il est effectivement possible de faire de la «bonne cuisine» avec un four à micro-ondes – ceci nécessite cependant des précautions, les caractéristiques de cuisson étant fort différentes des autres types de fours. On assiste actuellement au développement d'un nouvel art culinaire.

2. Rayonnement électromagnétique

Quelle ressemblance y a-t-il entre la lumière, les ondes radio et radar, les rayons gamma, les infra-rouges et ultra-violets, les rayons X et les micro-ondes? Bien que de nature fort différente, tous ces phénomènes sont des manifestations du rayonnement électromagnétique, découvert par *Maxwell* le siècle dernier. La nature du rayonnement est définie par un paramètre, sa *fréquence f* (fig. 1). La *longueur d'onde* λ est également employée pour caractériser une onde, les deux grandeurs étant liées par la relation:

$$\lambda = c_0/f \qquad (1)$$

où $c_0 \approx 300000$ km/s est la vitesse de la lumière dans le vide.

Les micro-ondes (ou hyperfréquences) se situent entre les ondes radio et les infra-rouges, couvrant la bande de 300 MHz à 300 GHz ou, en termes de longueur d'onde, de 1 m à 1 mm. La fréquence le plus couramment utilisée par les fours est de 2450 MHz.

Le rayonnement est formé d'un flot de particules appelées *photons* possédant chacune une énergie E proportionnelle à la fréquence:

$$E = hf \qquad (2)$$

où $h = 6{,}6254\ 10^{-34}$ J/s est la constante de *Planck*.

[1]) Voir la bibliographie à la fin de l'article

Plus la fréquence est élevée, plus l'énergie des photons est grande: au dessus d'un certain seuil, cette énergie est suffisante pour arracher un électron à un atome et provoquer ainsi des modifications moléculaires; on parle alors de rayonnement ionisant. C'est ce phénomène qui est responsable du bronzage causé par le rayonnement ultra-violet; les rayons X et gamma sont encore plus énergétiques et pénétrants: les perturbations causées par leur passage peuvent donner lieu à des mutations génétiques ou provoquer des effets cancérigènes.

Le rayonnement de plus basses fréquences, c'est-à-dire dans les infra-rouges, les micro-ondes et les ondes radio, *n'a pas ce caractère ionisant:* l'énergie d'un photon est trop faible pour produire un changement chimique. Si toutefois un très grand nombre de photons atteignent en même temps le corps irradié, ils provoquent une agitation des molécules qui entraîne un échauffement. Ce phénomène est à la base de la cuisson par infra-rouges et par micro-ondes; les micro-ondes pénètrent profondément dans le corps à chauffer alors que les infra-rouges sont absorbés à proximité de la surface, d'où des caractéristiques de cuisson différentes.

2.1 Effets thermiques

La quantité du rayonnement est définie par sa densité de puissance, mesurée en mW/cm². Dès l'apparition du radar, vers la fin des années trente, on s'est préoccupé des effets nocifs que peut avoir le rayonnement sur le corps humain, et des recherches approfondies ont été entreprises, donnant lieu à plus d'un millier de publications [5; 6]. Il est vite apparu que les effets thermiques sont les plus significatifs: le rayonnement cause un échauffement, par le même mécanisme que celui qui provoque la cuisson. L'organisme vivant réagit à cet échauffement, il cherche à évacuer la chaleur en accélérant la circulation du sang et en réduisant le métabolisme (cet effet est employé couramment en médecine sous le nom de *diathermie*). Le corps s'adapte au rayonnement micro-ondes de la même manière qu'il s'adapte à une variation de la température ambiante. Si toutefois le rayonnement est trop important, il n'est plus possible à l'organisme de maintenir la température à un niveau tolérable et des modifications irréversibles peuvent se produire (brûlures). Ce n'est que lorsque ce *seuil* est dépassé que les effets peuvent devenir cumulatifs.

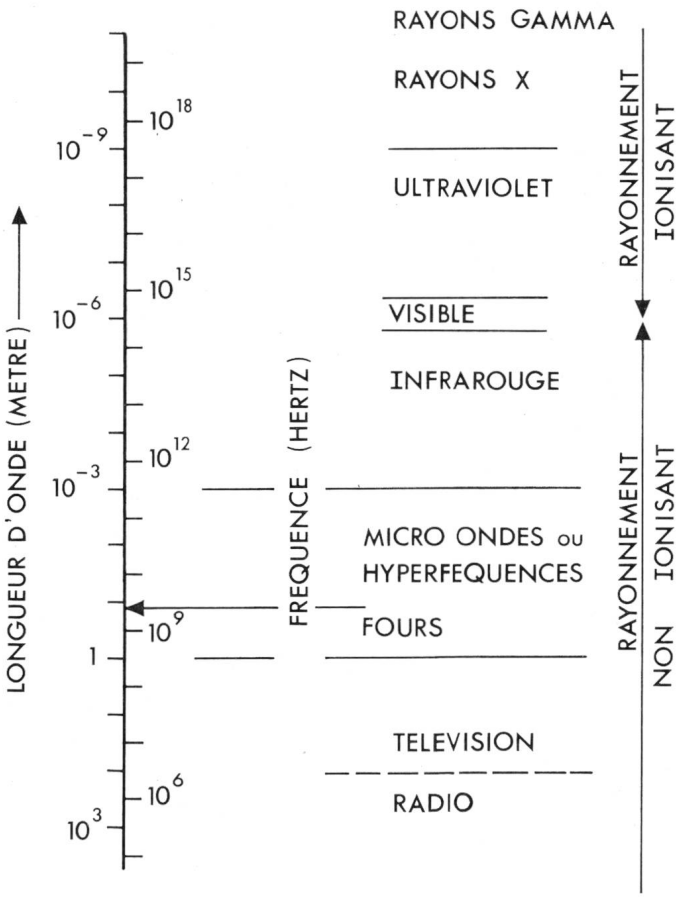

Fig. 1 Subdivision du spectre électromagnétique

L'organe le plus sensible aux hyperfréquences, par suite de sa faible irrigation, est l'œil: les hyperfréquences à haute dose provoquent des cataractes; des mesures récentes effectuées sur des lapins ont fixé le seuil pour l'apparition de cataractes à 150 mW/cm² pour une exposition de 100 min [7]. Les micro-ondes peuvent aussi provoquer une stérilité temporaire des organes génitaux mâles, qui sont sensibles à une élévation de température. Cet effet est temporaire et réversible et ne peut donc pas être utilisé dans des buts anticonceptionnels.

Le résultat le plus significatif des recherches effectuées durant de nombreuses années aux USA [5; 6], est qu'aucun effet permanent n'a été décelé à des densités de puissance inférieures à 100 mW/cm², et ceci quelle que soit la fréquence des micro-ondes. Cette valeur est à peu près la limite maximum que le rayonnement solaire peut atteindre par une journée ensoleillée, à midi en plein été (le rayonnement solaire se situe principalement dans l'infra-rouge).

Il a paru judicieux d'introduire un coefficient de sécurité de l'ordre de 10 pour tenir compte de différentes conditions possibles d'exposition et de température ambiante: la valeur de 10 mW/cm² a été adoptée aux USA comme limite supérieure d'une exposition de durée illimitée au rayonnement. Pour une irradiation plus courte que 6 min, des niveaux de puissance plus élevés sont tolérés (fig. 2). Cette norme a été appliquée pendant de nombreuses années aux USA et en Europe de l'Ouest dans le cadre d'applications industrielles et militaires.

2.2 Effets non thermiques

En URSS et en Europe de l'Est, par contre, la limite fixée pour une irradiation de longue durée est de 10 μW/cm², soit mille fois moins que celle établie aux USA. Pour des périodes inférieures à deux heures, un rayonnement plus important est toléré. La raison la plus souvent invoquée pour justifier une telle différence fait état d'effets «non-thermiques», ne provenant pas de l'échauffement provoqué par les micro-ondes, mais d'autres types d'interactions entre le rayonnement et l'organisme. On a constaté, par exemple, que l'irradiation par micro-ondes pouvait causer [8]:

– des aberrations chromosomiales lorsque des cellules vivantes sont soumises au rayonnement peu avant la phase critique de la caryocinèse. Cet effet n'a toutefois été observé que sur des cellules isolées (in vitro), mais jamais sur des organismes intacts.

– des malformations, suite à des traitements physiothérapiques par diathermie subis par des femmes enceintes (à des niveaux de puissance élevés).

– une activité cérébrale anormale lors de l'application simultanée de micro-ondes et de certaines drogues. Il s'agit là d'un effet synergétique, qui n'apparaît pas lorsqu'une seule des excitations est présente. Cet effet a été observé sur des encéphalogrammes; on ne sait pas encore s'il présente un danger. A titre de précaution, toutefois, certains médicaments ne devraient pas être prescrits à des personnes pouvant être soumises à un rayonnement micro-ondes intense.

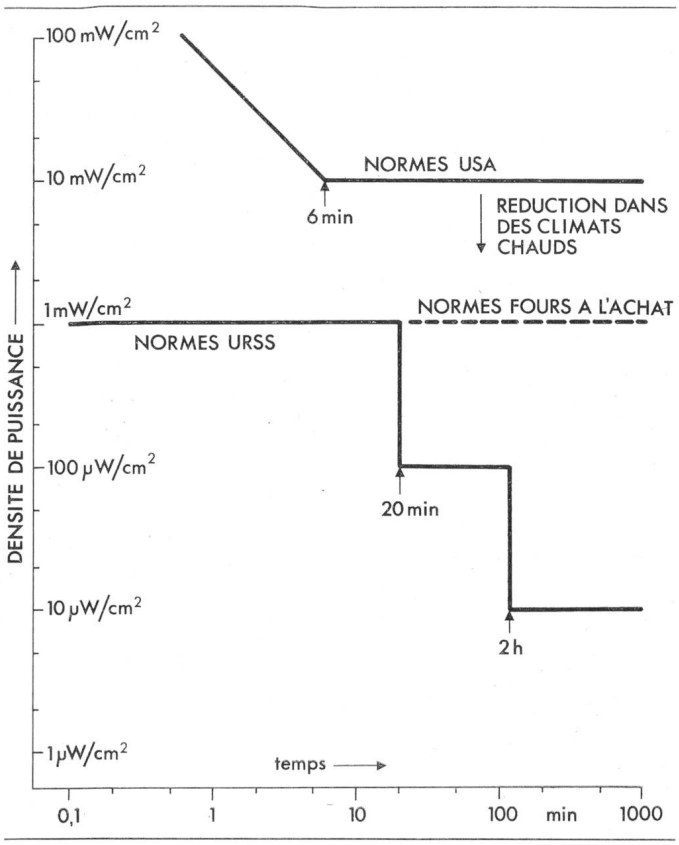

Fig. 2 **Limites fixées pour le rayonnement micro-ondes tolérable pour l'organisme**

D'autres effets ont été observés, sans toutefois pouvoir être confirmés par la suite. C'est en particulier le cas de la majorité des expériences effectuées dans les pays de l'Est: les savants américains ont reproduit aussi exactement que possible les conditions d'expérience, mais n'ont dans l'ensemble pas observé les effets nocifs dénoncés par leurs collègues soviétiques.

L'expérimentation sur des spécimens biologiques (le plus souvent des rongeurs) n'est certes pas facile. Contrairement aux domaines scientifiques fondamentaux tels que la physique ou la chimie, il n'est jamais possible de répéter exactement une expérience: les animaux sont tous différents, les conditions de test ne sont jamais identiques. Il faut donc faire usage de méthodes statistiques similaires à celles employées pour déterminer l'efficacité des médicaments. Deux populations d'animaux aussi semblables que possible sont: l'une, soumise à l'irradiation dans des conditions bien spécifiées, l'autre, soumise aux mêmes traitements, à l'exception de l'irradiation. On compare ensuite les résultats statistiques des deux populations et, si la différence est assez importante pour satisfaire le test d'adéquation statistique, on peut conclure que les micro-ondes ont un effet sur les animaux utilisés pour le test. Pour que les résultats soient significatifs, il faut des populations relativement importantes, quelques centaines, voire quelques milliers d'animaux; les conditions de test doivent être soigneusement contrôlées; de plus, lorsque l'on cherche des effets dus à une faible irradiation, la durée d'exposition doit être longue. Il en résulte que ces tests sont de nature extrêmement coûteuse et, de ce fait, à la portée seulement de quelques laboratoires hautement spécialisés. Le plus difficile reste à faire: une fois déterminé le seuil de danger pour certains petits animaux, comment faire pour en déduire la limite appliquable à l'homme?

Les magnétrons des systèmes de radar par impulsion produisent des rayons X dus au bombardement anodique, comme d'ailleurs tous les tubes à haute tension, les tubes TV couleur par exemple; ils doivent de ce fait être blindés. D'autre part, une isolation défectueuse peut donner lieu à une ionisation entraînant l'apparition d'ozone, gaz hautement oxydant. Une construction correcte du système permet facilement d'éviter ces défauts. Il n'est pas exclu que certains des effets non thermiques attribués aux micro-ondes soient dus aux rayons X ou à l'ozone produits par un appareillage défectueux, ce qui expliquerait le fait qu'ils n'aient pas pu être reproduits dans des conditions plus strictement contrôlées [9].

A défaut de faits précis prouvant de façon irréfutable soit l'existence, soit l'absence d'effets non thermiques nocifs, on prête une grande attention aux opinions des «experts» des deux bords. Le sujet fait donc l'objet d'une controverse acharnée et des organismes internationaux ont été mis sur pied pour permettre de trancher définitivement la question [10]. Il s'agit en particulier de déterminer l'influence de la fréquence et celle des différents régimes de fonctionnement: par impulsion (radars), en régime permanent uniforme ou en modulation d'amplitude (fig. 3). Il semblerait que le régime le plus susceptible de présenter un danger soit celui par impulsions, la puissance de crête étant dans ce cas beaucoup plus élevée que la puissance moyenne.

Ce rapport n'a pas la prétention de proposer une réponse à la controverse en cours, qui dure depuis nombre d'années. On peut se demander s'il est raisonnable de croire que des effets potentiellement dangereux aient pu passer inaperçus jusqu'à présent, ceci alors que des radars fonctionnent depuis plus de trente ans, soit une génération au moins. Ils ont été abondamment testés à une période où les précautions prises

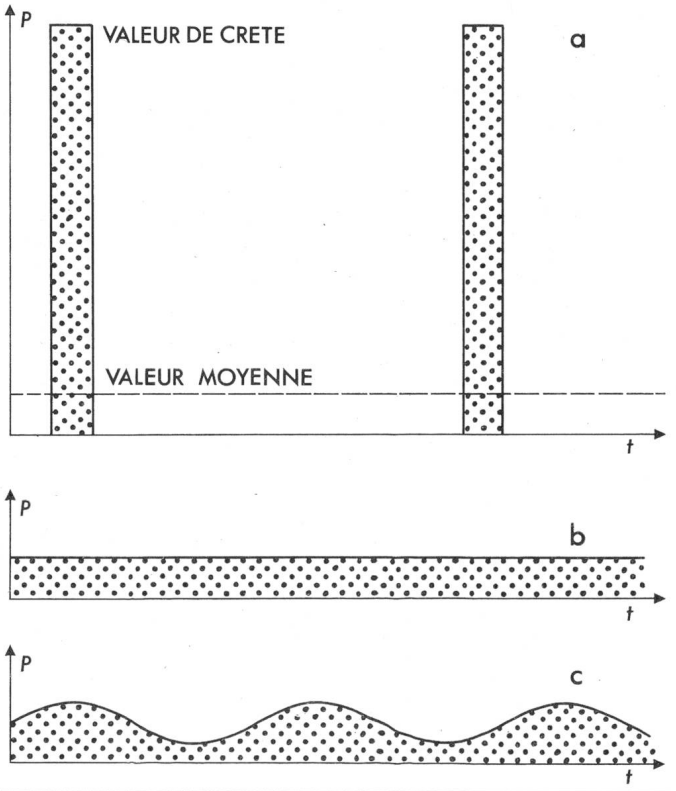

Fig. 3 **Régimes de fonctionnement de systèmes à micro-ondes a) par impulsions, b) régime permanent uniforme, c) modulation d'amplitude**
P densité de puissance *t* temps

pour éviter le rayonnement étaient bien moins strictes que maintenant. Quant aux effets non thermiques cités plus haut, ils ont été observés, soit dans des conditions très particulières réalisables uniquement en laboratoire, soit lors d'irradiations à des niveaux supérieurs à la limite prescrite.

2.3 Stimulateurs cardiaques

Une situation tout à fait particulière est présentée par les personnes possédant des conducteurs métalliques à l'intérieur de leur corps. Le rayonnement micro-ondes, qui pénètre à une certaine profondeur, peut alors dans certains cas induire un courant dans ces conducteurs, courant susceptible d'influencer le fonctionnement du délicat appareil électronique qu'est le stimulateur, voire de l'inhiber temporairement. Ce sont principalement les stimulateurs fonctionnant à la demande, c'est-à-dire munis d'un système de rétroaction, qui sont sensibles au rayonnement.

Des tests ont été effectués sur des stimulateurs de plusieurs fabricants, faisant usage de différentes fréquences et régimes de fonctionnement [11]. On constate que tous les stimulateurs sont sensibles dans une certaine mesure aux micro-ondes, les effets les plus graves apparaissant pour des signaux radars pulsés, à des fréquences de 9 GHz environ. A la fréquence industrielle de 2450 MHz par contre, seules des variations de rythme ont été observées jusqu'au niveau maximum du test, fixé à 25 mW/cm^2; aucun arrêt, même temporaire, n'a été observé. On peut en conclure que les porteurs de stimulateurs cardiaques ne courent aucun risque dans leur cuisine (voir 2.4) mais doivent éviter soigneusement les environs de systèmes de radar et probablement aussi d'émetteurs de radio.

2.4 Le rayonnement des fours

Contrairement aux radars et aux systèmes de télécommunications, les fours n'ont pas pour but de rayonner de l'énergie, mais au contraire de la contenir dans une enceinte fermée. C'est la présence d'une porte, indispensable pour l'introduction des aliments, qui donne lieu à un rayonnement indésirable, qui est toutefois faible et localisé au voisinage de l'ouverture. Jusqu'en 1971, la valeur de 10 mW/cm^2, adoptée aux USA pour d'autres applications, était admise également pour les fours, la mesure devant être effectuée à 5 cm (2 pouces) de la paroi du four. Suite à la controverse concernant la nocivité possible des effets non thermiques, la limite a été ramenée à 1 mW/cm^2, c'est-à-dire à la valeur tolérée en URSS pour une durée d'irradiation inférieure à 20 min. Cette limite est considérée comme parfaitement sûre par la majorité des experts.

Les fabricants de fours ont fait face aux exigences accrues de sécurité en munissant les bords des portes d'un dispositif à chicanes (choke) ou encore de matériaux absorbants, qui assurent l'étanchéité au rayonnement même dans des conditions d'utilisation défavorables. A une exception près, les fours testés dans [3], ont satisfait ces exigences même après un test d'endurance redoutable: porte forcée, 5000 ouvertures et fermetures, coup de force standardisée (30 J) avec un objet pointu.

Il faut encore mentionner le fait suivant: le rayonnement d'un four est localisé sur le pourtour de la porte et diminue rapidement lorsqu'on s'en éloigne, approximativement comme l'inverse du carré de la distance. La fig. 4 montre cette dépendance pour le cas limite de 1 mW/cm^2 mesuré à 5 cm de distance. La cuisinière ne restant pas stationnée en permanence devant son four, l'exposition n'a pas un caractère permanent mais est nettement intermittente. Le rayonnement de fuite d'un four ne peut donc provoquer, au maximum, qu'un échauffement d'une fraction infime de degré pendant un temps court. Tous les moyens de chauffage conventionnels peuvent au contraire provoquer des échauffements de quelques centaines de degrés et donc des brûlures.

Les fours à micro-ondes sont pourvus de deux dispositifs de sécurité qui coupent l'arrivée de courant lorsque le four est ouvert (dès que l'interstice entre la porte et le bâti dépasse environ 1 mm). Ces dispositifs sont spécialement conçus pour ne pas pouvoir être dévérouillés accidentellement.

Un des experts les plus éminents en la matière, le Dr. *James Van Allen* (principalement connu par la découverte des ceintures de particules entourant la terre) a récemment fait la déclaration suivante [12]: «*Il n'existe pas la moindre indication scientifique selon laquelle les micro-ondes de faible intensité rayonnées par les fours auraient un quelconque effet sur la santé ... même lors d'une irradiation de durée indéfinie ... Les dangers que présente un four à micro-ondes sont les mêmes que ceux de bronzer au clair de lune.*»

3. Economies

Les méthodes conventionnelles employées pour la cuisson d'aliments produisent la chaleur à l'extérieur du corps à chauffer; il faut porter à une température élevée un élément autre que celui que l'on veut chauffer. La chaleur produite atteint les aliments par conduction (plaque chauffante), convection (circulation d'air chaud), ou rayonnement (infrarouges). Dans chaque cas il y a un transfert de chaleur important au milieu ambiant. De plus, les fours doivent le plus souvent être préchauffés. Une partie importante de la chaleur ne

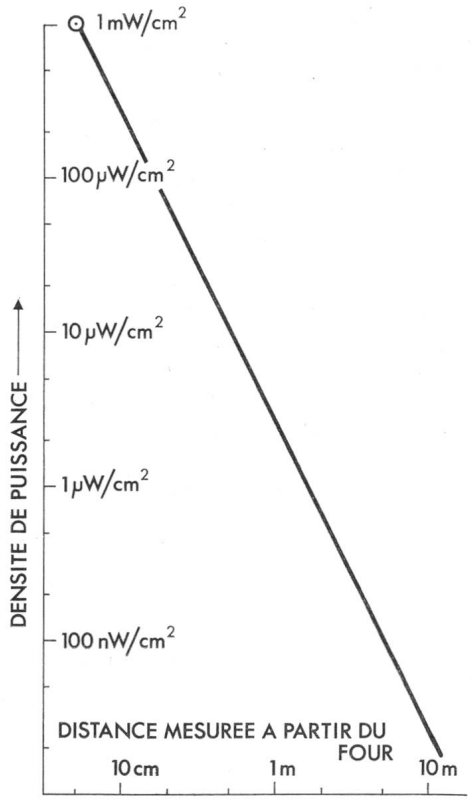

Fig. 4 Décroissance de la densité de puissance en fonction de la distance pour le cas limite (le plus défavorable) de 1 mW/cm^2 à 5 cm de la paroi du four

sert donc pas à la cuisson, mais chauffe le local dans lequel est placée la cuisinière.

Les micro-ondes pénètrent à l'intérieur des aliments et y produisent de la chaleur, due en particulier à l'agitation thermique des molécules d'eau. Le réchauffement de l'air environnant n'est qu'un effet secondaire qu'on peut réduire en entourant les aliments de façon à éviter le contact avec l'air, évitant également la propagation d'odeurs indésirables. Les parois du four restent pratiquement froides et les récipients peuvent être manipulés sans précautions particulières.

Des tests comparant les fours à micro-ondes avec des fours conventionnels ont clairement démontré ce fait [13]: le four à micro-ondes permet d'économiser en moyenne entre 55 % et 75 % de l'énergie nécessaire à un four conventionnel. La «Electric Energy Association» estime qu'un four à micro-ondes permet d'économiser 875 kWh par an. Si dans notre pays 500000 fours conventionnels (électriques) étaient remplacés par des fours à micro-ondes, il en résulterait une réduction annuelle d'électricité de 440 GWh, soit le 1,5 % de l'énergie électrique produite en Suisse en 1974. Cette énergie pourrait être économisée rien que dans les cuisines, en supposant que les fours à micro-ondes puissent remplacer complètement les fours conventionnels.

Au point de vue coût, l'économie annuelle par four est de l'ordre d'une centaine de francs; comme un four à micro-ondes coûte pratiquement un millier de francs de plus qu'un four ordinaire, l'amortissement paraît assez lent. Il faut toutefois tenir compte de la disparition de la batterie de cuisine: on n'utilise dans le four que des plats en céramique, dans lesquels les mets sont ensuite servis à table, puis les restes de nourriture conservés et réchauffés, etc. Les économies en manutention, lavage de vaisselle, sont difficiles à évaluer; elles ne représentent pas seulement un gain de temps et d'argent, mais encore une réduction de la pollution causée par les détergents. Le temps nécessaire à la cuisson peut dans certains cas être beaucoup plus faible que celui dans un four conventionnel; on a cité $^1/_2$ à $^1/_4$ du temps. Il faut bien entendu tenir compte de l'absence de préchauffage. Finalement un avantage important est le peu de place nécessaire.

4. Vers un art culinaire nouveau?

Les micro-ondes chauffent les aliments de façon plus ou moins uniforme, leur profondeur de pénétration étant beaucoup plus grande que celle des infra-rouges: la chaleur est répartie dans un volume, et non sur une surface. C'est cette répartition qui permet d'accélérer la cuisson: les densités de puissance que l'on peut utiliser en micro-ondes sont supérieures à celles dont peuvent faire usage les infra-rouges, suite aux contraintes imposées à ces derniers par l'échauffement maximum tolérable des surfaces.

Dans le four à micro-ondes, la surface des aliments est en contact avec l'air froid. Elle est de ce fait refroidie naturellement, ce qui donne des résultats parfois surprenants: l'intérieur de l'aliment peut être cuit alors que l'extérieur présente encore toutes les apparences de la crudité. Les vitamines, situées généralement à la surface des fruits et légumes, ne subissent pas une dégradation comparable à celle produite par d'autres moyens de cuisson [14]. On peut toutefois cuire la surface en l'enduisant d'une couche de sauce ou d'huile, ou en l'enveloppant. Le contact avec l'air réduit et la couche absorbant les micro-ondes, il en résulte un chauffage en surface qui peut aller jusqu'à l'apparition d'une croûte. Il s'agit là bien entendu d'un artifice, d'un type d'ailleurs couramment employé dans des recettes de cuisine conventionnelle.

Les micro-ondes sont particulièrement appréciées pour tous les mets dont la cuisson doit être aussi uniforme que possible; par exemple, pour réchauffer des plats précuits ou congelés et pour appréter rapidement des aliments généralement bouillis ou pochés. L'apparition récente sur le marché de plats en céramique dotés d'une semelle pyroélectrique chauffante permet même de frire dans un four à micro-ondes (il s'agit de l'équivalent d'une poêle).

Le four à micro-ondes a trouvé sa place non seulement dans les cafétérias mais également dans des restaurants réputés; les participants à un récent congrès [15] ont eu le privilège d'assister à la préparation d'un menu gastronomique complet, avec dégustation à l'appui et ont pu constater que le four à micro-ondes permet effectivement d'obtenir des résultats tout à fait valables.

Il faut néanmoins regretter que, quelles que puissent être ses prouesses gastronomiques, il semble peu probable qu'un four à micro-ondes ne permette jamais de griller correctement un bon steak. Ce n'est pas en fait un instrument de cuisine complet, puisqu'il lui manque la fonction «rôtir», qui n'est qu'approximativement remplacée par certains artifices. Il est toutefois possible de compléter le four avec un grill portatif. Certains fabricants offrent un four hybride [16] comportant simultanément la cuisson par micro-ondes et par infra-rouges. L'idée est certainement attrayante, pour autant que l'on puisse combiner les avantages des deux méthodes, mais non leurs inconvénients.

5. Conclusion

L'instrument de cuisine idéal devrait:

- permettre de cuire, bouillir, rôtir, frire,
- posséder un rendement d'environ 99 % (surtout pas de préchauffage),
- ne présenter aucun danger: aucune pièce chaude ne devrait pouvoir être touchée, aucun rayonnement nocif ne devrait être dégagé,
- présenter un faible coût à l'achat,
- nécessiter un minimum de manutention et d'entretien,
- prendre peu de place.

Le four à micro-ondes ne remplit évidemment pas toutes ces conditions: ce n'est pas encore la panacée universelle de la cuisinière. Toutefois, une comparaison objective avec les autres appareils à disposition montre qu'il possède des qualités non négligeables, la sécurité n'étant pas la moindre. Il est en tous cas certain que toutes les craintes liées au rayonnement sont infondées.

Les fours à micro-ondes sont disponibles en plusieurs dimensions et avec différents niveaux de puissance, fait qui n'est pas signalé dans les revues de consommateurs. Les fours domestiques courants génèrent 600 W de micro-ondes environ, des fours plus puissants (1500 et 2000 W) étant principalement destinés aux restaurateurs. La rapidité de cuisson est bien entendu liée à la puissance du four.

Plusieurs industries font usage de micro-ondes pour le chauffage et le séchage des matériaux les plus divers [17]. L'économie d'énergie reste un facteur significatif pour l'emploi de micro-ondes dans ces applications; toutefois, leurs caracté-

ristiques de chauffage uniforme permettent un meilleur emploi des matières premières, d'où leur très grand interêt au point de vue rentabilité.

Bibliographie

[1] A propos de four à micro-ondes. Laboratoire Coopératif -(1974)96, p. 33...40.
[2] Un monde fou, fou, fou ou ... quand des radars font la cuisine. Ufidec -(1974)96, p. 5...7.
[3] Plus vite, plus cher, moins sûr. Test Achats 18(1975)154, p. 18...21.
[4] *L. Elfström:* Les fours domestiques à haute fréquence. Bulletin de la CEI 8(1974)30, p. 1...2.
[5] Special issue of biological effects of microwaves. Trans. IEEE MTT 19(1971)2.
[6] *S. M. Michaelson:* Human exposure to nonionizing radiant energy – potential hazards and safety standards. Proc. IEEE 60(1972)4, p. 389...421.
[7] *A. W. Guy* a. o.: Effect of 2450-MHz radiarion on the rabbit eye. Trans. IEEE MTT 23(1975)6, p. 492...498.
[8] *P. Czerski* and *S. Szmigielski:* Microwave bioeffects, current status and concepts. Proceedings of the 5th European Microwave Conference, Hamburg, 1...4 september 1975, p. 348...357.
[9] *S. M. Michaelson:* Reply to M. Zaret, Correspondence. Journal of Microwave Power 6(1971)3, p. 272...275.
[10] *S. M. Michaelson* and *M. J. Suess:* An international program for microwave exposure protection. Trans. IEEE MTT 22(1974)12/II, p. 1301...1302.
[11] *C. H. Bonney, P. L. Rustan* and *G. E. Ford:* Evaluation of effects of the microwave oven (915 and 2450 MHz) and radar (2810 and 3050 MHz) electromagnetic radiation on noncompetitive cardiac pacemakers. Trans. IEEE BME 20(1973)5, p. 357...364.
[12] *R. Davis:* Microwave oven controversy sizzles. Microwaves 12(1973)5, p. 9...19.
[13] *D. R. McConnell:* Energy consumption: a comparison between the microwave oven and the conventional electric range. Journal of Microwave Power 9(1974)4, p. 341...347.
[14] Qualitätsverbesserung durch Mikrowellenkochen. Industrielle Obst- und Gemüseverwertung 59(1974)-, S. 20...21.
[15] Proceedings of the Microwave Power Symposium 1975, University of Waterloo/Ontario/Canada, 27...30 mai 1975. Edmonton/Alberta/Canada, International Microwave Power Institute, 1975.
[16] *G. Ojelid:* Cooking in one-fifth the time. International Microwave Power Institute (IMPI) Newsletter 2(1974)2, p. 8...9.
[17] *M. S. Ramachandraiah* and *F. E. Gardiol:* Applications techniques des hyperfréquences. Bull. Techn. Suisse Rom. 98(1972)25, p. 431...437.

Adresse de l'auteur

Prof. Dr *Fred E. Gardiol*, Chaire d'électromagnétisme et d'hyperfréquences, Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne, chemin de Bellerive 16, 1007 Lausanne.

Johann Philipp Wagner 1799–1879

Physikalische Gesellschaft Frankfurt a/Main

Der Erfinder des jedem Schüler bekannten, in jeder Klingel vorhandenen Wagnerschen Hammers wurde am 24. Januar 1799 in Fischbach (Herzogtum Nassau) geboren. Mit 16 Jahren trat er als Lehrling in ein Eisenwarengeschäft in Frankfurt ein und diente dort als Buchhalter. Unter Anleitung eines Mechanikers machte er in seiner Freizeit physikalische Studien. Am 1. Mai 1836 berichtete Dr. *Neeff* in der Naturforschenden Gesellschaft über eine von Wagner konstruierte elektromagnetische Kraftmaschine. Wagner selbst führte am 25. Februar 1837 in der Physikalischen Gesellschaft seinen elektrischen Hammer vor, mit dem er eine periodische Unterbrechung des Stromes und damit die Klingelwirkung zustande brachte. (Die Bezeichnung Neeffscher Hammer ist falsch, *Neeff* hat lediglich darüber berichtet.) Unter Verwendung von Daniell-Elementen baute Wagner im folgenden Jahr ein kleines «Elektroauto», über das ein Dr. *v. Reden* an der Versammlung deutscher Naturforscher anno 1840 in Erlangen unter dem Titel: «Der Elektromagnetismus als bewegende Kraft» referierte. An der gleichen Tagung berichtete Prof. *Böttger* über eine andere Arbeit Wagners, betitelt «Erzeugung von Tönen auch in nicht-magnetischen Metallen durch unterbrochene galvanische Ströme».

In dieser Zeit gab Wagner seine Buchhalterstelle auf und übernahm den Posten des Inspektors für Dampfmaschinen sowie die Leitung der Gewerbehalle. Daneben betrieb er seine physikalischen Studien eifrig weiter. Am 10. November, dieses für Wagner bedeutungsvollen Jahres, erhielt er für 15 Jahre das Privileg (Patent) zum Bau seines elektromagnetischen Rotationsapparates. Da dieses Privileg nur für die Stadt Frankfurt Gültigkeit hatte, reichte die Freie Stadt Frankfurt auf Antrag der dortigen Physikalischen Gesellschaft an die Bundesversammlung das Gesuch ein, die Länder möchten Wagner auch für ihre Gebiete ein Patent erteilen. In seinem vom 25. 2. 1841 datierten, aber fast modern anmutenden Bericht an die Bundesversammlung schildert Wagner eindrücklich die Nachteile des Dampfbetriebes (Rauch und Dampf), die er beredt der saubern Elektrizität gegenüberstellt. Wagner wird alsdann aufgefordert nachzuweisen, dass sich sein elektrischer Antriebsmechanismus für Lokomotiven eigne, für welchen Fall ihm eine Vergütung von 100000 Gulden in Aussicht gestellt wurde. Mit finanzieller Unterstützung des Fürsten *Karl Egon zu Fürstenberg* baute Wagner dann einige Motoren, die für den Antrieb eines Wagens stark genug waren. Eine eingesetzte Kommission, in der auch *Steinheil* sass, prüfte 1844 Wagners Bericht sowie seine Motoren. Sie kam zum Schluss, der Betrieb des Wagnerschen Motors sei 12mal teurer als der Dampfbetrieb. (Schuld daran trugen vor allem die teuern Elemente.) Zudem handle es sich nicht um eine Neuheit, doch sei Wagners Motor besser als alle (damals) bekannten Motoren. Die Auszahlung der 100000 Gulden wurde abgelehnt, doch solle Wagner eine Entschädigung von 6000 Gulden zukommen. Wegen Uneinigkeit der Länder unterblieb auch diese Zahlung.

Später verfasste Wagner noch einen Bericht «über Anwendung des Galvanismus zur Prüfung der Blitzableiter» und bemühte sich um zweckmässige Heizungen.

Nach einer 1823 geschlossenen, kinderlos gebliebenen Ehe heiratete er 1852 ein zweites Mal. Ein ihm geschenktes Töchterchen starb jung. Ende 1878 erkrankte Wagner und starb am 8. Januar 1879 in Frankfurt.

H. Wüger