

Four à micro-ondes

Un **four à micro-ondes** (ou plus simplement un **micro-ondes**¹ ou même un **microonde** depuis 1990) est un appareil électroménager utilisé principalement pour le chauffage et la cuisson rapide d'aliments, par l'agitation des molécules d'eau qu'ils contiennent, sous l'effet d'un rayonnement micro-onde.

Sommaire

Histoire

- Découverte accidentelle
- Développement
- Conception et public

Fonctionnement général

- Magnétron
- Alimentation électrique
- Commande de puissance
- Cuisson de l'aliment
 - Action des micro-ondes sur la molécule d'eau
 - Pénétration des ondes à l'intérieur de l'aliment

Objets métalliques dans un four à micro-ondes

Rayonnement et danger pour la santé

Bruit des fours à micro-ondes

Précautions d'utilisation

Utilisation en chimie et en biologie moléculaire

Notes et références

- Notes
- Références

Bibliographie

Voir aussi

- Articles connexes
- Liens externes

Histoire

L'invention du four à micro-ondes est un exemple classique de sérendipité, c'est-à-dire une découverte accidentelle d'un effet physique suivi d'une exploitation commerciale.

Découverte accidentelle

En 1946, l'ingénieur américain Percy Spencer a l'idée d'utiliser les micro-ondes pour faire cuire ou réchauffer des aliments, alors qu'il dirige chez Raytheon une usine de magnétrons pour radars. Lorsqu'il passe à proximité d'un magnétron en activité, il ressent de la chaleur dans la poche de sa blouse. En plongeant la main dans la poche, il constate qu'une barre de chocolat y a fondu².

Les premiers aliments à avoir été délibérément chauffés par des micro-ondes sont du pop-corn, et le second un œuf (lequel a explosé au visage des expérimentateurs)³.

Four à micro-ondes



Un four à micro-ondes en 2006.

Type

Appareil ménager,
électroménager (a[ⓘ])

Développement

En 1946, la société Raytheon acquiert le procédé de cuisson par micro-ondes, puis en 1947 construit le premier four à micro-ondes qu'elle commercialise, le *Radarrange*, pour 2 000 à 3 000 dollars (32879 dollars actuels)⁴. Il mesurait 1,80 mètre de haut pour un poids de 340 kilogrammes. Il était refroidi par un système à base d'eau et avait une puissance de 3 kW. Le premier a été acheté par un restaurant de Cleveland. La masse et le coût des premiers modèles réduisaient le marché aux restaurants, navires de croisières, chemins de fers ou grandes entreprises⁵.

Après avoir racheté la société Amana Refrigeration en 1965, Raytheon s'intéresse aux moyens de transformer le micro-ondes en succès commercial pour le grand public. Pour ces besoins, il fallut investir massivement dans la miniaturisation de l'électronique et des circuits intégrés dans des puces. Le four à micro-ondes ne fut un succès dans le grand public qu'à ce prix, avec le RR-6 Radarrange 6, Touchmatic en 1975. La fabrication en série de puces électroniques pour les appareils ménagers permit ainsi de baisser le coût des puces destinées aux produits militaires conçus par Raytheon [réf. nécessaire].



1961. Raytheon RadaRange à bord du NS Savannah.

Conception et public

Lors de son lancement commercial, le micro-ondes n'obtient pas un succès immédiat. Le public ciblé était alors les hommes, le produit étant présenté comme un appareil pour réchauffer des plats déjà préparés sans devoir cuisiner. Il faisait partie des « brown goods », produits conçus pour mettre en valeur la technologie, avec un public cible masculin⁶.

Par la suite, le four à micro-ondes a été repensé en « white good » : son design a été épuré et simplifié, pour cibler le public des familles et des ménagères. Cependant, les femmes n'étaient pas satisfaites de ce nouveau mode de cuisson qu'elles jugeaient moins performant. La conception du four à micro-ondes a dû être changée pour que sa clientèle soit élargie. Par exemple lors de la cuisson d'un poulet, celui-ci ne dorait pas : pour pallier ce problème, les industriels ont doté certains modèles de lampes infrarouges.

En plus de la conception même du produit, fait remarquer la chercheuse en sciences sociales Cynthia Cockburn dans un de ses livres⁷, les fours à micro-ondes sont accompagnés de deux manuels : l'un avec des instructions techniques, dont entre autres des informations sur l'installation et le câblage, et un autre avec des astuces et des recettes impliquant l'utilisation du four. Le premier ayant pour lecteurs désignés des hommes et le second s'adressant plus aux femmes. La différence de langage entre les deux manuels est marquée. Le premier est rédigé avec un style et un vocabulaire technique, alors que le deuxième est accessible et aborde un langage de tous les jours. Les designers et les concepteurs des fours à micro-ondes ont eu recours à des rédactrices pour que les messages soient mieux compris et interprétés par les clientes.

Après avoir visité une usine d'électroménager, Cynthia Cockburn écrit que tous les designers et ingénieurs étaient des hommes, que le manager en marketing était un homme mais qu'il y avait une équipe subalterne composée de femmes économistes. Elles aidaient néanmoins les designers des fours à micro-ondes en partageant leur expérience de cuisine. Il n'est pas rare à cette époque d'avoir une équipe de consultantes féminines engagées par les constructeurs pour se rapprocher de la clientèle et améliorer le marketing de leurs produits. Également dans les points de vente, où le contact avec le client est de la plus haute importance, des femmes sont employées pour aborder un discours plus proche des clientes et de la conception « féminine » de la technologie. Les femmes ont donc une présence dans le cycle de production du four à micro-ondes, mais pas forcément à la conception. C'est un produit à l'origine conçu par des hommes mais destiné à des femmes^{8, 9, 6, 10}.

Fonctionnement général

Le courant alternatif d'alimentation est converti en courant continu par l'intermédiaire d'un redresseur élévateur, d'une diode et d'un condensateur.

Le courant sortant du transformateur élévateur alimente le magnétron.

Magnétron

Le magnétron est constitué d'une anode cylindrique, composée de cavités, celles-ci se trouvent dans l'axe d'une cathode chauffante. Plus il y a de cavités, plus le rendement est élevé.

L'anode et la cathode sont séparées par un espace que l'on appelle l'espace d'interaction qui se trouve sous vide. Ces cavités dites « cavités résonantes » peuvent avoir des formes différentes selon le magnétron considéré. On trouve aussi deux aimants qui sont fixés perpendiculairement à l'axe du tube.

Un champ électrique continu est appliqué entre l'anode et la cathode. Ce champ a une valeur de l'ordre de plusieurs kilovolts pour un espace d'interaction de quelques millimètres. Les électrons libérés par la cathode sont accélérés par le champ électrique continu. En l'absence des aimants, les électrons iraient directement sur l'anode. La combinaison des deux champs crée un nuage d'électrons tournant entre l'anode et la cathode. Ces charges entrent en interaction avec les cavités résonantes du bloc anodique qui deviennent le support d'oscillations électromagnétiques. Les dimensions de ces cavités sont calculées pour que les ondes aient une fréquence de 2 450 MHz. Une partie de ces ondes est acheminée vers le guide d'onde grâce à divers moyens de couplage.

Le guide d'onde transmet celles-ci dans la cavité du four et elles vont permettre de réchauffer l'aliment.

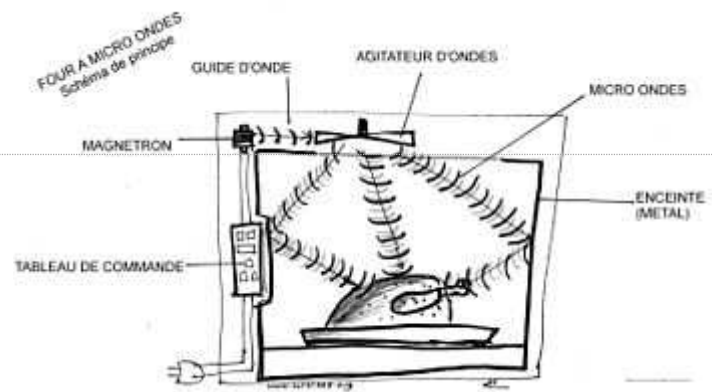
Alimentation électrique

Un magnétron de 1 000 W (puissance fournie) demande environ 2 500 V à 0,6 A en alimentation électrique. Le schéma courant est un montage de type « anode à la masse », simplifiant l'isolation. L'alimentation est très simple, avec un transformateur d'alimentation unique pour le filament, la THT, un redressement mono-alternance avec une diode et un condensateur de filtrage. Les parties sous haute tension présentent un danger mortel et le dépannage d'un micro-ondes sous tension avec le capot ouvert est extrêmement dangereux.

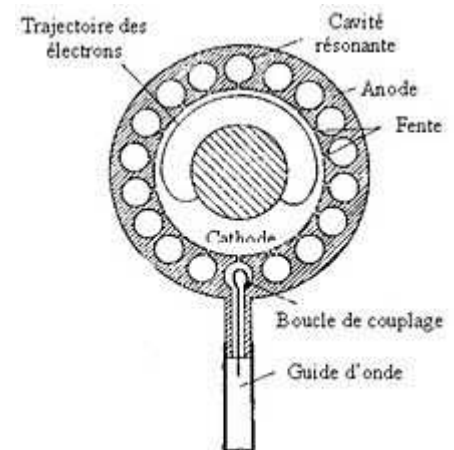
Commande de puissance

Le magnétron ne comporte pas d'électrode de commande et ne fonctionne qu'en « tout ou rien ». Pour faire varier la puissance de cuisson, le magnétron fonctionne par intermittence, l'alimentation est commandée en tout ou rien à un rythme relativement bas et avec un rapport cyclique de presque 0 % à 100 %, selon la puissance demandée par l'utilisateur. C'est ce que l'on appelle la modulation par largeur d'impulsion.

Par exemple, pour un four de 800 W, si le bouton de commande est placé sur 400 W, le magnétron est alimenté pendant 7,5 secondes puis coupé pendant les 7,5 secondes suivantes puis à nouveau alimenté. Si le bouton est placé sur la puissance maximale, le magnétron est alimenté en permanence. Sur les appareils à minuterie mécanique, c'est un simple système de came avec un contact, lié à la minuterie qui permet de faire varier la puissance, et ce de façon linéaire. Sur les appareils plus récents, c'est une logique avec un microcontrôleur qui commande un relais de modulation. Cette logique peut comporter aussi des fonctions d'horloge et de démarrage décalé, des touches pré-réglées pour la décongélation, etc.



Principe de fonctionnement



Magnétron de four à micro-ondes



Four à micro-ondes de la marque Carrefour en marche en 2014.

Cuisson de l'aliment

Action des micro-ondes sur la molécule d'eau

Les cellules de matière organique renferment essentiellement des molécules d'eau. La molécule d'eau est formée d'un atome d'oxygène et deux atomes d'hydrogène (formule chimique : H_2O). Elle est dipolaire, c'est-à-dire que le barycentre des charges négatives et celui des charges positives ne sont pas confondus ; cela est dû au fait que l'atome d'oxygène est plus électronégatif que celui d'hydrogène, et à la géométrie coudée de la molécule. Le champ électromagnétique a également tendance à polariser les molécules non polaires.

Les molécules d'eau d'un aliment à l'état normal sont dans le désordre : elles ne respectent aucun ordre d'orientation particulier. Mais lorsqu'elles sont soumises à un champ électrique continu, les pôles positifs des molécules d'eau ont tendance à s'orienter en direction de ce dernier.

Quand elles sont soumises aux micro-ondes, les molécules d'eau de l'aliment s'orientent en direction du champ électrique qui compose ces ondes. Ce champ étant tournant, les pôles tournent donc perpendiculairement à l'axe de symétrie de la molécule. Les liaisons entre molécules d'eau par pont d'hydrogène et les liaisons de Van der Waals entre molécules ont tendance à freiner la rotation des molécules d'eau : c'est ce freinage qui provoque l'échauffement.

Si le four émettait en fréquence plus basse, il ferait tout autant tourner les molécules d'eau mais il n'y aurait pas d'absorption de l'énergie des ondes dans l'aliment et donc de dégagement de chaleur. En effet, ce n'est qu'au-delà de la fréquence de 1 GHz environ que l'oscillation de l'eau *a du mal à suivre* l'oscillation du champ électrique des micro-ondes à cause du freinage. Il s'ensuit que pour des fréquences égales ou supérieures à celle-ci, un déphasage apparaît entre les orientations respectives de ce champ et de la molécule d'eau. La conséquence est ce que l'on appelle une perte diélectrique, génératrice de chaleur, et due à un phénomène que l'on appelle « relaxation » des molécules d'eau. Il ne s'agit donc pas d'un quelconque phénomène de résonance. La pulsation idéale des molécules correspond à l'inverse du temps de relaxation de la polarisation macroscopique de la cellule vers 0 si les micro-ondes sont coupées. C'est effectivement la pulsation pour laquelle la partie imaginaire de la permittivité de Debye est maximale. C'est cette composante imaginaire qui correspond au retard de la polarisation sur le champ électrique.

Le choix de la fréquence du micro-ondes ressort d'un juste compromis entre réchauffement de l'aliment et pénétration dans celui-ci. En effet, si l'on avait choisi une fréquence plus faible, l'onde *traverserait* l'aliment sans le réchauffer, puisque les molécules oscilleraient librement, permettant une conservation du champ électrique dans la matière, et donc sans causer de perte diélectrique. En revanche, si l'on avait choisi une fréquence plus élevée, l'onde serait totalement absorbée en surface de l'aliment diélectrique à pertes dans une épaisseur de peau inversement proportionnelle à la fréquence et dépendant essentiellement de l'angle de perte du matériau, et donc la localisation de la totalité des pertes diélectriques en surface.

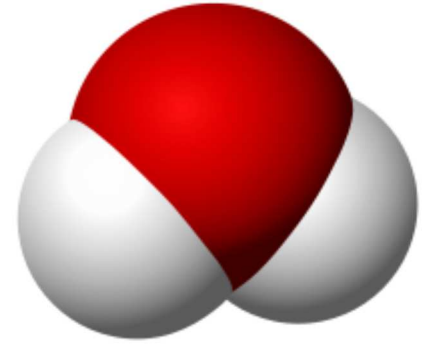
À la suite du dégagement de chaleur, l'élévation de température se transmet aux différentes couches de l'aliment par conduction et réchauffe ainsi une partie de l'aliment. La quantité d'eau n'étant pas répartie de la même façon dans l'aliment, certaines parties de l'aliment sont plus ou moins chaudes que d'autres.

De plus lorsqu'il y a dégagement de chaleur les molécules d'eau ont tendance à passer de l'état liquide à l'état gazeux, le volume de vapeur ainsi produit ne peut pas forcément être contenu dans l'aliment c'est pour cela que certains aliments explosent.

À la fréquence du four micro-ondes, la molécule d'eau est quasiment la seule à tourner, à cause de sa petite taille¹¹, la présence d'eau dans l'aliment, à cuire ou à réchauffer, ou dans le four est donc indispensable.

Pénétration des ondes à l'intérieur de l'aliment

La pénétration des ondes à l'intérieur d'un aliment diffère en fonction de ce dernier, plus particulièrement de sa concentration et sa composition.



Représentation schématique d'une molécule d'eau avec en rouge l'atome d'oxygène et en blanc les atomes d'hydrogène

Lorsqu'un aliment est soumis à un rayonnement de micro-ondes, il n'en absorbe qu'une partie. La partie absorbée est transformée en énergie calorifique et c'est grâce à elle que l'aliment chauffe. La partie non absorbée est transmise ou réfléchi.

Pour éviter que certaines parties de l'aliment ne soient brûlées ou que d'autres restent froides, il faut que les ondes atteignent tous les endroits de l'aliment. Pour ce faire, l'aliment est déposé sur un plateau tournant. Ainsi, lorsque les parois de la cavité du four font réfléchir les ondes, celles-ci atteignent différents endroits de l'aliment mis sur ce plateau tournant, ce qui assure une distribution relativement plus homogène des ondes dans l'aliment.

Objets métalliques dans un four à micro-ondes

Il ne faut pas mettre des objets métalliques dans un four à micro-ondes en raison du champ électrique produit. Aux coins anguleux et pointus du métal qui est un conducteur électrique, des gradients du champ sont créés, ce qui donne lieu à des arcs électriques : c'est l'effet de pointe. Il existe toutefois des objets métalliques spéciaux avec des coins arrondis, qui ne provoquent pas de décharges électriques. Les emballages de faible hauteur en acier ou en aluminium, avec une large ouverture, permettent un réchauffage efficace et sans production d'arcs dans les fours actuels. Et les verres de cafetières électriques, même pourvus d'un cerclage métallique, sont généralement compatibles avec les fours à micro-ondes et vendus comme tels.

Rayonnement et danger pour la santé

Contrairement à une croyance populaire diffusée notamment par des médias qui se revendiquent de la médecine alternative, le rayonnement micro-onde n'est pas ionisant et ne présente aucune génotoxicité¹². Il présente beaucoup moins de risque que les rayons X, les rayons gamma ou la simple exposition prolongée et répétitive au soleil qui peut causer des mélanomes. De plus, les ondes ne peuvent en aucun cas « rester » dans la nourriture, les aliments ne deviennent pas radioactifs et aucune étude scientifique n'a mis en relation fours à micro-ondes et cancers^{13, 14}. En revanche, le réchauffement des aliments aux micro-ondes entraîne des modifications chimiques dans ces derniers comme c'est le cas de tous les moyens de cuisson (four « traditionnel », poêle, à la vapeur...). Par rapport aux méthodes « conventionnelles » de cuisson, le four à micro-ondes conserve mieux les vitamines B et C et oxyde moins les graisses (ces différences sont faibles). Le principal risque lié à un four à micro-onde bien entretenu est de nature thermique (brûlures lors de la consommation des aliments)¹².

Cependant, l'utilisation d'un four dont la porte (ou les joints) serait endommagée peut présenter un certain danger et les utilisateurs de ce type de four doivent veiller à son bon état^{13, 12, 15}. En effet, le compartiment d'un four à micro-ondes agit comme une cage de Faraday et une porte endommagée pourrait conduire à une « fuite » d'ondes. Il existe cependant des normes concernant le niveau de fuite des fours neufs : le niveau maximal toléré est de 5 mW/cm² mesuré à 5 cm. Si le four n'est pas endommagé, étant données les distances et durées d'utilisation, l'exposition aux ondes électromagnétiques est très inférieure à celle liée à l'utilisation d'un téléphone mobile.

D'après une étude de l'Office fédéral de la santé publique, le rayonnement moyen mesuré pour les fours usagés est de 0,41 mW/cm², soit 12 fois moins que le niveau de fuite maximal toléré. Le débit d'absorption spécifique mesuré à une distance de 5 cm pour un débit de fuite égale au maximum toléré est en moyenne de 0,256 W/kg soit 10 fois moins que la valeur limite recommandée pour un téléphone mobile. Pour les fours neufs, et la majorité des fours usagés, le rayonnement est inférieur à celui d'une connexion Wi-Fi. Ces nombres restent des moyennes et ne constituent par une garantie : un four peut être en dehors de ces valeurs¹².

Les premiers modèles de stimulateurs cardiaques peuvent être perturbés par la proximité d'un four à micro-onde. Cependant, grâce à l'amélioration des stimulateurs et des fours, les modèles récents de stimulateur ne sont plus touchés par ce problème¹³.

Bruit des fours à micro-ondes

Les organes d'un four à micro-ondes sont principalement optimisés pour abaisser son coût, améliorer l'ergonomie et l'esthétique, secondairement pour diminuer son bruit. En dehors des bruits de cuisson, il y a trois sources de bruits :

- le transformateur vibrant à la fréquence du secteur, en raison de l'extrême économie réalisée sur sa technologie (enroulements non enrobés, *pertes fer* importantes).
- le ventilateur, qui doit être assez puissant pour évacuer environ 40 % de l'énergie consommée.
- le plateau tournant, son moteur et ses roulements.

Ces bruits sont souvent amplifiés par la carrosserie faite de tôles simples sans traitement anti-vibrations.

Précautions d'utilisation

Les micro-ondes agissent en agitant des molécules d'eau et de graisse mais ne pénètrent que d'un ou deux centimètres dans les aliments. De ce fait il vaut mieux ne chauffer que des aliments peu épais et bien mélanger avant de servir, afin d'égaliser la chaleur dans le contenu servi¹⁶.

Des cas de brûlures ont été signalés après utilisation de compresses mouillées et chauffées par micro-ondes, de même qu'après utilisation du micro-ondes dans le chauffage des biberons, notamment du fait d'une répartition inégale de la chaleur^{a,16}.

Il est prudent de ne pas servir d'aliments immédiatement après le chauffage au micro-ondes mais surtout :

- bien mélanger les aliments lorsque cela est possible¹⁷, sinon attendre quelques minutes que les températures s'homogénéisent ;
- secouer tout liquide chauffé au micro-ondes pour homogénéiser la température¹⁷ ;
- ne pas se fier à la température externe de contenants en plastique, ou en verre, qui sont des isolants thermiques¹⁷.

À la différence d'un four traditionnel (électrique ou à gaz), le temps de cuisson dans un four à micro-ondes dépend de la quantité d'aliments mise à chauffer. En effet, dans un four traditionnel, dont la température est fixée par thermostat, le flux de chaleur transmis aux aliments augmentera avec leur quantité, et si le four est suffisamment puissant et ventilé pour maintenir constante sa température, le temps de cuisson ne dépendra pas du nombre de plats placés dans le four. Dans un four à micro-ondes, le flux d'énergie thermique, qui est proportionnel à la puissance choisie, est réparti entre tous les aliments. Une quantité double d'eau, à puissance égale, chauffera ainsi deux fois plus lentement, et il faudra doubler la puissance si l'on veut qu'elle chauffe aussi vite. C'est pourquoi il convient d'adapter la puissance à la quantité, sans se fier strictement aux indications « décongélation », « réchauffage », etc. Ainsi, si l'on double la quantité d'aliments à décongeler, on pourra doubler aussi la puissance ; voire utiliser la pleine puissance du four pour décongeler une grande quantité d'aliments. Les modes « décongélation » sont prévus pour de petites quantités à décongeler, le chauffage a lieu par intermittence pour laisser le temps à la chaleur de pénétrer à l'intérieur du plat et de s'uniformiser ; mais pour une grande quantité d'aliments, cette répartition de la chaleur se fait de manière satisfaisante même à pleine puissance car chaque aliment ne reçoit que peu d'énergie.^[réf. nécessaire]

Utilisation en chimie et en biologie moléculaire

Les micro-ondes sont utilisées depuis la fin des années 1990 dans les laboratoires de chimie (synthèse assistée par micro-ondes). Dans une réaction chimique, les micro-ondes vont activer directement les ions ainsi que la plupart des molécules qui possèdent un moment dipolaire. Étant donné que le transfert d'énergie entre les micro-ondes et les molécules est extrêmement rapide (de l'ordre de la nanoseconde), les molécules de réactif ou de solvant sont incapables de relaxer complètement (de l'ordre du dixième de microseconde) et d'atteindre l'équilibre thermique. Cela crée ainsi un état hors-équilibre qui se traduit par une température instantanée (T_i) des molécules. Cette température n'est pas directement mesurable, mais est bien plus grande que celle mesurée (celle du solvant, T_s). La synthèse assistée par micro-ondes a trouvé ses premières applications en chimie organique, où certaines réactions se sont révélées 1 000 fois plus rapides avec un chauffage micro-ondes qu'avec un chauffage traditionnel (bain d'huile, plaque chauffante, etc). Depuis 2000, les travaux se multiplient également dans le domaine de la synthèse de matériaux et nanomatériaux par chauffage micro-ondes.

Des travaux sont également en cours sur la digestion assistée par micro-ondes de protéines¹⁸, avant un traitement au spectromètre de masse servant à les identifier. La digestion des protéines par la trypsine est une opération longue et le passage au four à micro-ondes pendant cette phase permet de la raccourcir considérablement (5 minutes au lieu de 16 heures). Cette technique n'a été testée que sur des protéines connues et n'est peut-être pas applicable à tous les échantillons.

Notes et références

Notes

- a. Une partie peut être bouillante alors qu'une autre est froide; si cette partie froide sert de test, le reste du plat peut créer de graves brûlures.

Références

1. Éditions Larousse, « Définitions : micro-ondes - Dictionnaire de français Larousse » (<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/micro-ondes/>), sur *larousse.fr* (consulté le 15 septembre 2015).
2. En 1946, il invente le four à micro-ondes (<https://www.industrie-techno.com/en-1946-il-invente-le-four-a-micro-ondes.17801>), sur *industrie-techno.com* du 1^{er} avril 2008, consulté le 25 octobre 2017
3. (en) Microwave Oven Was Invented by Accident by a Man Who was Orphaned and Never Finished Grammar School (<http://www.todayifoundout.com/index.php/2011/08/the-microwave-oven-was-invented-by-accident-by-a-man-who-was-orphaned-and-never-finished-grammar-school/>), sur *todayifoundout.com*.
4. « Raytheon : Technology Leadership » (<https://web.archive.org/web/20130322044917/http://www.raytheon.com/ourcompany/history/leadership/>), sur *raytheon.com*, 2012 (consulté le 18 décembre 2016).
5. (en) Andrew Smith (, *Eating History : Thirty Turning Points in the Making of American Cuisine*, Columbia University Press, 8 juillet 2011, 392 p., p. 205.
6. (en) Cynthia Cockburn, *Gender and Technology in the Making* (ISBN 9780803988101).
7. Cynthia Cockburn, « Domestic technologies: Cinderella and the engineers », *Women's Studies International Forum*, série Concepts of Home, vol. 20, 1^{er} mai 1997, p. 361-371 (DOI 10.1016/S0277-5395(97)00020-4 (<http://dx.doi.org/10.1016%2FS0277-5395%2897%2900020-4>), lire en ligne (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277539597000204>)).
8. (en) R. Williams, *The social shaping of technology*, 1996.
9. (en) Wendy Faulkner, *The technology question in feminism*.
10. (en) Cynthia Cockburn, *Domestic technologies : Cinderella and the engineers*.
11. Micro-ondes, la cuisson des molécules (<https://observatoire-des-aliments.fr/cuisine/micro-ondes-la-cuisson-des-molecules>), sur *observatoire-des-aliments.fr* du 25 mars 2014, consulté le 15 décembre 2017
12. « Four à micro-ondes » (<https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-mikrowellenofen.pdf.download.pdf/faktenblatt%20mikrowellenofen%20f.pdf>), sur *Office fédéral de la santé publique*, 12 octobre 2016
13. Santé Canada, « Questions de sécurité concernant le rayonnement des fours à micro-ondes » (https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/hl-vs/alt_formats/pacrb-dgapcr/pdf/iyh-vsv/prod/micro-fra.pdf), sur *Santé Canada*, février 2002
14. Paul Benkimoun, « Alimentation et cancer, le meilleur et le pire » (https://www.lemonde.fr/vous/article/2005/02/22/alimentation-et-cancer-le-meilleur-et-le-pire_399106_3238.html?xtmc=four_micro_ondes_risques&xtcr=14), sur *Le Monde*, 22 février 2005
15. Douglas Giancoli, *Physique générale : électricité et magnétisme*, vol. 1, DeBoeck Université, 1993, 310 p. (ISBN 9782804117016), p. 287
16. Un dossier complet sur les dangers du micro-onde (<http://sain-et-naturel.com/un-dossier-complet-sur-les-dangers-du-micro-onde.html>), sur *sain-et-naturel.com*, consulté le 4 juillet 2017
17. À la chaleur des micro-ondes - fin de l'article (http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/a/article-la-chaleur-des-micro-ondes-19712.php), sur *pourlascience.fr*, consulté le 14 juillet 2017
18. (en) Microwave-assisted Protein Preparation and Enzymatic Digestion in Proteomics (<http://www.mcponline.org/content/5/4/769.abstract>), sur *mcponline.org*.

Bibliographie

- Ranganath Nayak & John Ketteringham, « Mais c'est de la magie noire ! L'apparition du four à micro-ondes », dans : *12 idées de génie auxquelles personne ne croyait*, First, 1987, p. 236-268. Traduit de : (en) *Breakthroughs!*, Rawson Associates, 1986.