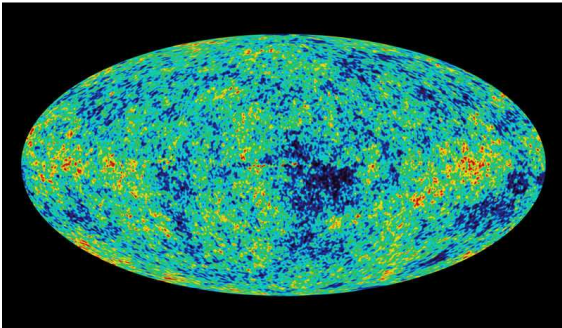


Le four à micro-ondes

L'ingénieur Percy Spencer eut une drôle de surprise lorsqu'il travaillait à la mise au point d'un radar en 1945 : sa barre au chocolat se mit à fondre à proximité d'un « magnétron » sous tension ! Un brevet suivit dans la foulée, et le premier four à micro-ondes vit le jour deux années plus tard : haut d'environ 2 mètres et pesant près de 350 kg, il coûtait alors le prix d'une voiture... Si l'objet est devenu courant de nos jours, le fonctionnement du four à micro-ondes reste encore entouré d'un certain mystère.

Les micro-ondes

Les micro-ondes font partie de la grande famille des ondes électromagnétiques, dont les différents domaines sont repérés par leur gamme de longueurs d'onde : celui des micro-ondes est compris *grosso modo* entre un millimètre et quelques dizaines de centimètres. Ces ondes sont largement utilisées dans les radars et les communications avec les satellites, les observations astronomiques ou encore dans les téléphones portables. Elles ont la propriété de se réfléchir sur les surfaces métalliques.

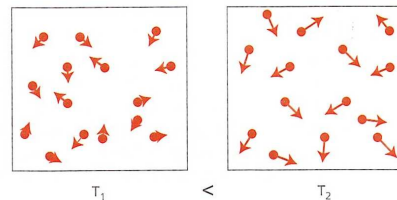


Cette carte de l'Univers peu après le Big Bang, il y a environ 13,7 milliards d'années, a été obtenue par le satellite WMAP grâce à un détecteur sensible aux micro-ondes. Les zones rouges et jaunes correspondent aux régions les plus denses, germes des futures galaxies et autres structures astronomiques (NASA 2003).

Qu'est-ce que la température ?

Avant de détailler par quel biais les micro-ondes chauffent la matière, essayons de préciser la notion de température. Ce concept familier peut être trompeur. Sans jamais avoir fait de physique, nous savons si notre soupe est chaude ou non... Pourtant, l'impression de température donnée par nos sens peut parfois nous induire en erreur (un sol en marbre semble plus froid qu'un parquet en bois, alors qu'ils peuvent avoir la même température).

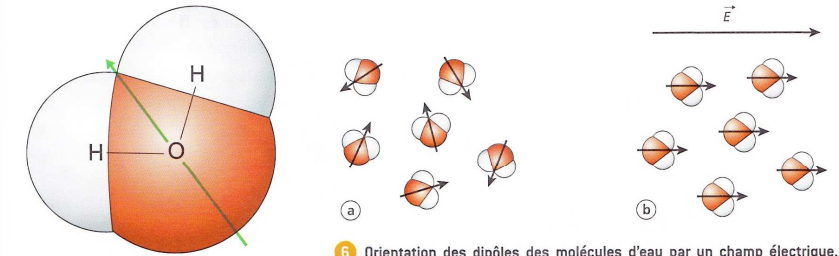
Pour le scientifique, le concept de température est plus complexe, mais il est cependant possible d'en donner une interprétation simple dans le cas de la matière gazeuse. Un gaz est en effet constitué d'atomes ou de molécules dispersés, constamment en mouvement désordonné, dont la vitesse moyenne est liée à la température du gaz : plus le gaz est chaud et plus les molécules se déplacent rapidement. La température est donc une mesure du degré d'agitation de la matière.



4 Les molécules de gaz sont animées de mouvements désordonnés et d'autant plus rapides que la température du gaz est élevée.

La molécule d'eau

Pour comprendre comment de l'eau peut être chauffée par des micro-ondes, il faut s'intéresser à la structure de cette molécule. Elle est constituée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène, liés entre eux par la mise en commun d'électrons. Ce partage n'a toutefois rien d'égalitaire : l'oxygène attire davantage les électrons que l'hydrogène (on dit qu'il est plus électronégatif), et que bien que l'ensemble soit globalement neutre, le barycentre des charges positives ne coïncide pas avec celui des charges négatives. Tout se passe comme si la molécule d'eau était constituée de deux charges distinctes de valeurs opposées (l'une positive, l'autre négative). Ces charges forment ce qu'on appelle un dipôle électrique, représenté par une simple flèche reliant les deux centres de charge (du - vers le +). Chaque molécule d'eau peut ainsi être assimilée à un dipôle électrique. Placés dans un champ électrique comme celui d'une onde électromagnétique, ces dipôles tendent à chaque instant à s'aligner dans le sens du champ.



5 Représentation de la molécule d'eau H_2O et de son dipôle associé (en vert).

6 Orientation des dipôles des molécules d'eau par un champ électrique. (a) En l'absence de champ électrique, les dipôles des molécules d'eau ont des orientations aléatoires. (b) En présence d'un champ électrique E , les dipôles s'alignent dans la direction du champ.

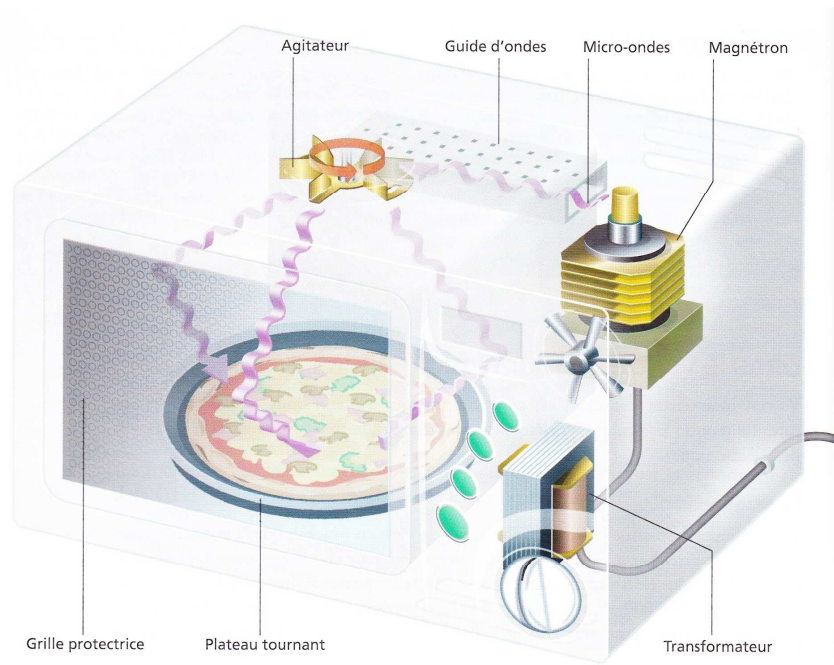
Comment chauffer avec des micro-ondes

La fréquence des ondes utilisées dans un four à micro-ondes est généralement de 2,45 GHz, ce qui signifie que le champ électrique créé change de direction $2 \times 2\,450\,000\,000$ fois par seconde (il y a deux changements de direction par période)! Ce champ électrique modifiant constamment l'orientation des molécules d'eau contenues dans les aliments, ces dernières se mettent à tourner dans un sens et dans l'autre.

Les molécules d'eau en rotation subissent ensuite des chocs avec les molécules ou les atomes voisins de l'aliment, et leur cèdent de la chaleur par diffusion thermique. Puisque l'agitation thermique des molécules de l'aliment augmente, sa température - qui en est la mesure - croît en conséquence. La diffusion thermique est essentielle pour chauffer le reste de l'aliment puisque les micro-ondes n'atteignent que les premiers centimètres des aliments avant d'être complètement absorbées. C'est donc grâce à un double phénomène de mise en rotation par le champ électrique et de diffusion thermique que les corps soumis au flux des micro-ondes s'échauffent.

Une question se pose toutefois : pourquoi avoir choisi un champ électrique qui change si souvent de direction, et précisément à la fréquence de 2,45 GHz ? Simplement parce que l'absorption de l'énergie de l'onde par les molécules d'eau est très importante à cette fréquence, ce qui assure une transformation efficace de l'énergie de l'onde en chaleur.

Dans le ventre du four à micro-ondes



9 Vue d'ensemble des éléments du four à micro-ondes. Un transformateur fournit la puissance nécessaire au magnétron. Le magnétron, rafraîchi par un ventilateur, émet un faisceau de micro-ondes (en violet). Ces ondes sont acheminées par un guide d'ondes vers un agitateur en rotation qui les répartit dans l'enceinte du four.

Le **magnétron** constitue le cœur du four, puisque c'est en son sein que la puissance électrique transportée par le câble d'alimentation est convertie en micro-ondes. Cet élément produit des ondes électromagnétiques possédant la fréquence recherchée, avec une puissance voisine 1 000 W, comparable à celle d'un radiateur moyen. Rappelons que la puissance électrique (mesurée en watts) correspond à la quantité d'énergie (mesurée en joules) consommée par unité de temps.

Le fonctionnement du magnétron est complexe. Dans les grandes lignes, une tige métallique est chauffée jusqu'à émettre une importante quantité d'électrons. Guidés par un champ électrique et un champ magnétique, ces électrons provoquent des oscillations de charge électrique sur une armature métallique placée en regard de la tige émettrice. Ce sont ces oscillations, dont la fréquence est déterminée de manière précise par la géométrie et les différents champs, qui engendrent une onde électromagnétique dans le domaine des micro-ondes.

A la sortie du magnétron se trouve le **guide d'ondes** : c'est un conduit métallique à l'intérieur duquel les ondes progressent en se réfléchissant sur les parois. Le guide d'ondes a pour fonction de diriger les micro-ondes émises par le magnétron vers l'agitateur. L'équivalent du guide d'ondes pour la lumière est la fibre optique.

Situé à la sortie du guide d'ondes, l'**agitateur** assure la dispersion des micro-ondes dans plusieurs directions, grâce aux réflexions des ondes sur une hélice métallique. La rotation de cette hélice répartit les ondes à l'intérieur du four, afin de garantir un chauffage homogène.

Le **plateau tournant** où les plats sont déposés est la seule partie visible du four. Sa rotation améliore la répartition des ondes électromagnétiques dans l'ensemble des aliments, ce qui optimise le chauffage.

Questions

1. Pourquoi les micro-ondes ne traversent-elles pas la vitre de la porte alors que l'on peut voir au travers ?
2. Pourquoi ne faut-il pas introduire de métal dans le four (qui est en métal, d'ailleurs) ?
3. Les micro-ondes sont-elles dangereuses pour la santé ?
4. Pourquoi l'eau d'un bol est-elle plus chaude en sortie du four que le bol lui-même ?
5. Pourquoi les aliments cuits au micro-ondes ne sont-ils pas dorés ?
6. Pourquoi est-il préférable de fractionner la nourriture pour la réchauffer au micro-ondes ?
7. Le four à micro-ondes est-il plus économe en énergie que la cuisson traditionnelle ? Pourquoi ?

