

# Four à micro-ondes

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

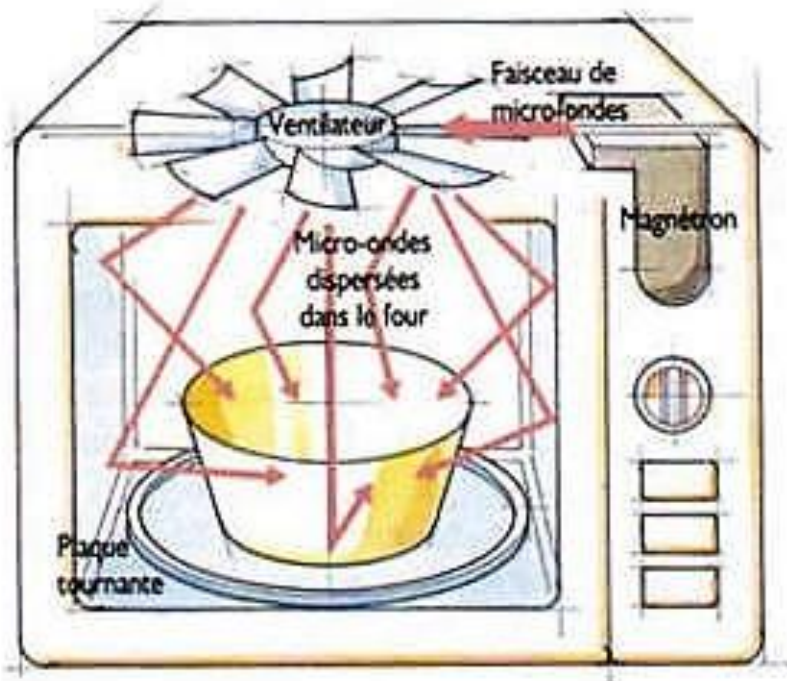
## 1 - Découverte accidentelle

Tout est parti d'un drôle de hasard. En 1945, aux États-Unis, **Percy Spencer**, qui travaille alors pour l'entreprise Raytheon, notamment spécialisée dans les radars et ayant recours à des appareils appelés **magnétrons**, prend conscience d'un phénomène étrange. Ayant mis de côté de quoi manger, à proximité d'un magnétron qu'il cherchait à améliorer, et dans une ambiance pas particulièrement chaude, **son repas avait pourtant chauffé**. Il essaye alors avec du **maïs**, et obtient très vite du **popcorn**.

## 2 - Comment les micro-ondes agissent sur les aliments ?

Les ondes du four à micro-ondes ont une fréquence de **2,45 GHz**, ce qui correspond au nombre de fois par seconde qu'un cycle se reproduit.

Dans un four traditionnel, la chaleur touche en premier la partie superficielle de l'aliment puis, pénètre progressivement jusqu'au centre de celui-ci. Dans un four à micro-ondes, **la chaleur est produite par agitation moléculaire dans la nourriture**.



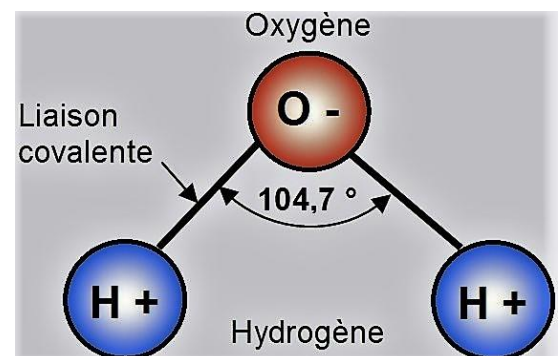
Les micro-ondes sont générées par un composant électrique : le magnétron. Celui-ci convertit la fréquence du courant du secteur en hyper-fréquences et est relié à l'enceinte du four par un guide d'onde de section rectangulaire. La répartition équitable des ondes se fait à l'intérieur du four grâce à un plateau tournant.

Le flux d'ondes envoyé par le magnétron crée un champ électrique.

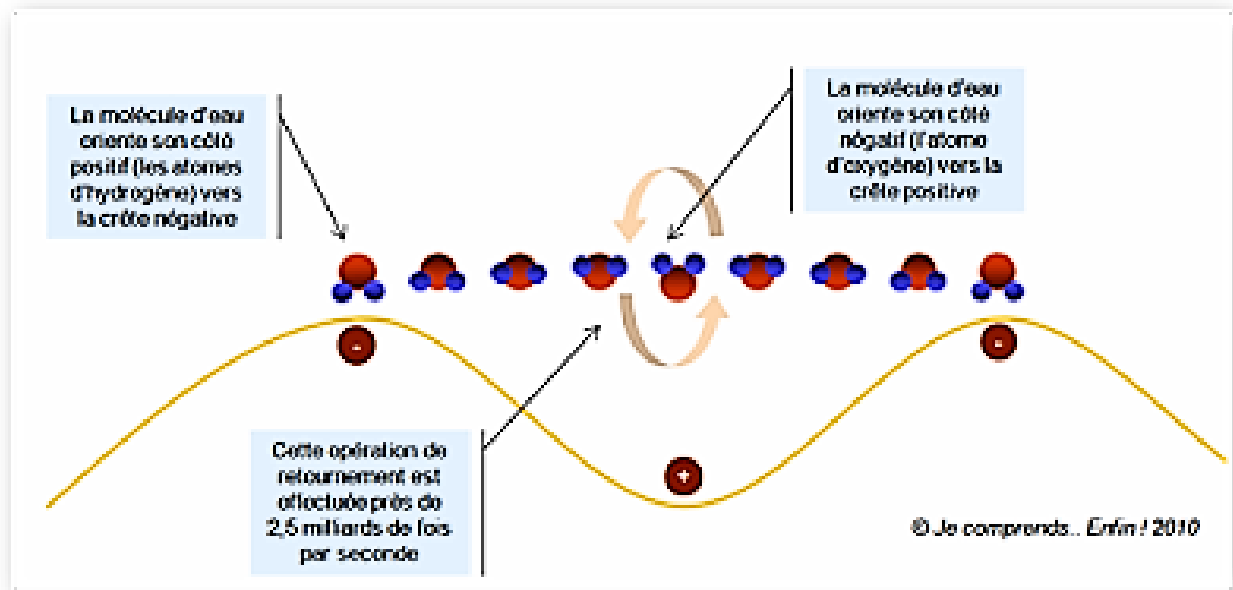
**3 - Les molécules polaires** sont des molécules possédant un **pôle négatif** et un **pôle positif**. De plus on dit qu'une molécule est polaire quand le centre géométrique des charges partielles positives n'est pas confondu avec le centre géométrique des charges partielles négatives. Les molécules polaires les plus fréquentes dans les denrées alimentaires sont les **molécules d'eau (H<sub>2</sub>O)**.

Ces petites molécules sont mobiles dans l'aliment et ont la particularité de tourner facilement.

En présence d'un champ électrique, elles ont tendance à **s'orienter en fonction de leur charge dans la direction de ce champ** (l'atome d'oxygène est attiré par la crête positive du champ électrique alors que les atomes d'hydrogène sont eux attirés par la crête négative du champ électrique). Or, le champ électrique



change de sens à un rythme extrêmement élevé à savoir 2,45 milliards de fois par seconde (fréquence : 2,450 GHz). Les dipôles vont avoir tendance à suivre les changements de sens du champ électrique



Mais chaque fois que le champ électrique fait tourner une molécule, il lui donne de l'énergie qu'elle perd en se cognant avec les molécules voisines. L'énergie fournie est d'autant plus grande que le champ électrique est grand et que les inversions de sens sont plus nombreuses. Ce sont ces chocs avec les molécules voisines qui correspondent à une augmentation de l'agitation thermique et donc de la température des denrées alimentaires. **La chaleur est donc générée par la friction des molécules entre-elles.**

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. En effet, la pénétration des micro-ondes dans l'aliment est d'environ **2 à 2,5cm, (épaisseur de peau)** ensuite la pénétration de chaleur se fait par conduction. Cela explique les irrégularités de température dans les aliments trop épais.

Nous pouvons aussi voir que pendant la cuisson, l'eau passe de l'état solide ou liquide à l'état gazeux. Mais parfois une quantité de vapeur trop importante est contenue dans l'aliment, ce qui a pour effet de le faire « **exploser** ». (Ne pas cuire un œuf au microonde...)

Le four à micro-ondes est constitué d'une enceinte métallique. Ce blindage efficace permet de limiter la fuite des ondes à l'extérieur de l'appareil où elles sont pratiquement indécélables. Ceci explique le fait qu'une grille métallique soit présente derrière la vitre de la porte. En effet la dimension des mailles (1 à 2 mm) de cette grille étant très nettement inférieure à la longueur d'onde  $\lambda = c/f = 3 \times 10^8 / 2,45 \times 10^9 = 0,1225$  m soit 12,25 cm on peut considérer que cette grille se comporte comme une plaque métallique pleine vis à vis du champ électrique.

#### **4 - Pourquoi 2,5 GHz**

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 (l'épaisseur de peau est proportionnelle à  $1/\sqrt{f}$ ).

**A une fréquence plus faible**, la rotation des molécules d'eau ne générerait pas de chaleur.

**A une fréquence plus élevée**, les molécules de surface absorberaient toutes les ondes (épaisseur de peau très faible). Les aliments brûleraient en surface et aucune onde ne passerait à l'intérieur.

## 5 - Idéal pour l'eau

Le microonde est idéal pour faire **chauffer de l'eau**, pour faire **cuire les aliments qui contiennent beaucoup d'eau** (les légumes notamment), et pour **cuire à l'eau** ou à la **vapeur** (poisson, légumes).

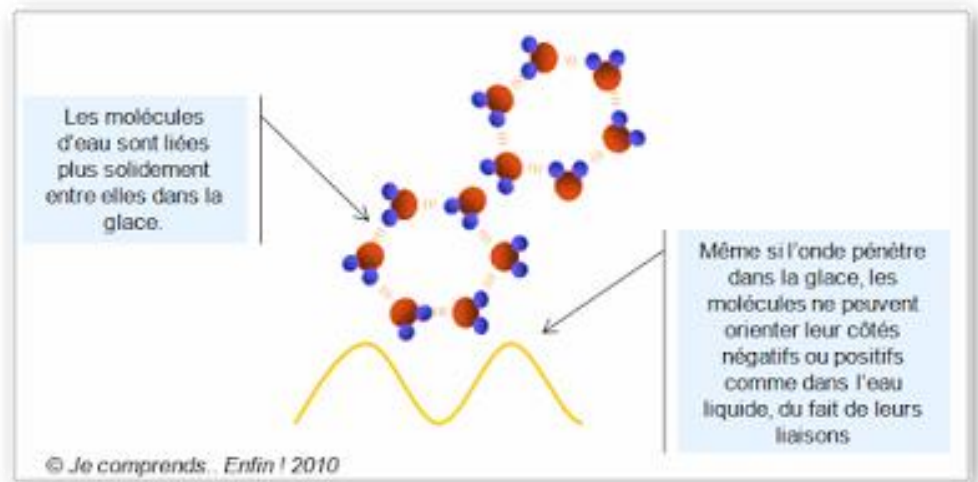
## 6 - A éviter pour décongeler !

Rappelez-vous que les micro-ondes ne pénètrent qu'à la surface des aliments (de 1 à 3 cm). Donc **seule la partie extérieure de l'aliment congelé est chauffée**.

Le reste de l'aliment est chauffé par conduction. Et comme les molécules d'eau dans la glace sont "attachées" les unes aux autres, **il faut beaucoup plus d'énergie (d'ondes) pour faire fondre de la glace que pour chauffer la même quantité d'eau**.

**Résultat : l'extérieur chauffe, puis cuit, et l'intérieur reste congelé !**

Pour décongeler un aliment, il vaut mieux **le laisser au réfrigérateur**, ou mieux, l'enfermer dans un sac plastique et **le plonger dans de l'eau**, et mettre le tout au réfrigérateur (l'eau est meilleur conducteur de la chaleur que l'air du réfrigérateur).



## 7 - Mettez votre plat à l'extérieur du plateau tournant, pas au centre !

Vous faites peut-être partie de la majorité des gens qui inconsciemment (probablement par souci d'ordre et de symétrie) mettent leur tasse ou leur plat au centre du plateau tournant.

Rappelez-vous que les ondes arrivent d'une source unique (le diffuseur) et qu'elles se réfléchissent sur les parois du four. Du coup il y a des zones où les différents champs électriques s'annulent (pas d'action sur les molécules d'eau situées à ces emplacements) et d'autres où ils s'additionnent (cette fois forte action donc fort échauffement de l'aliment).

Pour que plus d'ondes atteignent l'ensemble du plat ou du liquide à chauffer, et qu'elles soient bien réparties, **il vaut mieux mettre votre plat ou votre tasse sur l'extérieur du plateau tournant**. En effet au centre on peut avoir un champ électrique nul...



## 8 - 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**.

L'**effet de pointe**, aussi appelé **pouvoir des pointes**, est un phénomène physique expliquant l'influence d'un objet métallique pointu sur le champ électrique environnant. Les applications typiques de ce phénomène sont les paratonnerres.

Le **paratonnerre** est un dispositif inventé **en 1752 par Benjamin Franklin** Le paratonnerre n'attire pas la foudre mais rend plus probable, grâce à l'effet de pointe, le parcours d'un claquage du diélectrique que constitue l'atmosphère. Ce claquage suit un parcours souvent initié par un précurseur. Le paratonnerre captera donc la foudre dans sa zone d'influence (zone de protection), mais les éclairs qui auraient eu tendance à tomber en dehors de cette zone continueront à le faire.

## 9 - Attention au sur-chauffage ou retard à l'ébullition !

Témoignage recueilli sur internet :

Il y a environ cinq jours, mon fils de 26 ans a décidé de prendre une tasse de café instantané. Il a pris une tasse d'eau et l'a mise dans le four micro-ondes, pour la réchauffer (quelque chose qu'il avait fait à maintes reprises). Lorsque la minuterie s'est arrêtée, il a enlevé la tasse du four.

En prenant la tasse, il a noté que l'eau ne bouillait pas. Soudainement **l'eau dans la tasse, a "explosé" vers son visage.**

Lorsqu'il est arrivé à l'hôpital, le médecin qui l'a traité a mentionné que c'est un fait courant, et que l'eau seule ne devrait JAMAIS être réchauffée au four micro-ondes. Si l'eau est mise pour être réchauffée de cette manière, quelque chose d'autre doit être introduit dans la tasse, tel **un bâton de bois** ou une poche de thé (sans agrafe métallique), afin de diffuser l'énergie.

Voici ce que notre professeur de sciences avait à dire sur le sujet : "J'ai déjà constaté ce genre d'événement dans le passé. Ceci est causé par un phénomène connu sous le nom de **sur-échauffement**. Ça se produit lorsque l'eau est chauffée et plus particulièrement lorsque le contenant est neuf...Ce qui se produit est que l'eau se réchauffe plus rapidement que les bulles de vapeur qui peuvent se produire. Considérant que les bulles ne peuvent se former et dégager la chaleur accumulée, le liquide ne bout pas, chauffe, chauffe, et dépasse son point d'ébullition. Lorsque l'eau est déplacée soudainement, il se produit un choc thermique suffisant pour causer la création rapide de bulles qui expulsent l'eau chaude.

Quand l'eau bout (à 100°C au niveau de la mer), une partie de l'eau liquide se transforme en vapeur d'eau : c'est la **transition de phase** (de l'état liquide à l'état gazeux).

Pour que cette transition de phase ait lieu, il faut nécessairement la présence de ce qu'on appelle un **germe**, c'est-à-dire quelque chose qui « perturbe » l'eau liquide, par exemple la convection dans une casserole, les premières bulles de vapeur, une casserole pas totalement lisse, ou bien la présence d'un autre composé comme du sel ou du sucre.

**Voici ce qui peut arriver avec un micro-onde si le récipient est trop lisse :** en surface, un petit volume d'eau se réchauffe très rapidement, sans présenter de signes extérieurs d'ébullition (le dégagement de bulles par exemple). On dit que l'eau devient **surchauffée**, c'est à dire qu'elle se réchauffe plus rapidement que les bulles de vapeur peuvent se former.

Lorsque la tasse est bougée ou que l'eau est remuée (quand on sort la tasse du four), toute la chaleur qui n'a pas pu s'échapper de l'eau sous forme de bulles de vapeur, est dégagée en quelques secondes : l'eau se met soudainement à bouillir et peut déborder de la tasse et causer des brûlures.

**Comment éviter le sur-chauffage ?** Faites chauffer l'eau avec du **sucre** ou du **sel**, ou mettez un **objet en bois ou en plastique** dans l'eau (cuillère, baguette, etc.), ou utilisez un **récipient pas trop lisse**, ou **remuez l'eau** avec une cuillère avant de retirer la tasse du four.

**Cette sur-ébullition ne peut avoir lieu dans une casserole.** En effet dans une casserole la chaleur se transmet de l'extérieur vers l'intérieur, donc de parois vers le centre du liquide. Les parois sont plus chaudes que l'eau, ce qui favorise la formation des bulles, limitant du coup la sur-ébullition. De plus, le milieu ne se chauffe que par convection et qui dit **convection** dit **agitation**.

## 10 – Lorsqu'on y met un œuf, celui-ci explose

Quand on fait cuire un œuf cru au micro-onde, le résultat est **une explosion de l'œuf**. les micro-ondes chauffent les molécules d'eau très vite ce qui ne leur laisse pas le temps de s'échapper par les pores de la coquille contrairement à un œuf cuit à feu doux...

De plus le blanc d'œuf cru est une substance complexe contenant un mélange **de molécules tensioactives** (ayant une partie hydrophile et une partie hydrophobe comme dans toutes les **protéines**) et de molécules d'eau. L'état du blanc d'œuf dépend de sa teneur en eau et de la température, lorsqu'il est à une température inférieure à 60°C les molécules tensioactives sont repliées sur elle-même, donc indépendantes les unes des autres, et les molécules d'eau circulent librement dans la substance, ce qui lui laisse une certaine fluidité. Une fois que la température atteint **60°C** les molécules tensioactives se déplient formant des chaînes moléculaires (**gel**) qui font office de **barrage aux molécules d'eau**...

Du coup le phénomène s'explique aisément :

Lorsque le micro-onde se met en marche les molécules d'eau contenues dans le jaune d'œuf s'agitent tout en restant coincées dans le cœur à cause du blanc d'œuf impénétrable, ce qui va créer une surpression à l'intérieur...et PAFFF

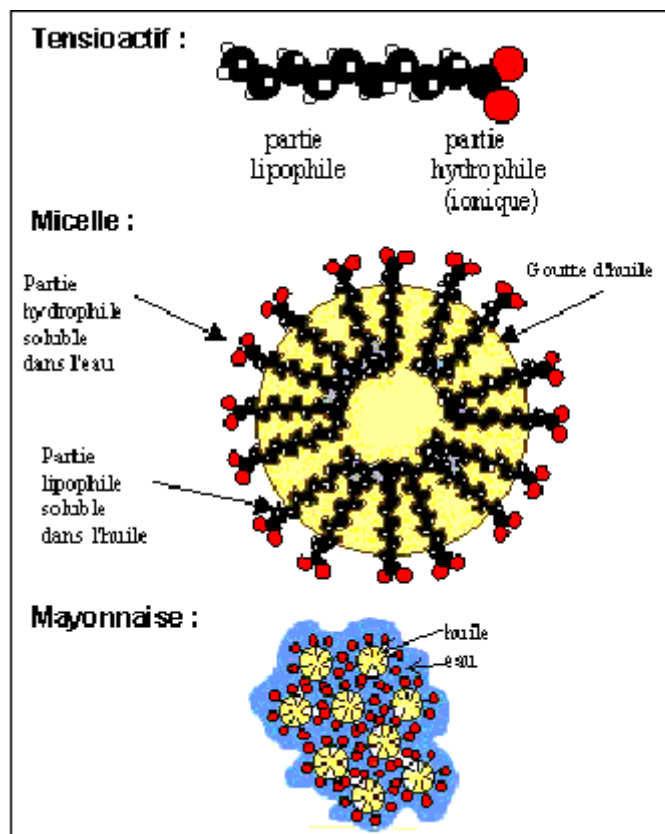
Représentation d'une molécule tensioactive



## Mayonnaise

Sachant que le jaune d'œuf contient un tensioactif nous l'avons utilisé dans la mayonnaise afin d'obtenir une émulsion stable car **l'eau et l'huile ne sont pas miscibles seuls**.

Le jaune d'œuf est constitué de 50% d'eau et contient un composé tensioactif, **la lécithine**. Lorsqu'on agite énergiquement le mélange huile-œuf, les molécules de tensioactifs enrobent les gouttelettes d'huile, en mettant à leur contact leur partie hydrophobe, et les dispersent dans l'eau, en se liant aux molécules d'eau par leur partie hydrophile. La mayonnaise est donc une émulsion stable d'huile dans l'eau.



## 11 - Le rayonnement et la santé

Le niveau de fuite maximal toléré par les normes est de **5 mW/cm<sup>2</sup> mesuré à 5 cm**. Une étude suisse donne quelques éléments : le rayonnement de fuite moyen mesuré pour des fours usagés est de 0,41 mW/cm<sup>2</sup> soit 10 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 égal au maximum toléré, est **de 0,256 W/kg** soit 10 fois moins que la valeur limite recommandée pour un mobile GSM.

Pour les fours neufs et la majorité des fours usagés le rayonnement est inférieur à celui d'une connexion Wi-Fi. Si le four n'est pas endommagé, étant données les distances et durées d'utilisation, l'exposition aux ondes électromagnétiques (comparaison du type de fréquences utilisées dans les deux applications et de leurs implications sur la santé à faire) est **très inférieure à celle liée à l'utilisation d'un téléphone mobile**.

Pour vérifier si votre four à micro-ondes ne fuit pas, c'est très simple. Il suffit d'abord de placer un téléphone mobile allumé à l'intérieur du four, puis de refermer la porte du four sur lui. **Laissez votre four éteint**, ne l'allumez surtout pas (cela grillerait votre téléphone et sans doute votre four). Composez alors avec une autre ligne le numéro du mobile à l'intérieur du four. S'il sonne, c'est que le four n'est plus blindé et qu'il laisse passer les hyperfréquences micro-ondes, les siennes comme celles de la téléphonie mobile.

## 12 - Eviter le plastique dans le micro-ondes

Il convient d'utiliser des contenants adaptés pour éviter toute toxicité. Ainsi, l'ANSES (Agence nationale de sécurité alimentaire française) rappelle que le réchauffement d'aliments au micro-ondes dans certains contenants en plastique peut exposer à une source de **bisphénol A – un perturbateur endocrinien**.

Comme de nombreux pays européens, la France a mis en place des mesures de restrictions de l'usage du bisphénol A. Depuis **janvier 2015**, ce composé chimique est interdit dans toutes boîtes ou bouteilles à usage alimentaire

D'une manière générale mieux vaut éviter d'utiliser des contenants en plastique au four à micro-ondes même si le pictogramme "va au four à micro-ondes" est présent. De même, évitez de passer les films alimentaires au four à micro-ondes et si vous ne pouvez pas faire autrement, ne les mettez pas en contact avec les aliments.

### Quelques rappels concernant les emballages et les techniques de réchauffage

Pour bien utiliser son four à micro-ondes, l'Anses recommande de :

- toujours **vérifier avant utilisation que l'ustensile est compatible** avec un usage au four à micro-ondes (présence d'une indication du fabricant) et en bon état
- **ne pas recycler d'emballages à usage unique** en récipients micro-ondables (ex. réutilisation d'une barquette alimentaire)
- privilégier un temps de réchauffage long mais à faible puissance (ex : **préférer 2 minutes à 650W à 50 secondes à 1270W**), notamment en l'absence de consignes précises sur l'emballage d'un aliment
- **éviter l'utilisation du four à micro-ondes pour le réchauffage des biberons** : en effet, l'hétérogénéité des températures obtenues au sein de l'aliment est susceptible de provoquer des brûlures à l'enfant

Par ailleurs, l'Agence recommande d'éviter d'utiliser des emballages abîmés ou présentant des traces d'usure.