

PSI* 2016 - 2017
TD PHYSIQUE N°13 - OEM

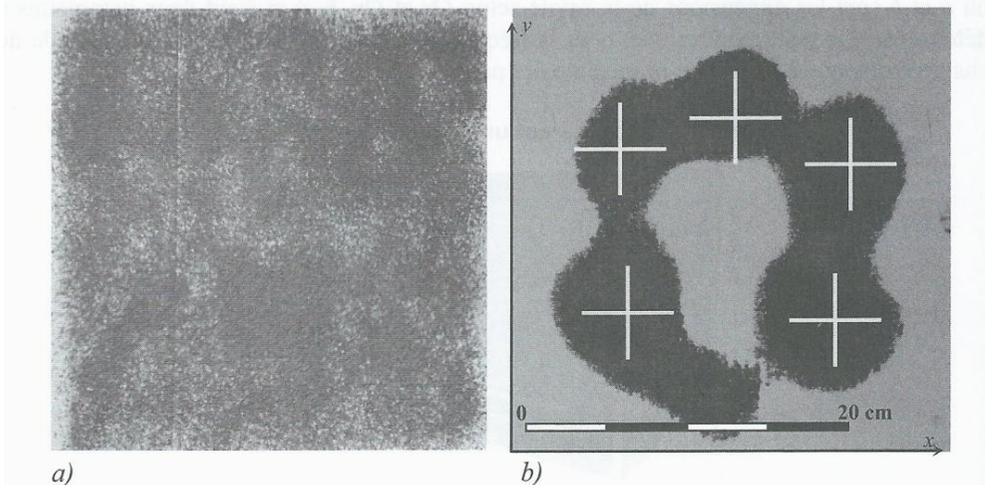
EXERCICE 1 : Four à micro-ondes

Un four à micro-ondes est une cavité parallélépipédique dans laquelle règne un champ électromagnétique créé par un magnétron.

La distribution de ce champ dans la cavité est inhomogène ; cet exercice se propose de réaliser une cartographie sommaire du champ en 2D au niveau du plateau.

Le « détecteur de champ » est constitué de fins copeaux de chocolat uniformément répartis sur la plaque inférieure, le plateau tournant ayant été ôté :

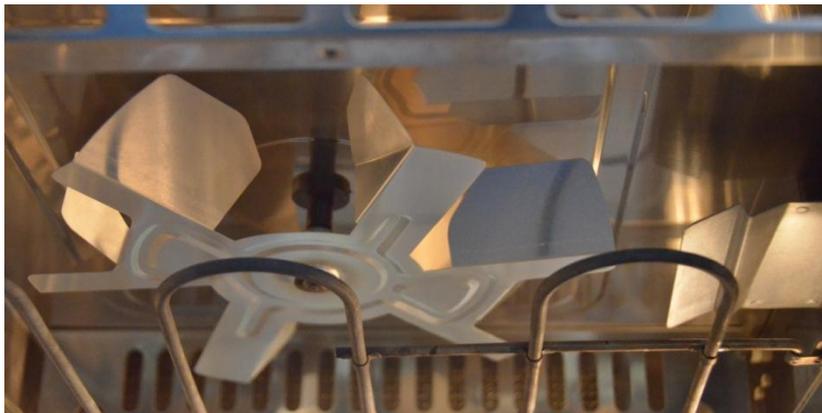
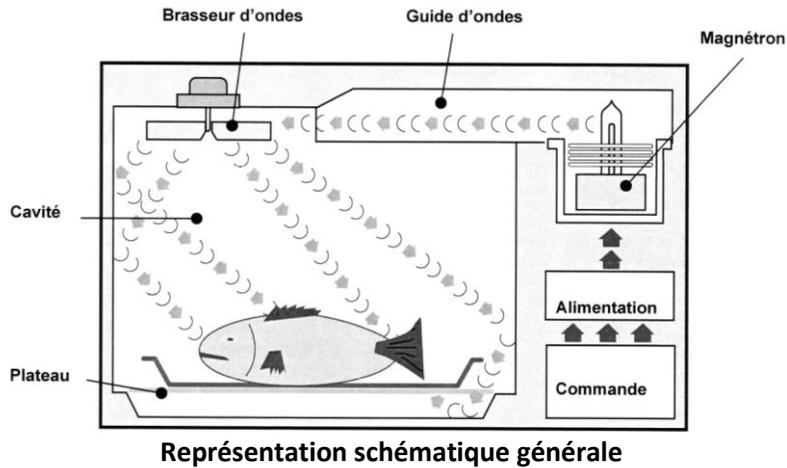
- a) Le détecteur de champ électrique est réparti uniformément sur une plaque.
b) Après quelques secondes de cuisson, le chocolat a fondu par endroit... On a retiré le chocolat qui n'a pas été affecté par le champ et on a repéré la position des zones fondues.



On cherche le champ sous la forme : $\vec{E} = E_0 \sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{m\pi y}{b}\right) \cos(\omega t) \vec{e}_z$, où a et b sont respectivement la largeur et la profondeur de la plaque inférieure ; a = b = 30 cm.

1. Commenter la forme de ce champ ; montrer que les relations de passage du champ \vec{E} en x = 0 et a et y = 0 et b impliquent que n et m sont des entiers.
2. Quelle est l'équation aux dérivées partielles vérifiée par le champ \vec{E} dans la cavité ?
3. Déterminer la relation que doivent satisfaire ω , n et m pour que \vec{E} soit solution de 2.
4. En utilisant le cliché b) et les résultats précédents, déterminer le couple (n, m) puis retrouver la fréquence du magnétron.
5. Quel est le constituant des aliments qui interagit avec le champ électrique ? Pourquoi a-t-on utilisé des copeaux de chocolat et non du chocolat en poudre ?
6. Quelles sont les pièces du four à micro-ondes qui permettent l'homogénéisation du champ et l'homogénéisation du chauffage des aliments ?
7. Justifier qualitativement le double intérêt de la grille placée sur la face intérieure de la porte du four à micro-ondes.

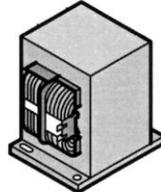
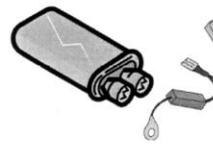
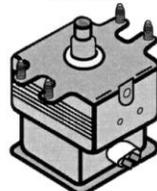
DOCUMENTS FOUR A MICRO-ONDES

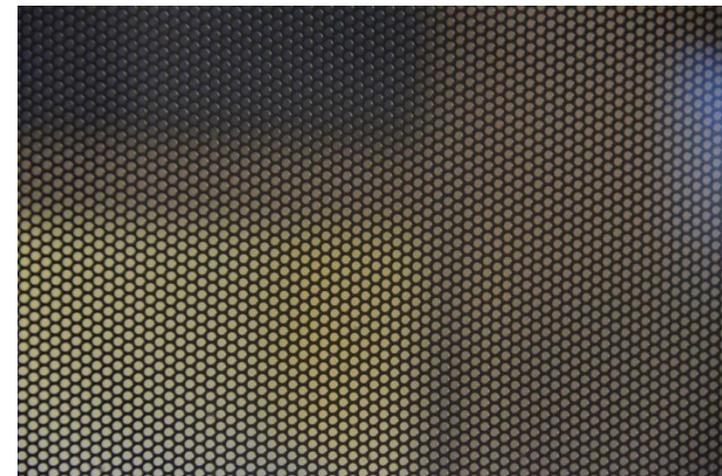


Sortie du guide d'ondes et « brasueur d'ondes »

	Eau	Cyclohexane
Température à $t=0$ (°C)	19,6	19,3
Température à $t=30s$ (°C)	91	22

Élévation de température de mêmes quantités d'eau et de cyclohexane placées simultanément dans un four μ -ondes

Désignation	Fonction	Caractéristiques
 Transformateur HT	<p>Le transformateur permet l'alimentation haute tension du circuit secondaire sur la cathode du magnétron ainsi que la basse tension sur le chauffage filament.</p> <p>Une tension de 230V~ est délivrée à l'enroulement primaire du transformateur haute tension.</p> <p>Deux tensions sont alors générées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3,2V~ en BT qui appliqués aux bornes du magnétron assure le chauffage du filament. • 2100V~ en HT qui sont appliqués au doubleur de tension et au magnétron. Une extrémité de cet enroulement et l'anode du magnétron sont reliées à la masse du four. 	<p>3 enroulements</p> <p>Primaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 220/240V~ • 5A • 2.Ω <p>Secondaire haute tension :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2100V~ • 2 A • 80 à 160Ω <p>Secondaire Basse tension :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3,2V~ • 0,2Ω
 Doubleur de tension Condensateur et diode	<p>Le doubleur de tension transforme la tension de 2100V~ en tension négative pulsée d'environ 4000V~.</p> <p>Il est constitué de deux éléments :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un condensateur qui emmagasine l'énergie électrique durant $\frac{1}{2}$ période. La décharge est assurée par une résistance de 10MΩ câblée en parallèle sur la diode ou incorporée au condensateur. • Une diode qui associée au condensateur permet de convertir la Haute Tension alternative en tension négative. Elle est montée en inverse du courant anodique du magnétron. 	<p>ATTENTION</p> <p>Le condensateur haute tension peut rester chargé d'environ 30 secondes à 1 minute après que le four a été mis hors tension.</p> <p>Après avoir débrancher l'alimentation du four :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Attendre quelques minutes • Décharger le condensateur en appliquant les consignes du chapitre sécurité (page 84) • 0,95 à 1,15 μF
 Magnétron	<p>C'est un oscillateur émettant de l'énergie électromagnétique à la fréquence de 2450MHz. L'énergie haute fréquence est rayonnée dans la cavité pour être absorbée par l'aliment à chauffer.</p> <p>Une sécurité thermique à réarmement automatique, fixée sur le magnétron, coupe à 120°C l'alimentation du transformateur en cas de surchauffe du magnétron.</p> <p>Il est alimenté en haute tension</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tube électronique du type diode à vide



IV. — Pression de radiation

Le but de cette partie est de justifier l'expression de l'équation d'état du rayonnement utilisée dans la partie II.B. Le rayonnement cosmologique peut être considéré comme une superposition d'ondes électromagnétiques planes progressives monochromatiques de fréquences et de directions de propagation différentes. On note u l'énergie du rayonnement par unité de volume, moyennée en temps et en espace et p la *pression de radiation*, c'est-à-dire la force par unité de surface, moyennée en temps, qu'exercerait le rayonnement sur les parois parfaitement réfléchissantes d'une enceinte qui le contiendrait. Avec ces notations, on veut établir l'équation d'état du rayonnement : $p = u/3$. Pour cela, on commence par étudier la réflexion d'une onde électromagnétique monochromatique en incidence oblique sur un miroir métallique parfaitement conducteur.

L'espace est rapporté au repère orthonormé direct (O, \mathcal{B}) avec $\mathcal{B} = (\hat{e}_x, \hat{e}_y, \hat{e}_z)$. Le demi-espace $x < 0$ est le vide et le demi-espace $x \geq 0$ est rempli par un métal de conductivité électrique infinie. L'onde incidente est une onde plane progressive monochromatique de pulsation ω , de longueur d'onde λ , polarisée rectilignement dans la direction \hat{e}_z et se propageant dans la direction donnée par le vecteur d'onde $\vec{k}_i = k \cos(\theta) \hat{e}_x + k \sin(\theta) \hat{e}_y$ où $k = 2\pi/\lambda$.

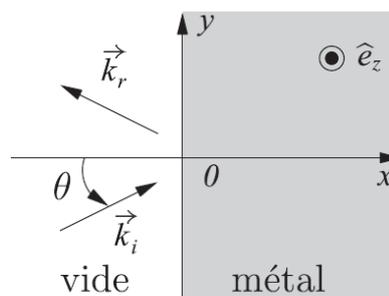


Figure 6

En un point M de coordonnées (x, y, z) dans \mathcal{B} , à l'instant t et en représentation complexe, le champ électrique de cette onde incidente s'écrit :

$$\vec{E}_i(M, t) = E_{0i} e^{j(\omega t - \vec{k}_i \cdot \vec{OM})} \hat{e}_z \quad \text{où} \quad E_{0i} = \text{cste} \in \mathbb{R}^{+*} \quad \text{et} \quad j^2 = -1.$$

□ 22 — Déterminer la représentation complexe des composantes du champ magnétique \vec{B}_i de l'onde incidente dans \mathcal{B} .

Cette onde provient des $x < 0$. Elle rencontre en $x = 0$ le miroir métallique parfaitement conducteur et donne naissance à une onde plane réfléchiée, caractérisée par sa pulsation ω_r , ses champs électrique \vec{E}_r et magnétique \vec{B}_r , ainsi que par son vecteur d'onde \vec{k}_r . La représentation complexe du champ électrique associé à cette onde s'écrit :

$$\vec{E}_r(M, t) = \vec{E}_{0r} e^{j(\omega_r t - \vec{k}_r \cdot \vec{OM})} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \vec{E}_{0r} = \text{cste} \\ \vec{k}_r = k_{rx} \hat{e}_x + k_{ry} \hat{e}_y + k_{rz} \hat{e}_z \end{cases}$$

□ 23 — Justifier que le champ électrique est toujours nul dans le métal. En traduisant les conditions aux limites sur le champ électrique en $x = 0$, montrer que la pulsation de l'onde réfléchiée est la même que celle de l'onde incidente, puis déterminer les composantes de \vec{k}_r dans \mathcal{B} en fonction de k et θ . Que constatez-vous ?

□ 24 — Montrer que $\vec{E}_{0r} = -E_{0i} \hat{e}_z$. Donner alors l'expression dans \mathcal{B} de la représentation complexe du champ \vec{E}_r de l'onde réfléchiée. En déduire, toujours dans \mathcal{B} celle de \vec{B}_r dans .

□ 25 — En utilisant les résultats obtenus précédemment, déterminer les expressions réelles du champ électrique \vec{E} et du champ magnétique \vec{B} résultant de la superposition des ondes incidente et réfléchiée dans le demi-espace $x < 0$. On exprimera les résultats dans \mathcal{B} .

□ 26 — Déterminer l'expression de u , définie comme la moyenne temporelle et spatiale de la densité volumique d'énergie de l'onde résultante. Cette expression fait-elle intervenir θ ?

□ 27 — On note \vec{j}_s l'expression réelle de la densité de courant surfacique qui prend naissance sur la surface $x = 0$ du miroir. A l'aide des conditions aux limites relatives au champ magnétique en $x = 0$, déterminer les composantes de \vec{j}_s dans \mathcal{B} .

□ **28** — Un élément d'aire dS de la surface $x = 0$ du miroir est soumis à la force élémentaire $d\vec{F} = \frac{1}{2} \vec{j}_s \wedge \vec{B} dS$. Préciser ce que représente cette force et justifier la présence du facteur $\frac{1}{2}$ dans l'expression. Calculer la valeur moyenne temporelle p_θ de la quantité

$$\pi_\theta = \frac{d\vec{F}}{dS} \cdot \hat{e}_x \quad .$$

Cette quantité $p_\theta = \langle \pi_\theta \rangle_t$ est appelée *pression de radiation d'une onde sous l'incidence θ* .

□ **29** — L'onde incidente peut arriver de la région $x < 0$ sur le miroir dans toutes les directions possibles (en trois dimensions). En supposant que toutes les directions sont équiprobables, donner l'expression de la pression de radiation p , qui est définie comme la moyenne sur toutes les directions de p_θ . En déduire l'équation d'état du rayonnement.

