

## Expérience 7

### Les micro-ondes

#### I. Introduction et objectifs

De nos jours le recourt aux micro-ondes est chose courante dans des domaines aussi variés que le téléphone cellulaire, le "micro-ondes" ou les systèmes de réception par satellite de la télévision. Il est donc important de comprendre les caractéristiques de ces ondes. Les ondes centimétriques, ou micro-ondes, sont des ondes électromagnétiques dans le domaine des hyperfréquences qui s'étend de 1 GHz à plus de 100 GHz. Ces ondes suivent les lois de l'optique comme les ondes visibles, mais à cause de leur longueur d'onde de l'ordre du centimètre, les effets d'interférence apparaissent à ces dimensions. Cette expérience met en évidence des phénomènes liés au caractère ondulatoire des ondes électromagnétiques. On démontre cet aspect ondulatoire par l'observation d'interférence entre deux ondes. Le dispositif de cette expérience permet de réaliser des expériences d'optique en travaillant avec des micro-ondes dont la longueur d'onde est de 2,85 cm.

#### Objectifs

Après cette expérience, vous serez en mesure :

1. D'observer les interférences produites par une onde électromagnétique traversant une double fente
2. Déterminer la longueur d'onde d'une source de micro-ondes par deux méthodes : un interféromètre de Michelson et un système de fente double (expérience de Young).

#### II. Équipements

- Émetteur et récepteur micro-ondes
- Plateau avec règle et rapporteur d'angle
- Plaques réfléchissantes (grand réflecteur)
- Plaque semi-réfléchissante
- Système fente simple
- Système fente double

#### Partie A- L'interféromètre de Michelson

Pour que des ondes de fréquence identique puissent interférer, il faut que le déphasage entre ces ondes soit constant, c'est-à-dire qu'elles soient cohérentes. L'interféromètre de Michelson (figure 1) permet de faire la superposition de deux ondes qui se déplacent dans la même direction après avoir parcouru des chemins différents. Une plaque semi-réfléchissante  $C$  partage le faisceau incident en une partie réfléchi et une partie transmise. Ces deux faisceaux sont réfléchis par le miroir fixe  $A$  et le miroir mobile  $B$ .

Si la différence de trajet entre les deux ondes est égale à  $m\lambda$  alors il y aura interférence constructive et le récepteur enregistrera un maximum. Si la différence de trajet est égale à  $(m + 1/2)\lambda$  alors il y aura interférence destructive et le récepteur enregistrera un minimum.

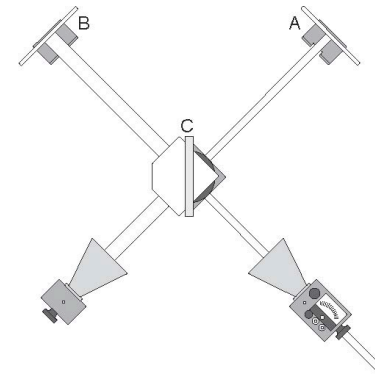
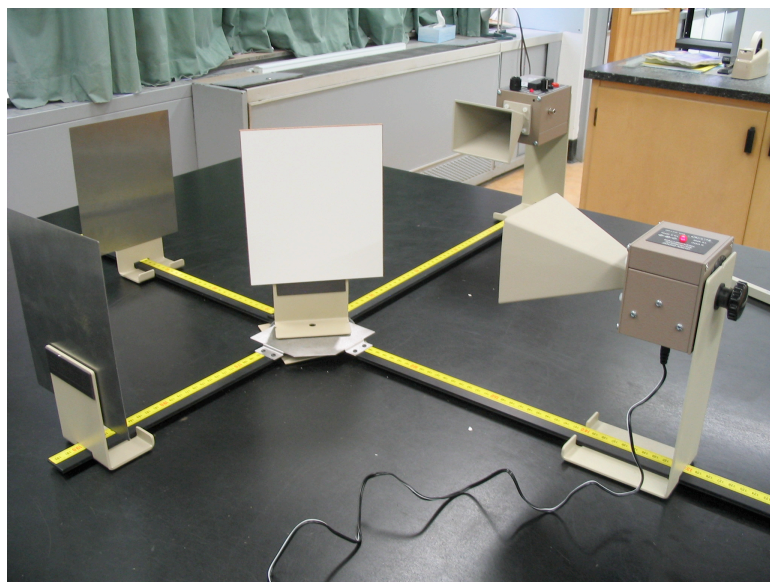


Figure 1



### Description du montage

Vous disposez d'un émetteur et d'un récepteur de micro-ondes opérant à une certaine fréquence. Le montage comporte aussi 3 rails métalliques fixés à un disque central. Le disque est gradué sur 360° degrés de manière à pouvoir ajuster ou mesurer l'angle entre le récepteur et l'émetteur. Les rails sont gradués afin de pouvoir mesurer les distances. La longueur d'onde est d'environ 3 cm, mais l'expérimentation permettra de la mesurer avec précision.

### Procédure expérimentale : Préparatifs

**Les récepteurs** ne nécessitent aucune alimentation externe pour fonctionner. Un Indicateur permet de faire une lecture du signal capté. En fait cet indicateur ne permet que des mesures relatives (unités arbitraires d'intensité ou u.a.i.), et ce tant que son gain (bouton gradué) est maintenu constant. **Tous les émetteurs** doivent être alimentés pour fonctionner. Notez qu'il est déconseillé de regarder directement dans la sortie de l'émetteur (de proche) pendant qu'il produit des micro-ondes.

### Procédure expérimentale : manipulation

1. Réaliser le montage de la figure 1.
2. Déplacer le réflecteur A afin d'observer des maxima et des minima.
3. Placer le réflecteur A afin d'obtenir une lecture maximale. Notez cette position dans le tableau 1.
4. En éloignant doucement le réflecteur A de la plaque semi-réfléchissante traversez au moins 10 minima et placez le réflecteur sur le maximum suivant. Notez ces valeurs.

Tableau 1

Position initiale $x_1$	Nombre de minima traversé $m$	Position finale $x_2$
cm		cm
$\pm$		$\pm$

### Rapport

1. Utilisez les données du tableau 1 afin de déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  et son incertitude  $\Delta\lambda$ .
2. Calculez le % d'écart.
3. L'interféromètre de Michelson est également utile afin de mesurer de petit déplacement (du miroir mobile). Discutez l'effet sur la précision de ces déplacements si de la lumière visible était utilisée plutôt que des micro-ondes.

## Partie B L'expérience de Young

Un système de fente double peut être utilisé afin de permettre d'observer le phénomène d'interférence (figure 2).

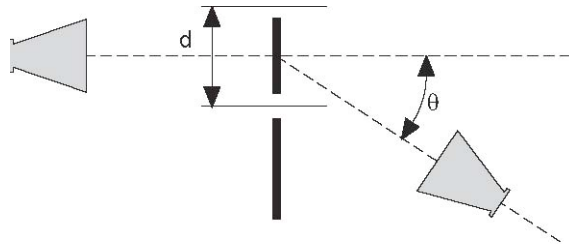
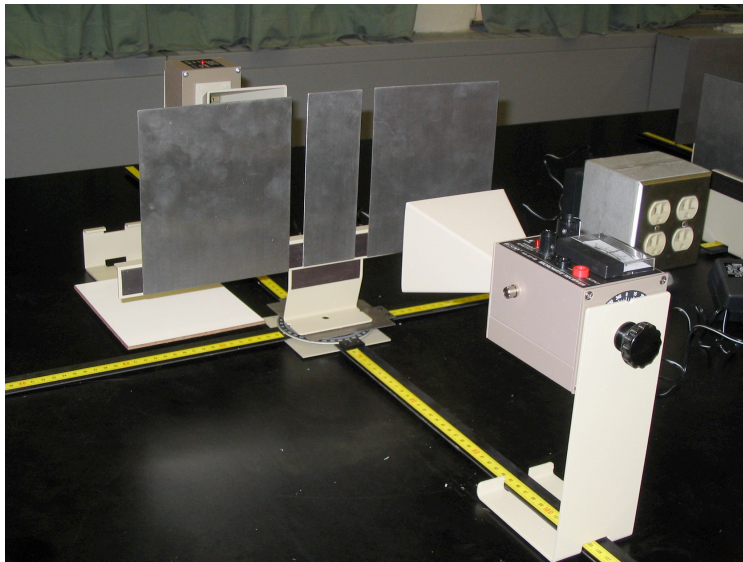


Figure 2



Pour une distance  $d$  séparant les deux fentes, la position des maxima est déterminée par  $d \sin \theta = m \lambda$ . (Où  $\theta$  = l'angle de détection,  $\lambda$  = la longueur d'onde et  $m$  est un nombre entier).

## Procédure expérimentale : préparatif

On élimine la plaque semi-réfléchissante et on remplace la petite plaque centrale par une plaque métallique munie de deux fentes faisant face à l'émetteur (figure 3).

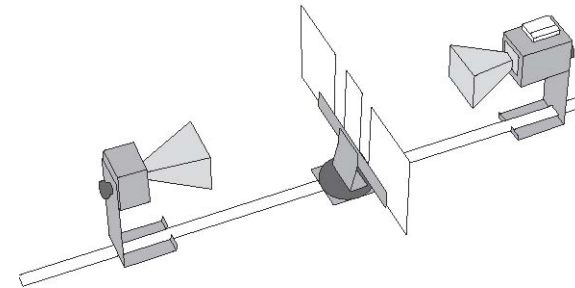


Figure 3

La largeur des fentes (environ 1,5 cm) est inférieure à la longueur d'onde et par conséquent, les ondes diffractent beaucoup. On pourra donc considérer les deux fentes comme deux sources ponctuelles. Ainsi, de l'autre côté de ces fentes, il y aura une figure d'interférence donnant lieu à des maxima et des minima d'intensité. En changeant l'angle du récepteur (à distance fixe par rapport au centre), on pourra déterminer expérimentalement les positions angulaires de ces maxima.

## Procédure expérimentale : manipulation

1. Mesurez la distance  $d$  entre les fentes (centre à centre).
2. Réalisez le montage illustré en prenant soin d'aligner le bras de l'émetteur vis à vis 180° et de maintenir un angle de 90° entre le plan des fentes et le bras de l'émetteur tout au long de l'expérience.
3. On doit maintenir la distance entre les fentes et le récepteur (le milieu du cône) constante. Placez le récepteur le plus loin possible du centre tout en étant stable sur le rail. Mesurez cette distance  $R$  à l'aide d'une règle.

- Ajustez le gain du récepteur de façon à faire une lecture de 90% lorsqu'il est orienté à  $0^\circ$  (maximum central). Maintenez cet ajustement pour le reste de l'expérience.
- En tournant le bras sur l'axe central, mesurez l'intensité relative à tous les  $5^\circ$  (de  $0^\circ$  à  $90^\circ$ ). Reportez ces valeurs dans le tableau 2.

**Tableau 2 Intensité relative**

Angle	Lecture	Angle	Lecture
$0^\circ$		$45^\circ$	
$5^\circ$		$50^\circ$	
$10^\circ$		$55^\circ$	
$15^\circ$		$60^\circ$	
$20^\circ$		$65^\circ$	
$25^\circ$		$70^\circ$	
$30^\circ$		$75^\circ$	
$35^\circ$		$80^\circ$	
$40^\circ$		$85^\circ$	

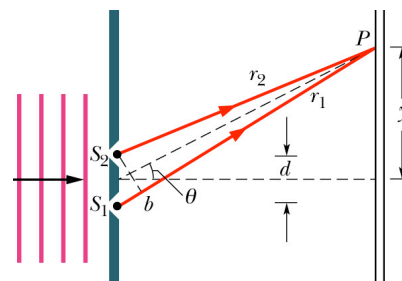
- Mesurez l'angle de la 2<sup>e</sup> interférence constructive (après le maximum central) à droite et à gauche. Si la 2<sup>e</sup> interférence n'est pas assez claire, prenez la 1<sup>ère</sup>. Reportez ces valeurs dans le tableau 3.

### Rapport

- Utilisez les données du tableau 2 afin de tracer la courbe d'intensité.
- Dans la partie B, si connaît la distance entre les fentes  $d$ , la distance du récepteur par rapport au centre  $R$  ainsi que l'angle par rapport au centre, montrez que la différence de parcours est donnée par l'équation (1) (indice : utilisez le théorème de Pythagore):

#### Équation 1

$$\delta = r_1 - r_2 = \sqrt{R^2 + \frac{d^2}{4} + Rd \sin \theta} - \sqrt{R^2 + \frac{d^2}{4} - Rd \sin \theta}$$



- Déterminez la longueur d'onde utilisée en complétant le tableau ci-dessous.

**Tableau 3**

Analyse d'une constructive produite par une fente double

$m$	$d$	$R$	$\theta_d$	$\theta_g$	$\theta_{moy}$	$\delta$	$\lambda$
	cm	cm	$^\circ$	$^\circ$	$^\circ$	cm	cm

$m$  = ordre de l'interférence étudié (1 ou 2)

$d$  = distance entre les fentes

$R$  = distance entre le récepteur et les fentes

$\theta_d$  = angle de l'interférence constructive à droite

$\theta_g$  = angle de l'interférence constructive à gauche

$\theta_m$  = angle moyen de l'interférence constructive

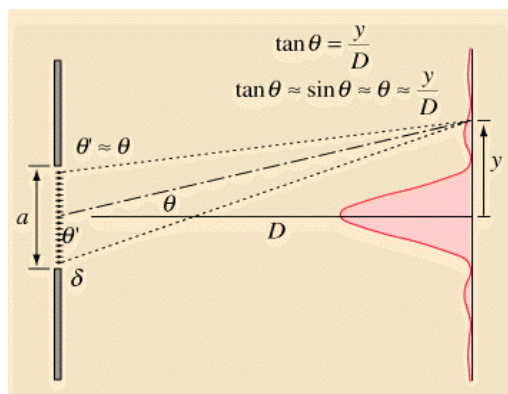
$\delta$  = différence de parcours (**calcul à joindre**)

$\lambda$  = longueur d'onde (**calcul à joindre**)

- Si on fait l'approximation que les rayons  $r_1$  et  $r_2$  issus des deux fentes sont parallèles ( $R \gg d$ ), démontrez que  $\delta = d \sin \theta$ .
- Utilisez cette approximation pour calculer  $\delta$  et commentez sa validité pour le montage actuel.

## Partie C La diffraction

Une fente simple est assimilée à une série de sources ponctuelles. Lorsque la différence de marche entre la première source et la dernière est égale à une longueur d'onde, il y a interférence destructive.



Il y a interférence destructive complète pour :

### Équation 2

$$a \sin \theta = m \lambda \quad \text{avec } m = \pm 1; \pm 2; \pm 3 \dots$$

### Procédure expérimentale : manipulation

1. En utilisant deux plaques métalliques réalisez une fente de 7 cm de largeur.
2. En tournant le bras sur l'axe central, mesurez l'intensité relative à tous les 5° (de 0° à 90°). Reportez ces valeurs dans le tableau 4.
3. Mesurez l'angle de la 1<sup>ère</sup> interférence destructive (après le maximum central) à droite et à gauche. Reportez ces valeurs dans le tableau 5.

Tableau 4 Intensité relative pour une fente de 7 cm.

Angle	Lecture	Angle	Lecture
0°		45°	
5°		50°	
10°		55°	
15°		60°	
20°		65°	
25°		70°	
30°		75°	
35°		80°	
40°		85°	

Tableau 5

Analyse d'une destructive produite par une fente simple

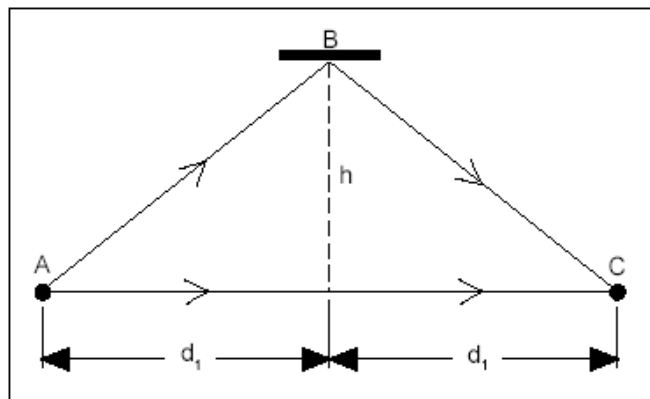
$m$	$a$	$\theta_d$	$\theta_g$	$\theta_{moy}$	$\delta$	$\lambda$
	cm	°	°	°	cm	cm
1	7					

### Rapport

1. Utilisez les données des tableaux 4 et 5 afin de tracer la courbe d'intensité.
2. Calculez la longueur d'onde de la source utilisée.

## Partie D Le miroir de Lloyd

En utilisant un réflecteur, on peut produire de l'interférence à l'aide d'une seule source.



Les conditions d'interférence constructive peuvent s'exprimer de la façon suivante:

Équation 3

$$\sqrt{d_1^2 + h^2} - d_1 = \frac{m\lambda}{2}$$

### Procédure expérimentale : manipulation

1. Réalisez le montage ci-contre. Pour de meilleurs résultats, le récepteur doit être le plus éloigné possible du transmetteur ( $D=1$  m).
2. Éloignez doucement le réflecteur de la plaque centrale. Remarquez que la lecture sur le récepteur passe par une série de minima et de maxima.
3. Placez le réflecteur au minimum le plus près possible de l'émetteur ( $m_1$ ). Mesurez et notez, dans le tableau 6, la distance entre le réflecteur et la plaque centrale ( $h_1$ ).
4. Éloignez lentement le réflecteur jusqu'au prochain minimum ( $m_2$ ). Mesurez et notez la distance ( $h_2$ ).
5. À partir de vos mesures, calculez la longueur d'onde utilisée.

6. Refaites l'expérience en modifiant la distance ( $D$ ) entre le récepteur et l'émetteur.

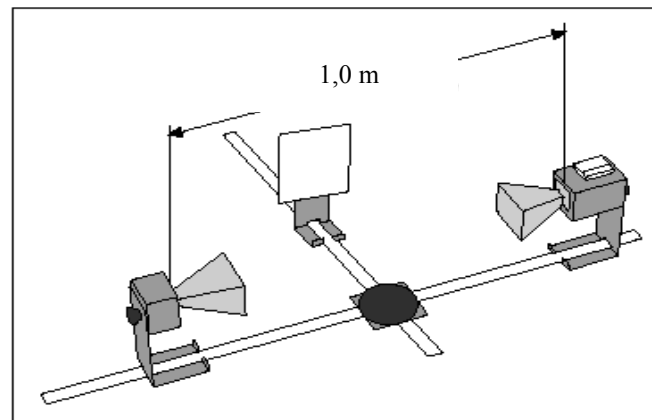


Tableau 6 Le miroir de Lloyd

Essai 1		Essai 2	
$D$		$D$	
$h_1$		$h_1$	
$h_2$		$h_2$	
$\lambda_{\text{moy}}$		$\lambda_{\text{moy}}$	

### Rapport

1. Démontrez l'équation 3.
2. Calculez la longueur d'onde de la source utilisée.