

## DIFFRACTION DE FRAUNHOFER - THEOREME DE BABINET

### 1. Objectifs

La diffraction est le phénomène d'étalement d'un faisceau lumineux lorsqu'on essaie de le restreindre latéralement. Cet étalement augmente avec la restriction, ce qui permet de déterminer la taille d'un objet d'après la taille de la tache de diffraction qu'il produit.

Nous allons ainsi étudier la diffraction par un trou, et déterminer la taille de ce trou.

Puis nous allons étudier la diffraction par une fente et comparer l'intensité lumineuse mesurée à celle attendue théoriquement.

Ensuite viendra l'étude d'une simulation qui permettra de mettre en évidence le théorème de Babinet et l'effet de la diffraction par un grand nombre de trous circulaires et de disques circulaires.

On appliquera les résultats de la simulation à la détermination de la taille de grains de lycopode.

### 2. Diffraction par une ouverture circulaire

#### 2.1 Principe

On éclaire un trou circulaire de **rayon  $r$**  et de **diamètre  $a=2r$**  par une onde plane en incidence normale, et on observe l'intensité transmise sur un écran à la distance  $D \gg r$  du trou.

L'éclairement à distance  $x$  du centre de la figure de diffraction est représenté sur la figure 1. C'est une fonction oscillante de la variable  $m=2\pi r x / (\lambda D)$ , qui s'annule pour  $m \approx (k+0,22)\pi$  où  $k$  est un entier supérieur ou égal à 1.

- Ouvrir le fichier **Bessel.xls**. Faire varier les paramètres  $a$  (diamètre du trou),  $D$  (position de l'écran) et  $\lambda$  (longueur d'onde).
- Résumer vos observations et expliquer comment varie la répartition d'énergie dans la figure de diffraction en fonction des trois paramètres.

#### 2.2 Montage

On utilise comme source un laser He-Ne, dont on agrandit le diamètre de faisceau à l'aide d'un afocal constitué d'une lentille de focale 20 mm et d'une autre de focale 50 mm.

Placer l'ouverture diffractante  $T$  au centre du faisceau élargi.

Observer l'image de diffraction sur un écran distant de plus de 70 cm du trou. Voir figure 2.

Le laser a un profil gaussien, mais l'ouverture de  $T$  étant très petite par rapport au diamètre du faisceau, on pourra admettre que son éclairement est homogène. Comme de plus la divergence du faisceau est très faible, on peut admettre que l'onde est plane à l'entrée de  $T$ .

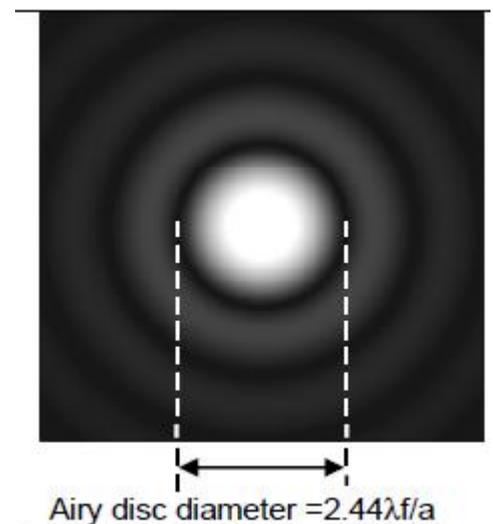


Figure 1 : Figure de diffraction par un trou

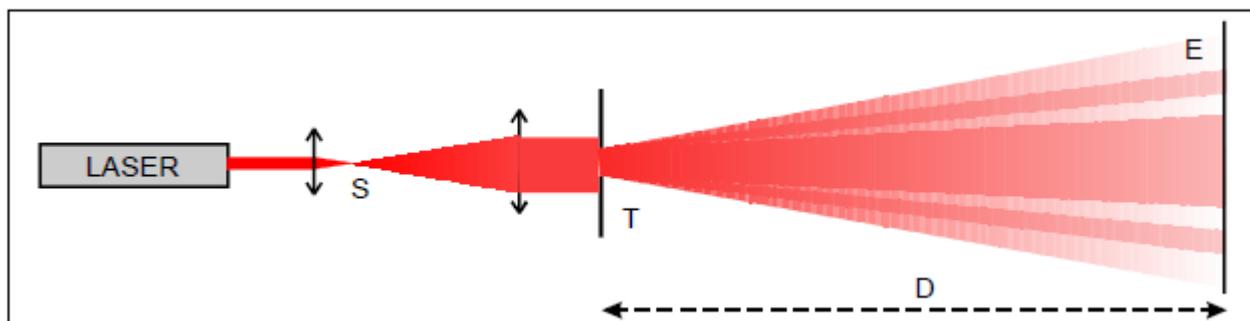


Figure 2 : Schéma du montage

Ainsi, les conditions de Fraunhofer (éclairage par une onde plane, écran considéré comme à l'infini) sont réunies et la figure de diffraction correspond à celle décrite au 2.1.

### 2.3 Mesures du diamètre du trou circulaire

Pour différentes valeurs de  $D$  (au moins 5, entre 0,7 et 3 m), mesurer le diamètre  $d_1$  et  $d_2$  des deux premiers anneaux noirs.

Reporter vos résultats dans un tableau Excel (valeurs de  $D$ ,  $d_1$  et  $d_2$ ).

Tracer  $d_1=f(D)$  et  $d_2=f(D)$ . Tracer les droites de régression correspondantes, et déterminer leurs pentes  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  avec leurs incertitudes (droitereg).

Sachant que les anneaux sombres correspondent à une annulation de l'éclairement, utiliser 2.1 pour montrer que  $\alpha_k=2(k+0,22)\lambda/a$  avec  $\Delta a/a=\Delta\alpha/\alpha$ .

En déduire le diamètre  $a$  du trou, avec son incertitude.

## 3. Mesure de l'intensité diffractée par une fente

### 3.1 Montage

Dans le montage précédent, on remplace le trou circulaire par une fente.

L'image s'étend le long d'une droite  $x'x$  perpendiculaire à la fente. Elle présente une tache centrale deux fois plus large que les autres. Voir figure 3.

On va enregistrer le profil d'intensité lumineuse le long de  $x'x$ .

Pour cela, on va capter la lumière diffractée avec une fibre plastique dont une extrémité est reliée à un puissance-mètre *Labmaster*. La fibre optique se déplacera le long de  $x'x$  à l'aide d'une platine de translation. **On fera attention à ne jamais mettre la platine en butée.**

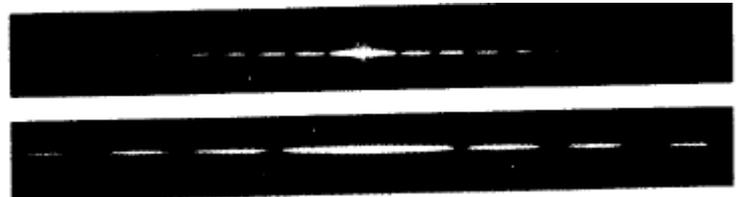


Figure 3 : diffraction par une fente large (en haut), et plus étroite (en bas)

On utilisera le logiciel *Diffraction.exe* pour piloter la platine et enregistrer les données du puissance-mètre. Il permet aussi de tracer les graphes donnant la puissance en fonction de la position.

**Montrer votre montage.**

### 3.2 Mesures

Guider l'extrémité de la fibre au centre de la tache centrale de diffraction et relever la puissance  $P_{MAX}$  (proportionnelle à l'intensité lumineuse en ce point).

Guider ensuite la fibre le long de  $x'x$  et relever quelques valeurs remarquables (puissance des minimums et des maximums secondaires).

Affiner les réglages pour vous assurer que l'extrémité de la fibre parcourt la figure de diffraction en passant par le maximum principal et par les minimums et les maximums secondaires.

Faire un relevé automatisé.

**Enregistrer votre acquisition et la montrer à un professeur.**

Observer les graphes.

### 3.3 Profil énergétique

Etudier les graphes.

A partir de celui donnant les valeurs relatives de la puissance, comparer vos résultats (puissance relative des maxima secondaires, position des zéros par rapport aux maximums, tache centrale deux fois plus large que les autres) à ceux attendus (voir figure 4).

Energy Distribution in the Diffraction Pattern of a Circular or Slit Aperture						
Ring or Band	Circular Aperture			Slit Aperture		
	Position (x)	Relative Intensity ( $I_x/I_0$ )	Energy in Ring (%)	Position (x)	Relative Intensity ( $I_x/I_0$ )	Energy in Band (%)
Central Maximum	0.0	1.0	83.8	0.0	1.0	90.3
First Dark	$1.22\pi$	0.0		$1.00\pi$	0.0	
First Bright	$1.64\pi$	0.0175	7.2	$1.43\pi$	0.0472	4.7
Second Dark	$2.23\pi$	0.0		$2.00\pi$	0.0	
Second Bright	$2.68\pi$	0.0042	2.8	$2.46\pi$	0.0165	1.7
Third Dark	$3.24\pi$	0.0		$3.00\pi$	0.0	
Third Bright	$3.70\pi$	0.0016	1.5	$3.47\pi$	0.0083	0.8
Fourth Dark	$4.24\pi$	0.0		$4.00\pi$	0.0	
Fourth Bright	$4.71\pi$	0.0008	1.0	$4.48\pi$	0.0050	0.5
Fifth Dark	$5.24\pi$	0.0		$5.00\pi$	0.0	

Figure 4 : Extrait du catalogue Melles Griot.

## 4. Diffraction par des écrans circulaires

### 4.1 Principe

L'expérience illustre le théorème de Babinet (ou des écrans complémentaires) : deux objets complémentaires, par exemple un trou et un disque de même diamètre, donnent la même figure de diffraction sauf au centre.

On utilise également le fait que N objets identiques fournissent une image semblable à un seul objet. L'éclairement est N fois celui qu'on aurait avec un seul objet.

Ouvrir le logiciel **Image Analyzer** et demander la transformée de Fourier des images « trou », « non\_trou », « trous » et « non\_trous » disponibles sous [http://olivier.sigwarth.free.fr/TpTs2\\_fichiers/Trous/](http://olivier.sigwarth.free.fr/TpTs2_fichiers/Trous/) ou à partir du lien *Pupilles* depuis le site internet des sujets de TP.

Faites un résumé de vos observations et conclusions.

### 4.2 Montage

Dans le montage précédent, remplacer la fente par une lame de verre saupoudrée de grains de lycopode. Il s'agit du pollen d'une sorte de mousse. Ces grains sont à peu près circulaires et de même diamètre.

Affiner pour obtenir une belle image de diffraction.

**Faire observer le montage à un professeur.**

### 4.3 Mesures et résultats

Mesurer le diamètre du premier et du deuxième anneau sombre pour plusieurs valeurs de D.

Faites un tableau de mesures.

Tracer les deux graphes représentant chaque diamètre d'anneau en fonction de D, avec les droites de régression.

Calculer les pentes de ces droites, avec leur incertitude (droitereg).

Expliquer brièvement pourquoi les pentes sont reliées au diamètre a des grains de lycopode par les mêmes formules qu'au 2.3.

Donner deux valeurs de a avec à chaque fois son incertitude.

NOMS : .....

DATE :

.....

.....

**FEUILLE A RENDRE EN FIN DE SEANCE**

§	Travail à faire	A noter sur place	A noter à l'écrit
2	Trou circulaire	_____ / 2	Principe _____ / 1
			Mesures _____ / 2
			Graphes, exploitation _____ / 2
			Diamètre de l'ouverture _____ / 2
3	Fente	_____ / 3	Montage _____ / 2
			Graphe _____ / 2
			Comparaisons _____ / 2
4	Grains de lycopode	_____ / 2	Principe _____ / 2
			Montage _____ / 2
			Mesures et résultats _____ / 2

**TOTAL : \_\_\_\_\_ / 20****Les comptes-rendus sont à rendre une semaine après le TP, le même jour de la semaine.****Un jour de retard : -2 points****Deux jours de retard : note / 2****Au-delà : points sur place / 2**