TP φ03 - Diffraction

I. Ondes mécaniques progressives

On crée, à la surface d'une cuve à ondes, une onde plane progressive, de longueur d'onde λ. Elle se propage à la surface de l'eau jusqu'à un obstacle comportant en son centre, une fente de largeur réglable *a*.

a) Pour chacun des cas suivants, effectuer un dessin de ce que l'on observe : $a >> \lambda$, $a = \lambda$, $a < \lambda$.

b) Qu'observe-t-on lorsque la valeur de *a* est inférieure à λ et que l'on diminue de plus en plus la valeur de *a* ?

c) Que dire de la longueur d'onde de l'onde diffractée par rapport à la longueur d'onde de l'onde incidente ? de leurs fréquences respectives ?

II. Ondes lumineuses

1) Figures de diffraction : fente, fil, ouverture circulaire

Au bureau du professeur est installé un laser.
La lumière émise par un laser est quasi-monochromatique. La longueur d'onde du laser utilisé est $\lambda = 632$ nm.

On dirige le faisceau laser sur une fente de largeur *a*, telle que la valeur de *a* soit inférieure ou égale à la longueur d'onde de la lumière.

a) Effectuer un dessin de ce que l'on observe sur un écran situé au-delà de la fente. La lumière se comporte-t-elle comme une onde ?

b) Qu'observe-t-on, si l'on remplace la fente par :

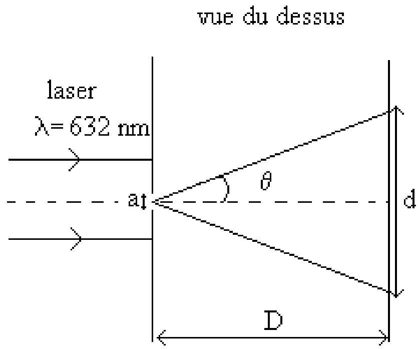
- un fil, de largeur inférieure ou égale à λ?
- une ouverture circulaire, de diamètre inférieur ou égal à λ ?

2) Etude quantitative dans le cas d'une fente (ou d'un fil)

On dispose d'une diode laser et d'une série de plusieurs fentes (ou de plusieurs fils) de largeurs connues.

On appellera :

- λ la longueur d'onde de la lumière utilisée,
- *a* la largeur de la fente (ou du fil),
- *d* la largeur de la tache centrale de diffraction (distance entre le milieu de la tache lumineuse centrale et le milieu de la première tache noire)
- *D* la distance entre la fente (ou le fil) et l'écran,
- θ l'angle indiqué sur le schéma suivant.



Placer le laser à 5 cm de la fente (ou du fil). Placer l'écran à une distance *D* de la fente (ou du fil) telle que *D* soit au moins cent fois supérieure à la largeur *a*.

a) Pour chacune des fentes (ou fils), mesurer la valeur de *d*. Noter dans un tableau les valeurs de *a* et de *d* correspondantes. Pour chaque couple de valeurs, calculer le produit $a \times d$.

b) Comment la valeur de *d* semble-t-elle dépendre de la valeur de *a* ? Quel type de graphe pourrait illustrer cette dépendance ?

Réaliser ce graphe, en n'oubliant pas l'échelle et la légende des deux axes.

Réaliser une régression linéaire, et calculer le coefficient directeur de la droite obtenue. Attention à ne pas oublier l'unité.

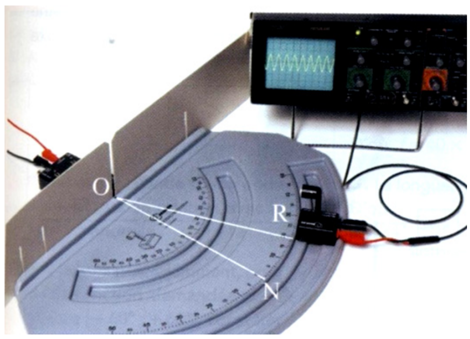
c) On considère que l'angle θ est très inférieur à 1 radian (au moins dix fois inférieur). Dans ce cas, l'approximation $\tan(\theta) \simeq \theta$ est justifiée.

Quelle est alors la relation entre les grandeurs θ, *d* et *D* ?

d) En déduire la relation numérique entre θ et *a*. Comparer le coefficient de proportionnalité à la valeur de λ.

III. Ondes sonores (ultrasons)

a) A l'aide du schéma et de la photographie ci-dessous permettant d'étudier la diffraction des ondes sonores, expliquer le principe de cette expérience (que nous ne réaliserons pas).



b) A quel résultat peut-on s'attendre ?

TP φ03 - Diffraction – éléments de correction –

Suite à cette séance de travaux pratiques, voici ce qu'il faut savoir / savoir faire :

- Savoir réaliser un montage permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction dans le cas d'ondes mécaniques, d'ondes lumineuses, d'ondes sonores.
- Savoir prévoir la forme approximative d'une figure de diffraction, connaissant la forme et la largeur de l'ouverture diffractante.
- Savoir que l'on peut observer la diffraction en utilisant une ouverture *ou un obstacle* de même taille.
- Dans le cas de la diffraction en lumière monochromatique, savoir réaliser des mesures permettant de relier la largeur de la tache centrale de diffraction à la longueur d'onde et aux dimensions de l'ouverture.
- Savoir que la longueur d'onde et la fréquence d'un signal ne changent pas lorsque l'on passe d'un milieu transparent à un autre.

I. Ondes mécaniques progressives

a)
- Lorsque l'on a $a >> \lambda$: l'onde ne se propage que dans le prolongement de l'ouverture, sans déviation particulière.
- Lorsque l'on a $a = \lambda$: les franges s'inscrivent dans un cône dont le sommet se trouve au niveau de l'ouverture. L'onde s'écarte du chemin qu'elle suit lorsqu'elle n'est pas déviée. C'est le phénomène de *diffraction* que l'on observe.
- lorsque l'on a $a < \lambda$: la diffraction s'accentue.

b) Lorsque la valeur de *a* est inférieure à λ et que l'on diminue de plus en plus la valeur de *a*, la déviation s'accentue.

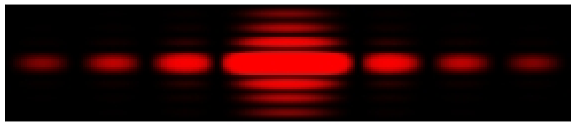
c) La valeur de la longueur d'onde λ n'est pas modifiée lors du passage par l'ouverture. La célérité de l'onde *c* ne l'étant pas non plus, leur période $T = \dfrac{\lambda}{c}$ et leur fréquence $f = \dfrac{c}{\lambda}$ sont donc inchangées.

d) Le phénomène est similaire à celui constaté dans le cas d'une ouverture.

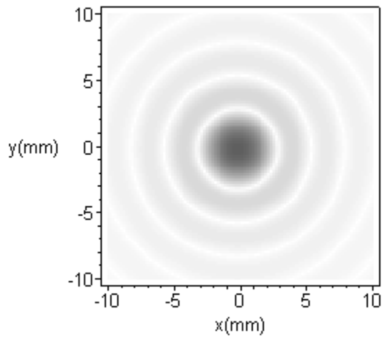
II. Ondes lumineuses

1) Figures de diffraction : fente, fil, ouverture circulaire

a) On observe un faisceau élargi par l'ouverture, un peu comme ce que l'on observait avec l'onde sonore. La tâche centrale est plus large que ce que l'on pensait obtenir. Il y a diffraction. Cela peut constituer un argument pour affirmer que la lumière est une onde. En effet, elle se comporte comme telle.



b) On observe le même phénomène, mais la figure possède une symétrie de révolution, comme c'est le cas de l'ouverture.



c) La fréquence ν de l'onde est la même. La célérité c étant la même, on en déduit, d'après la relation $\lambda = \dfrac{c}{\nu}$, que la longueur d'onde λ est la même.

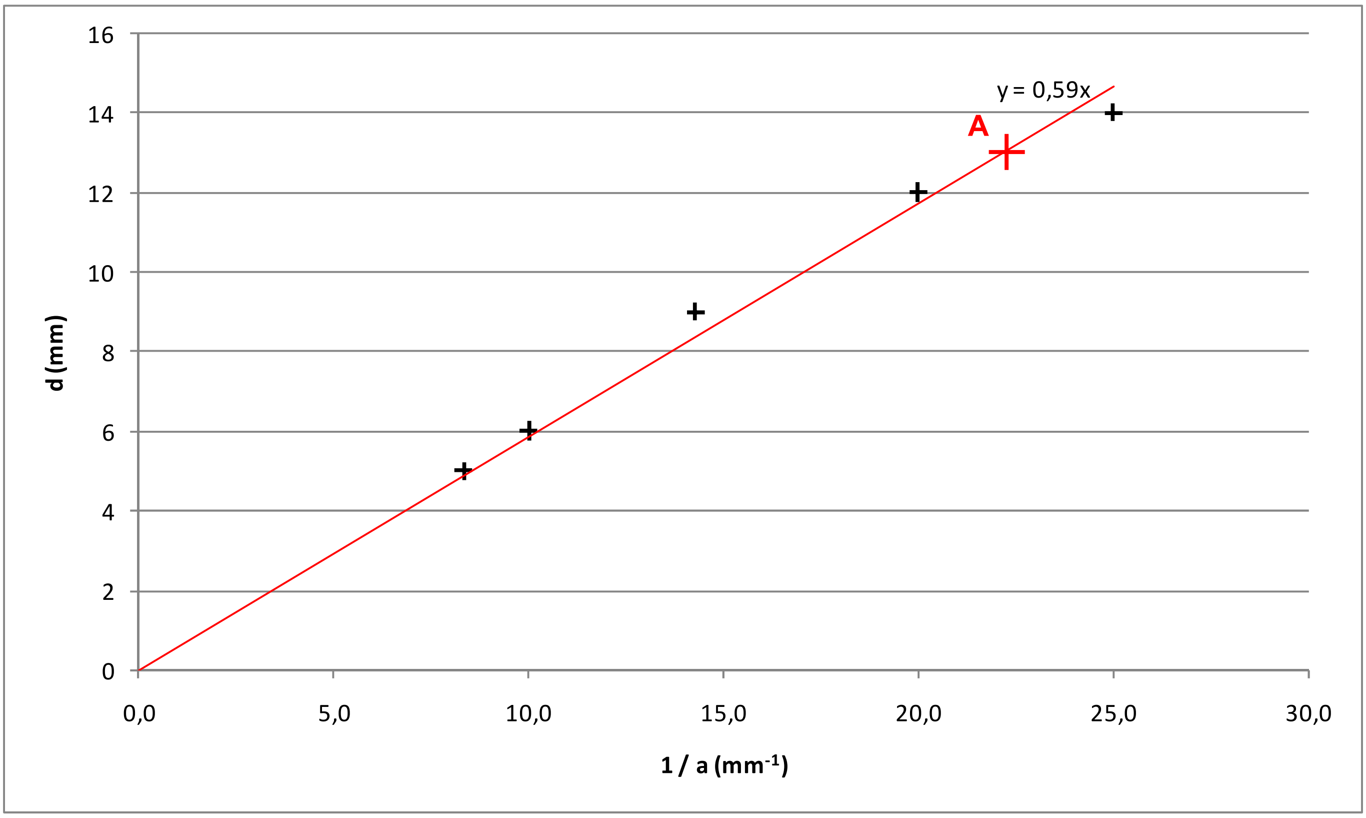
2) Etude quantitative dans le cas d'une fente

a) Attention à bien respecter le nombre de chiffres significatifs ! Dans le produit $a \times d$, avec les valeurs ci-dessous, il ne reste qu'un seul chiffre significatif.

a (mm)	d (mm)	a × d (mm²)
0,12	5	0,6
0,10	6	0,6
0,05	12	0,6
0,04	14	0,6
0,07	9	0,6

b) Le produit $a \times d$ est à peu près constant : $a \times d = \text{cste}$. On peut donc penser que *d* est proportionnel à l'inverse de *a*, c'est-à-dire que l'on a une relation du type $d = \dfrac{\text{cste}}{a}$. Pour le visualiser, représentons *d* en fonction de $\dfrac{1}{a}$ (voir courbe ci-après).

Nous réalisons une régression linéaire, en traçant la droite qui passe le plus près possible de l'ensemble des points, et qui passe aussi par l'origine du repère (d'où le terme de régression *linéaire*, puisqu'il s'agit d'une droite passant par l'origine).



L'équation de cette droite est calculée à partir d'un point A (x_A ; y_A) que l'on place sur la droite (et qui n'est pas un point de mesure !). Le coefficient directeur *p* de la droite est $\frac{y_A}{x_A} = \frac{13}{22} = 0{,}59 \text{ mm}^2$.

Attention à ne pas oublier que ce coefficient directeur s'exprime en mm^2.

Nous avons donc : $d = 0{,}59 \times \frac{1}{a}$ (avec *a* et *d* en mm).

c) $\tan(\theta) = \frac{\frac{d}{2}}{D} = \frac{d}{2D}$. Sachant qu'ici, nous pouvons considérer que nous avons $\tan(\theta) \simeq \theta$, il vient : $\theta \simeq \frac{d}{2D}$.

d) Nous avons $\theta \simeq \frac{d}{2D}$, et $d = 0{,}59 \times \frac{1}{a}$, c'est-à-dire $\theta \simeq \frac{0{,}59}{2D} \times \frac{1}{a}$.

Numériquement, sachant que nous avons mesuré $D = 46.10^1$ mm, il vient :

$$\theta \simeq \frac{0{,}59}{2 \times 46.10^1} \times \frac{1}{a} = 6{,}4.10^{-4} \times \frac{1}{a}$$

Le coefficient de proportionnalité entre θ et $\frac{1}{a}$ est donc égal à $6{,}4.10^{-4}$ mm, c'est-à-dire $6{,}4.10^2$ nm. Il est proche de la valeur de λ, 632 nm. L'écart relatif entre ces deux valeurs est en effet égal à

$$\frac{6{,}4.10^2 - 632}{632} \times 100 = 1{,}3.10^{-2} = 1{,}3\ \%$$

Nous retiendrons la relation : $\theta \simeq \frac{\lambda}{a}$.

III. Ondes sonores (ultrasons)

a) Le récepteur se déplace sur un rail circulaire autour de la fente. Chaque position du récepteur est repérée par un angle α, grâce au rapporteur placé sur le rail. Ainsi, pour chacune des positions du récepteur, on pourra visualiser l'onde et donc comparer son amplitude et sa longueur d'onde à celle de l'onde émise.

b) Le son étant une onde, on s'attend à observer un phénomène de diffraction : l'amplitude de l'onde sera non nulle dans un cône dont le sommet se trouve au niveau de l'ouverture. L'angle au sommet de ce cône dépendra de la largeur de l'ouverture : plus celle-ci sera petit, plus le cône sera large. De plus l'amplitude de l'onde variera quand l'angle α varie : l'amplitude sera maximale pour $\alpha = 0$ puis diminuera, augmentera à nouveau, diminuera… quand α varie : c'est une figure semblable à celle obtenue quand on trace l'intensité lumineuse en fonction de l'angle α dans le cas de la diffraction de la lumière par une fente.

Nous observerons aussi que la période du signal reçu est égale à celle du signal émis.