

Activité expérimentale n° 5 – Détermination de l'épaisseur d'un cheveu

► Introduction

La diffraction est le phénomène d'étalement d'une onde lors du passage de cette onde par une fente de largeur « a » de taille égale à quelques longueurs d'onde λ ou moins. Le but de cette séance est d'étudier ce phénomène de diffraction d'abord d'un point de vue qualitatif puis quantitatif dans un deuxième temps.

✓ Savoirs et savoir-faire

Savoirs	Savoir-faire / capacités
• Phénomène de diffraction d'une onde. • Angle caractéristique de diffraction et relation entre θ, λ et a. • Théorème de Babinet (ouvertures complémentaires). • Approximation des petits angles ($\tan \theta \approx \theta$). • Droite d'étalonnage, incertitude-type et encadrement.	• Étudier qualitativement la diffraction avec une cuve à onde. • Exploiter une figure de diffraction pour relier les grandeurs θ, D et L. • Rédiger et mettre en œuvre un protocole de mesure par étalonnage. • Modéliser une droite d'étalonnage et exploiter son coefficient directeur. • Calculer une incertitude-type et valider une mesure par un encadrement.

Partie I – Étude qualitative du phénomène de diffraction

Une cuve à onde permet de visualiser la propagation des ondes à la surface de l'eau. Il est ainsi possible d'étudier qualitativement le phénomène de diffraction en modifiant deux paramètres :

- la longueur d'onde « λ » ;
- la largeur de la fente « a » .

L'étalement de l'onde derrière l'ouverture est caractérisé par l'angle caractéristique de diffraction, noté θ : il s'agit du demi-angle d'ouverture du cône de diffraction.

Lien vers l'animation ! : <https://physiquechimie.xyz/cours/term-diffraction/#animation-diffraction>

1. À l'aide de l'animation, observer comment évolue l'étalement de l'onde :

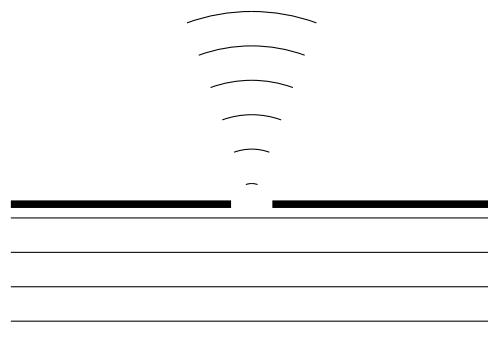
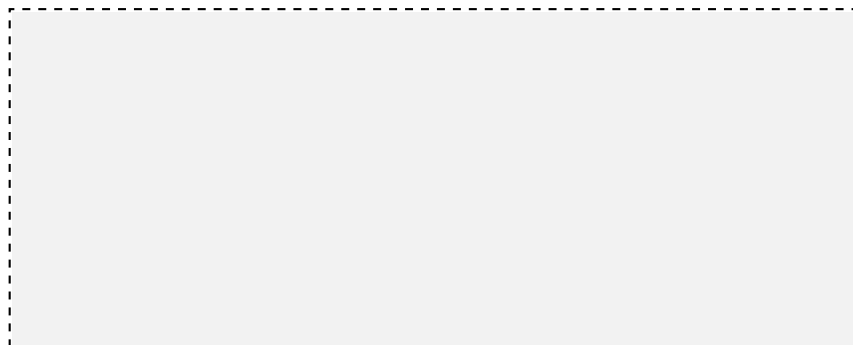
- lorsque la largeur de la fente « a » est fixée et que la longueur d'onde λ augmente ;
- lorsque la longueur d'onde λ est fixée et que la largeur de la fente « a » augmente.

Voici trois formules possibles reliant l'angle caractéristique de diffraction θ , la longueur d'onde λ et la largeur de la fente « a ». En justifiant à l'aide de vos observations, entourer la bonne formule. Sur le schéma, indiquez ce que représentent a , λ et θ .

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

$$\theta = \lambda \times a$$

$$\theta = \frac{a}{\lambda}$$



Partie II – Mesure de l'épaisseur d'un cheveu!

Document 1 – Matériel à votre disposition

Vous disposez :

- d'un LASER Hélium-Néon de longueur d'onde $\lambda = 632,8 \text{ nm}$
- d'un jeu de fentes de différentes largeurs
- d'un cheveu
- d'un écran blanc
- d'un mètre ruban et d'un double décimètre

Document 2 – Précautions de sécurité

On dispose d'une source LASER. Elle produit un faisceau lumineux très directif et de forte puissance lumineuse susceptible d'altérer la rétine de manière irréversible. **ATTENTION : ne jamais regarder directement le faisceau de lumière d'un LASER ni placer sur son trajet des objets réfléchissants (montre, bagues, règle métallique...).**

Document 3 – Le théorème de Babinet

Ce théorème décrit ce que l'on peut attendre des figures de diffraction de deux ouvertures complémentaires. Des ouvertures sont dites complémentaires si la partie ouverte de l'une des ouvertures épouse parfaitement la partie fermée de l'autre ouverture. Ainsi un cheveu d'épaisseur e est complémentaire d'une fente de même ouverture a .

Le théorème de Babinet stipule donc que la figure de diffraction créée par deux ouvertures complémentaires est identique sauf au centre de la figure. **La largeur de la tache centrale de diffraction sera donc la même pour deux ouvertures complémentaires.**

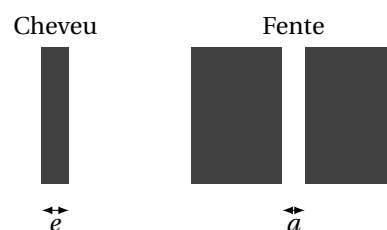
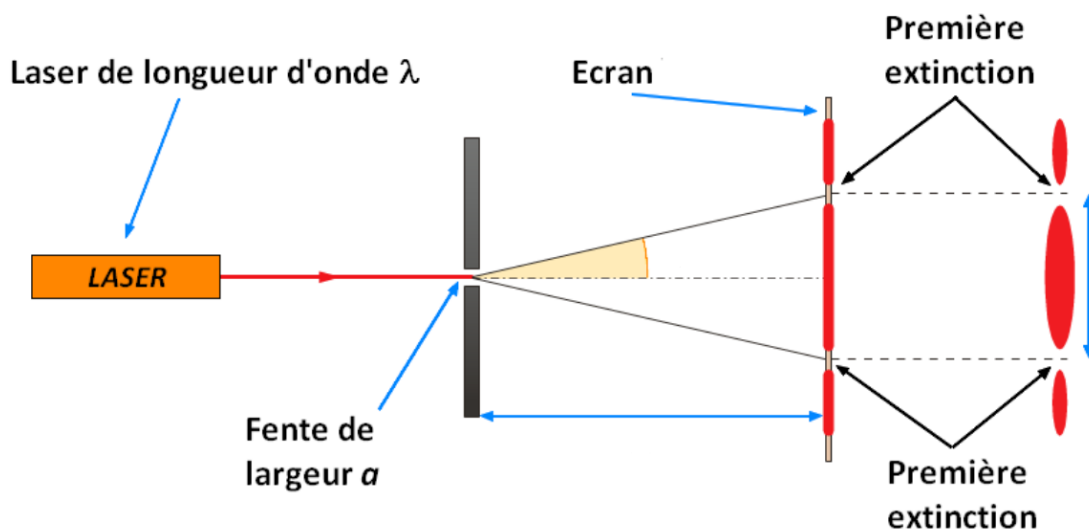


FIGURE 1 – Deux ouvertures complémentaires

Travail à effectuer

2. Faire apparaître sur le schéma ci-dessous les différentes grandeurs θ , D et L .



3. En déduire une relation géométrique entre ces trois grandeurs.

Activité expérimentale n° 5 – Détermination de l'épaisseur d'un cheveu

4. En se plaçant dans l'approximation des petits angles, $\sin \theta \approx \theta$ et $\tan \theta \approx \theta$. En déduire une relation entre λ , a , D et L .

5. Il faut maintenant construire une droite d'étalonnage pour déterminer l'épaisseur de votre cheveu. Rédigez un court protocole expliquant la méthode que l'on va utiliser et quelles grandeurs placer en ordonnée et en abscisse de votre graphique.

6. Réaliser les manipulations :

- Placer successivement chaque fente devant le LASER, sans modifier la distance D , et mesurer pour chacune la largeur L de la tache centrale.
- Remplacer ensuite la fente par le cheveu, toujours sans modifier la distance D , et mesurer la largeur L_{cheveu} de la tache centrale obtenue.

Dans un tableur-grapheur, tracer la droite d'étalonnage puis en déduire l'épaisseur de votre cheveu. Vous pouvez également compléter le tableau ci-dessous.

Remarque

Penser à mesurer la distance « D » de votre montage : cette valeur sera utile pour la troisième partie.

$D = \dots\dots\dots$

a (mm)	0,40	0,28	0,12	0,10	0,05	0,04	0,07	cheveu
L (mm)								L_{cheveu}

Partie III – Vérification de la longueur d'onde du LASER

7. Modéliser la droite obtenue et noter la valeur de coefficient directeur « m » et de son incertitude associée.

$m = \dots\dots\dots$

Activité expérimentale n° 5 – Détermination de l'épaisseur d'un cheveu

8. À partir de la valeur de ce coefficient directeur et par identification avec la relation trouvée à la question 4, déterminer la valeur de la longueur d'onde du LASER.

Attention aux unités : le coefficient directeur m est ici homogène à une surface et s'exprime en mm^2 lorsque L est en mm, alors que la distance D s'exprime en m.

9. Estimer l'incertitude sur D puis calculer l'incertitude sur la longueur d'onde et exprimer λ sous la forme d'un encadrement. La mesure est-elle conforme à ce qui est écrit sur le LASER ?

$$u(\lambda) = \lambda \times \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$