



Activités de la séquence n°9

Mesurer des distances à l'aide de la diffraction et des interférences



Fiches de synthèse mobilisées :

Fiche n°9.a : Diffraction des ondes

Fiche n°9.b : Interférences



Sommaire des activités

ACTIVITÉ 1 :	mesurer grâce à la diffraction	1
ACTIVITÉ 2 :	que se passe-t-il si l'on superpose 2 ondes ?	3
ACTIVITÉ 3 :	mesurer une distance à l'aide des interférences lumineuses	5
ACTIVITÉ 4 :	mesurer une distance avec un réseau	6
ACTIVITÉ 5 :	réalisation et exploitation d'un spectromètre à réseau	7

ACTIVITÉ 1 : mesurer grâce à la diffraction

Partie 1 : première approche de la diffraction

La photographie ci-contre illustre le phénomène de diffraction d'une onde.

1. En étudiant le nombre de dimensions de l'onde, proposer une première définition de ce phénomène : dans quelle(s) situation(s) survient-il, quelles sont ses conséquences, etc.
2. Dans la salle de classe se trouve une cuve à ondes. On souhaite s'en servir pour étudier quelle est l'influence sur l'importance du phénomène de diffraction de deux paramètres : la taille de l'obstacle et la longueur d'onde. Proposer une expérience permettant cette étude, observer son résultat et conclure.
3. On note a la taille de l'obstacle ou de l'ouverture et λ la longueur d'onde de l'onde diffractée. On souhaite déterminer une grandeur dont la valeur permette de savoir si la diffraction aura des conséquences importantes ou non. Parmi les propositions ci-dessous, laquelle vous semble pertinente ?

 λ a $\lambda \times a$ $\frac{\lambda}{a}$ $\frac{a}{\lambda}$

Partie 2 : de quoi dépend la largeur de la tache de diffraction

Expérience :

Utiliser le matériel disponible pour obtenir la figure de diffraction d'un faisceau laser rouge traversant une fente de largeur connue en toute sécurité. Appeler l'enseignant pour lui montrer l'expérience.

4. Schématiser et légender le dispositif utilisé.
5. On cherche à savoir si le fait qu'il s'agisse d'une fente ou d'un fil a une influence ou non sur la largeur de la tache centrale de diffraction. Décrire et réaliser une expérience permettant de répondre à cette question.



- De quelle(s) autre(s) grandeur(s) physique(s) la largeur de la tache centrale pourrait-elle dépendre ? Proposer au moins trois hypothèses.
- Pour chacune des grandeurs citées à la question précédente : proposer une expérience permettant d'observer son influence (ou non) sur la largeur de la tache centrale, la réaliser, noter le résultat et conclure.

Partie 3 : mesure de la longueur d'onde du laser

Travail préliminaire :

- On va réaliser l'expérience schématisée ci-dessous. Le but est d'étudier les variations de la largeur de la tache centrale en fonction de la largeur a de la fente placée sur le trajet du faisceau.

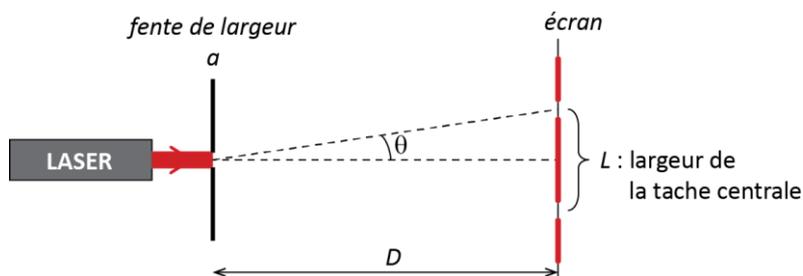
Montrer que l'on a la relation :

$$\theta = \frac{L}{2D}$$

Pour cela on admettra la relation approchée, valable pour les petits angles en radian : $\tan \theta \approx \theta$.

Expérience :

- Réaliser la figure de diffraction d'un faisceau laser rouge par une fente. Pour cela, réaliser le montage schématisé ci-dessous en utilisant une fente de largeur $a = 30 \mu\text{m}$. La distance D entre la fente et l'écran doit être la plus élevée possible.



- Mesurer la distance D entre la fente et l'écran.
- Mesurer et noter la largeur L de la tache centrale de diffraction pour les différents diamètres a de fentes disponibles et rassembler les résultats dans un tableur.

Questions :

- Une étude théorique de la diffraction lumineuse (hors programme) montre que dans cette situation on a la relation :

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

En tenant compte de la relation obtenue à la question 8, exprimer la largeur d de la tache centrale de diffraction en fonction de la longueur d'onde λ , de la distance D entre la fente et l'écran et de la largeur a d'une fente.

- Avec seulement 7 points, la seule représentation graphique que nous pouvons identifier est une droite. Pourquoi est-il pertinent de représenter L en fonction de $1/a$ et non pas en fonction de a pour tester la compatibilité de cette relation avec nos mesures ?
- À l'aide du tableur, effectuer les calculs nécessaires et représenter graphiquement L en fonction de $1/a$. Décrire l'allure de la courbe obtenue et indiquer si, *a priori*, elle est compatible avec la relation théorique testée.
- Modéliser les points expérimentaux par la fonction qui vous semble pertinente et noter le coefficient de corrélation donné par le logiciel. Conclure à propos de la validité de la relation.
- Exploiter le coefficient directeur de la droite obtenue pour en déduire la mesure expérimentale de la longueur d'onde du laser.

**DOCUMENT : comparaison d'une mesure à une valeur de référence**

On compare une valeur mesurée x_{exp} à une valeur de référence $x_{réf}$ en calculant le rapport suivant :

$$\frac{|x_{exp} - x_{réf}|}{u(x)}$$

$u(x)$ étant l'incertitude-type, ce rapport est l'écart rapporté à l'incertitude de mesure.

Le résultat de mesure est considéré comme compatible avec la valeur de référence si ce quotient est inférieur ou égale à 1.

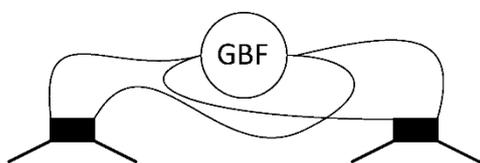
14. La valeur donnée par le constructeur du laser est : $\lambda = 650 \text{ nm}$. L'incertitude de mesure sur la longueur d'onde est estimée à $u(\lambda) = 4 \times 10^1 \text{ nm}$. Calculer l'écart rapporté à l'incertitude de mesure et conclure sur la compatibilité de votre mesure avec la valeur de référence.

Partie 4 : mesure de l'épaisseur d'un cheveu

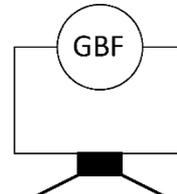
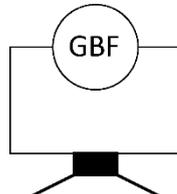
15. La représentation graphique que vous venez de tracer dans la partie 3 est une droite d'étalonnage. Proposer un protocole permettant de mesurer l'épaisseur d'un de vos cheveux, avec une précision maximale, en utilisant le phénomène de diffraction.
16. Réaliser le protocole permettant de mesurer l'épaisseur d'un de vos cheveux.

ACTIVITÉ 2 : que se passe-t-il si l'on superpose 2 ondes ?**Partie 1 : mise en évidence du phénomène d'interférence avec des ondes diverses**

- Dans la vie quotidienne, que signifie le mot « interférences » ?
- Dans la salle de classe nous allons réaliser successivement chacun des deux dispositifs schématisés ci-dessous :

**situation 1 :**

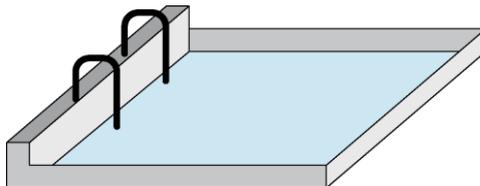
les deux haut-parleurs sont reliés au même GBF

**situation 2 :**

chaque haut-parleur est alimenté par un GBF indépendant

À votre avis, dans quelle(s) situation(s), parmi les deux proposées, obtiendrons-nous des interférences ? On demande une réponse intuitive, sans justification.

- L'expérience est réalisée dans la salle de classe et les élèves se déplacent lentement devant les haut-parleurs. Noter ce que l'on observe dans chacune des deux situations proposées. Corriger éventuellement la réponse à la question précédente.
- On envisage à présent le dispositif suivant : à la surface d'une cuve à ondes, deux tiges reliées au même vibreur créent ces ondes circulaires à la surface de l'eau :

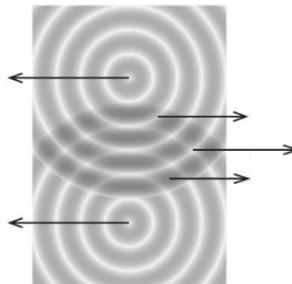


Cette situation est analogue à l'une des deux expériences de la question 2 : laquelle et pourquoi ? Observer et décrire l'écran de la cuve à ondes.



5. Le schéma ci-dessous représente la surface de l'eau à un instant donné. Le Légèder avec les expressions :

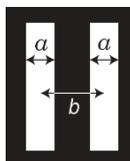
- Source 1
- Source 2
- Amplitude maximale
- Amplitude minimale



6. En faisant une analogie entre les observations de la question 3 et celles de la question 4, décrire en quelques mots le phénomène d'interférence en précisant à quelle condition ce phénomène intervient et quel est son résultat.

Partie 2 : interférences d'ondes lumineuses

On appelle « bi-fente » de Young ou fentes de Young un cache dont la forme est la suivante (sachant que les dimensions horizontales sont en réalité beaucoup plus faibles) :



7. Si l'on admet que le phénomène d'interférences constaté dans la première partie concerne aussi les ondes électromagnétiques, que devrait-on observer si l'on éclaire la bi-fente avec un laser ?
8. Éclairer une bi-fente de Young avec un faisceau laser rouge et placer un écran permettant de voir la figure obtenue, le plus loin possible de la bi-fente. Dessiner le plus fidèlement possible la figure obtenue et la comparer à celle prévue à la question 7.
9. La figure obtenue illustre deux phénomènes : indiquer lesquels et comment ils se manifestent ici.

Étude qualitative des variations de l'interfrange

DOCUMENT : interfrange dans le cas de la bi-fente de Young

Définition de l'interfrange :

Dans une figure d'interférence, la distance entre deux maxima (ou deux minima) d'amplitude consécutifs est appelé « interfrange ».

Expression de l'interfrange :

Si une bi-fente de Young éclairée par un faisceau de lumière monochromatique est placée à une distance D d'un écran, on montre que l'interfrange vaut :

$$i = \frac{\lambda D}{l}$$

- i : interfrange (en mètre)
- λ : longueur d'onde du faisceau monochromatique (en mètre)
- D : distance bi-fente – écran (en mètre)
- l : écartement entre les deux fentes (en mètre)

10. Lire dans le document la définition de l'interfrange. Rédiger le protocole d'une expérience permettant d'étudier qualitativement l'influence la longueur d'onde du faisceau de lumière sur la valeur de l'interfrange. Avec l'accord de l'enseignant, réaliser cette expérience, noter son résultat et vérifier qu'il est bien compatible avec la relation du document.
11. De même, étudier quelles sont les influences de la distance l entre les deux fentes, puis de la distance D entre la fente et l'écran. Dans chaque cas, rédiger le protocole de l'expérience, la réaliser et vérifier que son résultat est bien compatible avec la relation du document.



ACTIVITÉ 3 : mesurer une distance à l'aide des interférences lumineuses

L'interférométrie est une méthode permettant de mesurer précisément des très courtes distances. Elle permet notamment d'accéder, dans les laboratoires de pointe, aux distances atomiques, voire subatomiques. Les bi-fentes acquises par le lycée pour étudier les interférences ne sont pas toutes parfaitement calibrées : certaines ne respectent pas les valeurs affichées par le fabricant. On se propose, dans cette activité, de mesurer la distance entre deux fentes avec une méthode interférométrique.

Matériel :

- un jeton sur lequel sont gravées différentes bi-fentes de Young;
- un laser;
- un écran semi-transparent, sur lequel un étalon de longueur est tracé ;
- une webcam adaptée à la prise de photographies ;
- un mètre ruban et une règle graduée ;
- un ordinateur muni du logiciel Salsa J, permettant la mesure de distances sur une photo numérique ;
- les notices simplifiées des logiciels à utiliser.

DOCUMENT 1 : interfrange dans le cas de la bi-fente de Young

Définition de l'interfrange :

Dans une figure d'interférence, la distance entre deux maxima (ou deux minima) d'amplitude consécutifs est appelé « interfrange ».

Expression de l'interfrange :

Si une bi-fente de Young éclairée par un faisceau de lumière monochromatique est placée à une distance D d'un écran, on montre que l'interfrange vaut :

$$i = \frac{\lambda D}{l}$$

- i : interfrange (en mètre)
- λ : longueur d'onde du faisceau monochromatique (en mètre)
- D : distance bi-fente – écran (en mètre)
- l : écartement entre les deux fentes (en mètre)

Conception du protocole de l'expérience :

1. Après avoir lu le document 1, rédiger le protocole d'une expérience permettant de mesurer, de manière interférométrique, la distance l entre les deux fentes constituant la bi-fente n°2. La prise d'une photographie numérique et son traitement informatique sont exigés.

Réalisation de l'expérience

2. Avec l'accord de l'enseignant, réaliser l'expérience. Noter toutes les mesures effectuées.

Exploitation des résultats

3. Rédiger l'exploitation des mesures précédentes, conduisant à l'écartement l entre les fentes.

**DOCUMENT 2 : estimation des incertitudes****Incertitude-type de l'interfrange :**

On considère que l'on mesure des distances sur l'écran au millimètre près. Si on a mesuré sur la figure N interfranges, on a donc :

$$u(i) = \frac{1 \text{ mm}}{N}$$

Incertitude-type de l'écartement mesuré :

En admettant que la longueur d'onde du laser soit une source d'erreur négligeable, on a :

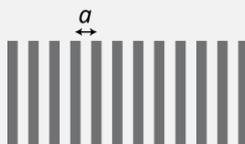
$$u(l) = l \times \frac{u(i)}{i}$$

Validation de l'indication du fabricant

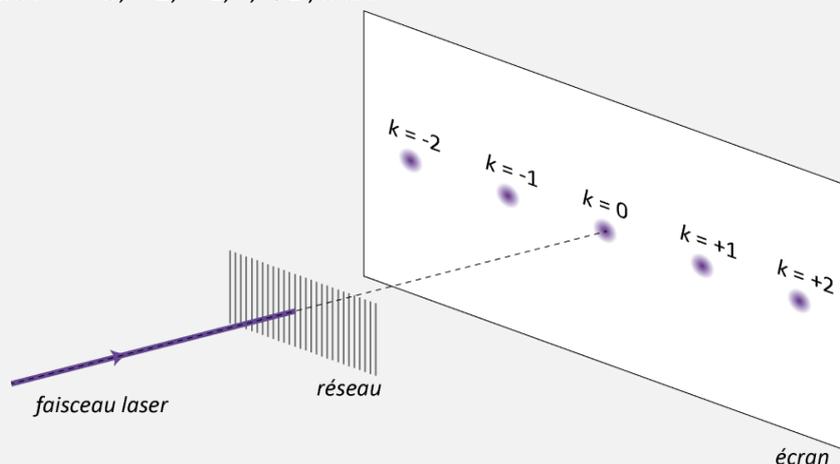
4. Lire le document 2 concernant l'estimation des incertitudes. Estimer l'incertitude $u(i)$ avec laquelle l'interfrange a été mesuré.
5. En déduire l'incertitude-type de l et écrire le résultat de la mesure avec son incertitude-type associée.
6. La valeur mesurée de « l » est-elle en accord avec la valeur indiquée par le constructeur ?

ACTIVITÉ 4 : mesurer une distance avec un réseau**DOCUMENT 1 : présentation du réseau**

Un réseau plan est une fente multiple : il s'agit d'un matériau transparent strié de traits verticaux. La distance entre deux traits consécutifs est appelée « pas » du réseau, généralement noté a :

**DOCUMENT 2 : figure d'interférence donnée par un réseau**

Un réseau éclairé par un faisceau monochromatique donne une figure d'interférence constituée de taches d'ordre $k = -3; -2; -1; 0; +1$; etc. :



Si D désigne la distance réseau – écran, la distance d_k entre la tache centrale et la $k^{\text{ème}}$ tache vaut :

$$d_k = \frac{k\lambda D}{a}$$

Attention, la distance d_k est algébrique (négative pour une tache située à gauche de la tache centrale).



Mesure de la longueur d'onde d'un faisceau laser

1. Proposer le protocole d'une expérience permettant de mesurer la longueur d'onde du laser disposé sur votre paillasse, à l'aide d'un réseau. La mesure doit reposer sur une méthode graphique.
2. Faire valider le protocole par le professeur puis réaliser l'expérience, sachant que pour être probante, la mesure doit exploiter un graphique constitué **d'au moins 5 points** expérimentaux.

Validations de la mesure

3. Vérifier que le résultat obtenu est bien compatible avec la couleur du faisceau laser utilisé.

ACTIVITÉ 5 : réalisation et exploitation d'un spectromètre à réseau

Le but de cette activité est de réaliser un spectromètre capable de mesurer la longueur d'onde du faisceau émis par un pointeur laser.

Pour réaliser un spectromètre sur un banc d'optique, il faut suivre le protocole suivant :

- Sur le banc d'optique, éclairer une fente de largeur réglable avec la source à étudier.
- À l'aide d'une lentille de vergence 10δ , faire sur un écran une image de cette fente agrandie environ 4 fois.
- À la sortie de la lentille, placer un réseau.
- Observer la figure obtenue sur l'écran.

DOCUMENT : pouvoir de résolution d'un spectromètre

Quand la différence entre les longueurs d'onde de deux raies est suffisamment petite pour qu'elles soient confondues, la raie résultante n'apparaît pas nette. Pour quantifier ce phénomène, on définit le pouvoir de résolution R d'un spectromètre par :

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

où $\Delta\lambda$ est le plus petit écart de longueur d'onde qui peut être détecté, on l'appelle aussi limite de résolution, et λ est la longueur d'onde moyenne.

On montre que le pouvoir de résolution d'un réseau est égal au produit du nombre total de traits N du réseau par l'ordre k du spectre considéré :

$$R = N \times k$$

Réalisation d'une expérience :

1. Réaliser un spectromètre en suivant le protocole fourni, la source étant une lanterne émettant un faisceau de lumière blanche.

Exploitation :

2. Reproduire le plus fidèlement possible la figure obtenue à l'écran
3. D'après le document, quel spectre faut-il observer pour obtenir la meilleure résolution possible ?
4. Remplacer la source de lumière par une lampe à vapeur de mercure ou de cadmium. Reproduire la figure obtenue.
5. Exploiter le spectre obtenu ainsi que les documents disponibles pour étalonner le spectromètre obtenu.
→ **Indication** : étalonner le spectromètre signifie établir une relation entre la position d'une raie sur l'écran et sa longueur d'onde.
6. Sur le compte-rendu, consigner les mesures réalisées et donner la relation permettant de déterminer une longueur d'onde.
7. Exploiter le spectromètre obtenu pour mesurer la longueur d'onde du faisceau émis par le pointeur laser inconnu.
8. Sur le compte-rendu, consigner les mesures réalisées et les résultats obtenus.
9. La longueur d'onde du laser déterminé expérimentalement est-elle compatible alors la valeur donnée par le constructeur ?