

Exercices de la séquence n°7

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

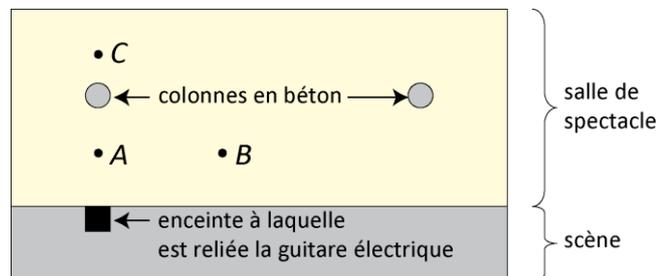
EXERCICE 1 : reconnaître le phénomène de diffraction



Une version interactive de cet exercice est proposée sur le site des collections numériques.

Identifier parmi les situations suivantes celles qui mettent en œuvre le phénomène de diffraction.

1. Une personne qui se regarde dans un miroir.
2. La formation d'un arc en ciel.
3. Sur la figure ci-dessous, la personne située en A entend le guitariste.

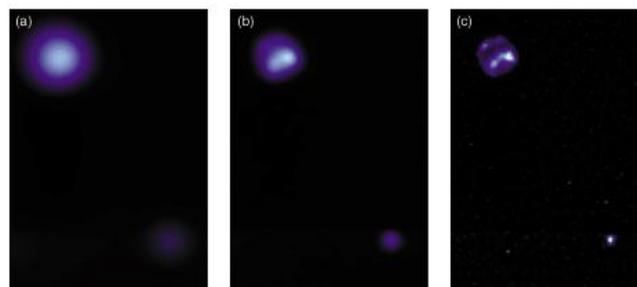


4. Sur la figure précédente, les personnes situées en B et C entendent aussi le guitariste.
5. Un pinceau plongé dans un verre d'eau apparaît déformé si on le regarde à travers le verre :



source : Wikipedia.fr

6. Plus l'ensemble Neptune – Triton est observé avec un télescope de grand diamètre, plus l'image observée est nette :



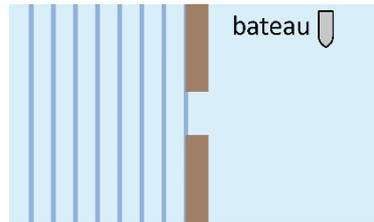
La planète Neptune et son satellite Triton, observés avec trois télescopes de diamètres de plus en plus élevés

source : <https://str.llnl.gov>



EXERCICE 2 : comment bien concevoir un port

Afin de protéger les bateaux de la houle, un port est conçu ainsi :



1. Le bateau représenté sur cette figure est-il à l'abri de la houle ? Justifier en représentant sur la figure ci-dessus l'allure de vagues après les digues.
2. Afin de pallier cet inconvénient, un ingénieur propose de réduire la taille de l'ouverture entre les digues. Un autre propose au contraire de l'agrandir : lequel a raison ? Justifier à l'aide de vos connaissances. Le phénomène mentionné à la question 1 sera-t-il alors vraiment éliminé ?
3. Proposer une autre disposition des digues permettant, cette fois, de vraiment protéger le bateau de la houle.

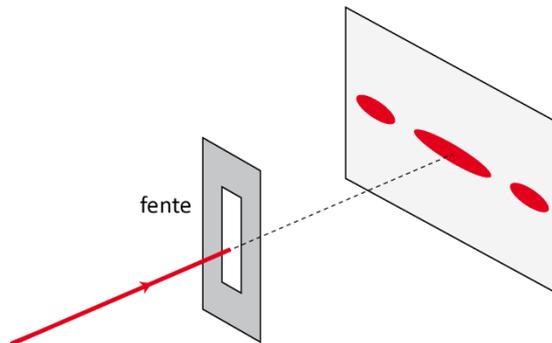
EXERCICE 3 : facteurs influençant la tache de diffraction



Une version interactive de cet exercice est proposée sur le site des collections numériques.

Une fente est éclairée par une source émettant une lumière monochromatique rouge. On note D la distance entre la fente et l'écran, a la largeur de la fente et L la largeur de la tache de diffraction.

1. Placer les différentes distances sur le schéma ci-dessous :



2. Prévoir, dans chaque cas suivant, l'évolution de la largeur de la tache centrale de diffraction :
 - on rapproche l'écran de la fente ;
 - on diminue la largeur de la fente ;
 - on remplace la source de lumière par une autre, toujours monochromatique, de couleur bleue.

EXERCICE 4 : analyse quantitative d'une figure de diffraction



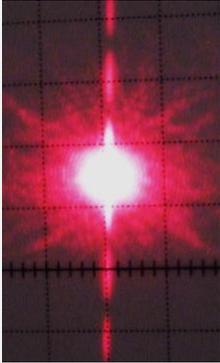
Une version interactive de cet exercice est proposée sur le site des collections numériques.

Afin de déterminer le diamètre a d'un fil, on l'éclaire à l'aide d'une source émettant une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 632 \text{ nm}$. Le fil est placé à une distance $D = 1,40 \text{ m}$ devant un écran.

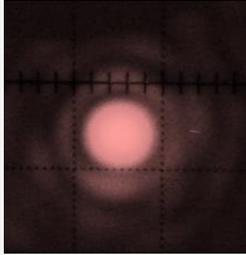
On réalise une photo de l'image obtenue à l'écran, on obtient la photographie n°1 du document ci-après.

DOCUMENT : résultats expérimentaux

Photographie n°1



Photographie n°2



échelle : chaque carreau fait 1 cm de côté.

1. Dans quelle direction le fil a-t-il été positionné ?
2. Lorsqu'un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde λ éclaire un fil de largeur a , la figure de diffraction obtenue sur un écran placée à une distance D du fil présente une tache centrale de largeur :

$$L = \frac{2\lambda D}{a}$$

Exploiter la photographie pour déterminer la largeur le diamètre a du fil utilisé.

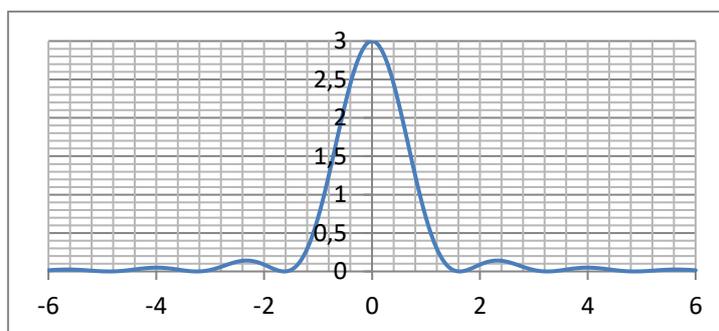
3. On remplace alors le fil par un obstacle inconnu. On obtient la 2nde photographie du document. Quelle est la forme de cet obstacle ?

EXERCICE 5 : mesure du diamètre d'une fibre optique



Une version interactive de cet exercice est proposée sur le site des collections numériques !

Pour déterminer le diamètre a d'une fibre optique, on y fait pénétrer un faisceau laser de longueur d'onde $\lambda = 650 \text{ nm}$. On place un capteur CCD à une distance $D = 2,0 \text{ m}$ de sortie de cette fibre optique et on obtient l'enregistrement ci-dessous (l'axe des abscisses étant gradué en cm) :



évolution de l'intensité lumineuse reçue en fonction de la distance (en cm)



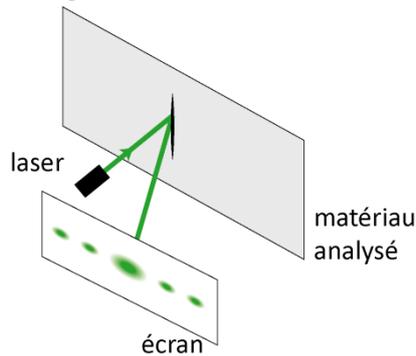
Lorsqu'un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde λ éclaire une ouverture circulaire de diamètre a , la figure de diffraction obtenue sur un écran placée à une distance D du fil présente une tache centrale de diamètre :

$$L = 2,44 \times \frac{\lambda D}{a}$$

Que vaut le diamètre de cette fibre optique ?

EXERCICE 6 : mesure de la taille d'une microfissure

Afin de détecter la présence de microfissures à la surface d'un matériau, on utilise un laser dont le faisceau balaie toute la surface. Un écran recueille le faisceau réfléchi. La détection d'une microfissure se traduit par l'apparition d'une figure de diffraction sur l'écran dont on mesure la largeur L de la tache centrale.



Afin d'étalonner le dispositif, un matériau strié de rayures dont les largeurs sont connues est utilisé dans les mêmes conditions (même laser, même distance matériau – écran) et les taches centrales de diffraction sont mesurées.

On obtient les résultats suivants :

	matériau utilisé pour l'étalonnage					microfissure inconnue
largeur a de la fissure (μm)	10	20	30	40	50	?
largeur L de la tache centrale obtenue (mm)	53	27	18	13	11	32

DOCUMENT : largeur de la tache centrale de diffraction par une fissure rectiligne

Lorsqu'un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde λ est réfléchi par une fissure de largeur a , la figure de diffraction obtenue sur l'écran semi-transparent placé à une distance D du matériau fissuré présente une tache centrale de largeur :

$$L = \frac{2\lambda D}{a}$$

Question : quelle est la largeur de la microfissure détectée ?

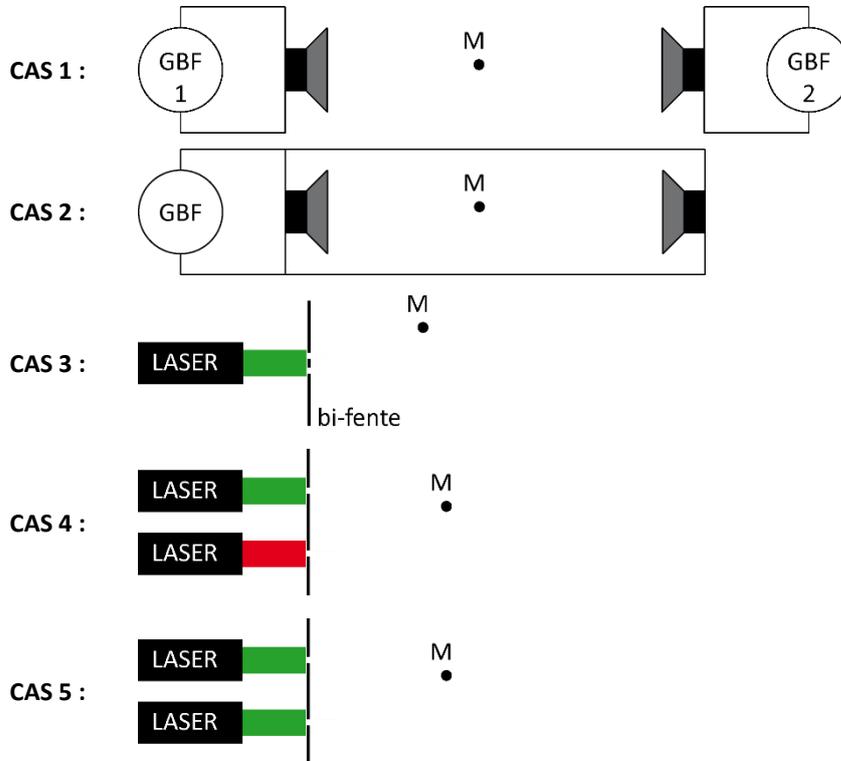
Pour répondre, une méthode graphique reposant sur le tracé d'une **droite d'étalonnage** est attendue. Les calculs utiles seront soigneusement consignés.

EXERCICE 7 : observe-t-on des interférences ?



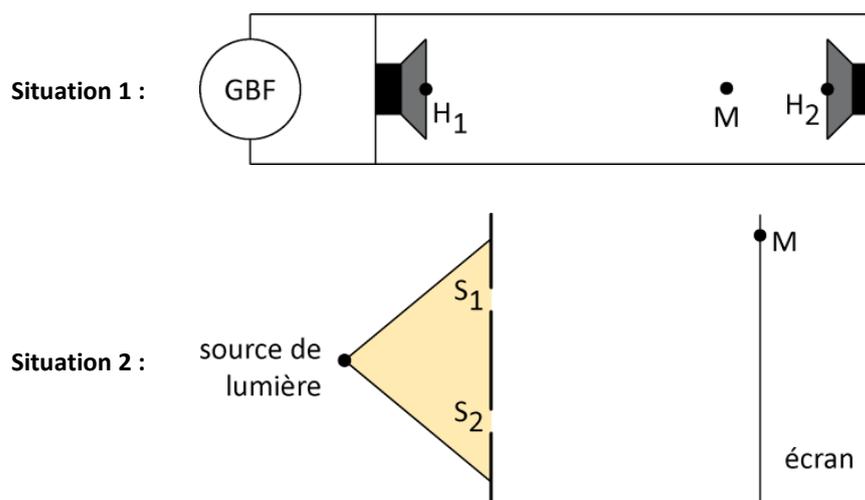
Une version interactive de cet exercice est proposée sur le site des collections numériques !

Identifier dans chaque cas s'il est possible d'observer un phénomène d'interférence au point M. Justifier soigneusement.



EXERCICE 8 : repérer un retard

1. Pour chaque situation ci-dessous, de quelle source provient l'onde qui arrivera en premier au point M ?



2. Exprimer pour chaque situation le retard avec lequel arrivera l'onde provenant de l'autre source au point M.

**EXERCICE 9 : QCM sur les interférences**

Une version interactive de cet exercice est proposée sur le site des collections numériques.

- Le phénomène d'interférences :
 - est lié à la nature des ondes ;
 - n'a pas lieu avec les ondes ultraviolettes ;
 - s'observe avec deux ondes de longueur d'onde quelconque ;
 - ne s'observe que si les deux ondes vibrent à la même fréquence ;
 - permet d'obtenir une amplitude identique en tout point.
- Deux ondes de même période $T = 0,2$ s se propagent à la surface de l'eau. Elles arrivent en un même point avec un retard τ .
 - Les interférences sont constructives si $\tau = 0,4$ s.
 - Les interférences sont destructives si $\tau = 0,7$ s.
 - L'amplitude est maximale si $\tau = 0,3$ s.
 - L'amplitude est minimale si $\tau = 0,6$ s.
- Deux ondes de même période fréquence 10 Hz se propagent à la surface de l'eau. Elles arrivent en un même point avec un retard τ .
 - Les interférences sont constructives si $\tau = 0,40$ s.
 - Les interférences sont destructives si $\tau = 0,70$ s.
 - L'amplitude est maximale si $\tau = 0,35$ s.
 - L'amplitude est minimale si $\tau = 0,65$ s.

EXERCICE 10 : facteurs influençant la valeur de l'interfrange

Une version interactive de cet exercice est proposée sur le site des collections numériques.

On réalise des interférences par plusieurs bi-fentes de Young. La distance séparant les fentes de l'écran est $D = 2,00$ m, chaque fente a une largeur $a = 0,10$ mm.

On note l la distance entre les 2 fentes. L'image est observée sur du papier millimétré.

Les figures d'interférences obtenues ont été photographiées : les résultats sont rassemblés dans le document ci-après.

distance l entre les fentes	longueur d'onde du faisceau laser	photographie de la figure obtenue
0,40 mm	$\lambda = 650$ nm	
0,25 mm	$\lambda = 650$ nm	
0,15 mm	$\lambda = 650$ nm	
0,15 mm	$\lambda' < \lambda$	

- L'une des quatre relations suivantes permet le calcul de l'interfrange. Éliminer celle qui n'est pas homogène à une distance :

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

$$i = \frac{\lambda}{lD}$$

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

$$i = \frac{lD}{\lambda}$$



- Mesurer la valeur de l'interfrange pour chacune des expériences réalisées. Exploiter ces mesures pour identifier laquelle des relations de la question 1 est compatible avec ces résultats expérimentaux.
- Déduire de la relation choisie précédemment la valeur de la longueur d'onde du laser vert utilisé dans la dernière expérience.

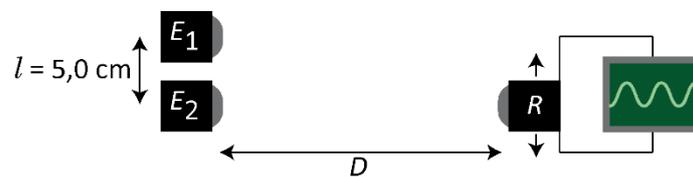
EXERCICE 11 : mesure d'une longueur d'onde



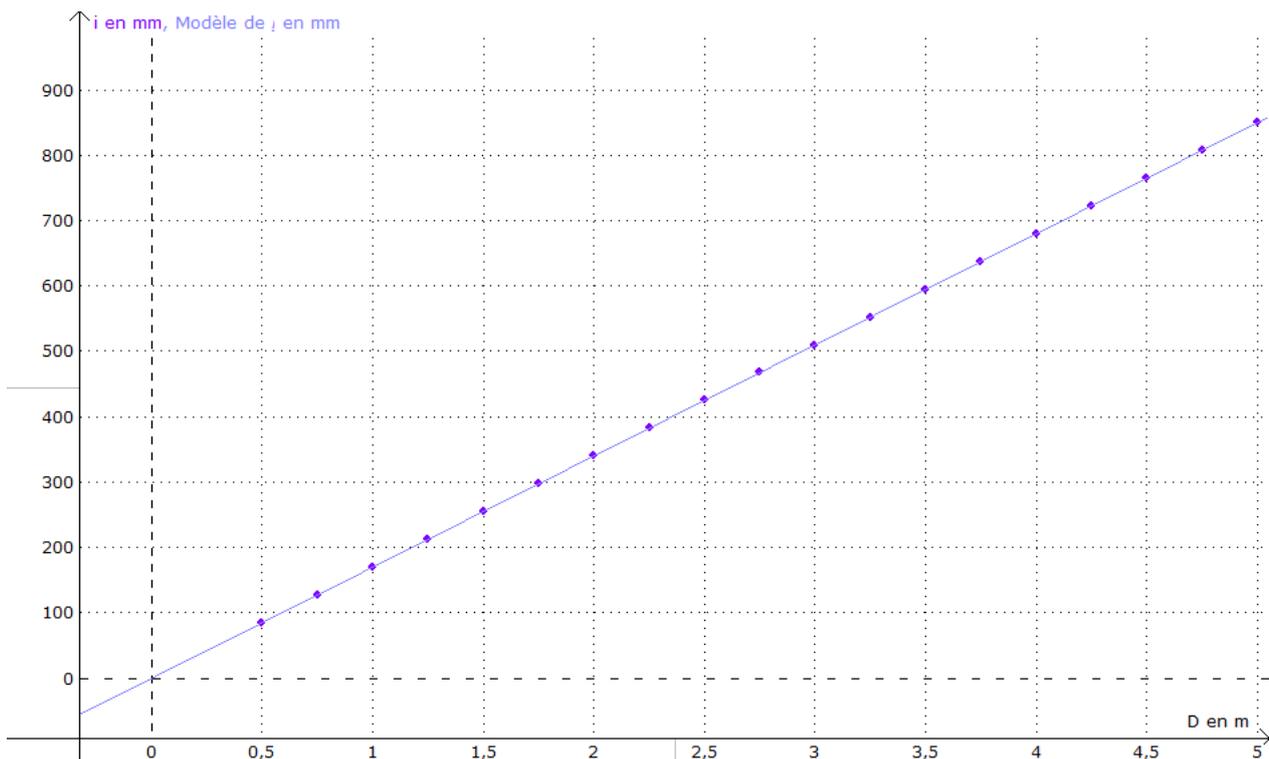
Une version interactive de cet exercice est proposée sur le site des collections numériques.

On réalise l'expérience suivante : deux émetteurs d'ultrasons sont placés côte à côte, à une distance $l = 5,0$ cm l'un de l'autre. Ils sont alimentés par le même GBF, qui délivre une tension sinusoïdale de fréquence $f = 40$ kHz.

À une distance notée D , un récepteur est placé et relié à un oscilloscope qui permet de visualiser le signal reçu. En le déplaçant latéralement, on mesure l'interfrange i .



L'expérience est reproduite pour plusieurs valeurs de D ; les résultats sont représentés graphiquement ci-dessous :



- La relation théorique entre l'interfrange, et la longueur d'onde λ est :

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

Justifier que l'allure du graphique obtenu est compatible avec cette relation.

La modélisation des points expérimentaux par une fonction linéaire donne l'équation : $i = 0,17 \times D$

Déduire du graphique la valeur de la longueur d'onde des ondes ultrasonores utilisées.

- Vérifier que cette valeur est bien compatible avec la donnée de la fréquence des sources utilisées.

Donnée : la célérité des ondes sonores dans l'air, dans les conditions de l'expérience, vaut $v_{son} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

EXERCICE 12 : les verres antireflets

Cet exercice propose de comprendre comment sont traités les verres « antireflets » dont sont aujourd'hui équipées la plupart des paires de lunettes.

DOCUMENT 1 : verres antireflets

Cette personne porte des lunettes dont les deux verres sont différents : le verre droit (à gauche sur la photo) a été traité avec une « couche antireflet » mais pas le verre gauche :



source : www.profession-opticien.com

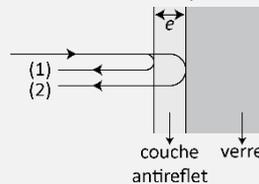
DOCUMENT 2 : effet d'un changement d'indice sur la lumière

Si une onde électromagnétique a une longueur d'onde dans le vide λ_0 et pénètre dans un milieu d'indice n alors sa longueur d'onde change et vaut :

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

DOCUMENT 3 : le traitement antireflet

Le traitement antireflet consiste à recouvrir le verre d'une couche transparente dont l'indice vaut 1,5. Son épaisseur est ajustée afin que les ondes (1) et (2) réfléchies en incidence normale par chacune des surfaces se détruisent lorsque leur longueur d'onde dans le vide vaut 570 nm (longueur d'onde correspondant au jaune, maximum de sensibilité de l'œil) :



vue en coupe d'un verre traité « antireflet »

(les 3 rayons tracés sont confondus, leurs représentations ont été décalées pour la lisibilité du schéma.)

1. On considère une onde lumineuse monochromatique dont la longueur d'onde dans le vide vaut 570 nm : c'est celle qui correspond au maximum de sensibilité de l'œil. Exploiter les documents pour calculer sa longueur d'onde λ lorsqu'elle se propage dans la couche antireflet.
2. Calculer la valeur de la période T de l'onde sachant que la vitesse de la lumière dans le verre anti-reflet vaut $v = 2,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
3. Nommer le phénomène responsable de l'extinction des deux ondes réfléchies mentionné dans le document 3.
4. On note τ le retard entre les deux ondes réfléchies. Exprimer τ en fonction de l'épaisseur e de la couche antireflet et de la célérité de l'onde v .
5. À quelle condition sur τ et T les deux ondes se détruisent-elles ? Répondre au moyen d'une relation littérale.
6. Un ingénieur opticien hésite entre deux épaisseurs de la couche antireflet dont il doit recouvrir les verres qu'il conçoit : 380 nm ou 475 nm. Laquelle doit-il choisir ? Justifier à l'aide des réponses 4 et 5.
7. Ce genre de traitement a souvent pour conséquence de provoquer des reflets colorés : à votre avis pourquoi ?
8. Même pour une lumière monochromatique jaune, le traitement antireflet n'éteint pas tous les rayons réfléchis. Proposer une explication.

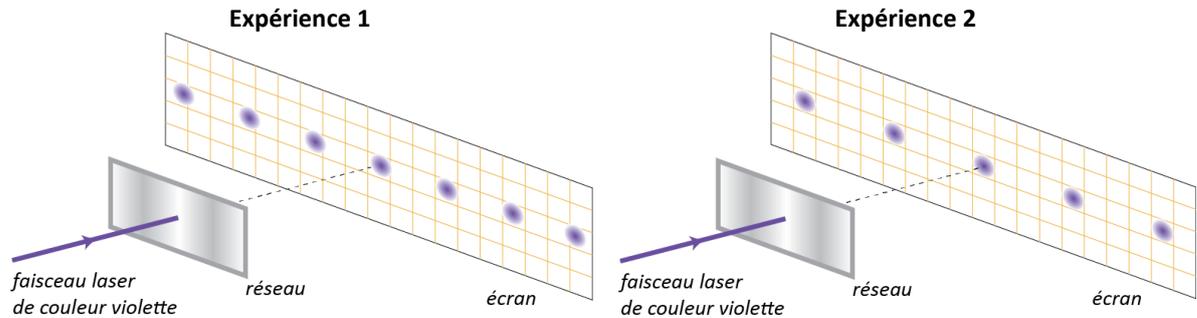
EXERCICE 13 : QCM - effet d'un réseau sur la lumière



Une version interactive de cet exercice est proposée sur le site des collections numériques.

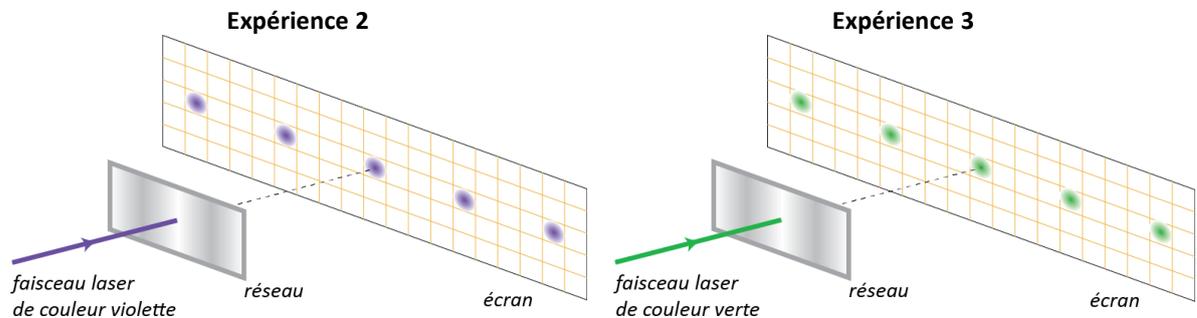
Les quatre expériences décrites ci-dessous utilisent chacune un réseau éclairé par une source de lumière. Un écran est placé derrière le réseau pour recueillir la figure d'interférence. La distance réseau – écran ne varie pas d'une expérience à l'autre.

1. Voici les résultats des expériences 1 et 2 :



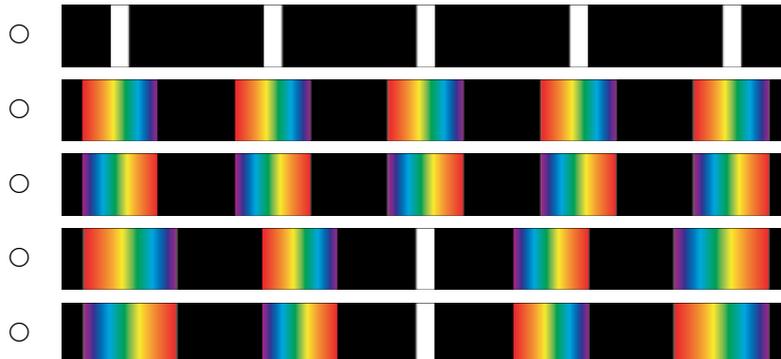
Pour passer de l'expérience 1 à l'expérience 2 :

- On a augmenté le pas du réseau.
 - On a diminué le pas du réseau.
2. Si l'on remplace le laser violet par un autre de couleur verte avec le même réseau que celui de l'expérience 2 on obtient :
- la même figure mais avec des taches de couleur verte ;
 - des taches plus resserrées ;
 - des taches plus espacées.
3. Voici les résultats des expériences 2 et 3 :



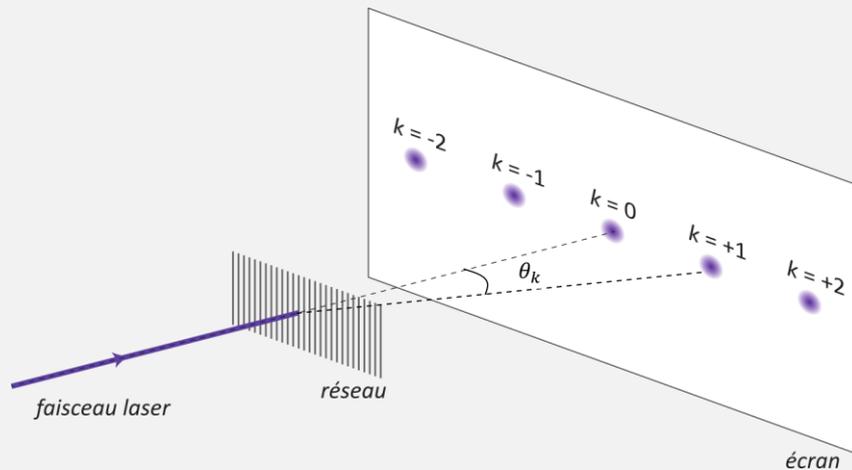
Pour passer de l'expérience 2 à l'expérience 3 :

- On a augmenté le pas du réseau.
 - On a diminué le pas du réseau.
4. Si on remplace le laser de l'expérience 3 par une association source de lumière blanche + fente + lentille dans l'expérience 3, on obtient :



EXERCICE 14 : mesure du pas d'un réseau par interférométrie**DOCUMENT : 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. :



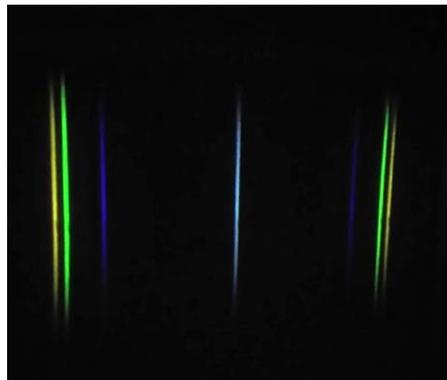
Si θ_k est l'angle de déviation entre la tache centrale et la $k^{\text{ème}}$ tache obtenue, a le pas du réseau et λ la longueur d'onde du laser, alors ces grandeurs sont reliées par la relation suivante :

$$\sin(\theta_k) = \frac{k\lambda}{a}$$

Un réseau de pas a est éclairé par un laser de longueur d'onde $\lambda = 405 \text{ nm}$. On mesure l'angle de déviation θ_k pour les taches d'ordre 1, 2 et 3. On obtient les résultats suivants :

k	1	2	3
θ_k	18°	39°	70°

1. D'après le document et les résultats expérimentaux, quelle représentation graphique nous permet de déterminer le pas a du réseau ?
2. Faire faire la représentation graphique proposée à la question précédente et modéliser le nuage de points.
3. Exploiter la modélisation pour déterminer la valeur du pas a du réseau.
4. On éclaire maintenant le réseau avec une lampe à vapeur de mercure, voici ce que l'on obtient sur un écran :





On mesure l'angle de déviation pour la première raie verte obtenue : on obtient $\theta_1 = 24^\circ$. En déduire la valeur de sa longueur d'onde.