Activité expérimentale: diffraction de la lumière.

L'objectif de l'activité est de déterminer la longueur d'onde d'un laser, en utilisant la diffraction.
Pour cela vous devrez tracer une courbe à l'aide Python.

Capacités exigibles:
Choisir les conditions expérimentales permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction en optique.
Utiliser la relation θ ≈ λ/d entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture.

Outils numériques: sur l'ENT Colibri : code Capytale 5563-7752131
Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque **matplotlib** pour représenter un nuage de points.
Utiliser la fonction **polyfit** de la bibliothèque **numpy** pour exploiter des données.

Matériel:
Banc d'optique, laser rouge, écran, règle graduée, support pour diapositives, fentes simples de différentes largeurs, différents objets diffractants, ordinateur.

Compétences de la démarche expérimentale travaillées:

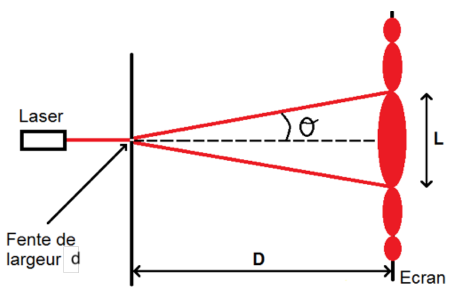
S'approprier	- Extraire et organiser l'information en lien avec la situation étudiée. - Identifier les grandeurs pertinentes.	
Analyser	Relier quantitativement et qualitativement les différents éléments d'un document.	
Réaliser	- mettre en œuvre un protocole . - utiliser le matériel de façon adaptée en respectant des règles de sécurité. - Mener des calculs. - Effectuer des représentations graphiques à partir de données.	
Valider	- Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. - Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux.	
Communiquer	- Utiliser un vocabulaire scientifique précis.	

Précautions de sécurité !!!!!! ATTENTION !!!!!!!
Un laser produit un faisceau lumineux très directif et de forte puissance lumineuse susceptible d'altérer la rétine de manière irréversible. Il ne faut jamais regarder directement le faisceau de lumière d'un laser ni placer sur son trajet des objets réfléchissants (montre, bagues, règle métallique…).

Document 1: diffraction de la lumière par une fente.
L'écart angulaire $\theta(rad)$ est donné par la relation :

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

λ: longueur d'onde en m
d: largeur de la fente en m.



1. Realiser (45 min).

1.1. Mettre en oeuvre le montage du document 1 avec D=1m et la fente de la largeur de votre choix. Identifier la tache centrale, les premières extinctions.

1.2. Comment évolue la longueur de la tache centrale dans les cas suivants?
- D étant fixée, on modifie la largeur d de la fente.
- d étant fixée , on modifie la distance D.

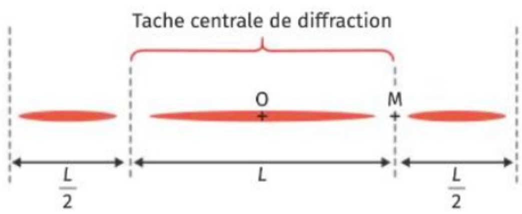
Plus la fente est fine, plus la largeur de tache est grande à D fixée.
Plus la distance d'observation est grande, plus la longueur de la tache centrale est grande.

Il faut donc choisir la fente la plus fine et place l'écran le plus possible de la fente.

APPEL n°1 => Appeler le professeur pour lui montrer votre figure de diffraction avec D et d choisis afin d'avoir la plus grande figure de diffraction possible ou en cas de difficulté.

Noter les valeurs choisies : D=……… ; d= ………….;

1.3. Comparer la longueur de la tache centrale avec celles des taches situées de part et d'autre.

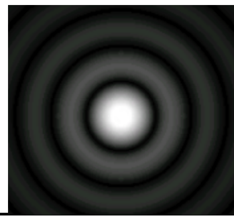


La longueur de la tache centrale est le double de la longueur des taches suivantes.

1.4. Modifier la forme de l'objet diffractant (cercle , croix…) et commenter la figure de diffraction obtenue (vous pouvez faire des dessins rapides).

Avec un trou, on observe une figure de diffraction constituées de cercles concentriques autour d'une tache centrale circulaire : tache d'Airy.

Plus le rayon du trou est petit, plus la tache centrale a un diamètre grand.



1.5. Pour les valeurs choisies à la question 1.2, mesurer la longueur L de la tache centrale.

L'incertitude-type sur la mesure de L est $u(L) = \dfrac{1 graduation}{\sqrt{6}}$

On prend 1 graduation = 1mm alors $u(L) = \dfrac{0{,}1 cm}{\sqrt{6}} = 0{,}04 cm.$

Donc par exemple si on mesure L=1,5 cm, le résultat de la mesure écrit $L = 1{,}50 \pm 0{,}04 cm$
Attention si on exprime en mm alors on a u(L)=0,4 mm et donc $L = (15{,}0 \pm 0{,}4) mm$

Ecrire le résultat de votre mesure : $L = (1{,}5 \pm 0{,}4) cm$

APPEL n°2 => Appeler le professeur pour lui montrer le résultat de votre mesure ou en cas de difficulté.

1.6. Les fentes étant calibrées, mesurer la longueur de la tache centrale obtenue avec les autres fentes dans les mêmes conditions (même D). Reporter vos mesures dans le tableau suivant:

Largeur de la fente d en ….					
Longueur de la tache centrale L en cm					

2. S'approprier/Analyser (20 min).

2.1. En utilisant le document 1, montrer que la longueur de la tache centrale est inversement proportionnelle à la largeur de la fente utilisée, c'est-à-dire que la relation entre L et d est de la forme : $L = a \times \frac{1}{d}$ avec $a = 2\lambda D$ le coefficient de proportionnalité.

On rappelle que pour des angles faibles, $tan(\theta) \approx \theta$.

$$tan(\theta) = \frac{L/2}{D} \approx \theta$$

Et d'autre part $\theta = \frac{\lambda}{d}$

On a donc $\frac{\lambda}{d} = \frac{L/2}{D}$.

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

D'où $L = \frac{2\lambda D}{d}$

Soit

$$L = 2\lambda D \times \frac{1}{d}$$

2.2. Quel type de courbe faut-il tracer afin de vérifier cette relation de proportionnalité?

En abscisse : x correspond à L

En ordonnée : y correspond à 1/d

Si on trace y en fonction de x on devrait avoir une droite qui passe par zéro (droite linéaire).

Le coefficient directeur (pente) est égal à $a = 2\lambda D$

3. Réaliser /analyser(30 min).

3.1. Compléter le code à votre disposition afin de tracer y=L en fonction de x=1/b.

- Les lignes suivantes permettent d'effectuer la régression linéaire à l'aide de Python de la forme y=ax + b. Exécuter le code.
- Afficher la figure 2. Conclure quant à la validité du modèle linéaire;

APPEL n°3 => Appeler le professeur pour lui montrer votre courbe ou en cas de difficulté.

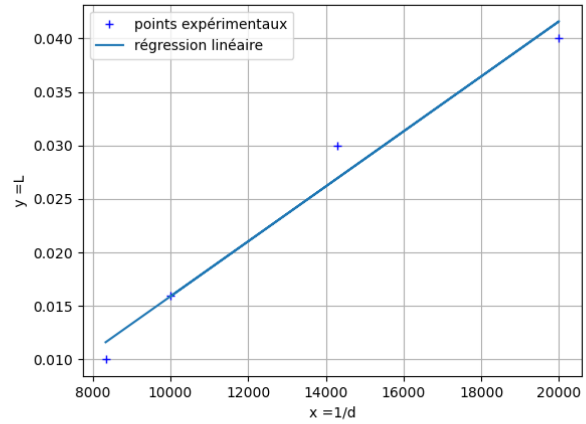
Exemple de valeurs :

```
#données expérimentales
L=np.array([0.016,0.03,0.04,0.01]) #compléter avec vos valeurs de longeur de taches centra
d=np.array([100e-6,70e-6,50e-6,120e-6]) #compléter avec valeurs de largeur de fentes en m

y=  L          #expression des ordonnées en fonction des données  A COMPLETER
x=    1/d         #expression des abcisses en fonction des données  A COMPLETER
```

```
# tracé de y en fonction de x
plt.figure(1)
plt.plot(x,y,'b+', label='nuage de points expérimentaux') #tracer y en fonction de x en bl
plt.xlabel(' longueur de la taxche centrale en m  ')  #titre des abcisses A COMPLETER
plt.ylabel('y=1/d inverse de la largeur de la fente. ')#titre des ordonnées A COMPLETER
```

Validité du modèle linéaire:



- Les points sont alignés.
- La droite passe à peu près à la même distance
  de tous les points;

Valeurs de a et b obtenues avec une seule régression linéaire:

```
Résultats d'une regression linéaire: a= 2.5702038682697326e-06 b= -0.009810419933786379
```

On bien b quasi nul.

4. Valider (20 min).

4.1. Calculer la valeur de λ à partir de la valeur de la pente a obtenue précédemment:

(Exemple de calcul pour D=2,0m)

$a = 2\lambda D$ **donc** $\lambda = \dfrac{a}{2D}$

AN:$\lambda = \dfrac{2{,}57.10^{-6}}{2 \times 2} = 6{,}4.10^{-7} = = 640 nm$

4.2. On souhaite déterminer l'incertitude-type $u(\lambda)$.

Comme $\lambda = \frac{a}{2D}$ alors $\frac{u(\lambda)}{\lambda} = \frac{1}{2}\sqrt{(\frac{u(D)}{D})^2 + (\frac{u(a)}{a})^2}$ avec $u(D) = \frac{1 graduation}{\sqrt{6}}$.

Pour déterminer u(a), on peut effectuer une simulation de Monte-Carlo (voir document).

Compléter le code fourni avec vos valeurs et noter les valeurs de a et de u(a) ainsi déterminées.
On effectuera 100 000 simulations.

Résultats de la simulation de MC:

```
résultats de la simulation de MC: a= 2.5782061401656487e-06 u(a)= 4.428111778744461e-06 b= -
0.009991435986598239 u(b)= 0.06164678348302362
```

$a_{MC} = 2{,}6.10^{-6} m^2 ; u(a)_{MC} = 4{,}4.10^{-6} m^2$

Calculer $u(\lambda)$ et écrire le résultat de votre mesure:

$u(\lambda) = \lambda \times \frac{1}{2}\sqrt{(\frac{u(D)}{D})^2 + (\frac{u(a)}{a})^2}$

$\lambda = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \pm \ldots\ldots\ldots\ldots$

4.2. Comparer avec la valeur indiquée par le fabriquant à l'aide du z-score $z = \frac{|\lambda - \lambda_{ref}|}{u(\lambda)}$

Par convention, si z <2, les deux mesures sont compatibles entre elles.

Bilan du TP:

La figure de diffraction obtenue dépend de la FORME de l'objet diffractant utilisé.

Pour obtenir une figure de diffraction suffisamment grande avec une fente et un laser, il faut utiliser la plus PETITE fente possible et placer un écran à la plus GRANDE distance possible.

La largeur de la tache centrale est inversement PROPORTIONNELLE à la largeur de la fente utilisée en théorie.
Pour vérifier ce modèle, on peut tracer L en fonction de 1/d à l'aide de la bibliothèque MATPLOTLIB de Python. On obtient une droite LINEAIRE

On effectue une régression linéaire à l'aide de la bibliothèque NUMPY de Python afin de déterminer la valeur de la pente (coefficient directeur).

La détermination de la longueur d'onde s'effectue par le calcul à partir de la pente.
Une simulation de Monte-Carlo permet d'obtenir l'incertitude-type sur la pente.