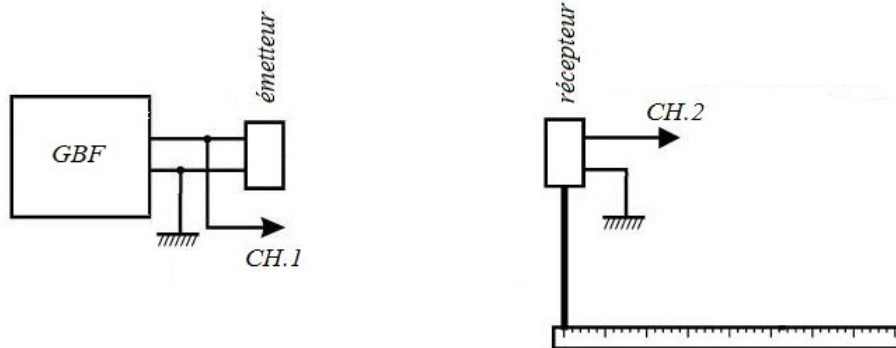


## 1 Mesure de la vitesse de phase des ultrasons

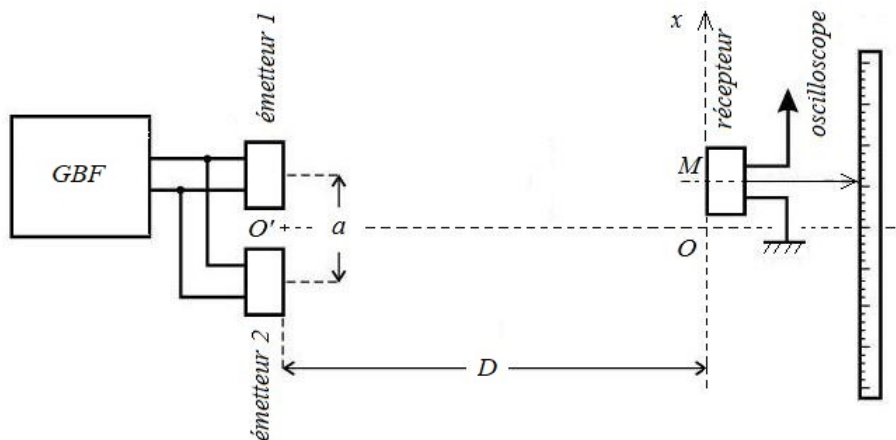
En utilisant le GBF, alimenter l'émetteur d'ultrasons avec un signal sinusoïdal d'amplitude 10 V et de fréquence 40 kHz. Visualiser le signal émis sur la voie 1 de l'oscilloscope et le signal reçu par le récepteur d'ultrasons sur la voie 2. Placer l'émetteur et le récepteur face à face, à une distance telle que les signaux émis et reçu soient en phase.



1. Reculer alors le récepteur pour mesurer 10 ou 20 longueurs d'ondes. En déduire une mesure de  $\lambda$  avec son incertitude-type  $u(\lambda)$ .
2. En déduire la vitesse de phase  $v_\phi$  et  $u(v_\phi)$  en négligeant l'incertitude sur  $f$ .

## 2 Interférences ultrasonores

Alimenter deux émetteurs d'ultrasons avec un même signal sinusoïdal d'amplitude 10 V et de fréquence 40 kHz. Placer les deux émetteurs côte à côte sur un support élévateur. Placer le récepteur d'ultrasons sur un support élévateur à une distance  $D$ , de l'ordre de 40 cm, des sources. Visualiser le signal reçu à l'oscilloscope.



3. Pourquoi est-il préférable de placer les émetteurs et le récepteur en hauteur ?
4. En déplaçant latéralement le récepteur, mesurer l'interfrange  $i_{\text{exp}}$  avec son incertitude-type  $u(i_{\text{exp}})$ .
5. Établir l'expression théorique de l'interfrange  $i_{\text{th}}$  en fonction de  $\lambda$ ,  $D$  et  $a$ .
6. Mesurer  $D$  et  $a$  et estimer leurs incertitudes-types. En utilisant la mesure de  $\lambda$  obtenue précédemment, calculer  $i_{\text{th}}$  et  $u(i_{\text{th}})$ .
7. Calculer l'écart normalisé entre  $i_{\text{exp}}$  et  $i_{\text{th}}$ . Conclure.

## 1 Mesure de la vitesse de phase des ultrasons

1. On mesure  $20\lambda = 17,5$  cm avec une précision  $\Delta = 1$  mm (la principale source d'incertitude est la difficulté à bien identifier des signaux en phase à l'oscilloscope). On en déduit  $\lambda = 8,750$  mm avec  $u(\lambda) = \frac{\Delta}{20\sqrt{3}} = 0,029$  mm.
2.  $v_\phi = \frac{\lambda}{T} = \lambda f = 350,0$  m/s et  $u(v_\phi) = u(\lambda)f = 1,2$  m/s

## 2 Interférences ultrasonores

3. Les ondes se réfléchissent sur la table et interfèrent avec les ondes qui arrivent directement au récepteur. Comme l'amplitude des ondes diminue avec la distance, placer les éléments en hauteur permet de réduire l'amplitude des ondes réfléchies.
4. On mesure  $2i_{\text{exp}} = 41,5 - 23,8$  cm = 17,7 cm avec une précision de  $\Delta = 0,5$  cm (la principale source d'incertitude est la difficulté à identifier un maximum ou un minimum d'amplitude à l'oscilloscope).  
On en déduit  $i_{\text{exp}} = 8,85$  cm avec  $u(i_{\text{exp}}) = \frac{\Delta}{2\sqrt{3}} = 0,14$  cm

$$5. \text{ D'après le théorème de Pythagore, } \begin{cases} E_1 M = \sqrt{D^2 + (x - \frac{a}{2})^2} = D \sqrt{1 + \frac{(x - \frac{a}{2})^2}{D^2}} \\ E_2 M = \sqrt{D^2 + (x + \frac{a}{2})^2} = D \sqrt{1 + \frac{(x + \frac{a}{2})^2}{D^2}} \end{cases}$$

or  $\sqrt{1 + \varepsilon} = 1 + \frac{\varepsilon}{2} + o(\varepsilon)$ , donc  $\delta = E_2 M - E_1 M \approx \frac{(x + \frac{a}{2})^2}{2D} - \frac{(x - \frac{a}{2})^2}{2D} = \frac{ax}{D}$ .

Lorsque  $x$  varie de  $i$ ,  $\delta$  varie de  $\lambda$ , donc  $i = \frac{\lambda D}{a}$ .

6. On mesure  $D = 45,5$  cm avec  $u(D) = \frac{0,5 \text{ cm}}{\sqrt{3}}$  (la principale source d'incertitude est le fait qu'on ne sait pas exactement où se situent les surfaces émettrices et réceptrice)  
et  $a = 4,4$  mm avec  $u(a) = \frac{1 \text{ mm}}{\sqrt{3}}$  (la principale source d'incertitudes est la difficulté à déterminer la position du milieu de chaque surface émettrice).

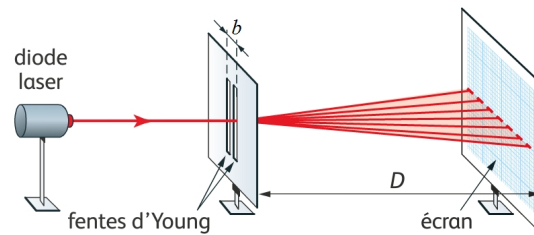
On en déduit  $i_{\text{th}} = 9,04$  cm.

$$[\frac{u(i_{\text{th}})}{i_{\text{th}}}]^2 = [\frac{u(\lambda)}{\lambda}]^2 + [\frac{u(D)}{D}]^2 + [\frac{u(a)}{a}]^2 \text{ d'où } u(i_{\text{th}}) = 0,13 \text{ cm}$$

7.  $E_N = \frac{|i_{\text{exp}} - i_{\text{th}}|}{\sqrt{u(i_{\text{exp}})^2 + u(i_{\text{th}})^2}} = 1,0 < 2$ , donc les 2 valeurs son compatibles.

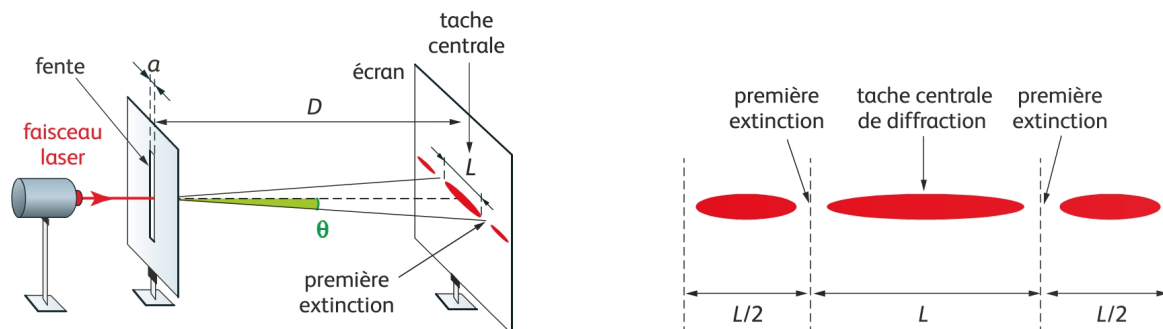
## Expérience des fentes d'Young

On dispose d'une diapositive avec 3 paires de fentes. La largeur de chaque fente est de  $a = 70 \mu\text{m}$  et les fentes sont respectivement distantes de  $b = 200 \mu\text{m}$ ,  $300 \mu\text{m}$  et  $500 \mu\text{m}$ .



- Établir l'expression de l'interfrange  $i$  de la figure d'interférences de 2 fentes d'Young distantes de  $b$  sur un écran situé à la distance  $D \gg b$ , en fonction de  $\lambda$ ,  $D$  et  $b$ .
- Éclairer la diapositive avec le laser et observer la figure d'interférences sur un écran en papier calque, situé à une distance  $D$  de l'ordre de 150 cm. Mesurer  $D$  et estimer l'incertitude-type  $u(D)$ .
- Pour chaque paire de fentes,
  - Prendre une photo de la figure d'interférences avec une webcam. On n'oubliera pas de faire figurer une échelle sur chaque photo.
  - Ouvrir l'image dans le logiciel SalsaJ.
  - Pour étalonner l'image, tracer un trait sur l'échelle. Dans la barre de menu, cliquer sur « Analyse » et « Indiquer l'échelle... ». Compléter les informations dans la fenêtre qui apparaît et cocher « Global ».
  - A l'aide d'une coupe d'intensité, mesurer l'interfrange  $i$ , et estimer l'incertitude-type  $u(i)$ .
- En utilisant la fonction Python `plt.errorbar(x,y,yerr=2*uy,fmt='.')`, tracer le graphe de  $i$  en fonction de  $1/b$ , avec les barres d'erreur correspondant à  $u(i)$ .
- Calculer le coefficient directeur moyen  $\bar{m}$  et son incertitude-type  $u(\bar{m})$ .
- Superposer la droite modèle  $i = \bar{m}/b$  sur le graphe. Conclure quant à la validité du modèle.
- Déduire de la mesure de  $m$ , une mesure de la longueur d'onde  $\lambda$  du laser et une estimation de l'incertitude-type  $u(\lambda)$ .
- La notice du laser fournit pour  $\lambda$  l'intervalle [647; 658] nm. Comparer avec la valeur mesurée en calculant un écart normalisé.

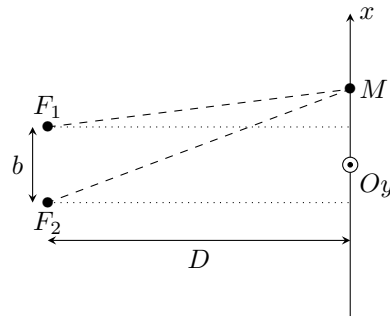
On peut montrer que la figure observée à l'écran est en fait la convolution de la figure d'interférences de 2 fentes distantes de  $b$  avec la figure de diffraction par une fente de largeur  $a$ .



- Établir l'expression de la longueur  $L$  de la tache centrale de diffraction par une fente de largeur  $a$  sur un écran situé à la distance  $D \gg L$ , en fonction de  $\lambda$ ,  $D$  et  $a$ . On rappelle la relation  $\sin \theta = \frac{\lambda}{a}$ .
- Reprendre l'expérience avec la paire de fentes correspondant à  $b = 500 \mu\text{m}$ . Mesurer cette fois-ci la longueur  $L$  de la tache centrale de diffraction et estimer l'incertitude-type  $u(L)$ .
- En utilisant la valeur de  $\lambda$  obtenue précédemment, en déduire une mesure de  $a$  avec son incertitude-type  $u(a)$ . Calculer l'écart normalisé avec la valeur attendue. Conclure.

## Expérience des fentes d'Young

1. On cherche la différence de chemin optique entre les 2 ondes issues des fentes  $F_1$  et  $F_2$ .



D'après le théorème de Pythagore, 
$$\begin{cases} F_1M = \sqrt{D^2 + (x - \frac{b}{2})^2 + y^2} = D\sqrt{1 + \frac{(x - \frac{b}{2})^2 + y^2}{D^2}} \\ F_2M = \sqrt{D^2 + (x + \frac{b}{2})^2 + y^2} = D\sqrt{1 + \frac{(x + \frac{b}{2})^2 + y^2}{D^2}} \end{cases}$$

or  $\sqrt{1 + \varepsilon} = 1 + \frac{\varepsilon}{2} + o(\varepsilon)$ , donc  $\delta = F_2M - F_1M \approx \frac{(x + \frac{b}{2})^2 + y^2}{2D} - \frac{(x - \frac{b}{2})^2 + y^2}{2D} = \frac{bx}{D}$ .

Lorsque  $x$  varie de  $i$ ,  $\delta$  varie de  $\lambda$ , donc  $\lambda = \frac{bi}{D}$ , soit  $i = \frac{\lambda D}{b}$

2. On mesure  $D = 150,0$  cm. La principale source d'incertitude est l'épaisseur et le défaut de planéité de l'écran. On modélise la distribution des mesures par une loi uniforme de demi-étendue  $\Delta = 0,2$  cm, d'où  $u(D) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 0,12$  cm
3. Pour  $b = 200$   $\mu\text{m}$ , on mesure  $10i = 4,88$  cm avec une demi-étendue  $\Delta = 0,02$  cm, d'où  $i = 4,880$  mm avec  $u(i) = \frac{\Delta}{10\sqrt{3}} = 0,012$  mm.  
 Pour  $b = 300$   $\mu\text{m}$ , on mesure  $10i = 3,30$  cm avec une demi-étendue  $\Delta = 0,01$  cm, d'où  $i = 3,300$  mm avec  $u(i) = \frac{\Delta}{10\sqrt{3}} = 0,0058$  mm.  
 Pour  $b = 500$   $\mu\text{m}$ , on mesure  $12i = 2,35$  cm avec une demi-étendue  $\Delta = 0,01$  cm, d'où  $i = 1,958$  mm avec  $u(i) = \frac{\Delta}{12\sqrt{3}} = 0,0048$  mm.

4. 

```
from math import *
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

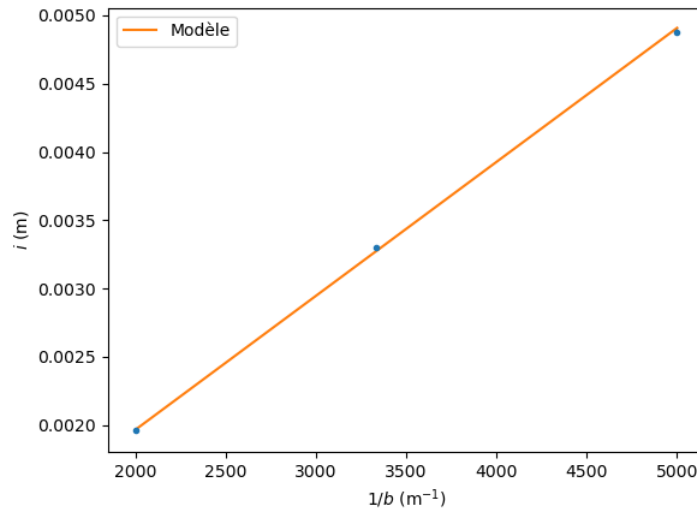
```
D=150e-2 # m
uD=0.2e-2/sqrt(3) # m
b=np.array([200,300,500])*1e-6 # m
i=np.array([4.88,3.3,1.958])*1e-3 # m
ui=np.array([0.012,0.0058,0.0048])*1e-3 # m
```

```
plt.errorbar(1/b, i, yerr=2*ui, fmt='.')
plt.show()
```

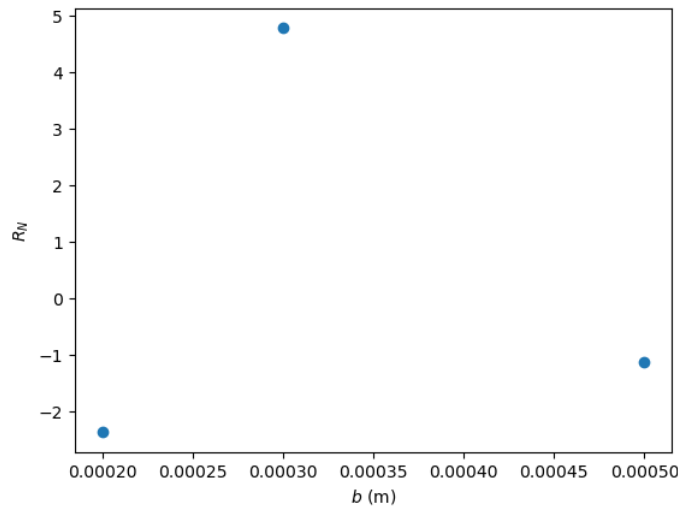
5. On calcule les coefficient directeur moyen et son incertitude-type par évaluation de type A.

```
m=np.mean(i*b)
um=np.std(i*b,ddof=1)/sqrt(3)
```

6. Les barres d'incertitude sont trop petites pour être visibles sur le graphe!



On peut tracer le graphes des résidus normalisés :  $R_N = \frac{i - \bar{m}}{u(i)}$



Les résidus normalisés ne sont pas compris dans  $[-2, 2]$ , donc le modèle n'est pas validé. En effet, on a négligé quelques sources d'incertitude : l'incertitude sur l'étalonnage des photos et surtout l'incertitude sur  $b$ , qui n'est pas fournie par le constructeur.

7.  $i = \frac{\lambda D}{b}$

On identifie  $\bar{m} = \lambda D$ , d'où  $\lambda = \frac{\bar{m}}{D}$ .

Par composition des incertitudes,  $u(\lambda) = \lambda \sqrt{\left[\frac{u(\bar{m})}{\bar{m}}\right]^2 + \left[\frac{u(D)}{D}\right]^2}$ .

On obtient  $\lambda = 654,4 \text{ nm}$  avec  $u(\lambda) = 2,4 \text{ nm}$

8. La valeur fournie par le constructeur est  $\lambda_c = \frac{647+658}{2} \text{ nm} = 652,5 \text{ nm}$  avec  $u(\lambda_c) = \frac{658-647}{2\sqrt{3}} \text{ nm} = 3,2 \text{ nm}$ .

L'écart normalisé est  $E_N = \frac{|\lambda - \lambda_c|}{\sqrt{u(\lambda)^2 + u(\lambda_c)^2}} = 0,49 < 2$ , donc la mesure est compatible avec la valeur fournie par le constructeur.

9. Dans l'approximation des petits angles,  $\theta \sim \tan \theta = \frac{L}{2D}$  et  $\theta \sim \sin \theta = \frac{\lambda}{a}$  donc  $L = \frac{2\lambda D}{a}$

10. On mesure la tache centrale et les 2 petites taches de part et d'autre (de longueur  $\frac{L}{2}$ ) :  $2L = 6,09 \text{ cm}$  avec  $\Delta = 0,3 \text{ cm}$ , d'où  $L = 3,045 \text{ cm}$  avec  $u(L) = \frac{\Delta}{2\sqrt{3}} = 0,087 \text{ cm}$

11.  $a = \frac{2\lambda D}{L} = 64,48 \text{ }\mu\text{m}$

Par composition des incertitudes,  $u(a) = a \sqrt{\left[\frac{u(L)}{L}\right]^2 + \left[\frac{u(D)}{D}\right]^2} = 1,8 \text{ }\mu\text{m}$

$E_N = \frac{|a - a_c|}{u(a)}$  (on néglige l'incertitude inconnue  $u(a_c)$  sur la valeur constructeur)

Finalement,  $E_N = 3 > 2$ , la mesure n'est pas compatible avec la valeur fournie par le constructeur. On en déduit que l'incertitude sur la valeur constructeur est probablement importante.