Correction TP diffraction

I. Diffraction d'ondes mécaniques progressives sinusoïdales

1. On constate que lorsque l'onde incidente dépasse un obstacle ou une ouverture, l'onde subit un changement de direction de propagation. Il s'agit du phénomène de diffraction.

2. On constate que sur la figure 1, la diffraction se fait uniquement sur les bords tandis que sur la figure 2, la diffraction se produit sur toute l'ouverture.

3. On utilise l'échelle :

Avant la fente :

$2cm \leftrightarrow 5{,}0cm$

$1{,}8cm \leftrightarrow d \; pour \; 4 \; longueurs \; d'onde \; \lambda$

$d = \dfrac{1{,}8 \times 5{,}0}{2} = 4{,}50cm \; avec \; u(d) = 0{,}05cm$

Soit $d = 4\lambda = 4{,}50 \pm 0{,}05cm$

$\lambda = \frac{d}{4} = 1{,}13 \pm 0{,}02cm$ (on majore l'incertitude)

Après la fente :

$2cm \leftrightarrow 5{,}0cm$

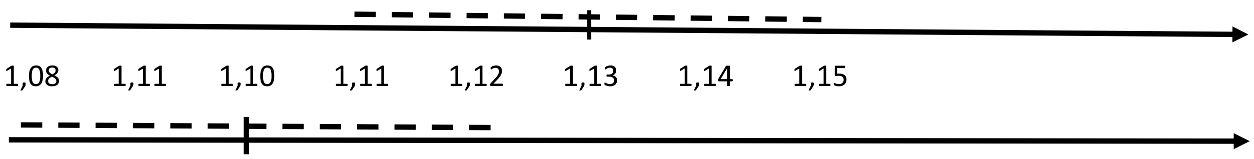
$2{,}2cm \leftrightarrow d' pour \; 5 \; longueurs \; d'onde \; \lambda$

$d' = \dfrac{2{,}2 \times 5{,}0}{2} = 5{,}25cm \; avec \; u(d) = 0{,}05cm$

Soit $d = 5i = 5{,}50 \pm 0{,}05cm$

$\lambda' = \frac{d}{5} = 1{,}10 \pm 0{,}02cm$ (on majore l'incertitude)

Représentation des domaines d'incertitude



Même si on ne trouve pas tout à fait la même valeur avant et après la fente, les domaines d'incertitude on une partie commune. On peut en déduire que la longueur d'onde λ avant et après diffraction ne varie pas.

(même remarque pour la figure 2)

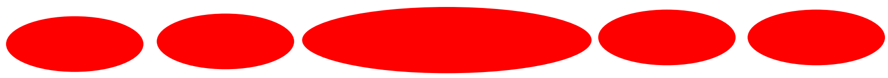
4. Lorsque l'ouverture a est environ égale la longueur d'onde λ, l'onde est diffractée dans toutes les directions

Lorsque l'ouverture a est 5 fois plus grande que l'ouverture, la diffraction n'est observée que sur les bords et l'écart angulaire θ est plus faible.

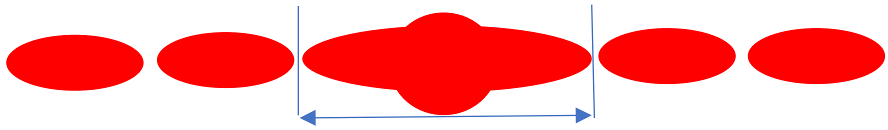
II. Diffraction de la lumière

1. Observation de la diffraction de la lumière d'un laser par une fente verticale (ou un fil vertical) :

a. On observe une figure de diffraction. La tache centrale est 2 fois plus large que les taches latérales.



Lorsque l'on remplace la fente par un fil on observe la même figure de diffraction avec la lumière du laser qui arrive directement au centre. (Théorème de Babinet)



b. Si on diminue la largeur de la fente ou du fil, la tache centrale de diffraction est plus large.

c. Par analogie avec les ondes mécaniques, l'écart angulaire θ augmente lorsque la largeur de la fente diminue.

2. Etude quantitative de la diffraction

a. Pour mesurer précisément la largeur de la tache centrale l :
- on mesure 3l et on divise par 3. On divise ainsi par 3 l'incertitude sur la mesure de l que l'on note u(l).
- on mesure bien l en se plaçant bien au milieu de la partie sombre.

b. Lorsque la longueur **a** diminue, la taille de la tache centrale **l** augmente.

$\tan\theta = \theta$ *car les angles sont petits*

$$\theta = \frac{l/2}{D} = \frac{l}{2\times D}$$

$$\theta = \frac{0{,}0160}{2\times 1{,}50} = 0{,}00533 \text{ rad}$$

c. Utilisation de Regressi :

Convertir toutes les distances en mètre.

40µm s'écrit 40E-6m sur Regressi

4,9cm s'écrit 4,9E-2m

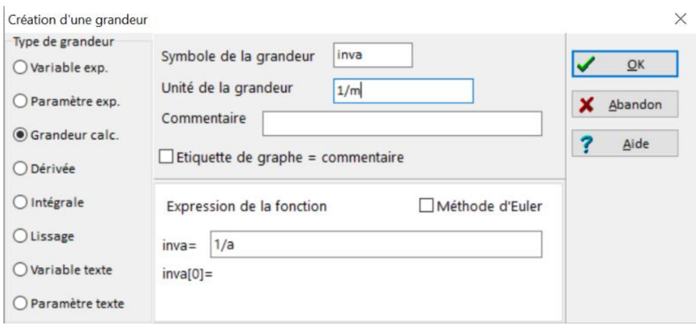
θ s'écrit ctrl q

fichier nouveau clavier

Symbole	Unité
a	m
l	m
θ	rad

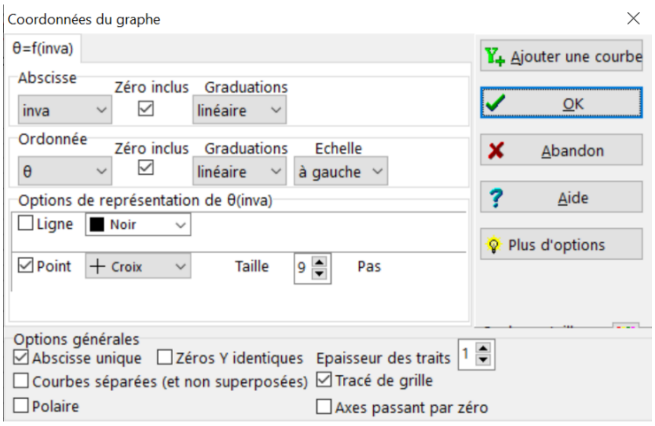
i	a	l	θ
	m	m	rad
0	$4{,}000\cdot10^{-5}$	0,0490	0,0160
1	$5{,}000\cdot10^{-5}$	0,0390	0,0130
2	0,0001	0,0200	0,0067
3	0,00012	0,0160	0,00544

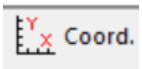
Pour créer la grandeur 1/a que l'on appellera inva (pour inverse de a)



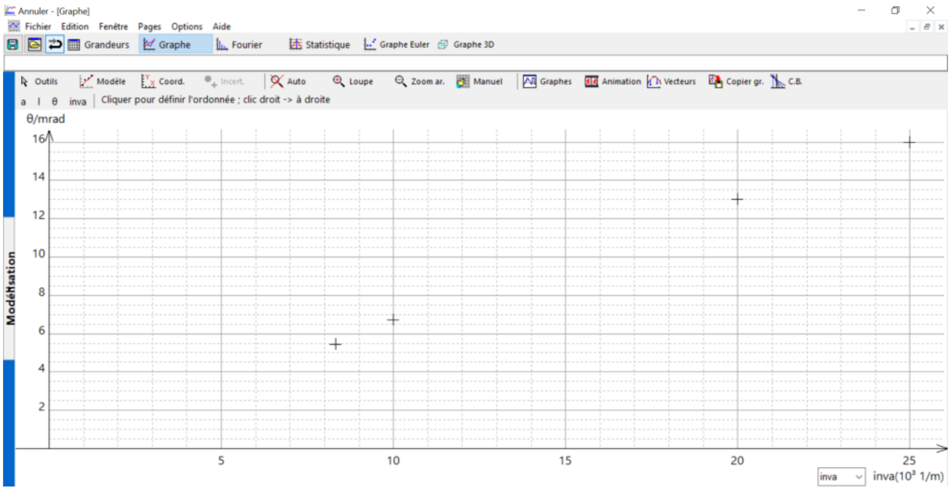
Les points sont alignés sur une droite qui passe par l'origine. On modélise par une fonction linéaire.

i	a	l	θ	inva
	m	m	rad	1/m
0	4,000·10⁻⁵	0,0490	0,0160	2,500·10⁴
1	5,000·10⁻⁵	0,0390	0,0130	2,000·10⁴
2	0,0001	0,0200	0,0067	1,000·10⁴
3	0,00012	0,0160	0,00544	8333



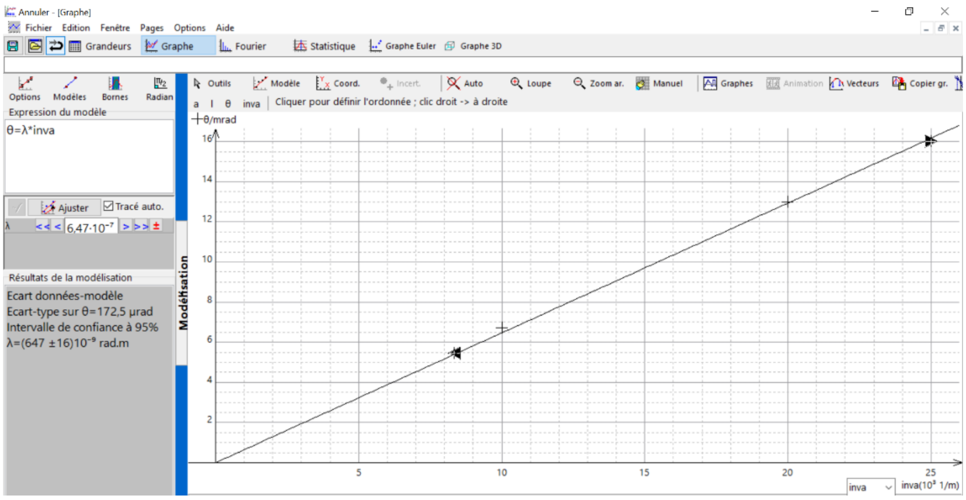
Dans coordonnées  ne conserver qu'une seule courbe

Ne relier surtout pas les points.



On observe que la courbe d'equation θ = f(inva) est une droite qui passe par l'origine

d. Cliquez sur **modélisation Modèle linéaire** puis **ajuster**
Modifier le coefficient directeur a par la **lettre λ (ctrl l)** puis **ajuster**



On obtient θ = λ × inva
avec **λ=(647 ±16)10⁻⁹ m**
(attention rad × m = m)
Le coefficient directeur est
λ = 6,47×10⁻⁷ m

Pour comparer λ à λ_0 on calcule le z-score

$$z = \frac{|\lambda - \lambda_0|}{u(\lambda)}$$

$$z = \frac{|647 - 650|}{16} = 0{,}18$$

Le z-score étant inférieur à 2, la valeur trouvée est conforme à la valeur théorique.

Attention : cette incertitude sur λ est fausse car on n'a pas tenu compte de l'incertitude sur a, l et D
Vous verrez plus tard qu'on peut rajouter l'incertitude sur a l et θ directement dans Regressi.

e. On utilise la plus grande valeur de l possible

On sait que $\theta = \frac{\lambda}{a}$ donc λ = θ × a soit λ_{exp}= 0,016 × 0,000040 = 6,4×10^{-7} m

Calcul de l'incertitude type sur λ_{exp} :

$\frac{u(a)}{a} = \frac{2}{100}$ donné sous la formule du calcul de $u(\lambda_{exp})$ sur la feuille de TP

$$u(\lambda_{exp}) = \lambda_{exp} \times \sqrt{(\frac{u(a)}{a})^2 + (\frac{u(l)}{l})^2 + (\frac{u(D)}{D})^2}$$

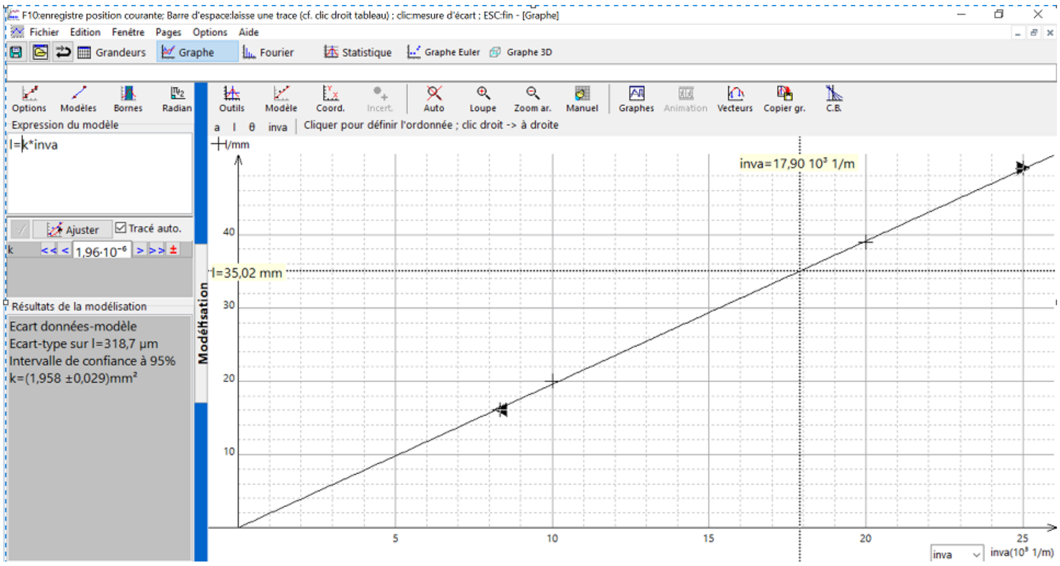
$$u(\lambda_{exp}) = \mathbf{6,4 \times 10^{-7}} \times \sqrt{(\frac{2}{100})^2 + (\frac{1}{49})^2 + (\frac{0,01}{1,5})^2} = \mathbf{1,87 \times 10^{-8} m = 0,2 \times 10^{-7} m}$$

Conclusion $\boxed{\lambda_{exp} = (6,4 \pm 0,2) \times 10^{-7}\ m}$

Calcul du z-score : $z = \frac{|\lambda_{exp} - \lambda_{theo}|}{u(\lambda_{exp})} = \frac{|6,4 - 6,50|}{0,2} = \mathbf{0,5}$

$z = 0,5 < 2$ donc notre valeur trouvée est conforme à la valeur théorique

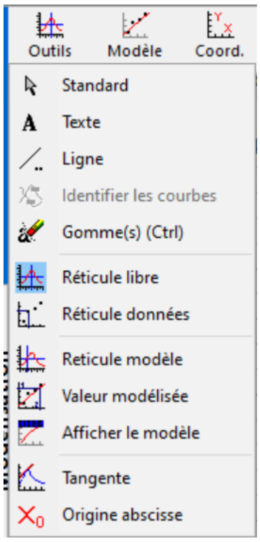
f. On trace la courbe d'équation l = f(inva) puis on modélise par un modèle linéaire :



On relève l'équation de la courbe **l = k × inva** avec **k = 1,96.10^{-6}m^2**

g. Protocole :

- remplacer la fente par un cheveu
- mesurer la largeur de la tache centrale de diffraction (On mesure avec un cheveu l' 3,5cm)
- Sur la courbe d'étalonnage l = f(inva) utiliser l'outil réticule libre et en déduire la valeur de 1/a'= 17,90.10^3 m^{-1}
- en déduire la valeur de **a'=55,8.10^{-6} m = 55,8 µm**



Remarque : On peut aussi utiliser la valeur de k trouvée :

$$\boldsymbol{inva = \frac{l'}{k} \quad soit \quad a = \frac{k}{l'} = \frac{1,96.10^{-6}}{3,5.10^{-2}}} = \mathbf{56\ µm}$$

h. $\theta = \frac{\lambda}{a'}$ et $\theta = \frac{l}{2D}$ $soit$ $\frac{\lambda}{a'} = \frac{l}{2D}$ et $l = \frac{2\lambda D}{a'} = 2\lambda D \times \frac{1}{a'}$ équation de la courbe de la question f.

On en déduit la valeur de k= $2\lambda D$ = 2 × 650×10^{-6} × 1,50 = **1,95×10^{-6} m^2** et on en déduit par le calcul précédent la valeur de a'= **56 µm**

Le calcul d'incertitude sur la valeur a' n'est pas demandé dans ce TP mais cela aurait pu être demandé.