Terminale	Série 4 : Diffraction et Interférence	OMRI Rafik

Exercice N°1 :

1. ***S_2 délivre le même signal sonore que S_1. En l'absence d'interférences entre les deux sources, déterminer l'expression L_{1+2} du niveau d'intensité sonore en fonction de L_1.***

(1,5pt) On additionne les intensités sonores.

$$L_{1+2} = 10 \log \left(\frac{2I_1}{I_0}\right)$$

Comme log (a×b) = log(a) + log(b) avec a = 2 et b = $\frac{I_1}{I_0}$

$$L_{1+2} = 10 \log(2) + 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0}\right)$$

$L_{1+2} = 3{,}0 + L_1$

2. **On s'intéresse maintenant au phénomène d'interférences entre les ondes issues des deux sources supposées identiques et émettant des signaux de même fréquence et en phase. Préciser s'il y a interférences constructives ou destructives dans cette position d'écoute. Justifier.**

(1 pt) Le point d'écoute est à égale distance des deux sources. Les ondes sonores arrivent donc en phase. Les interférences sont constructives.
La différence de marche est $\delta = 0$ ce qui vérifie la condition d'interférences constructives $\delta = k.\lambda$ avec $k = 0$.

3. **Donner la condition nécessaire pour que la position d'écoute soit un lieu d'interférences destructives.**

(1 pt) Il faut que les ondes sonores soient en opposition de phase au point d'écoute. Pour cela, il faut que la différence de marche $\delta = (2k + 1).\frac{\lambda}{2}$

La position d'écoute est maintenant telle que $D_1 = 3{,}34$ m, $D_2 = 3{,}00$ m et $d = 2{,}00$ m comme indiquée sur la **figure 2** ci-dessous.

4. **Exprimer et calculer la longueur d'onde λ_1 la plus grande pour laquelle les interférences sont destructives.**

(2 pts) Interférences destructives si $\delta = (2k + 1).\frac{\lambda}{2}$

donc $2\delta = (2k+1).\lambda$

$\lambda = \frac{2\delta}{2k+1}$ alors la plus grande longueur d'onde λ correspond à $k = 0$.

$\lambda = 2\,\delta$

D'après la figure $\delta = D_1 - D_2$.

$\lambda = 2\,(D_1 - D_2)$

$\lambda = 2\times(3{,}34 - 3{,}00) = 0{,}68$ m = 68 cm

5. **Déterminer les quatre premières fréquences pour lesquelles le niveau d'intensité sonore perçu est diminué par le phénomène d'interférence. On introduira au besoin un entier k.**

(2 pt) On a établi $\lambda = \frac{2\delta}{2k+1}$ or $\lambda = \frac{v_{son}}{f}$

$$\frac{2\delta}{2k+1} = \frac{v_{son}}{f}$$

$2\delta.f = (2k+1).v_{son}$

$f = \frac{(2k+1).v_{son}}{2\delta}$ avec $\delta = D_1 - D_2 = 0{,}34$ m

Pour $k = 0$, $f = \frac{(2\times 0+1).v_{son}}{2\delta} = \frac{v_{son}}{2\delta}$

$f = \frac{340}{2\times 0{,}34}$ = $5{,}0\times 10^2$ Hz

Pour $k = 1$, $f = \frac{(2\times 1+1).v_{son}}{2\delta} = \frac{3v_{son}}{2\delta}$

$f = \frac{3\times 340}{2\times 0{,}34}$ = $1{,}5\times 10^3$ Hz

Pour $k = 2$, $f = \frac{(2\times 2+1).v_{son}}{2\delta} = \frac{5v_{son}}{2\delta}$

$f = \frac{5\times 340}{2\times 0{,}34}$ = $2{,}5\times 10^3$ Hz

Pour $k = 3$, $f = \frac{(2\times 3+1).v_{son}}{2\delta} = \frac{7v_{son}}{2\delta}$

$f = \frac{7\times 340}{2\times 0{,}34}$ = $3{,}5\times 10^3$ Hz

6. **Un auditeur se déplace sur l'axe (x'x) représenté sur la figure 2 de la position d'écoute précédente vers le point O. Décrire qualitativement comment évoluent les fréquences perturbées par le phénomène d'interférence. Justifier.**

(1 pt) On a établi $f = \frac{(2k+1).v_{son}}{2\delta}$ et en remontant vers le point O δ diminue donc les fréquences perturbées augmentent.

7. **Expliquer avec des considérations physiques issues des questions précédentes en quoi l'écoute d'une séquence audio en stéréophonie peut être altérée.**

(1,5 pt) L'écoute en stéréophonie est altérée sauf en position O.
En d'autres positions, la séquence audio est perçue avec des fréquences manquantes en raison des interférences destructives.

Exercice N°2 :

1. On fait l'hypothèse que l'angle caractéristique de diffraction est petit. La largeur de la tache centrale de diffraction peut s'exprimer sous la forme : $\ell = k \times \frac{1}{a}$. Donner l'expression de la constante k en fonction de D et λ.

Dans le triangle rectangle délimité par le centre de la tache centrale, une de ses extrémités et le centre de la fente, on a $\theta \approx \tan\theta = \frac{\frac{\ell}{2}}{D}$, soit $\theta = \frac{\ell}{2D}$.

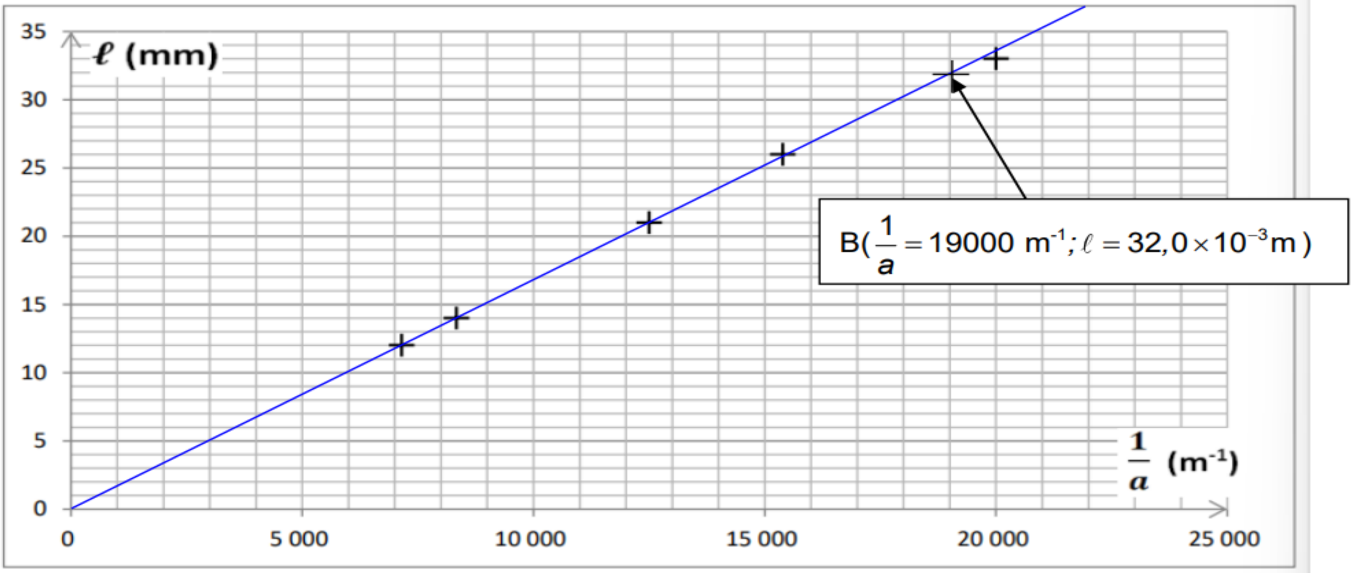
Par ailleurs, on sait que $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

Ainsi $\frac{\lambda}{a} = \frac{\ell}{2D}$, donc $\ell = 2D.\lambda.\frac{1}{a}$ ou $\ell = k.\frac{1}{a}$ avec $k = 2D.\lambda$.

2. Déterminer graphiquement la valeur de la constante k en m², avec trois chiffres significatifs, en faisant apparaître la démarche sur le document-réponse de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE.

$k = \dfrac{32,0 \times 10^{-3}}{19000} = 1,68 \times 10^{-6}$ m²

Document-réponse : EXERCICE I, question 2.



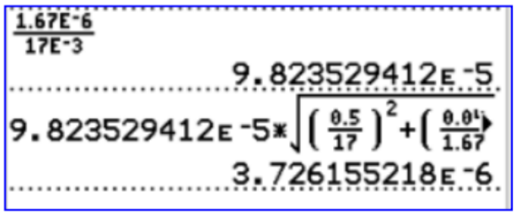
La mesure de la largeur de la tache centrale de diffraction a donné : ℓ = 17,0 mm. L'incertitude-type sur la mesure réalisée est : $u(\ell)$ = 0,5 mm. La modélisation du nuage de points $\ell = f\left(\dfrac{1}{a}\right)$ par un tableur-grapheur a fourni la valeur de la constante kk avec son incertitude-type associée : $k = 1,67 \times 10^{-6}$ m² et $u(k) = 0,04 \times 10^{-6}$ m².

3. Calculer la valeur expérimentale du diamètre a_{fil} du fil puis son incertitude-type associée définie par $u(a_{fil}) = a_{fil} \cdot \sqrt{\left(\dfrac{u(\ell)}{\ell}\right)^2 + \left(\dfrac{u(k)}{k}\right)^2}$.

$\ell = k.\dfrac{1}{a}$ donc $a_{fil} = k.\dfrac{1}{\ell}$

$a_{fil} = 1,67 \times 10^{-6} \times \dfrac{1}{17,0 \times 10^{-3}}$ = 9,82×10⁻⁵ m = 98,2 µm

$$u(a_{fil}) = a_{fil} \cdot \sqrt{\left(\frac{u(\ell)}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{u(k)}{k}\right)^2}$$



$$u(a_{fil}) = 98,2\ \mu\text{m} \sqrt{\left(\frac{0,5\ \text{mm}}{17,0\ \text{mm}}\right)^2 + \left(\frac{0,04 \times 10^{-6}\ \text{m}^2}{1,67 \times 10^{-6}\ \text{m}^2}\right)^2} = 3,7\ \mu\text{m} = 4\ \mu\text{m}$$

L'incertitude est arrondie à un seul chiffre significatif et par excès.

$a_{fil} = 98 \pm 4$ µm

4. Comparer avec la valeur de 100 µm annoncée par le fabricant.

On calcule le z-score.

$z = \dfrac{|a_{fil} - a_{réf}|}{u(a_{fil})}$

$z = \dfrac{|98 - 100|}{4} = \dfrac{2}{4}$ = 0,5 < 2 ainsi la valeur mesurée est en accord avec la valeur de référence du constructeur.

5. Les particules de lactose sont assimilées à des sphères. Décrire qualitativement l'allure de la figure de diffraction obtenue au cours de la mesure effectuée au granulomètre.
D'après le théorème de Babinet, et sachant qu'une sphère de lactose est complémentaire d'une ouverture circulaire, on observe une tâche centrale circulaire brillante entourée d'une alternance de cercles concentriques brillants et sombres.

Exercice N°3 :

1.1. Les principales propriétés du faisceau d'un laser sont :

- sa directivité,
- sa monochromaticité (longueur d'onde unique),
- sa cohérence (ondes lumineuses de déphasage constant).

1.2. L'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde aux dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle ; ainsi, si la longueur d'onde est fixée, le demi-angle θ_0 sera plus élevé si le diamètre du fil est faible. On retrouve cette idée dans la relation $\theta_0 = \frac{\lambda}{a}$.

1.3. À l'aide du schéma, on peut écrire : $\tan\theta_0 = \frac{L/2}{D} = \frac{L}{2D}$

Dans le cadre de l'approximation des petits angles donné : $\theta_0 \approx \tan\theta_0 = \frac{L}{2D}$

Or $\theta_0 = \frac{\lambda}{a}$ (question **1.2.**) donc $\theta_0 = \frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$.

On en déduit que $L = \frac{2\lambda.D}{a}$ que l'on peut écrire $L = k.\frac{1}{a}$ avec $k = 2\lambda.D$

1.4. Vu que $L = k.\frac{1}{a}$ avec $k = 2\lambda.D$, la courbe $L = f\left(\frac{1}{a}\right)$ est une droite passant par l'origine de coefficient directeur k.

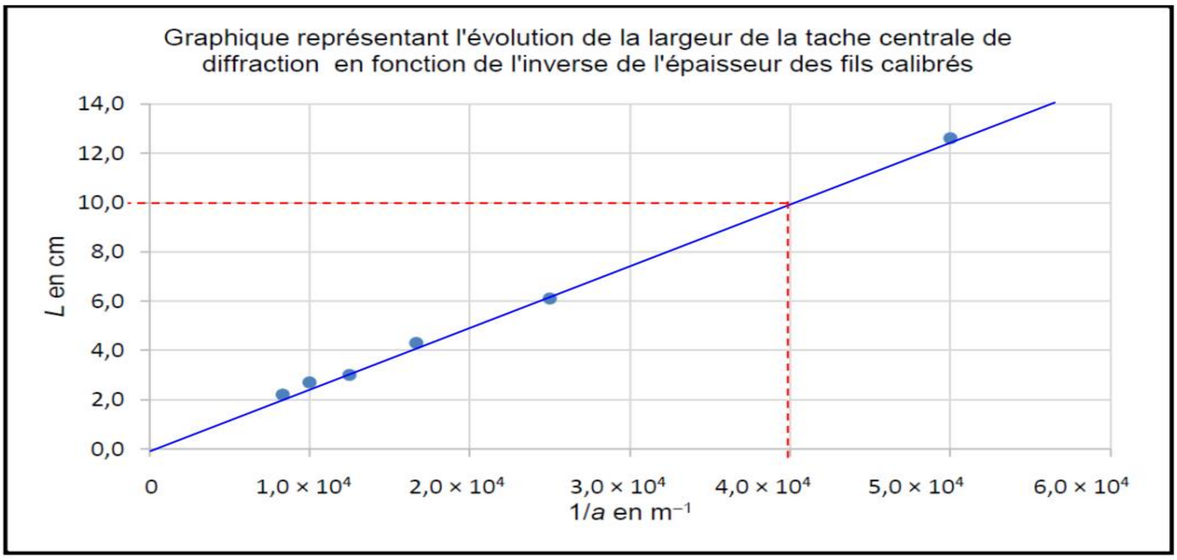
On trace la droite modélisée (passant au plus près de tous les points expérimentaux), on détermine son coefficient directeur : $k = \frac{\Delta L}{\Delta(1/a)} = \frac{10{,}0\times10^{-2} - 0}{4{,}0\times10^{4} - 0} = 2{,}5\times10^{-6}\,\text{m}^2$

(ATTENTION L doit être en mètre pour que la relation soit homogène)

Or $k = 2\lambda.D$ donc $\lambda = \frac{k}{2D}$

$$\lambda = \frac{2{,}5\times10^{-6}}{2\times200\times10^{-2}} = 6{,}25\times10^{-7}\ \text{m} = 6{,}3\times10^{-7}\ \text{m}$$

$$\lambda = \frac{2{,}5\times10^{-6}}{2\times200\times10^{-2}} = 6{,}25\times10^{-7}\ \text{m} = 6{,}3\times10^{-7}\ \text{m}$$

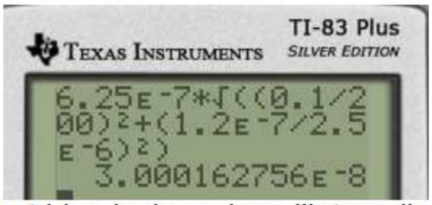


1.5. *Conformément aux recommandations de la métrologie, nous faisons le choix de la notation U(x) pour l'incertitude (Uncertainty) sur la mesure de x plutôt que la notation Δx.*

$$U(\lambda)=\lambda.\sqrt{\left(\frac{U(D)}{D}\right)^2+\left(\frac{U(k)}{k}\right)^2}$$

Sur la figure, on lit D = 200,0 ±0,1 cm, on en déduit que U(D) = 0,1 cm

$$U(\lambda)=6{,}25\times10^{-7}\times\sqrt{\left(\frac{0{,}1}{200{,}0}\right)^2+\left(\frac{1{,}2\times10^{-7}}{2{,}5\times10^{-6}}\right)^2}=3\times10^{-8}\text{m}$$



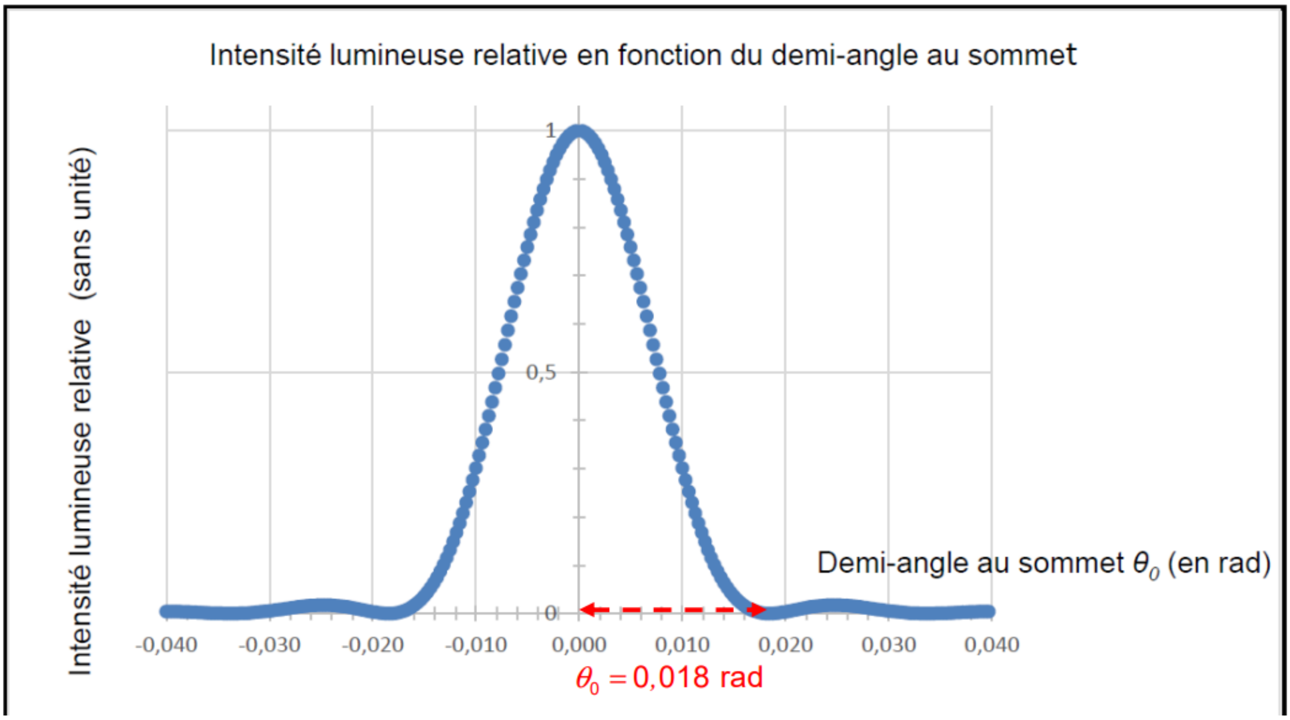
Ainsi : $\lambda=(6{,}3\pm0{,}3)\times10^{-7}\text{m}$

La valeur de 635 nm = $6{,}35\times10^{-7}$ m donnée par le fabriquant est bien incluse dans l'intervalle de confiance. Les mesures sont validées.

2. Étude de la diffraction par la poudre de cacao

2.1. Le grain sphérique se comporte comme un obstacle circulaire et donne donc la même figure de diffraction qu'un trou de même dimension (tout comme une fente et un fil de mêmes dimensions donnent la même figure de diffraction).

2.2. D'après la courbe fournie, $\theta_0=0{,}018$ rad



Or $\sin\theta_0=\frac{1{,}22.\lambda}{a}$ donc $a=\frac{1{,}22.\lambda}{\sin\theta_0}$

$$a=\frac{1{,}22\times635\times10^{-9}}{\sin(0{,}018)}=4{,}3\times10^{-5}\text{m} = 43\ \mu\text{m}$$

D'après le document 2, ces grains sont trop gros pour être utilisés comme chocolat de couverture dont le diamètre moyen vaut a = 10 µm.