

DEVOIR SURVEILLÉ : ONDES ET OPTIQUE ONDULATOIRE

Filière CPGE – TSI

Durée : 2h — Calculatrice autorisée

Exercice n°1

On se propose dans cet exercice de déterminer la taille des mailles d'un tamis en utilisant une diode laser de longueur d'onde $\lambda = (650 \pm 10) \text{ nm}$.

1. Vérification de la valeur de la longueur d'onde de la diode laser utilisée

Pour vérifier la valeur de la longueur d'onde de la diode laser annoncée par le constructeur, on réalise une expérience dont le schéma est donné ci-dessous (figure 1).

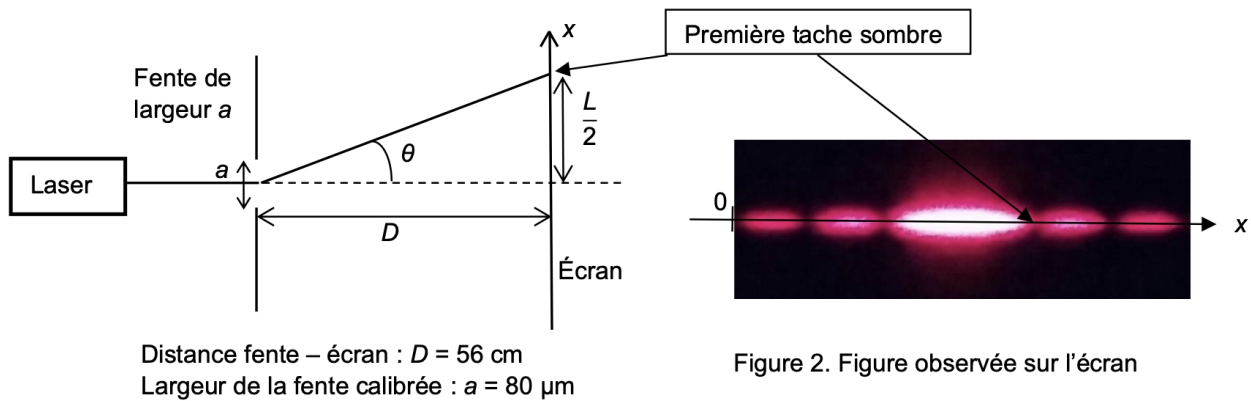


Figure 1. Schéma de l'expérience (échelle non respectée)

Figure 2. Figure observée sur l'écran

1.1. Nommer le phénomène physique responsable des taches lumineuses observées sur l'écran. Discuter qualitativement de l'influence de la largeur de la fente et de la longueur d'onde de l'onde incidente sur le phénomène observé.

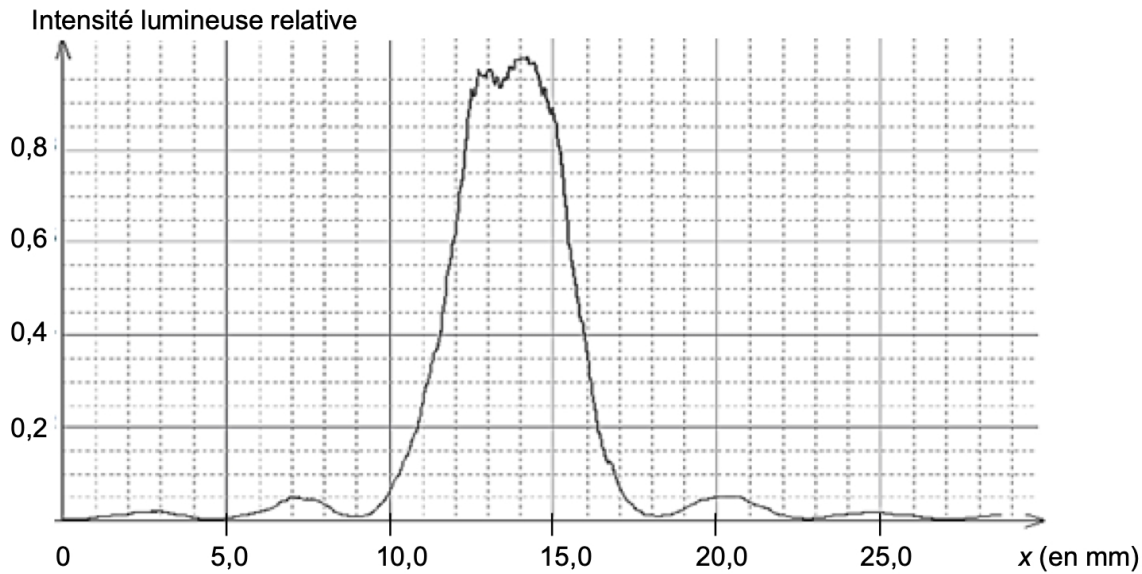
1.2. On rappelle que l'angle θ est donné par la relation $\theta = \lambda/a$ et on considère que $\tan \theta \approx \theta$ pour les petits angles ($\theta \ll 1 \text{ rad}$). Déterminer l'expression de l'angle θ en fonction de la largeur L de la tache centrale et de D . En déduire l'expression de la longueur d'onde λ en fonction de L , a et D .

Pour faire une mesure précise, on remplace l'écran par une caméra qui permet d'obtenir l'intensité lumineuse relative* en fonction de la position x , repérée selon l'axe indiqué sur la photo de la figure

2. L'origine $x = 0 \text{ m}$ est prise sur le bord du capteur de la caméra. On obtient alors la figure 3.

* L'intensité lumineuse relative est le rapport de l'intensité lumineuse reçue par le capteur sur l'intensité maximale reçue.

1.3. Déterminer la valeur de la longueur d'onde de la diode laser utilisée en exploitant la courbe obtenue sur la figure 3. La comparer à la valeur indiquée par le constructeur.

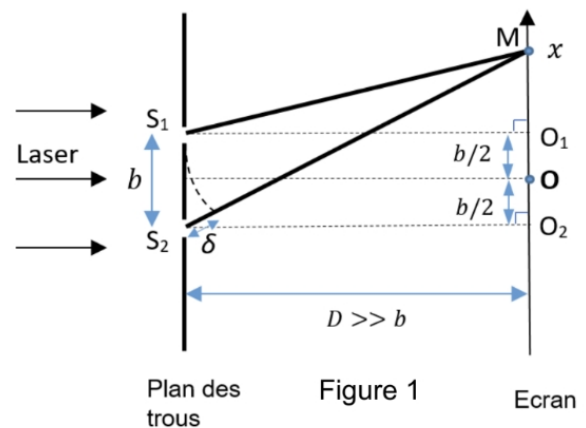


Exercice n°2

Dans cet exercice, on utilise la figure d'interférences obtenues dans l'expérience des trous d'Young pour déterminer une valeur de longueur d'onde lumineuse du laser utilisé.

La figure 1 ci-dessous décrit le trajet des ondes lumineuses issues des deux trous d'Young. Chaque trou se comporte comme une source ponctuelle d'ondes lumineuses.

- S_1 et S_2 les trous d'Young
- b est la distance entre les deux trous d'Young
- D est la distance entre le plan de deux trous d'Young et l'écran
- M est le point de l'écran où l'on observe les interférences
- La distance D est très supérieure à la distance b ($D \gg b$).



On note S_1M la distance qui sépare S_1 de M et S_2M la distance qui sépare S_2 de M .

Données :

- La différence de chemin optique, ou différence de marche, δ des deux ondes au point M de coordonnée x s'exprime sous la forme : $\delta = n_{\text{milieu}} \cdot (S_2M - S_1M)$ avec n_{milieu} l'indice de réfraction du milieu traversé.
- La valeur de la vitesse de la lumière dans l'air vair est égale à $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.
- L'indice de réfraction d'un milieu est par définition $n_{\text{milieu}} = c/v_{\text{milieu}}$ avec v_{milieu} la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu étudié.

Relation entre l'interfrange et la longueur d'onde

1. Justifier que la différence de marche δ peut être assimilée à $(S_2M - S_1M)$ dans le cas où le milieu traversé par les ondes lumineuses est l'air.

2. En appliquant le théorème de Pythagore dans les triangles S_1O_1M et S_2O_2M de la figure 1, donner les expressions de $(S_1M)^2$ et $(S_2M)^2$ en fonction de D , x et b puis celle de $(S_2M)^2 - (S_1M)^2$. Utiliser l'identité remarquable $A^2 - B^2 = (A - B)(A + B)$ pour simplifier son expression.

La distance D entre les trous d'Young et l'écran étant très supérieure à b , on peut montrer que $(S_2M)^2 - (S_1M)^2 = 2 D \delta$

3. En s'appuyant sur les résultats de la question précédente, en déduire que la différence de marche s'écrit : $\delta = x.b/D$.

La figure 2 ci-après représente la figure d'interférences obtenue avec deux trous d'Young.

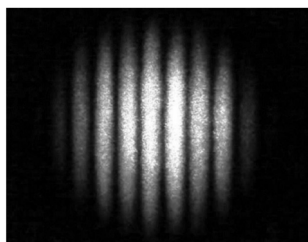


Figure 2 : Figure d'interférences de l'expérience de Young Source : f-legrand.fr

Données :

- La distance entre les trous d'Young est $b = 2,0 \times 10^{-4} \pm 0,1 \times 10^{-4} \text{ m}$;
- La distance D entre le plan des trous et l'écran a pour valeur $D = 119,0 \pm 0,5 \text{ cm}$.

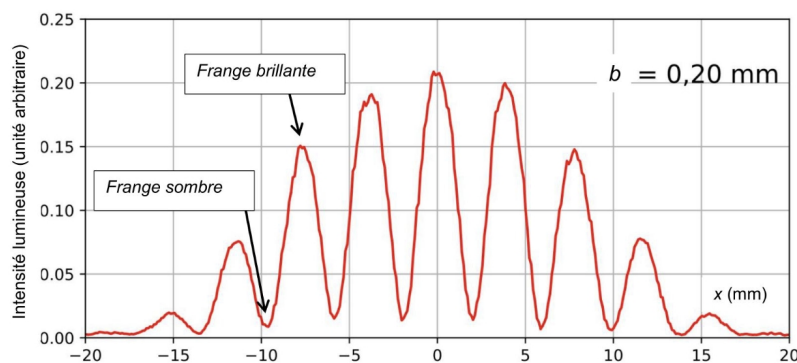


Figure 3 : Courbe représentant les variations d'intensité lumineuse pour la figure d'interférences de l'expérience de Young Source : f-legrand.fr

4. À l'aide des données et en admettant que $\delta = x.b/D$, montrer que $x = k.\lambda D/b$ pour un point M situé au maximum d'intensité d'une frange brillante.

➤ L'expression de l'interfrange i en fonction de λ , b et D est :

$$i = x_{k+1} - x_k = (k+1)\lambda D/b - k\lambda D/b = \lambda D/b$$

5. À l'aide de la figure 3 déterminer précisément la valeur de l'interfrange i .

6. En déduire la valeur de la longueur d'onde de la lumière utilisée dans cette expérience.

Plusieurs lasers ont pu être utilisés dans cette expérience :

Laser	bleu vert	Rouge A	Rouge B	Rouge C
Longueur d'onde	473 nm	532 nm	632 nm	694 nm

7. Parmi les lasers cités, identifier le laser qui a pu être utilisé pour réaliser l'expérience.

Exercice n°3 : le bio-sonar des chauves-souris

De nombreuses espèces de chauves-souris utilisent l'écholocalisation pour se repérer et chasser des insectes en vol, même dans une obscurité totale. Elles émettent des cris ultrasonores brefs et analysent les échos renvoyés par leur environnement.

1. Généralités sur les ondes sonores

Le son émis par une chauve-souris se propage dans l'air sous forme de compressions et de détentes successives des couches d'air environnantes.

1.1. Rappeler la définition d'une onde mécanique. Le son est-il une onde mécanique ou électromagnétique ? Justifier.

1.2. L'onde sonore est-elle qualifiée de longitudinale ou de transversale ? Justifier.

2. Étude expérimentale des ultrasons

Pour analyser les signaux émis, on réalise une expérience en laboratoire avec un émetteur d'ultrasons et deux récepteurs R1 et R2 alignés dans l'air, séparés d'une distance $d = 8,5 \text{ cm}$. Un oscilloscope permet d'observer les signaux captés par les deux récepteurs.

- Le signal est sinusoïdal et sa période mesurée est $T = 25 \mu\text{s}$.
- Le signal reçu par le récepteur R2 présente un retard temporel $\tau = 250 \mu\text{s}$ par rapport au récepteur R1 (situé le plus près de l'émetteur).

2.1. Déterminer la fréquence f de l'onde ultrasonore émise.

2.2. Ce domaine de fréquences est-il audible par l'homme ? Justifier en rappelant le domaine de l'audibilité humaine.

2.3. Calculer la célérité (vitesse de propagation) des ultrasons dans l'air lors de cette expérience.

2.4. Définir puis calculer la longueur d'onde λ de ces ultrasons dans l'air.

3. Application à l'écholocalisation

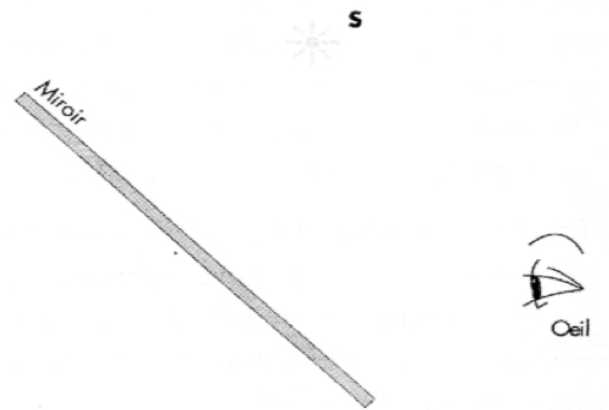
Une chauve-souris émet un clic ultrasonore de durée $\Delta t_i = 1,0 \text{ ms}$ en direction d'un mur situé en face d'elle. La célérité du son dans l'air ambiant est prise égale à $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3.1. Expliquer brièvement le principe physique qui permet à la chauves-souris de détecter un obstacle grâce à un écho.

3.2. La chauve-souris perçoit l'écho de son cri renvoyé par le mur au bout d'une durée $\Delta t = 40 \text{ ms}$ après l'émission. Calculer la distance D séparant la chauve-souris du mur.

Exercice n°4:

Tracer le rayon lumineux issu du point lumineux S qui pénètre dans l'oeil après avoir subi une réflexion sur le miroir.

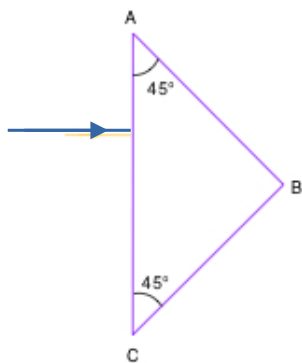


Exercice n°5 :

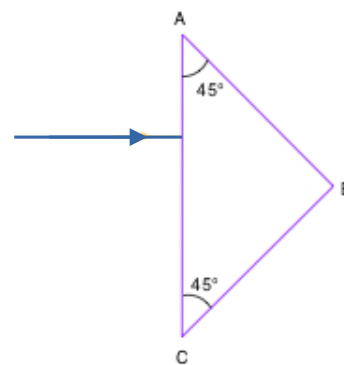
On considère un prisme ABC représenté ci-dessous : les angles en A et C valent 45° .

Si de la lumière arrive perpendiculairement à la face AC, quel est son trajet dans le prisme d'indice de réfraction $n_p = 1,5$; le prisme étant dans l'air ($n_{\text{air}} = 1$) ?

Quelle serait le trajet de la lumière si le prisme était dans l'eau. ($n_{\text{eau}} = 4/3$) ?



Prisme dans l'air.



Prisme dans l'eau.