

EXERCICE I : QUELLE TAILLE POUR LES MAILLES D'UN TAMIS ? – 10 points

Les artémies (voir photo ci-contre) sont des crustacés élevés pour nourrir les poissons des aquariums. Leur taille doit être adaptée à l'espèce de poisson à nourrir. On utilise des tamis calibrés pour les sélectionner.

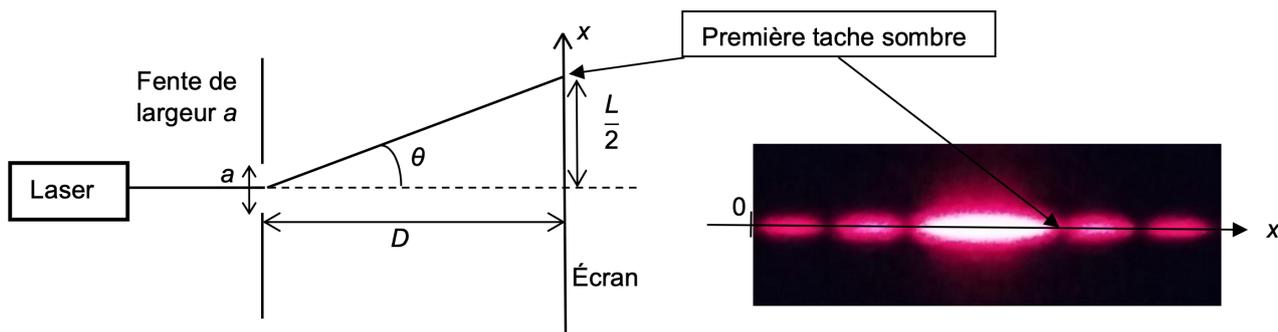


Source : www.aquaportail.com

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

1. Vérification 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-après (figure 1).



Distance fente – écran : $D = 56$ cm
 Largeur de la fente calibrée : $a = 80$ μ m

Figure 2. Figure observée sur l'écran

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

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 $\theta = \frac{\lambda}{a}$ et on considère que $\tan \theta \simeq \theta$ pour les petits angles ($\theta \ll 1$). 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 $x = 0$ 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.

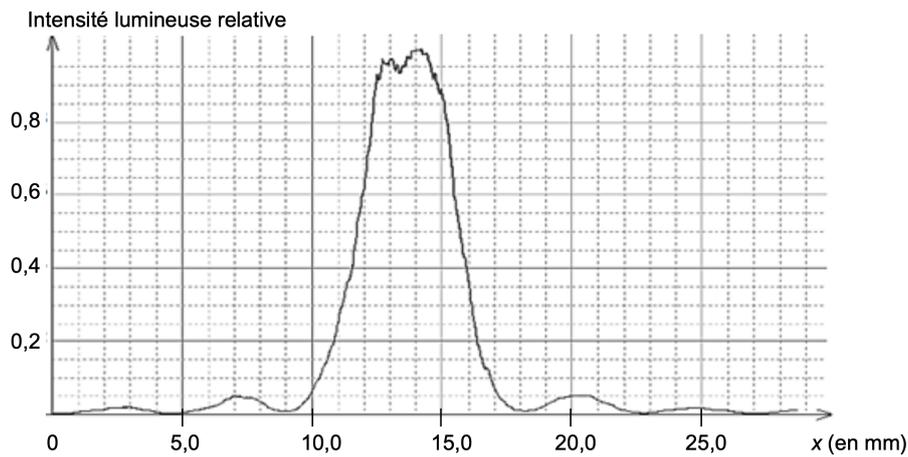


Figure 3. Intensité lumineuse relative en fonction de la position sur l'écran

2. Calibrage du tamis de récupération

Le but de cet exercice est de vérifier que le tamis disponible, dont le maillage est représenté sur la figure 5, permet de récupérer toutes les artémies d'une taille supérieure à $150\ \mu\text{m}$. On réalise une expérience d'interférences pour évaluer les dimensions du tamis en utilisant la diode laser précédente. La largeur du fil plastique constituant le tamis est égale à $230\ \mu\text{m}$.

L'expérience d'interférences est décrite ci-dessous :

- le montage utilisé est donné sur la figure 4 ;
- on utilise la diode laser de longueur d'onde $\lambda = (650 \pm 10)\ \text{nm}$. La distance entre le tamis et l'écran vaut $D = (7,75 \pm 0,03)\ \text{m}$;
- on note b la distance entre les centres de deux trous consécutifs du maillage du tamis ;
- la figure d'interférences obtenue est donnée sur les figures 6 et 7.

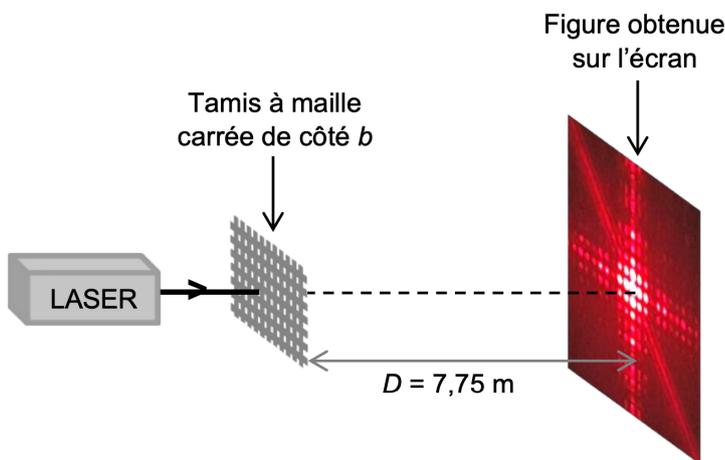


Figure 4. Montage utilisé (échelle non respectée)

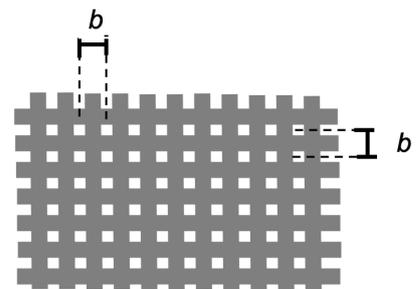


Figure 5. Schéma du maillage du tamis

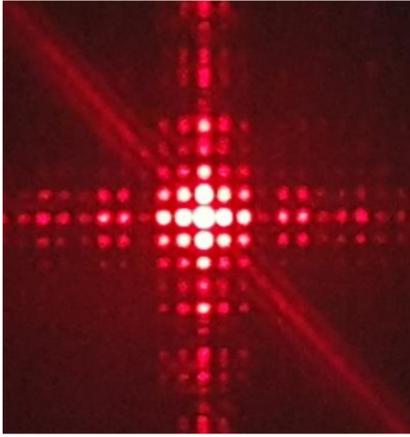


Figure 6. Figure d'interférences obtenue

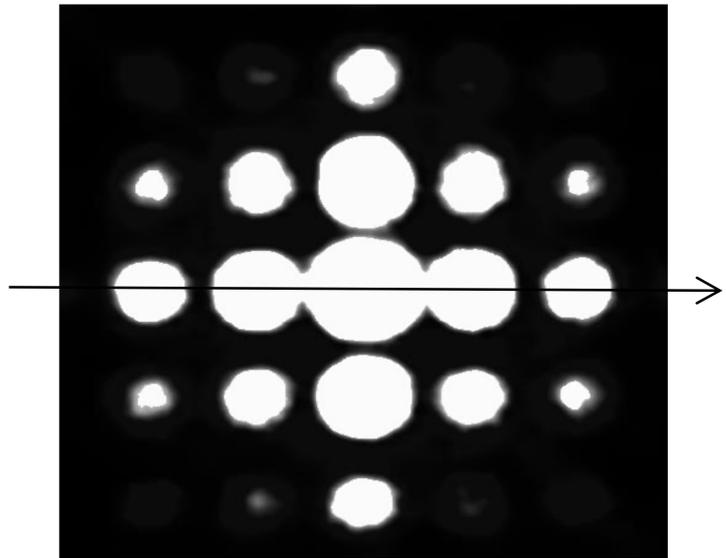


Figure 7. Tache centrale de la figure d'interférences à l'échelle 1/1

2.1. Expliquer brièvement, sans calculs, l'origine de zones sombres et de zones brillantes dans une figure d'interférences lumineuses.

Le centre de la figure d'interférences de la figure 6 est représenté sur la figure 7 ci-dessus à l'échelle 1/1. L'interfrange, noté i , est défini comme la distance entre les centres de deux taches lumineuses successives selon l'axe identifié sur la figure 7.

L'expression de l'interfrange est donnée par la relation $i = \frac{\lambda \times D}{b}$

L'incertitude-type $u(b)$ sur la grandeur b peut se calculer à partir de la relation

$$\frac{u(b)}{b} = \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$$

où $u(X)$ désigne l'incertitude-type associée à la grandeur X

2.2. Évaluer la valeur de l'interfrange i en explicitant la méthode pour obtenir la meilleure précision.

Évaluer l'incertitude-type $u(i)$ sur la mesure de l'interfrange i .

2.3. Calculer b puis évaluer $u(b)$.

2.4. Indiquer si le tamis permet de récupérer les artémies voulues. Justifier.

EXERCICE II : ÉTUDE D'UN FILM DE SAVON – 10 points

Le phénomène d'interférences peut être utilisé pour déterminer l'épaisseur d'un matériau transparent. Dans cet exercice, l'objectif est de déterminer l'épaisseur d'un film de savon en réalisant une expérience simple.

Un cadre de forme rectangulaire est plongé dans de l'eau savonneuse pour former un film de savon à l'intérieur du cadre. L'épaisseur du film n'est pas la même partout : elle est plus importante en bas du dispositif du fait de l'action de la gravité. On éclaire le film de savon avec de la lumière blanche et, sous un angle approprié, on observe une figure d'interférences.

La rayon 1 arrive sur le film de savon. La lumière est en partie réfléchi (rayon 2) et elle pénètre en partie dans le film de savon. Le rayon issu de la réflexion sur l'autre côté du film ressort ensuite (rayon 3) conformément au schéma de la figure 2. Les rayons lumineux 2 et 3 interfèrent alors. Ces interférences sont visibles sur le film de savon.

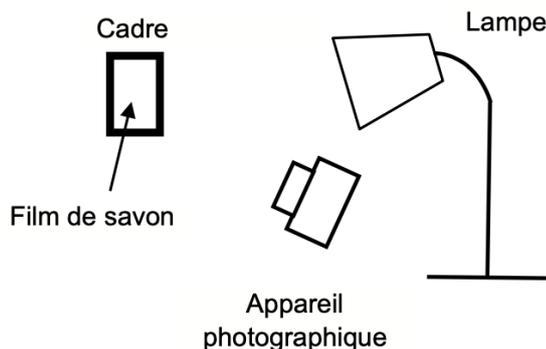


Figure 1. Schéma du montage expérimental

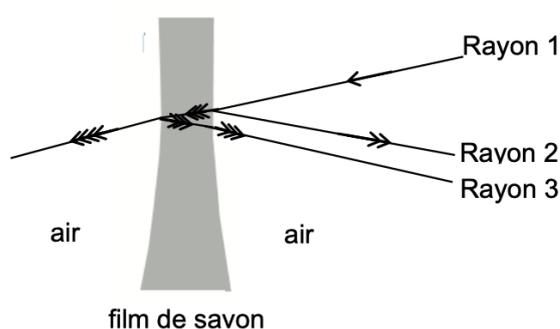


Figure 2. Coupe du film de savon avec la représentation du trajet de la lumière au niveau du film

La valeur de la célérité c de la lumière dans le vide et dans l'air est supposée connue du candidat. La valeur de l'indice de réfraction à l'intérieur du film de savon est $n = 1,34$ pour toutes les longueurs d'onde.

1. Le phénomène d'interférences

Le film de savon éclairé en lumière blanche est photographié. L'image est traitée par un logiciel qui permet de sélectionner une couleur correspondant à la longueur d'onde dans l'air égale à 600 nm . Le résultat est représenté en figure 3.

- 1.1. En utilisant la figure 3, expliquer comment distinguer les zones où les interférences sont constructives de celles où les interférences sont destructives.
- 1.2. Donner qualitativement la condition d'interférences constructives et celle d'interférences destructives.
- 1.3. Sur la figure 4, on représente le film de savon dans le cas où la lumière arrive perpendiculairement à sa surface. Au voisinage du point M , on considère que les deux faces du film de savon sont parallèles et que l'épaisseur du film e est égale à 900 nm .

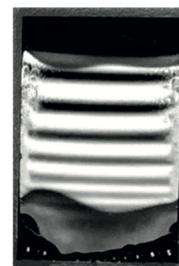


Figure 3. Interférences sur le film de savon

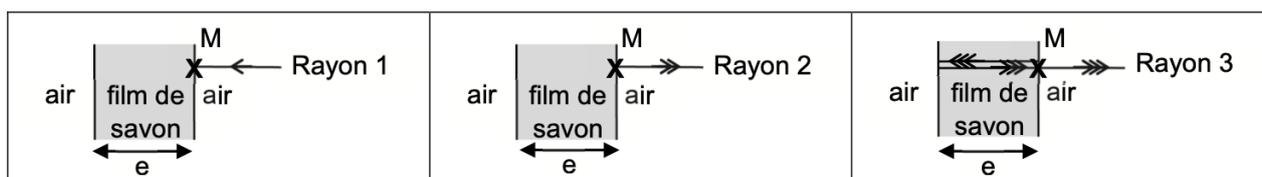


Figure 4. Représentation du trajet des rayons 1, 2 et 3 tels que définis en introduction

Dans les conditions d'éclairage et d'épaisseur de film précédentes, on admet que la différence de chemin optique $\delta(M)$ au point M entre les rayons 3 et 2 a pour expression :

$$\delta(M) = 2 \times n \times e - \frac{\lambda}{2}$$

Déterminer, à l'aide d'un calcul, si les interférences au point M sont constructives ou destructives.

2. Comparaison du phénomène d'interférences selon la longueur d'onde étudiée

La photo de l'expérience est traitée à l'aide d'un logiciel pour réaliser l'étude du phénomène en lumière bleue ($\lambda_{bleu} = 458 \text{ nm}$) et en lumière rouge-orangée ($\lambda_{rouge} = 600 \text{ nm}$).

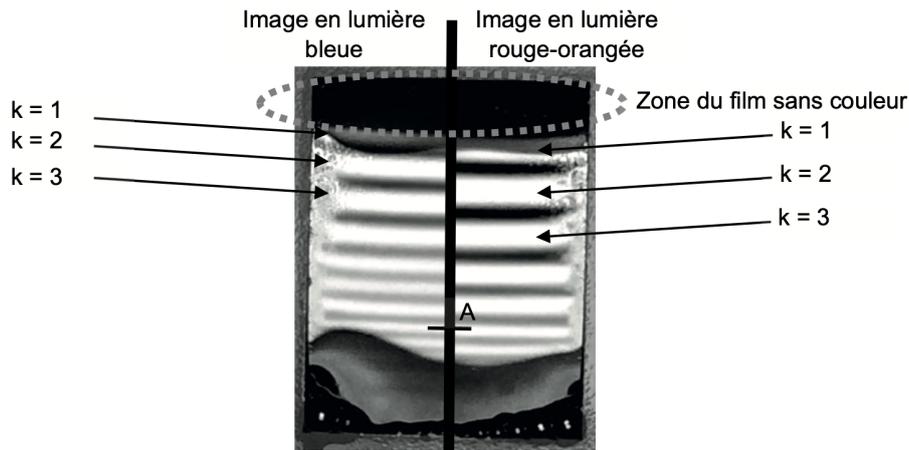


Figure 5. Montage photo des résultats des deux expériences

En raison des phénomènes de réflexion, des rayons, les interférences constructives apparaissent pour différentes épaisseurs du film de savon.

2.1. Montrer que les épaisseurs correspondant à des interférences constructives

$$\text{sont données par la relation suivante : } e_k = \left(\frac{2k + 1}{4} \right) \times \frac{\lambda}{n}$$

où n est l'indice de réfraction du milieu, e_k l'épaisseur du film, k un nombre entier tel que $k \geq 0$ et λ la longueur d'onde dans l'air sélectionnée par le traitement de l'image.

2.2. Calculer l'épaisseur minimale pour que des interférences constructives en lumière bleue apparaissent.

2.3. La zone sans couleur de la figure 5 en haut du support correspond à une épaisseur du film très faible. On obtient alors des interférences destructives. On observe qu'au cours du temps, la surface de cette zone s'étend vers le bas. Proposer une explication à cette observation.

2.4. Sur la photo de la figure 5, au niveau du point A, on observe des interférences constructives à la fois en lumière bleue et en lumière rouge-orangée. Déterminer l'épaisseur du film de savon au point A afin de rendre compte de ces observations.