

Exercice 1 - Un point de vue historique... et expérimental sur les propriétés des ondes lumineuses

Document 1 : Trois citations de physiciens à propos de la lumière

Thomas Young (1773-1829) : "La Loi est la suivante : chaque fois que deux parties d'une même lumière arrivent à l'œil par de trajets différents, exactement ou presque exactement dans la même direction, la lumière est la plus intense lorsque la différence de route est un multiple entier d'une certaine longueur, et elle est moins intense dans l'état intermédiaire des parties qui interfèrent. Cette longueur est différente pour des lumières de couleurs différentes."

François Arago (1786-1853) : "Qui se fût imaginé qu'on en viendrait à supposer que l'obscurité pourrait être engendré en ajoutant de la lumière à la lumière ?"

Augustin Fresnel (1788-1827) : "J'ai observé que les ombres n'étaient jamais terminées nettement comme elles devraient l'être si la lumière ne se propageait que dans le sens de la direction primitive."

Document 3 : Compte-rendu d'expérience d'un élève de terminale S

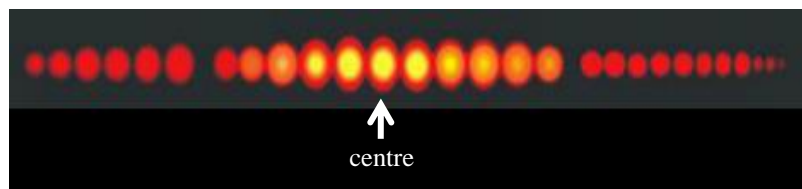
Lors de ma deuxième expérience d'interférence de la lumière par deux fentes fines (chacune de largeur $a = 70 \mu\text{m}$) proches l'une de l'autre, je mesure l'interfrange, distance entre deux points lumineux. Je note i cette grandeur.

J'observe à partir de mes différents essais que :

- i augmente si la distance D entre les fentes et l'écran augmente ;
- i augmente si j'utilise deux fentes plus proches sans changer leur largeur ;
- i ne change pas si j'augmente la largeur des deux fentes sans changer leur écartement ;

Pour une distance $D = 2,00\text{m}$ (incertitude sur D : 1cm) et des fentes espacées de $0,30\text{mm}$ (incertitude $0,005\text{mm}$), avec le laser vert, je trouve un interfrange i de $3,6\text{mm}$ (j'en ai mesuré 10 au mm près donc j'ai une incertitude de $0,1\text{mm}$ sur i).

Document 2 : figure obtenue sur un écran par passage d'une lumière laser par deux fentes étroites peu espacées



Document 4 : Incertitude relative

L'incertitude relative sur une grandeur X calculée à l'aide de multiplications ou de divisions de trois grandeurs a , b et c est donnée par la relation :

$$\frac{U(X)}{X} = \sqrt{\left(\frac{U(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{U(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{U(c)}{c}\right)^2}$$

Au sujet du document 1

1. À quel phénomène font référence Young et Arago, et à quel autre phénomène correspond l'observation de Fresnel ?
2. Quelle est la "certaine longueur" (expression soulignée dans le texte) évoquée par Young ?

Au sujet des documents 2 et 3

3. Sur le document 2 (répondre sur l'énoncé), indiquer ce qui peut être interprété :
 - a) par la diffraction
 - b) par les interférences
4. Avant de réaliser l'expérience décrite dans le document 3, l'élève a réalisé une expérience dans des conditions proches : la distance D est la même mais il n'a utilisé qu'une fente de largeur $a = 70 \mu\text{m}$ et un laser rouge de longueur d'onde $\lambda = 632\text{nm}$ au lieu d'un laser vert. La demi-largeur angulaire notée θ est suffisamment petite pour considérer $\tan\theta \approx \theta$.
 - a. Faire un schéma légendé de la situation.
 - b. Exprimer puis calculer la largeur ℓ de la tache centrale de diffraction (attention la photo du doc. 2 n'est pas à l'échelle réelle, on ne peut pas s'en servir pour vérifier).
5. Expliquer pourquoi le centre de la figure du document 2 est obligatoirement lumineux (ce n'est jamais une frange sombre).

6. En notant a la largeur des fentes et b la distance entre les deux fentes, on propose plusieurs expressions pour l'interfrange :

a) $i = \frac{\lambda \cdot D}{a \cdot b}$ b) $i = \frac{\lambda \cdot b}{D}$ c) $i = \frac{\lambda}{b \cdot D}$ d) $i = \frac{\lambda \cdot D}{b}$ e) $i = \frac{D \cdot b}{\lambda}$ f) $i = \frac{\lambda \cdot D}{a}$

a) Indiquer les expressions de l'interfrange qui ne sont pas homogènes à une distance.

b) En expliquant les raisonnements, indiquer, parmi les expressions restantes, la seule en accord avec les observations faites par l'élève.

7. Exprimer la longueur d'onde à partir de la relation retenue à la question précédente.

8. Utiliser les données de l'élève pour calculer la longueur d'onde de la lumière verte utilisée, qu'on exprimera en nm (on gardera trois chiffres significatifs).

9. Incertitude sur la valeur de λ .

a. À l'aide du document 4, exprimer l'incertitude relative sur la longueur d'onde

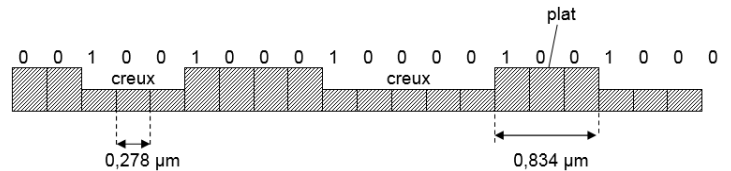
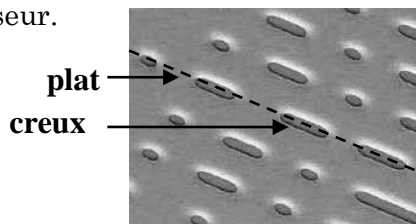
b. Calculer l'incertitude relative sur la longueur d'onde.

c. En déduire la valeur de l'incertitude sur λ (on gardera exceptionnellement 2 chiffres) puis écrire la valeur de λ sous la forme $\lambda = (\dots \pm \dots)$ nm.

Exercice 2 – CD, DVD ou Blu-ray ?

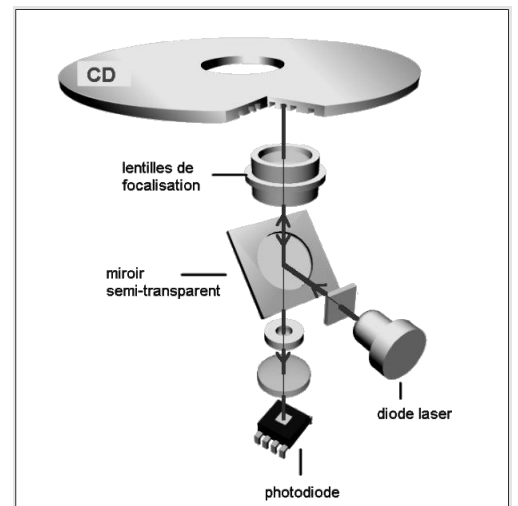
Pour cet exercice on pourra avantageusement consulter l'animation disponible sur mon site.

La technique du disque LASER repose sur une méthode optique : un faisceau de lumière cohérente (LASER) vient frapper le disque en rotation. Des cavités de largeur $0,6 \mu\text{m}$, dont la longueur oscille entre $0,833 \mu\text{m}$ et $3,56 \mu\text{m}$, sont creusées à la surface réfléchissante du disque, produisant des variations binaires de l'intensité lumineuse du rayon réfléchi qui sont enregistrées par un capteur. Plus précisément, lorsque le faisceau passe de la surface plane (plat) à une cavité (creux), il se produit des interférences et la valeur binaire 1 est attribuée. Au contraire, tant que le faisceau reste dans un creux ou sur un plat, le capteur détecte le même faisceau original et fait correspondre à cet état la valeur binaire 0. L'information binaire peut être ensuite transformée en un signal analogique par un convertisseur.

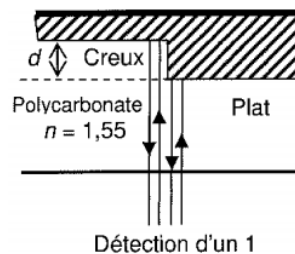
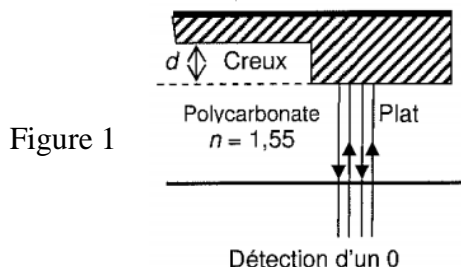


A- Lecture des informations sur le disque

Le faisceau lumineux, constitué d'une lumière monochromatique de longueur d'onde λ_0 dans le vide est émis par la diode LASER. Il traverse une couche protectrice transparente en polycarbonate dont l'indice est $n = 1,55$, puis il est réfléchi par le disque et détecté par la photodiode. Lors de la détection d'un 0, le faisceau est entièrement réfléchi par un plat ou par un creux (figure 1 ci-dessous). Tous les rayons composant le faisceau ont donc parcouru un même trajet. Lors de la détection d'un 1, le faisceau laser passe d'un plat à un creux ou inversement (figure 2 ci-dessous). Une partie du faisceau est alors réfléchi par le plat et l'autre partie par le creux. Tous les rayons composant le faisceau n'ont donc pas parcouru le même trajet.



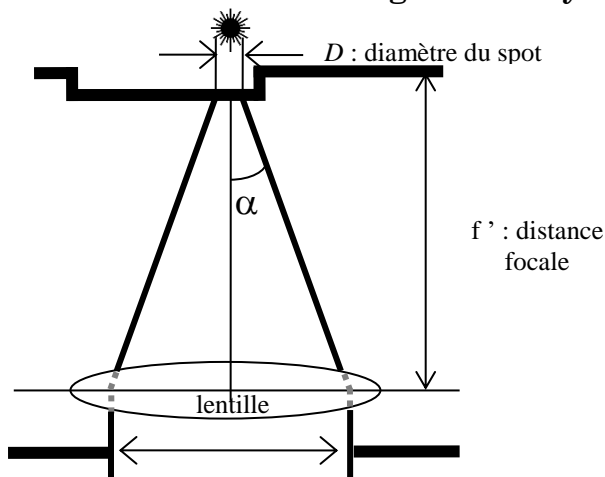
On note ΔL la différence de parcours des deux parties du faisceau qui se superposent et interfèrent lors de leur détection.



Dans le polycarbonate, la longueur d'onde de la lumière monochromatique constituant le faisceau est $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$.

1. Donner la condition que doit vérifier ΔL pour que les interférences soient destructives.
2. Montrer que la profondeur minimale d du creux s'exprime en fonction de λ , la longueur d'onde de la lumière laser dans le polycarbonate, par la relation : $d = \frac{\lambda}{4}$.
3. Calculer d pour un CD lu par un faisceau LASER de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 780 \text{ nm}$.
4. Dans quel cas le capteur reçoit-il plus de lumière (Figure 1 ou Figure 2) ? Justifier la réponse.

B- Intérêt de la technologie Blu-Ray :



La quantité $NA = \sin \alpha$ est appelée « ouverture numérique ».

α est l'angle d'ouverture du demi-cône formé par le faisceau laser (voir document ci-contre). Le diamètre D du spot sur l'écran s'exprime alors par la formule :

$$D = 1,22 \cdot \frac{\lambda_0}{NA}$$

On a donné sur le document ci-dessous les valeurs de l'ouverture numérique, de la longueur d'onde et de la distance ℓ qui sépare deux lignes de données sur le disque.

CD	DVD	Blu-ray Disc
<p>$\lambda_0 = 780 \text{ nm}$ $NA = 0,45$</p>	<p>$\lambda_0 = 650 \text{ nm}$ $NA = 0,60$</p>	<p>$\lambda_0 = 405 \text{ nm}$ $NA = 0,85$</p>
<p>$l = 1,6 \mu\text{m}$</p>	<p>$l = 0,74 \mu\text{m}$</p>	<p>$l = 0,30 \mu\text{m}$</p>

1. Justifier l'appellation « Blu-ray » en faisant référence à la longueur d'onde du faisceau Laser.
2. Quel est le phénomène qui empêche d'obtenir dans chaque cas une largeur de faisceau plus faible ?
3. En utilisant les données du document ci-dessus, vérifier que le diamètre D du spot dans le cas de la technologie Blu-ray est compatible avec la distance 2ℓ qui sépare trois lignes de données sur le disque.
4. En argumentant votre réponse expliquer comment il est possible d'améliorer la capacité de stockage du disque sans modifier sa surface.
5. Un disque blu-ray peut contenir jusqu'à 46 Gio de données, soit environ 4 heures de vidéo haute définition (HD).

Calculer le débit binaire de données numériques dans le cas de la lecture d'une vidéo HD (en Mibit/s).

Données : 1 Gio = 2^{30} octets ; 1 octet = 8 bits ; 1 Mibit = 2^{20} bits

6. La haute définition utilise des images de résolution d'au moins 720 pixels en hauteur et 900 pixels en largeur. Chaque pixel nécessite 24 bits de codage (8 par couleur primaire).
 - 6.1. Montrer que la taille numérique d'une image non compressée est d'environ 15 Mibit.
 - 6.2. Combien d'images par seconde peut-on obtenir sur l'écran de l'ordinateur avec le débit binaire calculé à la question 4.5. ?
 - 6.3. Pour éviter l'effet de clignotement, la projection d'une vidéo nécessite au moins 25 images par seconde. Pourquoi faut-il réduire la taille des images à l'aide d'un protocole de compression d'images.