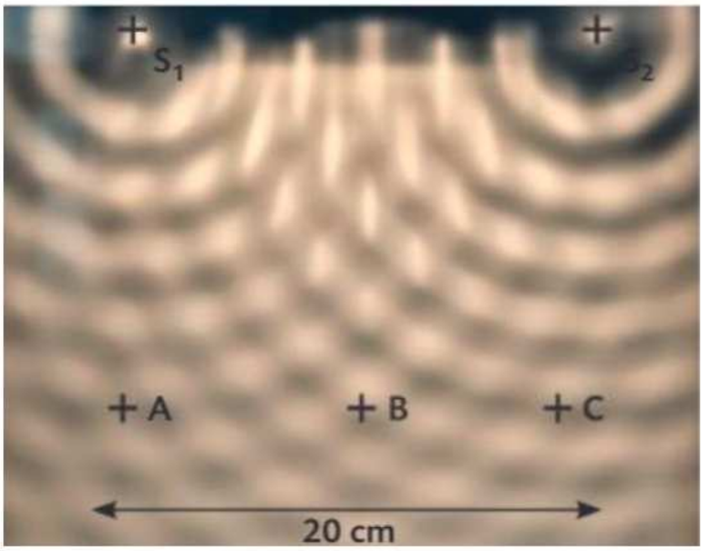
EXERCICES. INTERFÉRENCES

Exercice 1. Interférences à la surface de l'eau

Des ondes issues de deux sources ponctuelles en phase interfèrent à la surface de l'eau d'une cuve à ondes (photo ci-contre).

1. Justifier que les deux ondes peuvent interférer.
2. Montrer que leur longueur d'onde est de 2,6 cm.
3. Rappeler les conditions, sur la différence de chemin δ entre les deux ondes, pour que les l'interférence soit constructive ou destructive en un point M de la surface.
4. Comment est l'interférence au point B ? Justifier sans calcul.
5. À partir des données du tableau ci-dessous, préciser la nature de l'interférence en A et C.

point	A	C
distance depuis S_1 (cm)	14,9	22,6
distance depuis S_2 (cm)	24,1	14,9



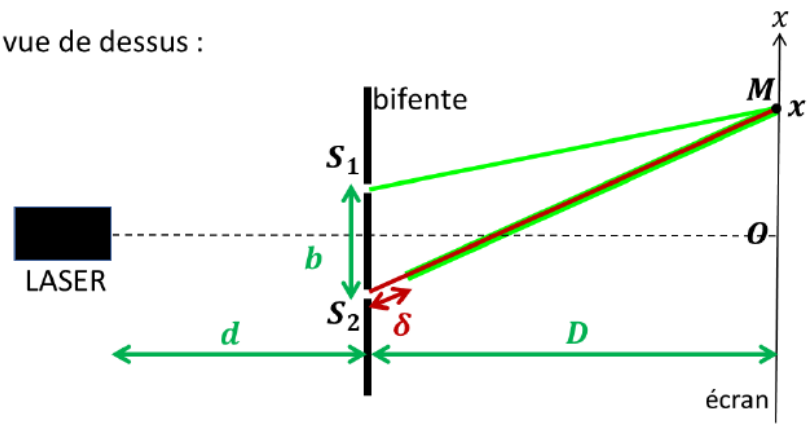
Exercice 2. Interférences lumineuses

On réalise le dispositif schématisé ci-contre afin de produire des interférences lumineuses sur l'écran. Les deux fentes S_1 et S_2 ont la même largeur et sont distantes de b.

Données :

- interfente : $b = 500\ \mu m$
- $d = 20{,}0\ cm$ $D = 4{,}00\ m$
- $\lambda = 650\ nm$ (LASER rouge)
- différence de chemin optique entre les ondes issues de S_1 et S_2 au point M d'abscisse x : $\delta = \frac{b \times x}{D}$

vue de dessus :



Questions.

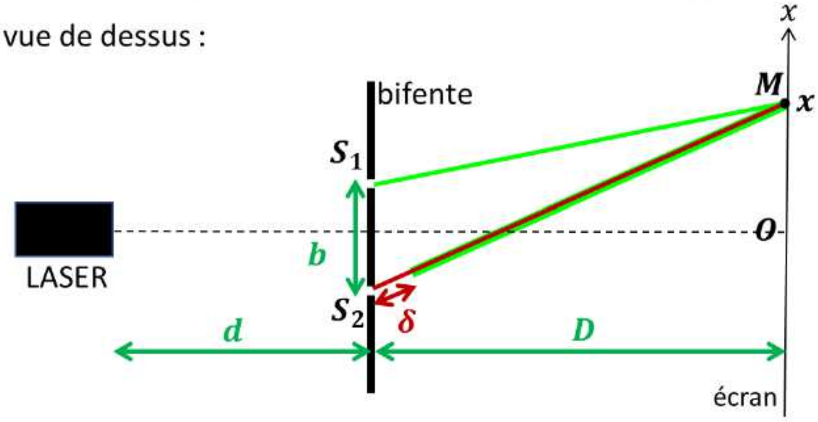
1. Justifier qu'on puisse observer des interférences lumineuses sur l'écran.
2. Au point O sur l'écran, la frange d'interférence est-elle brillante ou sombre ? Justifier sans calcul.
3. Schématiser la figure d'interférence vue à l'écran et y représenter l'interfrange i.
4. Établir l'expression de l'interfrange i en fonction de λ, b et D.
5. Donner, en mm, la valeur de l'interfrange i obtenue avec le LASER rouge.
6. Le point M de l'écran est-il au centre d'une frange brillante ou d'une frange sombre si :
   a) $x = 5{,}2\ cm$ **b)** $x = 3{,}9\ cm$
7. Préciser comment varie l'interfrange dans les expériences suivantes successives, où l'on fait varier à chaque fois un seul paramètre :
   a) remplacement du LASER rouge par un LASER vert
   b) éloignement de l'écran de la bifente
   c) rapprochement du LASER de la bifente
   d) réduction de la distance entre les deux trous de la bifente

Exercice 3. Détermination de l'interfente d'une bifente

On réalise une figure d'interférences avec une bifente (largeur de fente ***a***, interfente ***b***) avec le dispositif schématisé ci-dessous :

bifente

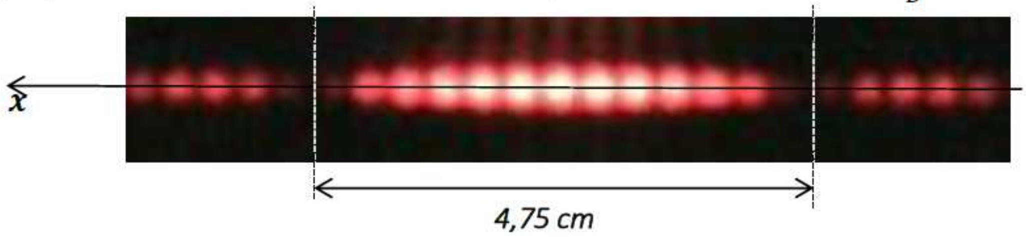
vue de dessus :



Données :

- $d = 20{,}0\ cm \quad D = 1{,}50\ m$
- $\lambda = 650\ nm$ (LASER rouge)
- différence de chemin optique entre les ondes issues de S_1 et S_2 au point M d'abscisse x : $\delta = \frac{b \times x}{D}$

On obtient alors à l'écran la figure suivante :



Questions.

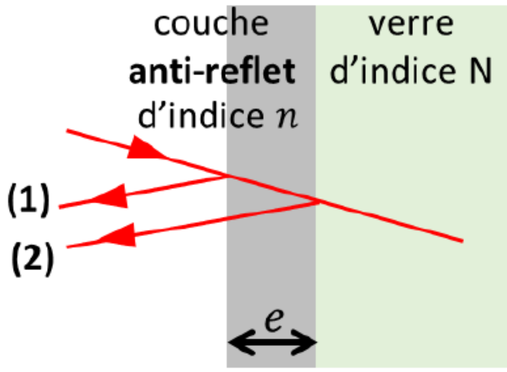
1. **1.** Établir l'expression de l'interfrange i en fonction de λ, b et D.
2. **2.** À l'aide des données expérimentales, montrer que l'interfrange vaut $3{,}65\ mm$.
3. **3.** Déterminer une valeur expérimentale de l'interfente **b** en mm.
4. **4.** Déterminer un encadrement de la valeur expérimentale de **b**.

On donne l'expression de son incertitude: $U(b) = b \times \sqrt{\left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$.

avec $U(D) = 6\ mm \qquad U(i) = 0{,}05\ mm \qquad U(\lambda) = 1{,}2\ nm$

Exercice 4. Couche anti-reflet

On utilise un laser de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 650\ nm$ pour éclairer l'intérieur d'une cuve dont les parois sont en verre d'indice de réfraction N. Pour éviter les réflexions du faisceau sur la face d'entrée du dispositif, on désire la recouvrir d'une couche anti-reflet dont l'indice de réfraction est $n = 1{,}35$. On souhaite déterminer l'épaisseur $\boldsymbol{e}$ de la couche anti-reflet à appliquer sur le verre pour annuler le reflet du laser en incidence normale (rayons incidents perpendiculaires à la surface). À cette fin, on met à profit le phénomène d'interférences. En effet, sur le schéma ci-contre, le faisceau (2) parcourt une distance plus importante que le premier (1) car il effectue un aller-retour supplémentaire à l'intérieur de la couche d'indice n. Il en résulte une différence chemin optique entre les deux rayons $\boldsymbol{\delta = 2ne}$. (Pour plus de lisibilité, les rayons ont été représentés légèrement inclinés par rapport à la normale sur la figure ci-dessus).



Questions.

1. Pour supprimer le reflet, les interférences entre les faisceaux (1) et (2) doivent-elles être constructives ou destructives ? Justifier.
2. Pour le laser utilisé, calculer la plus petite valeur de l'épaisseur e de cette couche anti-reflet.

Correction :

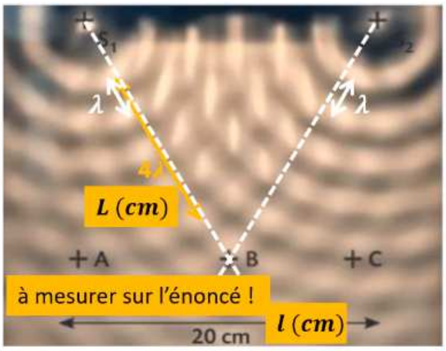
Exercice 1 :

Exercice. Interférences à la surface de l'eau

Des ondes issues de deux sources ponctuelles en phase interfèrent à la surface de l'eau d'une cuve à ondes (photo ci-contre).

1. Justifier que les deux ondes peuvent interférer.
2. Montrer que leur longueur d'onde est de 2,6 cm.
3. Rappeler les conditions, sur la différence de chemin δ entre les deux ondes, pour que l'interférence soit constructive ou destructive en un point M de la surface.
4. Comment est l'interférence au point B ? Justifier sans calcul.
5. À partir des données du tableau ci-dessous, préciser la nature de l'interférence en A et C.

point	A	C
distance depuis S_1 (cm)	14,9	22,6
distance depuis S_2 (cm)	24,1	14,9



1.
ondes de **même λ** → ondes de **même fréquence**
$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \times f$ ($m.s^{-1}$, m, s)
+ ondes **en phase**
→ **interférences !**

2.

schéma	réalité
$L\,(cm)$	$4\lambda\,(cm)$
$l\,(cm)$	$20\,cm$

mesure de λ par moyenne : $\lambda = \frac{L \times 20}{4 \times l} = \mathbf{2,6\ cm}$

3. **interférences constructives :** $\delta = k \times \lambda$ **avec k : un entier** $\rightarrow \frac{\delta}{\lambda} = k$ $\rightarrow \frac{\delta}{\lambda}$ **entier**

interférences destructives : $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda$ $\rightarrow \frac{\delta}{\lambda} = k + \frac{1}{2}$ $\rightarrow \frac{\delta}{\lambda}$ **½ entier**

4. $S_1B = S_2B$ → $\delta = 0 : k = 0$ → **interférences constructives**

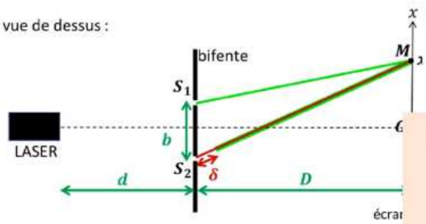
5. $\delta_A = 24,1 - 14,9 = 9,2$ cm $\rightarrow \frac{\delta_A}{\lambda} = \frac{9,2}{2,6} = \mathbf{3,5}$ **: ½ entier** → **interférences destructives en A**

$\delta_C = 22,6 - 14,9 = 7,7$ cm $\rightarrow \frac{\delta_C}{\lambda} = \frac{7,7}{2,6} = \mathbf{3,0}$ **: entier** → **interférences constructives en C**

Exercice 2 :

Exercice. Interférences lumineuses

On réalise le dispositif schématisé ci-contre afin de produire des interférences lumineuses sur l'écran. Les deux fentes S_1 et S_2 ont la même largeur et sont distantes de b.



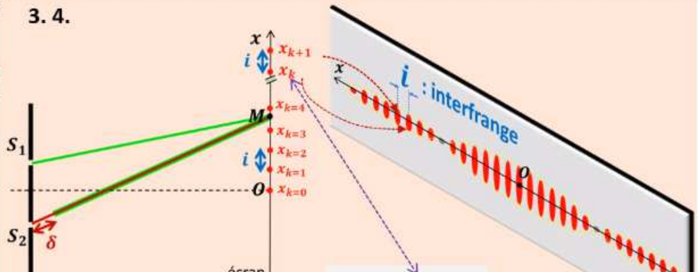
Données :
- interfente : $b = 500\ \mu m$
- $d = 20,0\ cm$ $D = 4,00\ m$
- $\lambda = 650\ nm$ (LASER rouge)
- différence de chemin optique entre les ondes issues de S_1 et S_2 au point M d'abscisse x : $\delta = \frac{b \times x}{D}$

Questions.
1. Justifier qu'on puisse observer des interférences lumineuses sur l'écran.
2. Au point O sur l'écran, la frange d'interférence est-elle brillante ou sombre ? Justifier sans calcul.
3. Schématiser la figure d'interférence vue à l'écran et y représenter l'interfrange i.
4. Établir l'expression de l'interfrange i en fonction de λ, b et D.
5. Donner, en mm, la valeur de l'interfrange i obtenue avec le LASER rouge.
6. Le point M de l'écran est-il au centre d'une frange brillante ou d'une frange sombre si :
   a) $x = 5,2\ cm$ b) $x = 3,9\ cm$
7. Préciser comment varie l'interfrange dans les expériences suivantes successives, où l'on fait varier à chaque fois un seul paramètre :
   a) remplacement du LASER rouge par un LASER vert
   b) éloignement de l'écran de la bifente
   c) rapprochement du LASER de la bifente
   d) réduction de la distance entre les deux trous de la bifente

1. ondes émises par S_1 et S_2 de **même fréquence** (même laser)
+ ondes **en phase** (même distance au laser)
→**interférences !**

2. $S_1O = S_2O$ → $\delta = 0$ → **interférences constructives en O**

3. 4.



si $\delta = k \times \lambda$

interférences constructives

en x_k :
$\delta_k = \frac{b \times x_k}{D} = k\lambda$
$\rightarrow x_k = k\frac{\lambda D}{b}$

en x_{k+1} :
$\delta_{k+1} = \frac{b \times x_{k+1}}{D} = (k+1)\lambda$
$\rightarrow x_{k+1} = (k+1)\frac{\lambda D}{b}$

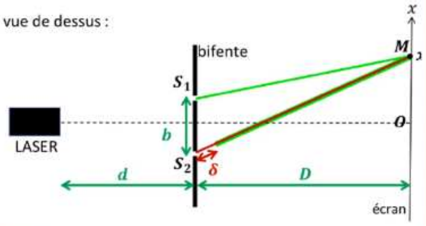
$\rightarrow i = x_{k+1} - x_k = \cancel{k\frac{\lambda D}{b}} + \frac{\lambda D}{b} \cancel{- k\frac{\lambda D}{b}}$ $\boxed{i = \frac{\lambda D}{b}}$

5.
$i = \frac{650 \times 10^{-9} \times 4,00}{500 \times 10^{-6}} = 5,20 \times 10^{-3}\ m = \mathbf{5,20\ mm}$

Exercice. Interférences lumineuses

On réalise le dispositif schématisé ci-contre afin de produire des interférences lumineuses sur l'écran. Les deux fentes S_1 et S_2 ont la même largeur et sont distantes de b.

vue de dessus :



Données :

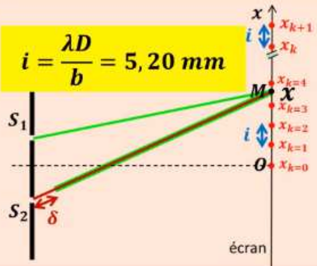
- interfente : $b = 500\ \mu m$
- $d = 20{,}0\ cm$ $D = 4{,}00\ m$
- $\lambda = 650\ nm$ (LASER rouge)
- différence de chemin optique entre les ondes issues de S_1 et S_2 au point M d'abscisse x : $\delta = \frac{b \times x}{D}$

Questions.

1. Justifier qu'on puisse observer des interférences lumineuses sur l'écran.
2. Au point O sur l'écran, la frange d'interférence est-elle brillante ou sombre ? Justifier sans calcul.
3. Schématiser la figure d'interférence vue à l'écran et y représenter l'interfrange i.
4. Établir l'expression de l'interfrange i en fonction de λ, b et D.
5. Donner, en mm, la valeur de l'interfrange i obtenue avec le LASER rouge.
6. Le point M de l'écran est-il au centre d'une frange brillante ou d'une frange sombre si :
   a) $x = 5{,}2\ cm$ b) $x = 3{,}9\ cm$
7. Préciser comment varie l'interfrange dans les expériences suivantes successives, où l'on fait varier à chaque fois un seul paramètre :
   a) remplacement du LASER rouge par un LASER vert
   b) éloignement de l'écran de la bifente
   c) rapprochement du LASER de la bifente
   d) réduction de la distance entre les deux trous de la bifente

6.

$$i = \frac{\lambda D}{b} = 5{,}20\ mm$$



interférences constructives si $\delta = k \times \lambda$ $\rightarrow \frac{\delta}{\lambda} = k$: entier

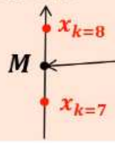
or $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{bx}{\lambda D} = \frac{x}{i}$ $\rightarrow \frac{x}{i} = k$: **entier**

interférences destructives si $\delta = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda \rightarrow \frac{\delta}{\lambda} = k + \frac{1}{2}$

$\rightarrow \frac{x}{i} = k + \frac{1}{2}$: **demi − entier**

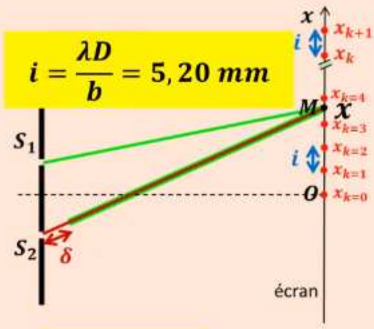
a) $x = 5{,}2\ cm$: $\frac{x}{i} = \frac{52\ mm}{5{,}20\ mm} = 10$: entier ! → brillante

b) $x = 3{,}9\ cm$: $\frac{x}{i} = \frac{39\ mm}{5{,}20\ mm} = 7{,}5$: $\frac{1}{2}$ entier ! → sombre



7.

$$i = \frac{\lambda D}{b} = 5{,}20\ mm$$



a) $\lambda \searrow \rightarrow i \searrow$

b) $D \nearrow \rightarrow i \nearrow$

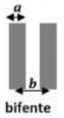
c) $d \searrow \rightarrow i$ **inchangé**

d) $b \searrow \rightarrow i \nearrow$

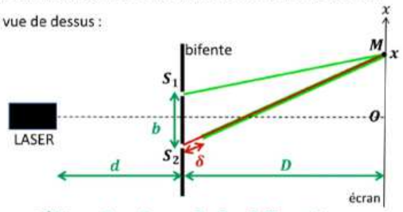
Exercice 3 :

Exercice. Détermination d'un interfente

On réalise une figure d'interférences avec une bifente (largeur de fente ***a***, interfente ***b***) avec le dispositif schématisé ci-dessous :



vue de dessus :

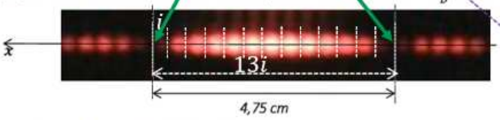


Données :

- $d = 20{,}0\ cm \quad D = 1{,}50\ m$
- $\lambda = 650\ nm$ (LASER rouge)
- différence de chemin optique entre les ondes issues de S_1 et S_2 au point M d'abscisse x : $\delta = \frac{b \times x}{D}$

1ère extinctions de la diffraction

On obtient alors à l'écran la figure suivante :



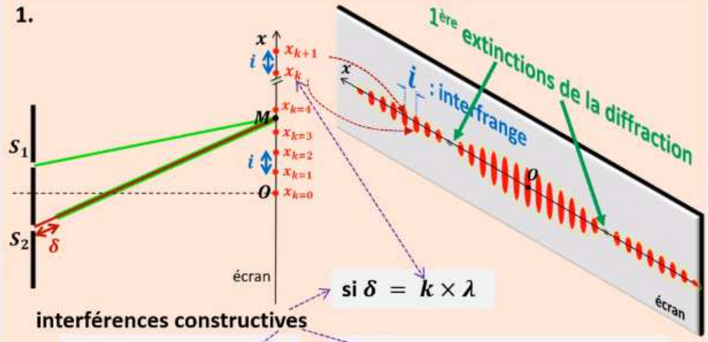
Questions.

1. Établir l'expression de l'interfrange i en fonction de λ, b et D.
2. À l'aide des données expérimentales, montrer que l'interfrange vaut $3{,}65\ mm$.
3. Déterminer une valeur expérimentale de l'interfente b en mm.
4. Déterminer un encadrement de la valeur expérimentale de b.

   On donne l'expression de son incertitude: $U(b) = b \times \sqrt{\left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$.

   avec $U(D) = 6\ mm \qquad U(i) = 0{,}05\ mm \qquad U(\lambda) = 1{,}2\ nm$

1.



si $\boldsymbol{\delta = k \times \lambda}$

interférences constructives

en x_k :

$$\delta_k = \frac{b \times x_k}{D} = k\lambda \quad \rightarrow x_k = k\frac{\lambda D}{b}$$

en x_{k+1} :

$$\delta_{k+1} = \frac{b \times x_{k+1}}{D} = (k+1)\lambda \quad \rightarrow x_{k+1} = (k+1)\frac{\lambda D}{b}$$

$$\rightarrow i = x_{k+1} - x_k = \cancel{k\frac{\lambda D}{b}} + \frac{\lambda D}{b} - \cancel{k\frac{\lambda D}{b}} \qquad \boldsymbol{i = \frac{\lambda D}{b}}$$

2. $13i = 4{,}75\ cm \quad \rightarrow \boldsymbol{i} = \frac{4{,}75\ cm}{13} = 0{,}365\ cm$ $\boldsymbol{= 3{,}65\ mm}$

3. $i = \frac{\lambda D}{b} \rightarrow \boldsymbol{b} = \frac{\lambda D}{i} = \frac{650 \times 10^{-9} \times 1{,}50}{3{,}65 \times 10^{-3}} = 2{,}67 \times 10^{-4}\ m$

$\boldsymbol{= 0{,}267\ mm}$

4.

$$U(b) = 0{,}267 \times \sqrt{\left(\frac{6 \times 10^{-3}}{1{,}50}\right)^2 + \left(\frac{0{,}05}{3{,}65}\right)^2 + \left(\frac{1{,}2}{650}\right)^2} = 0{,}004\ mm$$

$b = (0{,}267 \pm 0{,}004)mm$

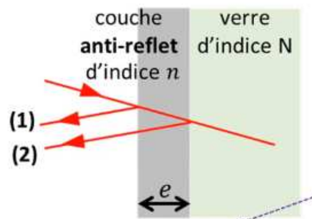
$0{,}267 - 0{,}004 < b < 0{,}267 + 0{,}004$

$\boldsymbol{0{,}263\ mm < b < 0{,}271\ mm}$

Exercice 4 :

Exercice. Couche anti-reflet

On utilise un laser de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 650\ nm$ pour éclairer l'intérieur d'une cuve dont les parois sont en verre d'indice de réfraction N. Pour éviter les réflexions du faisceau sur la face d'entrée du dispositif, on désire la recouvrir d'une couche anti-reflet dont l'indice de réfraction est $n = 1{,}35$. On souhaite déterminer l'épaisseur ***e*** de la couche anti-reflet à appliquer sur le verre pour annuler le reflet du laser en incidence normale (rayons incidents perpendiculaires à la surface). À cette fin, on met à profit le phénomène d'interférences. En effet, sur le schéma ci-contre, le faisceau (2) parcourt une distance plus importante que le premier (1) car il effectue un aller-retour supplémentaire à l'intérieur de la couche d'indice n. Il en résulte une différence chemin optique entre les deux rayons $\boldsymbol{\delta = 2ne}$. (Pour plus de lisibilité, les rayons ont été représentés légèrement inclinés par rapport à la normale sur la figure ci-dessus).



Questions.

1. Pour supprimer le reflet, les interférences entre les faisceaux (1) et (2) doivent-elles être constructives ou destructives ? Justifier.
2. Pour le laser utilisé, calculer la plus petite valeur de l'épaisseur e de cette couche anti-reflet.

1. → interférences **destructives**

2. → si $\boldsymbol{\delta = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda}$ avec k entier

$$2ne = \left(k + \tfrac{1}{2}\right) \times \lambda$$

$$e = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \frac{\lambda}{2n}$$

or e_{min} pour $k = 0 \quad \rightarrow \boldsymbol{e_{min}} = \frac{\boldsymbol{\lambda}}{\boldsymbol{4n}} = \frac{650 \times 10^{-9}}{4 \times 1{,}35}$

$= 1{,}20 \times 10^{-7}\ m$

$\boldsymbol{= 0{,}120\ \mu m}$

$\boldsymbol{= 120\ nm}$