

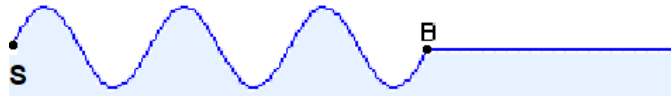


Chapitre 3 – Interférences



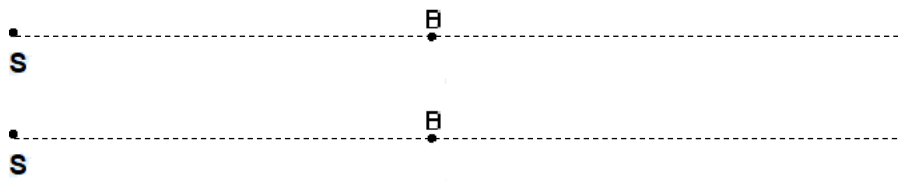
Se positionner

- 1 . Le schéma ci-dessous représente des vagues se propageant vers la droite à la surface de l'eau, émises à partir du point S. A l'instant du schéma, l'eau au point B va être perturbée.



L'eau au point B va :

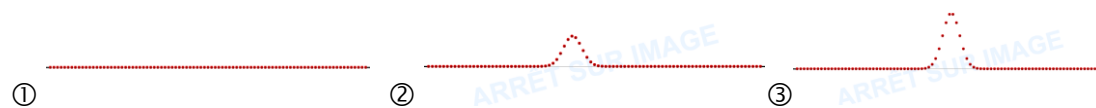
- ① monter ② descendre ③ aller vers la droite ④ aller vers la gauche
- 2 . Représenter ci-dessous le schéma des vagues une demi-période plus tard, puis une période plus tard.



- 3 . On simule la propagation de deux perturbations aux deux extrémités d'une corde.



À votre avis, comment sera la corde lorsque les deux perturbations seront au même niveau ?

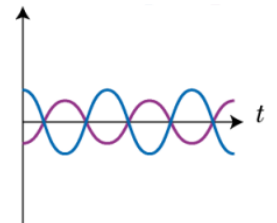


- 4 . Les deux courbes ci-contre correspondent à des signaux

① en phase ② en opposition de phase

- 5 . Deux points séparés d'un nombre entier de longueur d'onde dans un milieu dans lequel se propage une onde perçoivent des signaux

① en phase ② en opposition de phase



Activité 1. Retour sur la situation « 2 sources donc un peu plus fort »...

On va créer deux sources sonores identiques en branchant un GBF délivrant une tension sinusoïdale sur 2 haut-parleurs placés en dérivation.

1. Prévoir ce que l'on risque d'entendre lorsqu'on branche le 2^e haut-parleur.



2. Réaliser l'expérience proposée par le professeur et indiquer les observations.

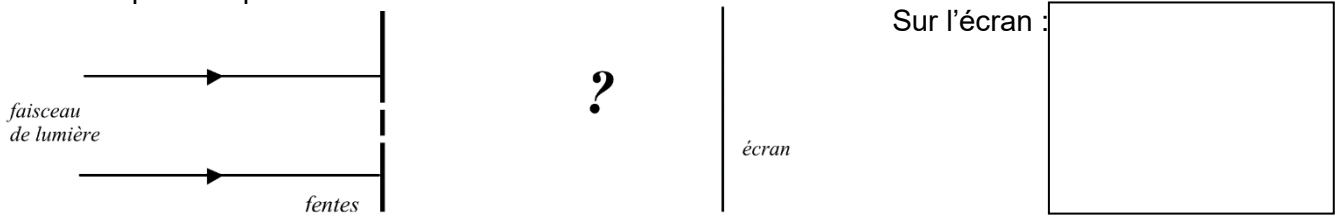
Le phénomène mis en évidence s'appelle en physique *phénomène d'interférences*.

3. Pourquoi est-ce important, dans l'expérience précédente, de se boucher une oreille pour percevoir ce phénomène ?

**Et pour la lumière ?**

On va faire passer un faisceau laser à travers deux fentes fines verticales, très proches l'une de l'autre.

- Prévision : sur le schéma ci-dessous, représentez
 - le faisceau de lumière après son passage par les fentes
 - ce qu'on risque de voir sur l'écran.



👁️ On réalise l'expérience. Observer et corriger éventuellement votre prévision avec une autre couleur.

- En faisant référence à l'activité précédente avec les deux HP, proposer une interprétation des observations.

3. Description qualitative des facteurs d'influence de la figure obtenue.

On cherche ici à savoir de quoi dépend la figure obtenue (qu'on appelle figure d'interférence) et comment elle en dépend.

On note a la largeur des deux fentes (qui sont chaque fois ici identiques) et b la distance qui les sépare.

L'interfrange i est la distance séparant le centre de deux franges brillantes consécutives.

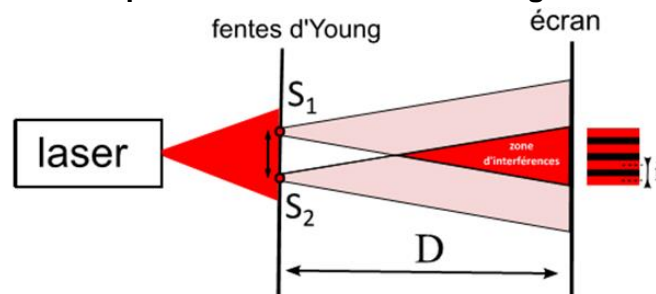
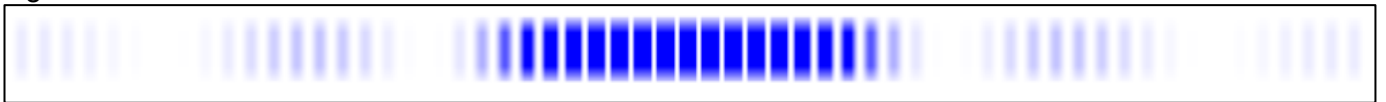
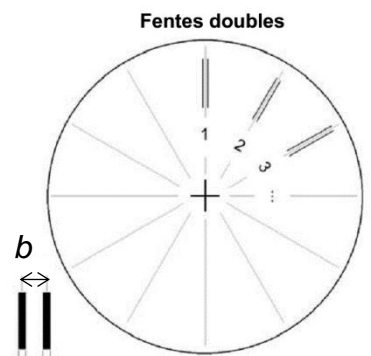


Figure d'interférence :



On utilise le jeton représenté ci-contre. On utilisera seulement les jeux de fentes de 1 à 10.

De 1 à 5 :	De 6 à 10 :
largeur des fentes $a = 40 \mu\text{m}$	largeur des fentes $a = 80 \mu\text{m}$
1 : $b = 100 \mu\text{m}$	1 : $b = 100 \mu\text{m}$
2 : $b = 200 \mu\text{m}$	2 : $b = 200 \mu\text{m}$
3 : $b = 300 \mu\text{m}$	3 : $b = 300 \mu\text{m}$
4 : $b = 500 \mu\text{m}$	4 : $b = 500 \mu\text{m}$
5 : $b = 700 \mu\text{m}$	5 : $b = 700 \mu\text{m}$



À l'aide du matériel disponible, compléter le tableau suivant (une croix par ligne) :

Si ↓	→ alors l'interfrange		
	augmente	diminue	ne change pas
on éloigne l'écran			
on augmente la taille des fentes (a)			
on augmente la distance entre les fentes (b)			
on passe du vert au rouge			

👋 Une fois le tableau complété,

appeler le professeur pour lui montrer vos résultats et une de vos expériences.

- Dans des conditions qui vous semble minimiser les incertitudes, réaliser une mesure précise de l'interfrange en notant toutes les valeurs expérimentales (elles serviront plus tard) :

$a =$

$b =$

$D =$

$i =$

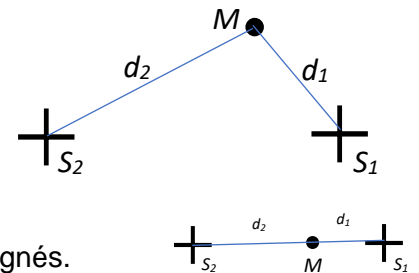
**Activité 2. Où y gagne-t-on, où y perd-on ?**

On souhaite dans cette activité, trouver une règle qui permet de prévoir les lieux où les interférences sont constructives et les lieux où elles sont destructives.

Pour ceci, on considère un point M du milieu de propagation, distant de la distance d_1 de la source S_1 et de la distance d_2 de la source S_2 .

Pour observer des interférences, il faut que les deux ondes aient la même fréquence : on parle de **sources synchrones**. On considère à partir de maintenant que les deux sources émettent deux ondes sinusoïdales synchrones et en phase (le maximum a donc lieu en même temps pour les deux sources).

Dans un premier temps, par souci de simplicité, on considère S_1 , S_2 et M alignés.



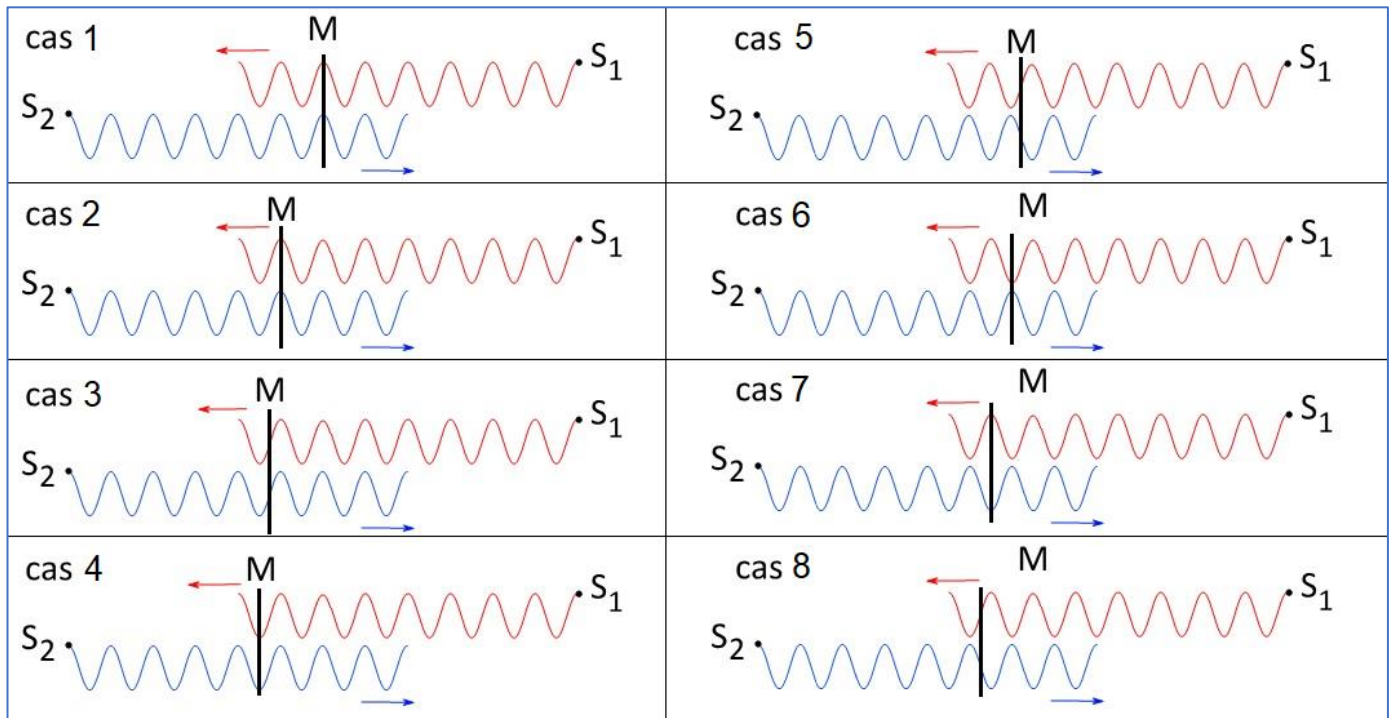
1. Compléter les deux phrases suivantes :

➤ Pour que les interférences soient constructives en M, il faut que les deux signaux reçus soient

➤ Pour que les interférences soient destructives en M, il faut que les deux signaux reçus soient

2. a. Pour quelle position particulière est-on sûr que les interférences seront constructives ?

b. La figure ci-dessous représente 8 cas différents de positions du point M par rapport aux deux sources et les perturbations à t donné. Entourer tous les cas correspondant à des interférences constructives.



Un « décalage » vertical entre les deux perturbations a été ajouté pour plus de lisibilité

On appelle **différence de marche** (notée δ) au point M la différence $|S_1M - S_2M|$: c'est la **différence de chemin parcouru** depuis les deux sources au point M. La longueur d'onde des ondes émises est notée λ .

3. Compléter le tableau ci-contre pour les cas 1, 2, 3 et 4. Les distances d_1 et d_2 ainsi que la différence de marche δ seront exprimées en fonction de λ .

Cas	d_1	d_2	$\delta = d_1 - d_2 $	Type d'interférence en M
1	6λ			
2				
3				
4				

4. a. Quelle doit-être la relation entre δ et λ pour avoir des interférences **constructives** ?

b. Parmi les relation suivantes (où k est un entier), entourer une relation entre δ et λ pour les points où les interférences sont **destructives**.

$$\delta = k \times \lambda$$

$$\delta = \frac{1}{2} k \times \lambda$$

$$\delta = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda$$

👏 Appeler le professeur 👏

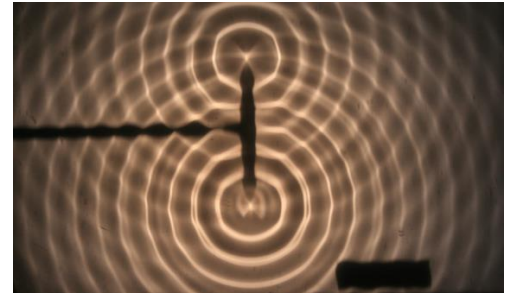
5. Après validation éventuelle, compléter le paragraphe C du modèle.

Pour aller plus loin... Vérifier que les deux conditions établies sont valables pour les cas 5 à 8.



Activité 3. Cas des interférences à la surface de l'eau : où est-ce que ça bouge, où est-ce que c'est calme ?

Pour **tester expérimentalement** les conditions établies à la fin de l'activité précédente, on peut analyser le phénomène d'interférences pour des ondes à la surface de l'eau. Pour produire des interférences, on utilise deux sources vibrant en phase.



1. Le **document annexe 1** ci-dessous représente, à un instant t_0 , les positions des hauts de vagues et de creux de vagues pour les deux sources.

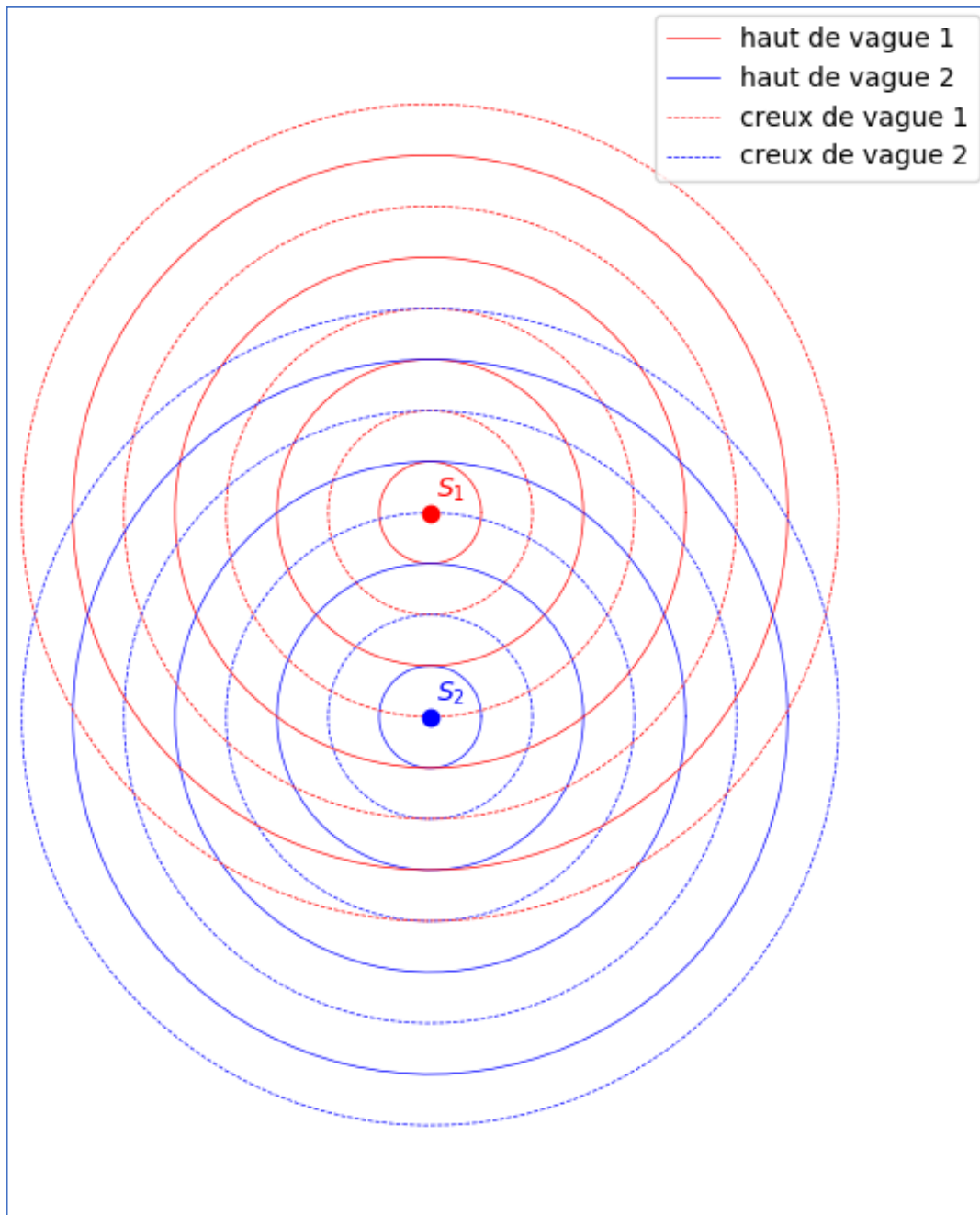
Aux points S_1 et S_2 , à l'instant t_0 , l'eau est dans un niveau bas : ce sont des creux de vague.

a- Indiquer en vert quelques points d'interférences constructives à l'instant t_0 .

b- En imaginant comment ces points bougent au cours du temps, proposer des lignes (en vert) pour représenter les lieux d'interférences constructives au cours du temps.

2. Pourquoi, sur la cuve à ondes, les zones où il y a **interférences constructives** sont-elles difficiles à voir à l'œil nu ?

Document annexe 1 - Activité 3





Le **document annexe 2** représente deux photos de la cuve :

- l'une avec un temps de pose très court (un "instantané") : on rappelle que les zones claires représentent les hauts de vague
 - l'autre avec un temps de pose plus long. Sur cette dernière photo, les zones lumineuses représentent les zones d'interférences constructives, là où les vagues hautes sont passées.
3. Rappeler pourquoi la ligne médiane (notée 0) entre les deux sources est une zone d'interférences constructives.
4. Les lignes claires de la photo du bas indiquent les lieux d'interférences constructives puisqu'elles indiquent les lieux où l'amplitude des vagues est importante. À l'aide d'au moins 2 points de votre choix, vérifier que la condition d'interférence constructive est vérifiée sur la ligne n°1.

Pour aller plus loin...

- Faire une vérification de la condition d'interférences constructives sur la ligne n°2.
- Vérifier approximativement la condition d'interférences destructives sur un point que vous estimez être dans cet état.

Activité 4. Retour sur les interférences des ondes lumineuses

On étudie à nouveau le dispositif de l'activité 1 pour obtenir des interférences lumineuses à l'aide d'un laser et de deux fentes très proches, chacune de largeur notée a , et séparées d'une longueur notée b .

1. Sur le schéma ci-contre, représenter la différence de marche (qu'on appelle aussi en optique la différence de chemin optique) pour un point M situé sur l'écran (à une distance x du point O).
2. Si M se rapproche de O, comment évolue la différence de marche δ ?
 - elle augmente
 - elle diminue
 - elle reste constante

On admet en terminale que dans le cas des fentes d'Young, la différence de marche en M s'exprime :

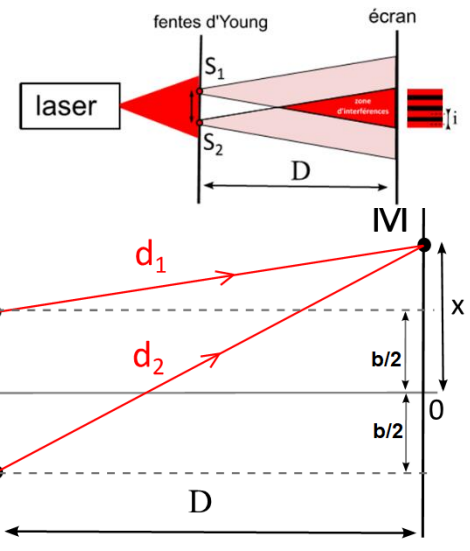
$$\delta \approx \frac{b \cdot x}{D}$$

Cette expression n'est pas à connaître et sera redonnée. La démonstration est aussi hors programme.

3. Indiquer en justifiant si cette relation est en accord avec votre réponse précédente.

On cherche à exprimer i grâce à l'expression de la différence de chemin optique δ .

4. Le point O est un point d'interférence constructive. On appelle M1 le premier point d'interférence constructive d'abscisse x_1 situé à proximité de O. Que vaut la différence de chemin optique pour ce point M1 ?
5. Sachant que l'interfrange correspond à la distance entre O et M1, exprimer l'interfrange en fonction de b , D et λ .



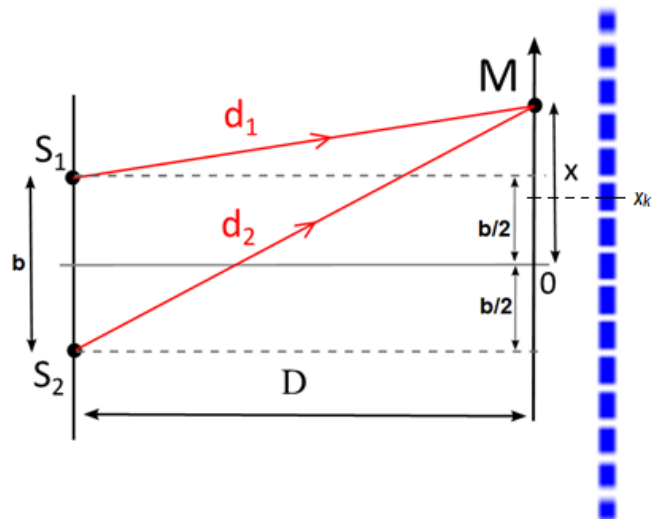
Démonstration (hors programme) :

Pythagore dans les triangles de sommet S_1 et S_2 :
 $d_2^2 = (x+b/2)^2 + D^2$ et $d_1^2 = (x-b/2)^2 + D^2$
 en développant et simplifiant :

$d_2^2 - d_1^2 = 2bx$ donc, avec identité remarquable :
 $(d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = 2bx$ ou encore $\delta \cdot (d_2 + d_1) = 2bx$

Il faut faire ici une approximation :

Comme $D \gg b$ et $D \gg x$ alors les 2 rayons sont presque parallèles et donc $d_2 + d_1 \approx 2D$
 Donc $\delta \approx bx/D$



**Une autre méthode pour aller plus loin :**

1. On note x_k l'abscisse du point d'interférence constructive vérifiant la condition $\delta = k\lambda$.
On note x_{k+1} l'abscisse du point d'interférence constructive, voisin du précédent, vérifiant la condition $\delta = (k+1)\lambda$.
Indiquer sur le schéma la position du point d'abscisse x_{k+1} .
2. À l'aide de l'expression de δ , exprimer x_k et x_{k+1} en fonction de k , b , λ et D .
3. Exprimer l'interfrange en fonction de x_k et x_{k+1} .
4. Utiliser les deux réponses précédentes pour trouver l'expression de l'interfrange en fonction de b , λ et D et vérifier qu'on retrouve la même expression de l'interfrange.

Une autre méthode pour aller plus loin :

1. On note x_k l'abscisse du point d'interférence constructive vérifiant la condition $\delta = k\lambda$.
On note x_{k+1} l'abscisse du point d'interférence constructive, voisin du précédent, vérifiant la condition $\delta = (k+1)\lambda$.
Indiquer sur le schéma la position du point d'abscisse x_{k+1} .
2. À l'aide de l'expression de δ , exprimer x_k et x_{k+1} en fonction de k , b , λ et D .
3. Exprimer l'interfrange en fonction de x_k et x_{k+1} .
4. Utiliser les deux réponses précédentes pour trouver l'expression de l'interfrange en fonction de b , λ et D et vérifier qu'on retrouve la même expression de l'interfrange.

Une autre méthode pour aller plus loin :

1. On note x_k l'abscisse du point d'interférence constructive vérifiant la condition $\delta = k\lambda$.
On note x_{k+1} l'abscisse du point d'interférence constructive, voisin du précédent, vérifiant la condition $\delta = (k+1)\lambda$.
Indiquer sur le schéma la position du point d'abscisse x_{k+1} .
2. À l'aide de l'expression de δ , exprimer x_k et x_{k+1} en fonction de k , b , λ et D .
3. Exprimer l'interfrange en fonction de x_k et x_{k+1} .
4. Utiliser les deux réponses précédentes pour trouver l'expression de l'interfrange en fonction de b , λ et D et vérifier qu'on retrouve la même expression de l'interfrange.

Une autre méthode pour aller plus loin :

1. On note x_k l'abscisse du point d'interférence constructive vérifiant la condition $\delta = k\lambda$.
On note x_{k+1} l'abscisse du point d'interférence constructive, voisin du précédent, vérifiant la condition $\delta = (k+1)\lambda$.
Indiquer sur le schéma la position du point d'abscisse x_{k+1} .
2. À l'aide de l'expression de δ , exprimer x_k et x_{k+1} en fonction de k , b , λ et D .
3. Exprimer l'interfrange en fonction de x_k et x_{k+1} .
4. Utiliser les deux réponses précédentes pour trouver l'expression de l'interfrange en fonction de b , λ et D et vérifier qu'on retrouve la même expression de l'interfrange.

Une autre méthode pour aller plus loin :

1. On note x_k l'abscisse du point d'interférence constructive vérifiant la condition $\delta = k\lambda$.
On note x_{k+1} l'abscisse du point d'interférence constructive, voisin du précédent, vérifiant la condition $\delta = (k+1)\lambda$.
Indiquer sur le schéma la position du point d'abscisse x_{k+1} .
2. À l'aide de l'expression de δ , exprimer x_k et x_{k+1} en fonction de k , b , λ et D .
3. Exprimer l'interfrange en fonction de x_k et x_{k+1} .
4. Utiliser les deux réponses précédentes pour trouver l'expression de l'interfrange en fonction de b , λ et D et vérifier qu'on retrouve la même expression de l'interfrange.




Activité 5. Se servir de l'interfrange pour déterminer une longueur d'onde

Proposer et réaliser un protocole expérimental permettant, à partir de l'expression de l'interfrange de déterminer la longueur d'onde du laser que vous utilisez.

👉 Appeler le professeur pour lui montrer votre proposition.

Indiquer vos mesures puis le calcul de la valeur de la longueur d'onde.

On aura intérêt à minimiser l'incertitude sur la valeur de l'interfrange en utilisant un logiciel de traitement d'image tel que le module  Intensité lumineuse de Regressi,

Estimation des incertitudes :

- On considère que l'incertitude sur b est $u(b) = 0,005$ mm.
- L'incertitude sur D peut être estimée à 0,5 cm.
- Estimer l'incertitude sur l'interfrange : $u(i) = \dots\dots\dots$
- L'incertitude sur λ est donnée par la formule : $u(\lambda) = \lambda \times \sqrt{\left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$

Calculer l'incertitude associée à la mesure de la longueur d'onde puis écrire finalement :

La valeur de la longueur d'onde : $\lambda = \dots\dots\dots$ nm.

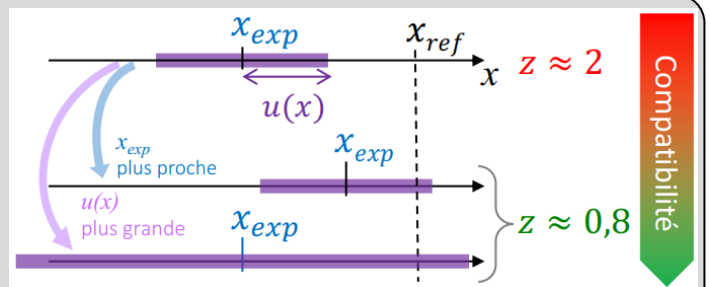
La valeur de l'incertitude associée à cette valeur : $u(\lambda) = \dots\dots\dots$ nm

Après avoir pris connaissance de la valeur indiquée sur le laser, **prise comme valeur de référence**, analyser votre résultat en exploitant le texte ci-dessous.

Pour comparer une mesure x_{mes} à une valeur théorique x_{ref} , on utilise l'écart ramené à l'incertitude de la mesure (appelé aussi z-score) :

$$z = \frac{|x_{mes} - x_{ref}|}{u(x)}$$

Si z est inférieur à 1 alors la mesure peut être jugée compatible avec la valeur théorique. Autrement dit, la valeur théorique est dans l'intervalle de confiance. Plus z est petit, meilleure est la compatibilité.

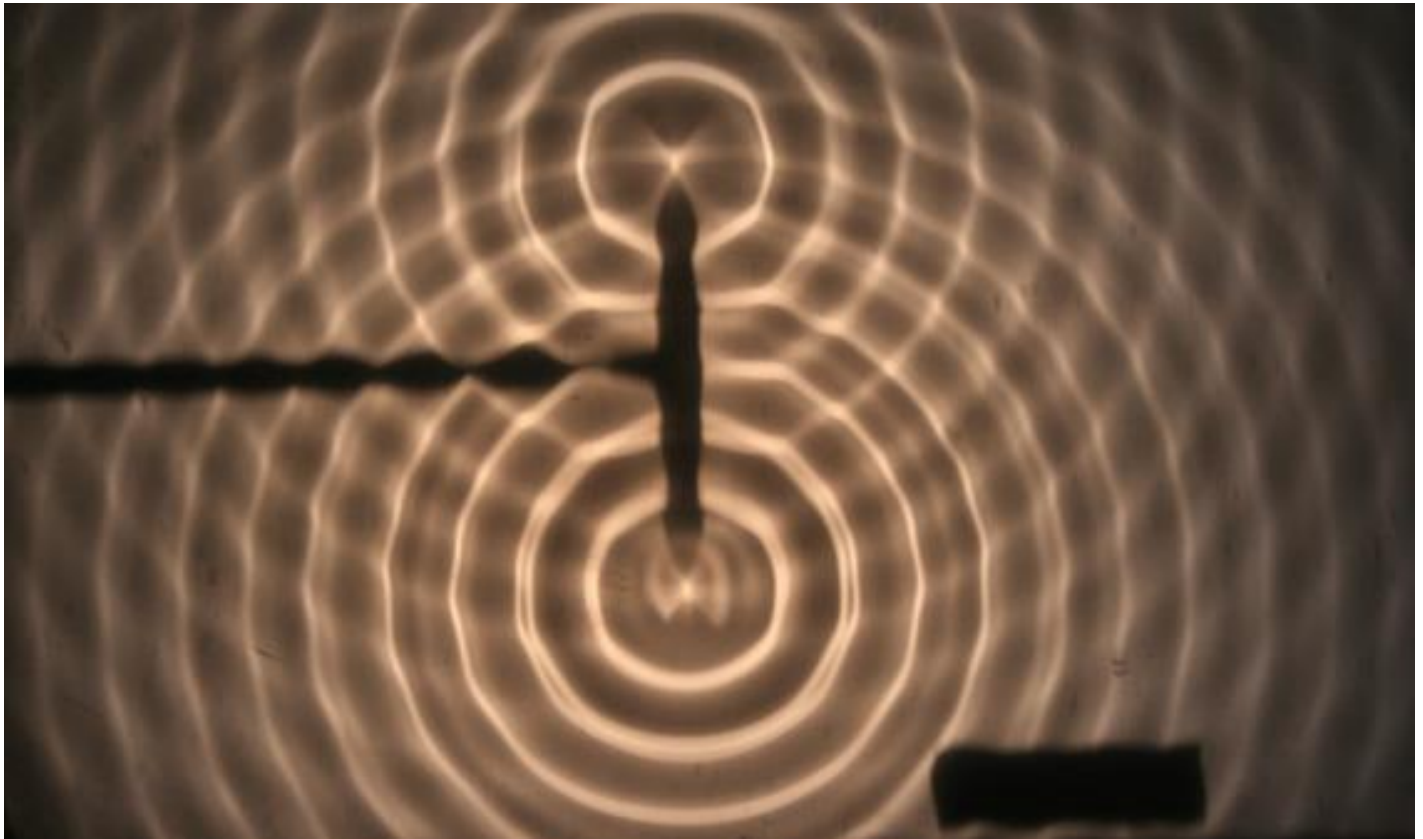




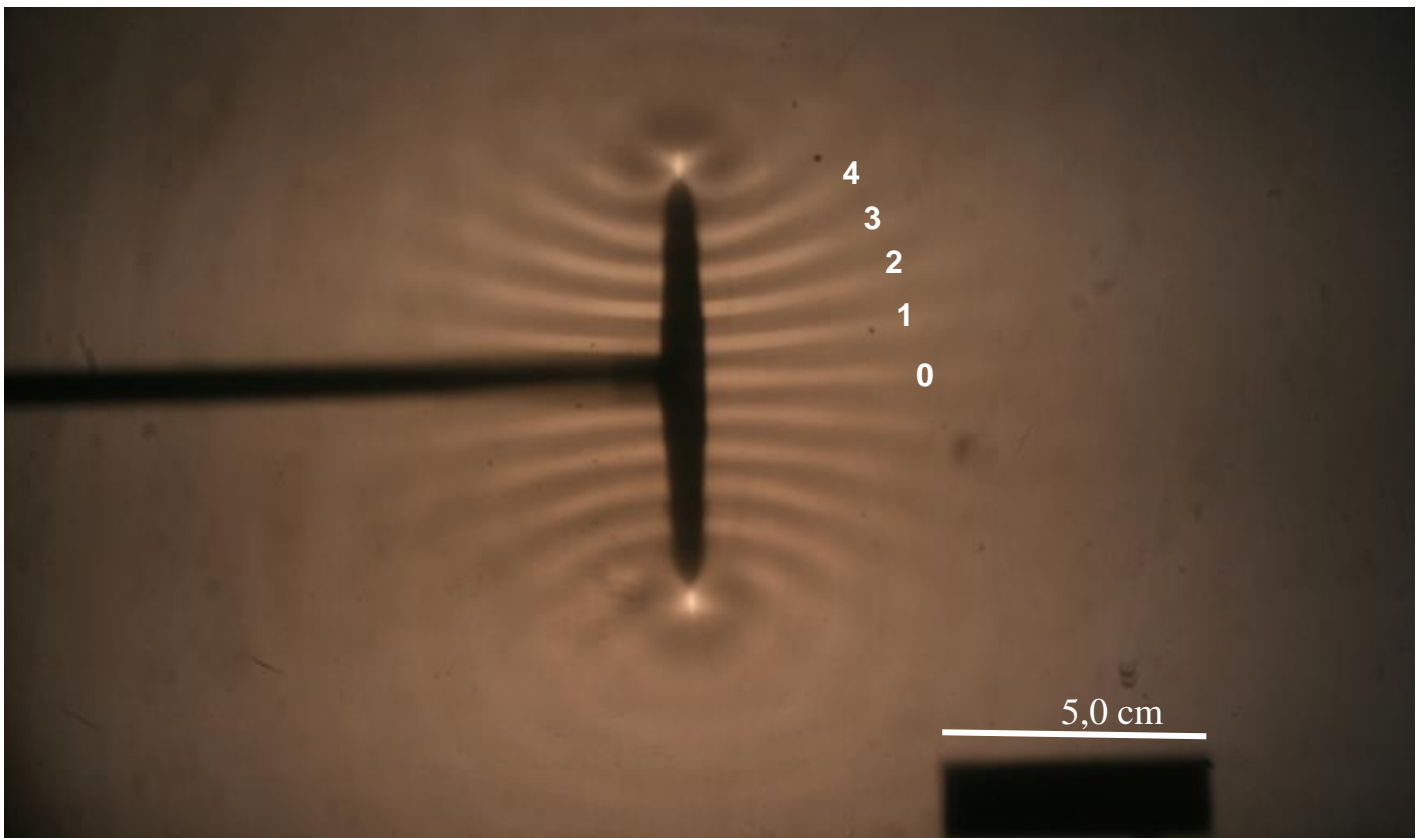
Document annexe 2 - Activité 3 - fréquence 15 Hz

Indiquer ci-dessous :

- en vert les points où il y a interférences constructives
- en rouge les points où il y a interférences destructives.



Petit temps d'exposition



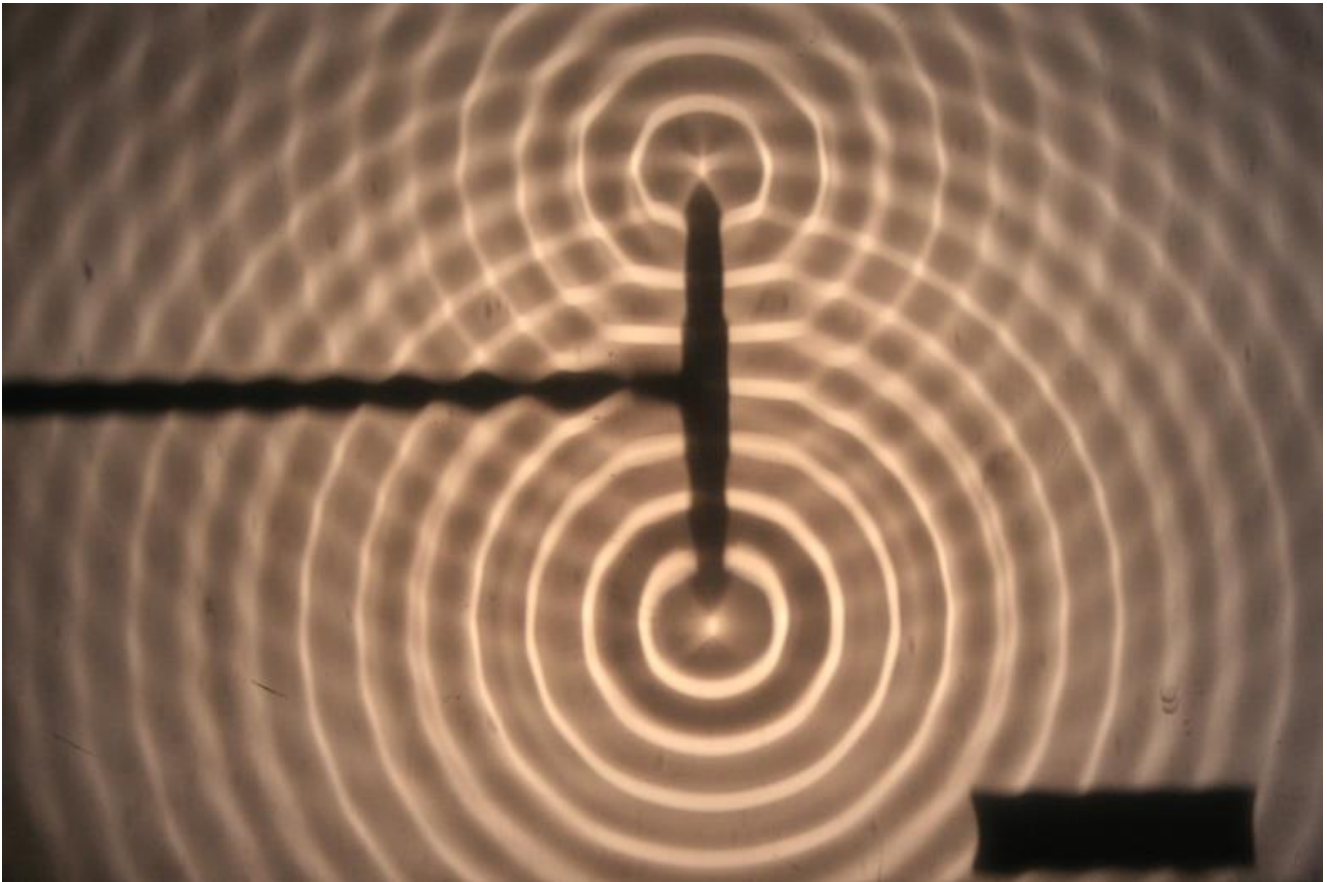
Grand temps d'exposition



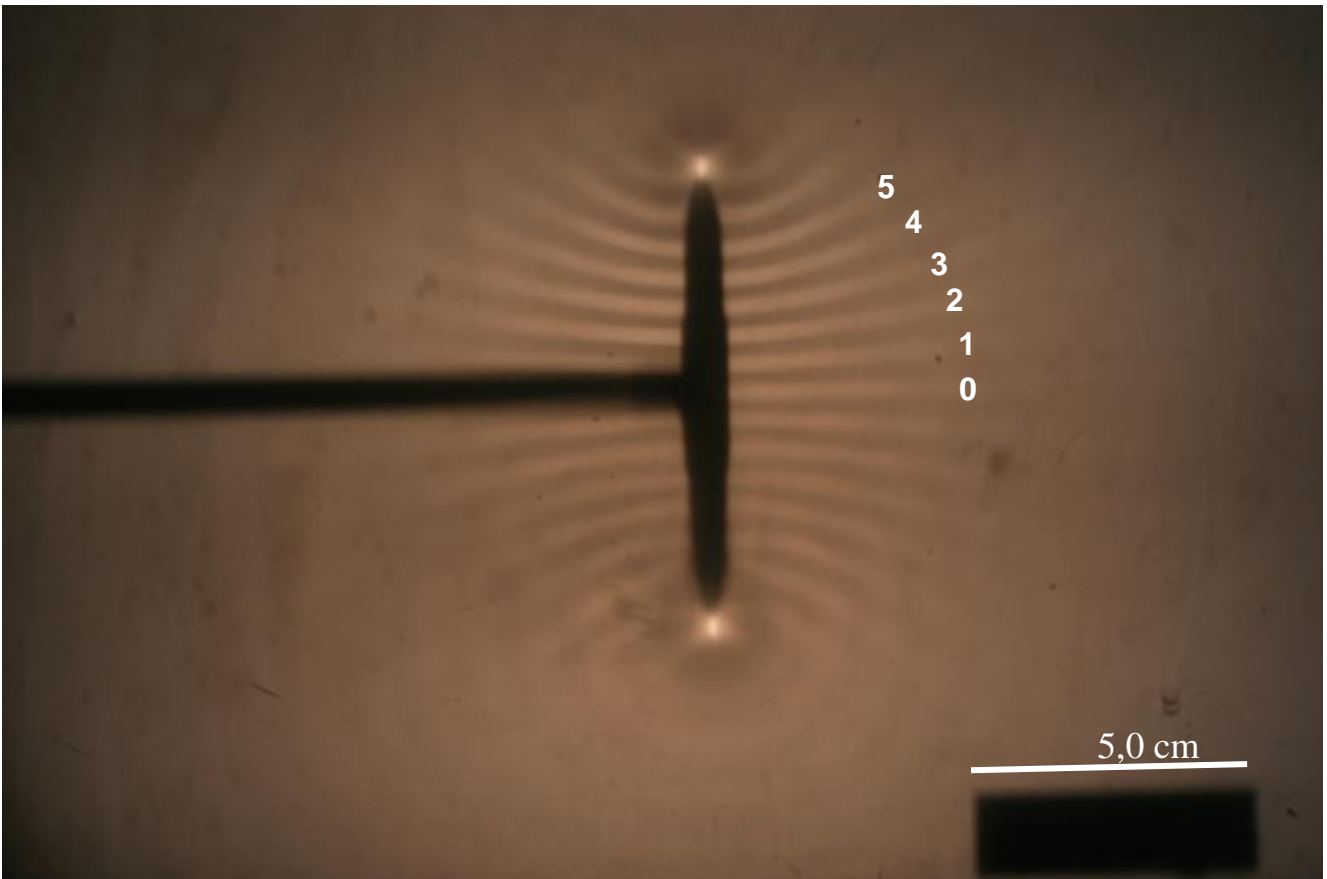
Document annexe 2bis - Activité 3 - fréquence 20 Hz

Indiquer ci-dessous :

- en vert les points où il y a interférences constructives
- en rouge les points où il y a interférences destructives.



Petit temps d'exposition



Grand temps d'exposition