

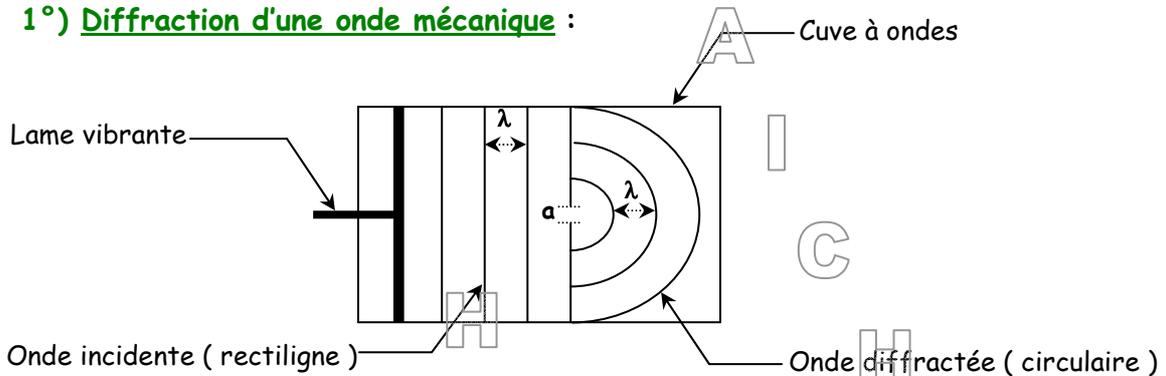
SERIE DE PHYSIQUE N° 8
 INTERACTIONS ONDE-MATIERE

RAPPEL DU COURS

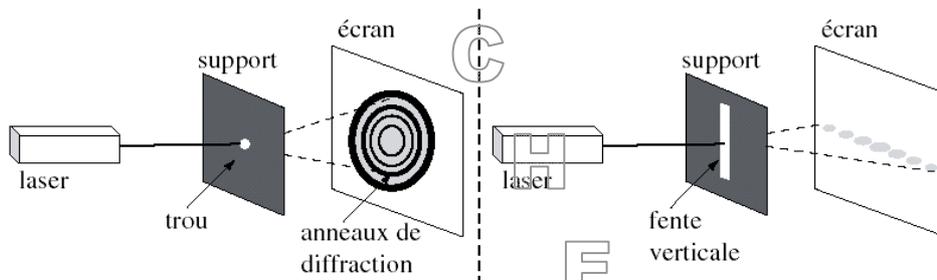
I / La diffraction :

- * La diffraction d'une onde est la modification de sa forme à son passage à travers une fente ou un obstacle .
- * La diffraction d'une onde se fait sans changement de sa longueur d'onde λ .
- * La diffraction d'une onde , de longueur d'onde λ à travers une fente de largeur a dépend du quotient $\frac{\lambda}{a}$.

1°) Diffraction d'une onde mécanique :

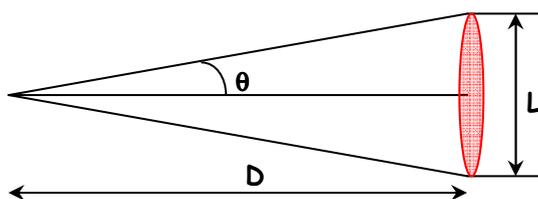


2°) Diffraction d'une onde lumineuse :



La largeur de la tache centrale est donnée par : $L = \frac{2\lambda \cdot D}{a}$

Remarque :



θ : écart du faisceau angulaire ou demi-diamètre angulaire .

$$\text{tg}\theta = \frac{L}{D} = \frac{L}{2D} \approx \theta \Rightarrow L = 2D \cdot \theta$$

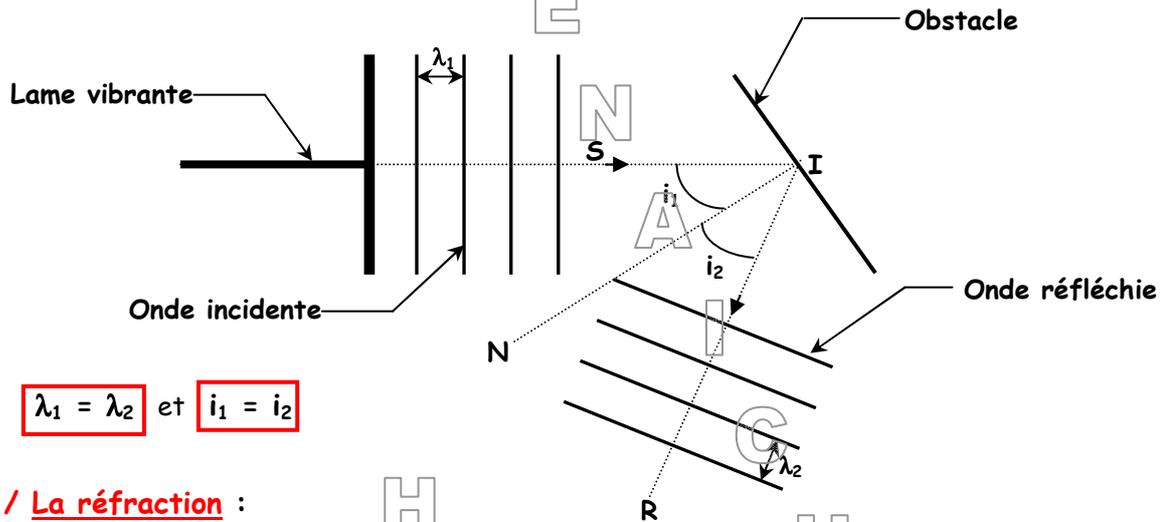
D'autre part , $L = \frac{2\lambda \cdot D}{a}$

$$\text{D'où , } \theta = \frac{\lambda}{a}$$

SERIE DE PHYSIQUE N° 8
INTERACTIONS ONDE-MATIERE

II / La réflexion :

- * A la rencontre d'un obstacle plan, une onde mécanique ou lumineuse subit une réflexion.
- * La réflexion de l'onde se fait sans changement de sa longueur d'onde λ .
- * La réflexion d'une onde modifie uniquement sa direction de propagation.
- * L'angle d'incidence i de l'onde incidente est égale à l'angle de réflexion i' de l'onde réfléchie.

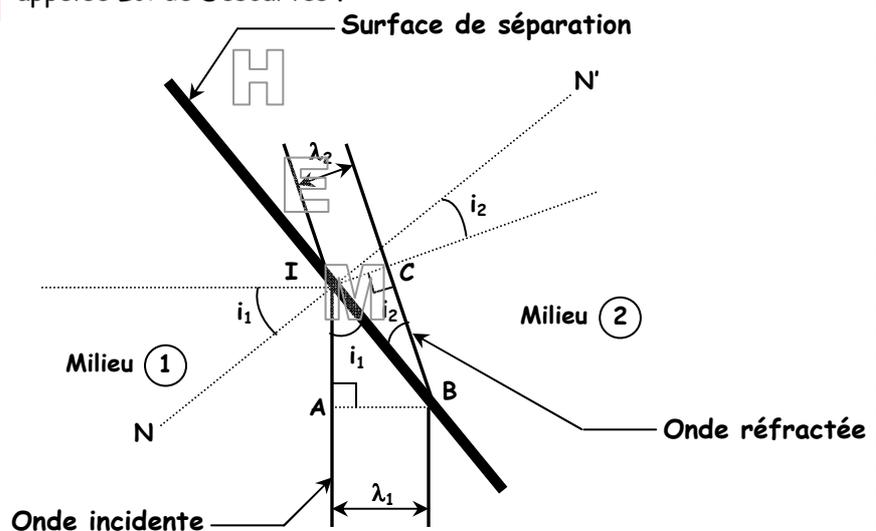


$\lambda_1 = \lambda_2$ et $i_1 = i_2$

III / La réfraction :

- * La réfraction d'une onde mécanique est le changement de la direction de sa propagation et de sa longueur d'onde λ , au niveau de la surface de séparation de deux milieux de propagation.
- * La réfraction d'une onde mécanique est régie par la relation :

$\lambda_1 \cdot \sin i_1 = \lambda_2 \cdot \sin i_2$ appelée Loi de Descartes.



IV / La dispersion :

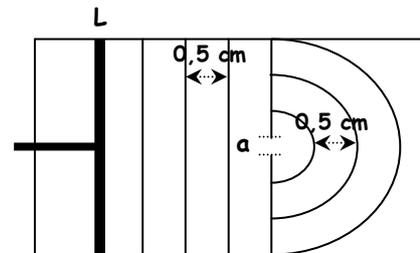
- * La dispersion d'une onde lumineuse ou mécanique est la variation de sa célérité v dans un milieu transparent d'indice n , en fonction de sa fréquence ν .
- * On appelle milieu dispersif, tout milieu dans lequel la célérité v , d'un onde mécanique ou lumineuse, dépend de sa fréquence ν .

SERIE DE PHYSIQUE N° 8
INTERACTIONS ONDE-MATIERE

EXERCICE 1

On dispose d'une cuve à ondes remplie d'eau, d'une lame vibrante L produisant une onde progressive plane à la surface de la nappe d'eau et d'une fente F de largeur a convenablement choisie. En mettant le vibreur en marche, on obtient la figure ci-dessous.

- 1°) Choisir parmi les possibilités suivantes le nom du phénomène : réfraction, diffraction ou réflexion.
- 2°) Quelle est la nature de l'onde incidente et celle de l'onde qui émerge de la fente F ?
- 3°) a) Mesurer les longueurs d'onde de part et d'autre de la fente F. Conclure.
 b) En déduire la célérité des ondes sachant que leur fréquence est $N = 10 \text{ Hz}$.
- 4°) Que se passe-t-il si on augmente la largeur de la fente F ? Faire un schéma.



Rép. Num. : 1°) Diffraction ; 2°) Plane rectiligne → plane circulaire ; 3°) a) $\lambda = \lambda' = 5.10^{-3} \text{ m}$; b) $v = \lambda.N = 5.10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$;

4°) Si $a \nearrow$, l'onde diffractée n'est plus circulaire.



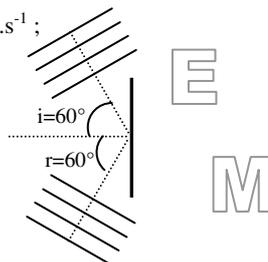
EXERCICE 2

A la surface de l'eau d'une cuve à ondes, on produit une onde rectiligne progressive. Un obstacle est placé sur le trajet des ondes. Il empêche toute propagation au-delà de lui-même. L'obstacle fait un angle $\alpha = 30^\circ$ avec la direction de propagation de l'onde. La distance entre deux crêtes est $d = 4 \text{ cm}$ et la fréquence de la source est $N = 12,5 \text{ Hz}$.

- 1°) Quel est l'angle d'incidence i ?
- 2°) Calculer la célérité de l'onde incidente.
- 3°) Schématiser l'aspect de la surface de l'eau en précisant la direction de propagation de l'onde réfléchi, l'angle d'incidence i et l'angle de réflexion r .

Rép. Num. : 1°) $i = 60^\circ$; 2°) $v = \lambda.N = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$;

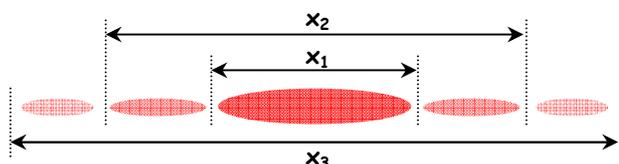
3°) $i = r = 60^\circ$



EXERCICE 3

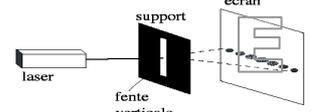
Le schéma de la figure ci-dessous est une reproduction à l'échelle réelle de la figure de diffraction obtenue sur un écran situé à une distance $D = 2 \text{ m}$ d'une fente de largeur $a = 100 \mu\text{m}$, éclairée par une lumière monochromatique de longueur d'onde λ , émise par une source laser.

- 1°) Schématiser le dispositif expérimental permettant d'obtenir cette figure de diffraction.
- 2°) Etablir, pour la tache centrale de diffraction, la relation entre sa largeur x_1 et son demi-diamètre angulaire θ .



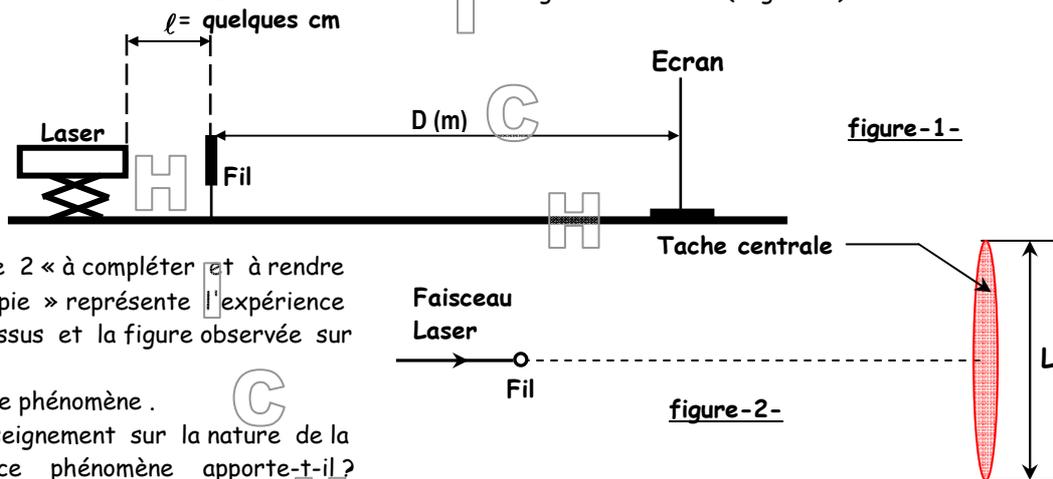
SERIE DE PHYSIQUE N° 8
INTERACTIONS ONDE-MATIERE

- 3°) Donner la relation entre le demi-diamètre angulaire θ , la longueur d'onde λ et la largeur a de la fente .
- 4°) Déterminer la longueur d'onde λ de la lumière émise par la source laser .
- 5°) Comparer la largeur de la tache centrale de diffraction avec celle d'une tache latérale .
- 6°) En utilisant le même dispositif, quelle serait la largeur de la tache centrale de diffraction obtenue avec une lumière monochromatique bleue de longueur d'onde $\lambda' = 450 \text{ nm}$?

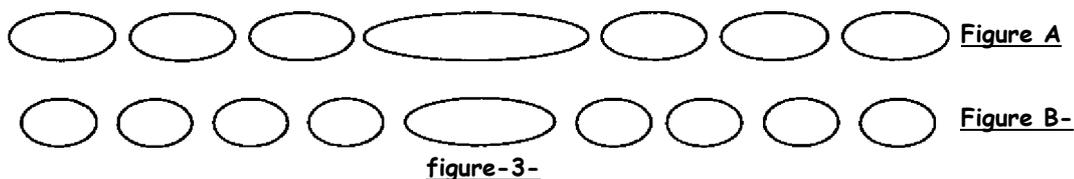
Rép. Num. : 1°)  ; 2°) $\theta = \frac{x_1}{2D}$; 3°) $\theta = \frac{\lambda}{a}$; 4°) $\lambda = \frac{a \cdot x_1}{2 \cdot D} = 0,675 \cdot 10^{-6} \text{ m}$;
 5°) $L_1 = 2,7 \text{ cm}$; $L_2 = \frac{x_2 \cdot x_1}{2} = 1,4 \text{ cm}$; $L_1 \approx 2 L_2$; 6°) $L' = 2 \frac{\lambda' \cdot D}{a} = 1,8 \text{ cm}$.

EXERCICE 4

Un faisceau de lumière, parallèle monochromatique, de longueur d'onde λ , produit par une source laser arrive sur un fil vertical, de diamètre a (a est de l'ordre du dixième de millimètre). On place un écran à une distance D de ce fil; la distance D est grande devant a (figure 1).



- 1°) La figure 2 « à compléter et à rendre avec la copie » représente l'expérience vue de dessus et la figure observée sur l'écran .
 Nommer ce phénomène .
 Quel renseignement sur la nature de la lumière ce phénomène apporte-t-il ?
- 2°) Faire apparaître sur la figure 2 l'écart angulaire ou demi-angle de diffraction θ et la distance D entre l'objet diffractant (en l'occurrence le fil) et l'écran .
- 3°) En utilisant la figure 2 , exprimer l'écart angulaire θ en fonction des grandeurs L et D .
- 4°) Sachant que $\theta = \frac{\lambda}{a}$, montrer que la largeur L de la tache centrale de diffraction est donnée par la relation : $L = 2 \frac{\lambda \cdot D}{a}$.
- 5°) On dispose de deux fils calibrés de diamètres respectifs $a_1 = 60 \mu\text{m}$ et $a_2 = 80 \mu\text{m}$.
 On place successivement ces deux fils verticaux dans le dispositif présenté par la figure 1 . On obtient sur l'écran deux figures de diffraction distinctes notées A et B (figure 3) .
 Associer, en le justifiant , à chacun des deux fils la figure de diffraction qui lui correspond .



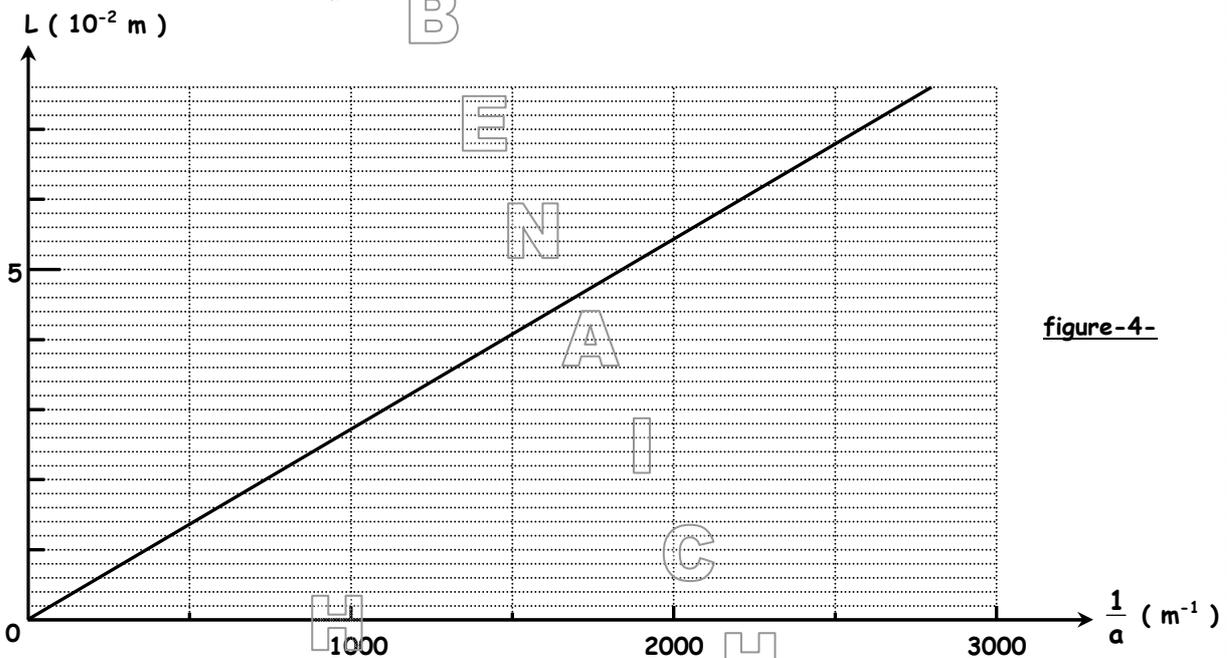
- 6°) On cherche maintenant à déterminer expérimentalement la longueur d'onde dans le vide λ de la lumière monochromatique émise par la source laser utilisée . Pour cela , on place devant le faisceau laser des fils calibrés verticaux .

SERIE DE PHYSIQUE N° 8
INTERACTIONS ONDE-MATIERE

On désigne par « a » le diamètre d'un fil . La figure de diffraction obtenue est observée sur un écran blanc situé à une distance $D = 2,50$ m des fils .

Pour chacun des fils, on mesure la largeur L de la tâche centrale de diffraction .

On trace la courbe $L = f(\frac{1}{a})$ (figure 4) .



- a) La lumière émise par la source laser est dite monochromatique. Donner la signification de ce terme .
 - b) Donner l'équation de la courbe $L = f(\frac{1}{a})$ et en déduire la longueur d'onde λ dans le vide de la lumière monochromatique constitutive du faisceau laser utilisé .
 - c) Calculer la fréquence de la lumière monochromatique émise par la source laser .
 Donnée : célérité de la lumière dans le vide ou dans l'air $c = 3,00 \times 10^8$ m.s⁻¹.
- 7°) On éclaire avec cette source laser un verre flint d'indice $n(\lambda) = 1,64$.
 À la traversée de ce milieu transparent dispersif , les valeurs de la fréquence , de la longueur d'onde et la couleur associées à cette radiation varient-elles ?

Rép. Num. : 1°) Diffraction : nature ondulatoire ; 3°) $\theta = \frac{L}{2D}$; 5°) $a_1 < a_2 \Rightarrow L_1 > L_2 \Rightarrow a_1$: Figure A et a_2 : Figure B ;

6°) a) $L = 2,7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{a}$; $\lambda = 5,4 \cdot 10^{-7}$ m ; c) $\nu = \frac{c}{\lambda} = 5,5 \cdot 10^{14}$ Hz ;

7°) Même fréquence ν (indépendante du milieu) \Rightarrow même couleur ; $\lambda' = \frac{\nu}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{\lambda(\text{vide})}{n}$.

EXERCICE 5

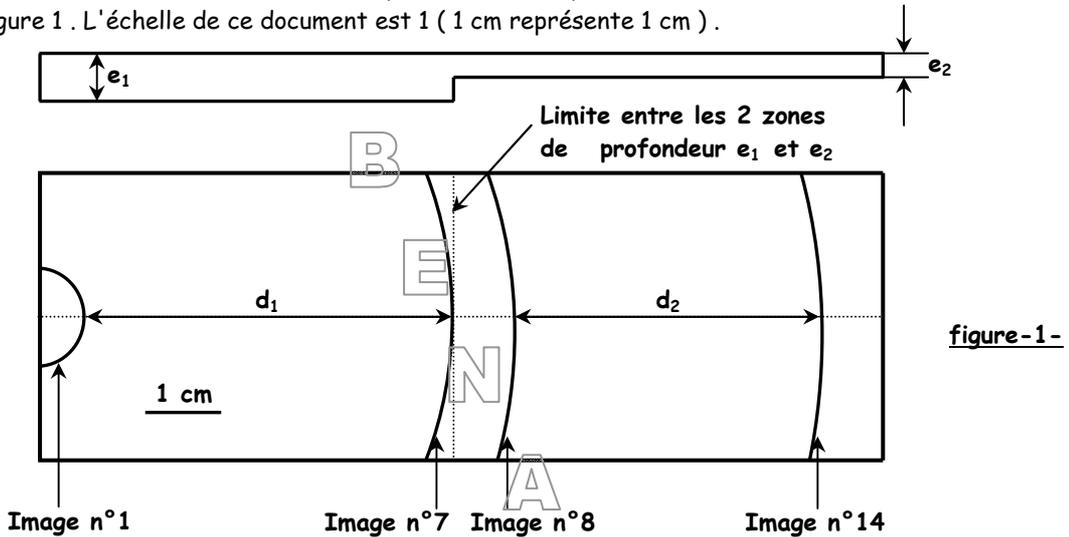
I/-Etude sur une cuve à ondes :

On laisse tomber une goutte d'eau sur une cuve à ondes . Le fond de la cuve à ondes présente un décrochement de telle sorte que l'onde créée par la chute de la goutte d'eau se propage d'abord à la surface de l'eau dont l'épaisseur au repos est $e_1 = 3$ mm puis ensuite à la surface de l'eau dont l'épaisseur au repos est $e_2 = 1$ mm . On filme la surface de l'eau à l'aide d'une webcam . Le clip vidéo est effectué avec une fréquence de 24 images par seconde . Le document de la figure 1 représente les positions du front de l'onde créée par la chute de la goutte d'eau, repérées sur les images n° 1 , n° 7 , n° 8 et n° 14 du clip .

- 1°) Donner les définitions d'une onde transversale et d'une onde longitudinale . À quelle catégorie appartient l'onde créée par la goutte d'eau sur la cuve à ondes ?

SERIE DE PHYSIQUE N° 8
INTERACTIONS ONDE-MATIERE

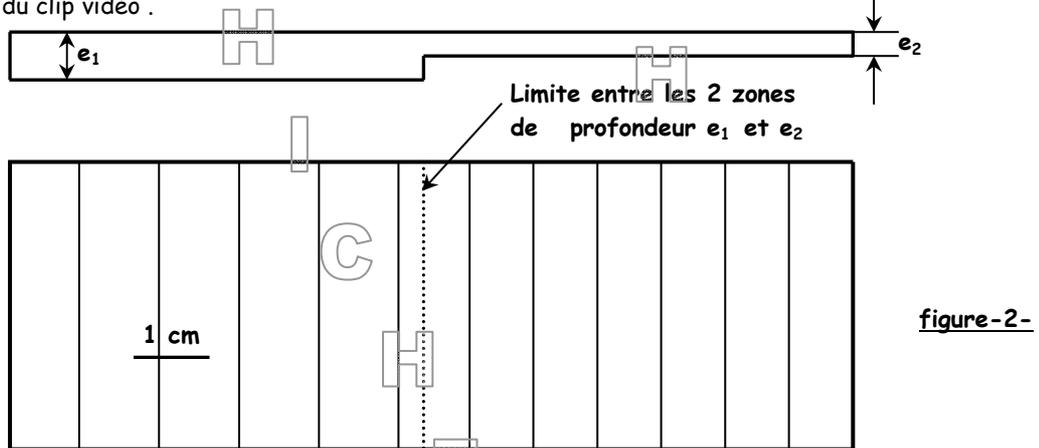
2°) Calculer la célérité v de cette onde pour les deux épaisseurs d'eau mentionnées dans le document de la figure 1. L'échelle de ce document est 1 (1 cm représente 1 cm).



3°) Comment varie, dans cet exemple, la célérité v de l'onde en fonction de l'épaisseur de l'eau ?

II/- Ondes périodiques :

On installe sur la cuve à ondes un vibreur qui permet d'obtenir des ondes planes. La fréquence du vibreur a été fixée à 24 Hz. Une source lumineuse éclaire la surface de l'eau. Cette lumière traverse l'eau et est captée ensuite par la webcam. Le document de la figure 2 représente l'onde périodique obtenue à partir d'une image du clip vidéo.



1°) Comment appelle-t-on la distance séparant deux franges brillantes (ou sombres) successives ?
 Quelle relation lie cette grandeur à la célérité v de l'onde et sa période temporelle T ?

2°) À l'aide du document de la figure 2, calculer la célérité v de l'onde périodique pour les deux épaisseurs d'eau de 3 et 1 mm. Quelle est l'influence de l'épaisseur de l'eau sur la célérité de l'onde périodique ?

3°) On utilise maintenant une cuve à ondes sans décrochement. L'épaisseur de l'eau au repos est constante. Après avoir fait varier la fréquence du vibreur, on a réalisé des photographies et on a mesuré la longueur d'onde λ pour chacun des enregistrements. Les résultats ont été consignés dans le tableau ci-dessous.

N (Hz)	12	24	48	96
λ (m)	0,018	0,0097	0,0059	0,0036

Calculer la célérité v de l'onde périodique pour chaque enregistrement. Comment évolue cette célérité en fonction de la fréquence de l'onde ?

SERIE DE PHYSIQUE N° 8
INTERACTIONS ONDE-MATIERE

III/-Un phénomène caractéristique des ondes :

1°) Expérience sur les ondes lumineuses :

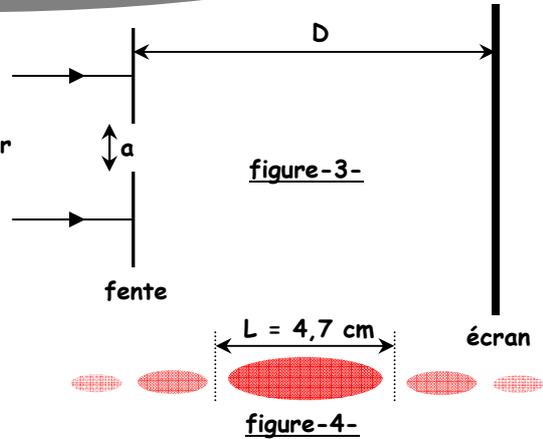
On place sur un faisceau laser une fente de dimension $a = 0,08 \text{ mm}$. On place après la fente un écran.

La distance entre la fente et l'écran est $D = 3,00 \text{ m}$ comme l'indique la figure 3.

La figure obtenue sur l'écran est représentée sur la figure 4.

Faisceau laser

B



a) Comment se nomme le phénomène observé ?

b) L'écart angulaire θ entre le milieu de la

tache centrale et la première extinction vérifie la relation : $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

Calculer la longueur d'onde de ce faisceau laser (on considérera que cet écart angulaire θ est faible et que donc $\theta \approx \tan\theta$ si θ est exprimé en radians).

2°) Étude sommaire de la houle :

La houle prend naissance sous l'effet du vent loin des côtes. Un vent de 65 km.h^{-1} engendre une houle dont les vagues font 1 mètre de hauteur. Ces vagues sont espacées de 230 mètres. Une vague remplace la précédente après une durée de 12 secondes.

a) Calculer la vitesse de déplacement des vagues à la surface de l'océan.

b) Cette houle arrive sur un port dont l'ouverture entre deux jetées a une largeur $a = 200 \text{ m}$. Un bateau est stationné au fond du port comme indiqué sur le schéma de la figure 5. Ce bateau risque-t-il de ressentir les effets de la houle ? Justifier la réponse à l'aide d'un schéma reproduit sur la copie.

Rép. Num. : I-1°) Ondes transversales ; 2°) $v_1 = \frac{4,8}{6 \times \frac{1}{24}} = 0,19 \text{ m.s}^{-1}$; $v_1 = \frac{4}{6 \times \frac{1}{24}} = 0,16 \text{ m.s}^{-1}$ 3°) Si $e \perp v$; $v \perp \lambda$;

II-1°) Longueur d'onde $\lambda = v.T$; 2°) a) $\lambda_1 = \frac{4,2 \cdot 10^{-2}}{4} = 1,05 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, $v_1 = \lambda_1.N = 0,252 \text{ m.s}^{-1}$;

$\lambda_2 = \frac{4,2 \cdot 10^{-2}}{5} = 0,84 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, $v_2 = \lambda_2.N = 0,20 \text{ m.s}^{-1}$; Si $e \perp v$, $v \perp \lambda$; 3°) $v = \lambda.N$; Si $N \perp v$, $v \perp \lambda$;

III-1°) a) Phénomène de diffraction ; b) $\lambda = \frac{L.a}{2D} = 6,27 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; 2°) a) $\lambda = 230 \text{ m}$ et $T = 12 \text{ s}$; $v = \frac{\lambda}{T} = 19,17 \text{ m.s}^{-1}$;

b) $a < \lambda \Rightarrow$ la diffraction est marquée : le bateau va ressentir les effets de la houle.

