

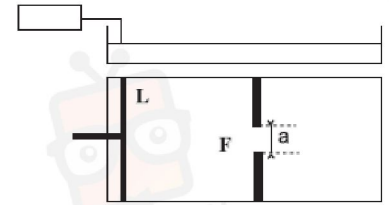
Rappels :

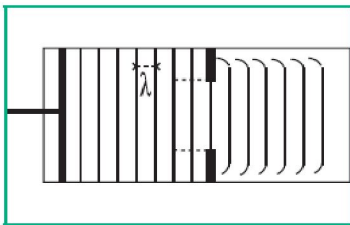

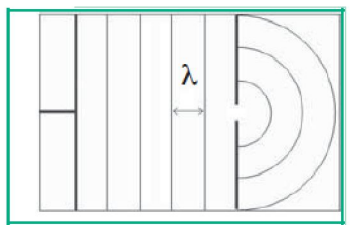
Diffraction

I/ Diffraction d'une onde mécanique progressive sinusoïdale :

La **diffraction d'une onde** est la modification de son trajet et par suite sa forme au voisinage d'une ouverture ou d'un obstacle de dimensions comparables à sa longueur d'onde.

Trois cas sont possible :



$a > \lambda$	$a \approx \lambda$	$a < \lambda$
		
L'onde incidente est peu perturbée sauf près des bords.	Des rides circulaires dans une zone triangulaire.	L'onde incidente est très perturbée, l'ouverture se comporte comme une nouvelle source d'onde quasi circulaire

L'onde diffractée et l'onde incidente ont la **même période T**, **même célérité C** et **même λ** .

II/ Diffraction de la lumière :

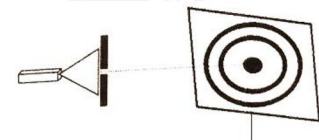
Une lumière monochromatique est une onde électromagnétique progressive sinusoïdale de **fréquence unique**, la couleur de cette lumière dépend de sa fréquence.

Ces ondes présentent une double périodicité temporelle (T) et spatiale (λ) : $\lambda = C \cdot T = C/v$.

a- Ouverture circulaire :

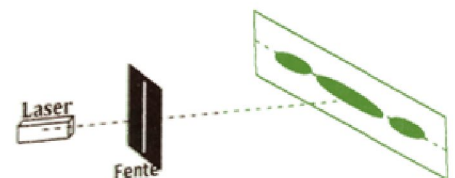
- On observe des tâches circulaires concentriques appelées anneaux de diffraction.

(Plus l'ouverture est petite plus la diffraction est marquée)



b- Ouverture en forme de fente :

- On observe des tâches brillantes alternées par d'autre sombres.
- La tâche centrale est plus large et plus brillantes que les taches voisines.
- Ces taches sont alignées selon une direction perpendiculaire à la fente.

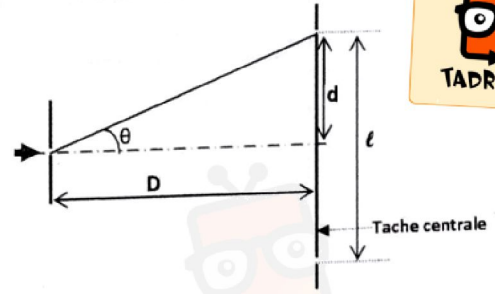


c- Expression de la largeur de la tache centrale :

a : largeur de la fente (m)

λ : longueur d'onde de la radiation en (m)

θ : écart angulaire (en rad) entre le milieu de la tache centrale et la 1^{ère} extinction (sombre)



$$\tan \theta = \frac{d}{D} = \frac{l}{2D} \text{ avec } \begin{cases} a \ll D \\ l \ll D \end{cases} \Rightarrow \theta \text{ faible donc } \tan \theta \approx \theta$$

$$\tan \theta \approx \theta = \frac{l}{2D} \text{ et } \theta = \frac{\lambda}{a} \Rightarrow l = \frac{2D\lambda}{a}$$

III/ Influence du quotient (λ/a) sur le phénomène de diffraction :

☒ Cas de l'onde mécanique :

- Pour une fréquence N fixée et une largeur de fente " a " constante :

Si la profondeur de la nappe d'eau augmente, λ augmente et le phénomène de diffraction est plus marqué.

- Pour une fréquence N fixée et une longueur d'onde λ constante :

Si la largeur de l'ouverture ou de l'obstacle diminue, le phénomène de diffraction est plus marqué.

☒ Cas de l'onde lumineuse :

- Pour une lumière monochromatique de longueur d'onde λ constante :

Si la largeur de l'ouverture ou de l'obstacle diminue, on obtient une tache lumineuse plus large et plus brillante.

- Pour une largeur " a " de fente constante :

Si la longueur d'onde λ de la lumière augmente (on change la couleur de la lumière), on obtient une tache lumineuse plus large.

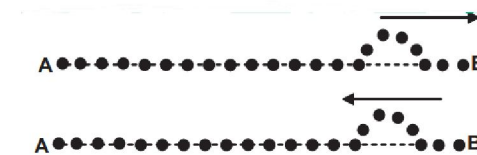
La perception du phénomène de diffraction de l'onde dépend du quotient (λ/a)

Réflexion

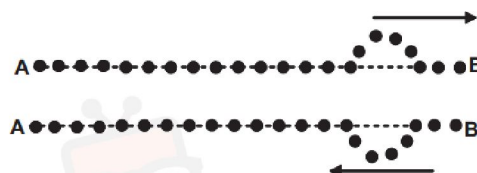
☒ Réflexion d'un ébranlement :

On applique à l'extrémité A d'une corde élastique un ébranlement. Celui-ci se propage le long de la corde de A vers B. En arrivant en B il donne lieu à un ébranlement qui se propage de B vers A. On dit que l'ébranlement subit une réflexion au niveau de l'extrémité du milieu de propagation et donne lieu à un ébranlement réfléchi.

- Si l'extrémité B est libre :



- Si l'extrémité B est fixe :



Un ébranlement incident, d'amplitude a , subit une réflexion au niveau d'une extrémité du milieu de propagation et donne lieu à un ébranlement réfléchi.

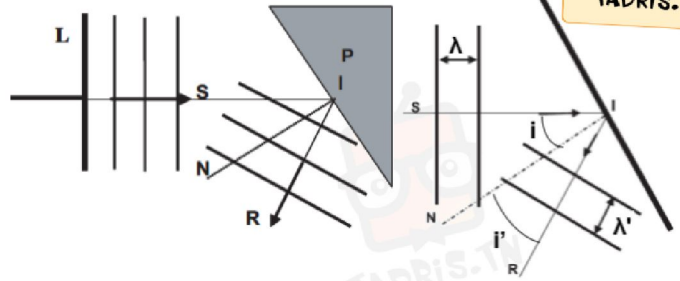
La réflexion d'un ébranlement sur une extrémité libre se fait avec la même amplitude a et sans changement de signe. Par contre, sur une extrémité fixe, la réflexion d'un ébranlement se fait avec un changement de signe



☒ Réflexion d'une onde :

➤ Cas d'une onde plane :

On dispose d'une cuve à ondes, d'une lame vibrante **L** produisant une onde plane progressive et d'une plaque de plastique **P** de forme triangulaire, partiellement immergée dans l'eau de la cuve.



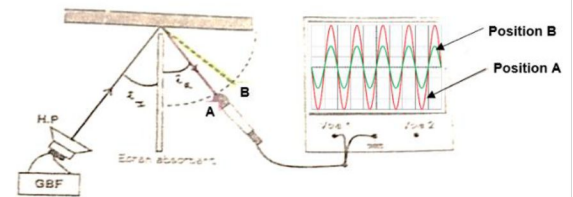
Une onde incidente progressive plane, d'angle d'incidence i , de longueur d'onde λ qui se propage dans un milieu de propagation, subit une réflexion au niveau d'un obstacle plan (plaque de plastique...) et donne naissance à une onde progressive plane réfléchie de longueur d'onde λ' et d'angle de réflexion i' tels que : $\lambda = \lambda'$ et $i = i'$.

La réflexion des ondes se produit dans le même milieu donc l'onde incidente et l'onde réfléchie se propagent avec la même célérité.

➤ Cas d'une onde sphérique :

Une onde sonore subit une réflexion à la rencontre d'un obstacle réfléchissant de grande dimension et donne naissance à une onde réfléchie tel que $i_i = i_r$.

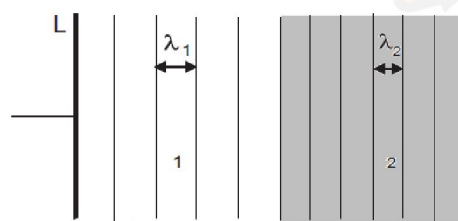
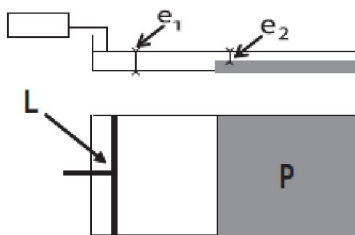
Les dimensions de l'obstacle doivent être très supérieures par rapport à la longueur d'onde λ de l'onde incidente. Dans le cas contraire, l'onde incidente contourne l'obstacle et c'est le phénomène de diffraction qui aura lieu.



Réfraction

☒ Onde transmise :

On considère une cuve à ondes remplie d'eau, une lame vibrante **L**, produisant une onde plane progressive et une plaque rectangulaire en plexiglas **P** de faible épaisseur. La plaque **P** est posée à plat, sur le fond de la cuve ondes et du côté opposé à **L**. Avec la plaque **P**, on crée ainsi, deux milieux de propagation différents. Le premier milieu est d'épaisseur e_1 , tandis que le second est d'épaisseur e_2 , avec $e_1 > e_2$.

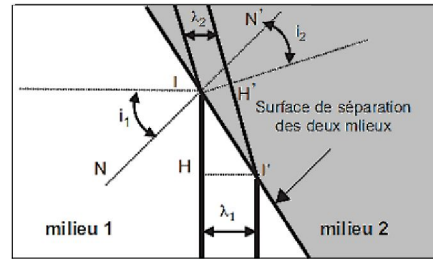
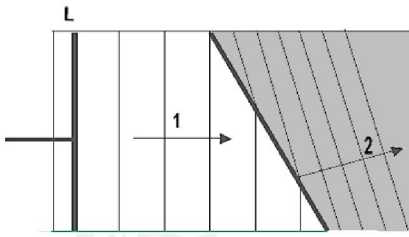


Le passage d'une onde progressive d'un milieu vers un autre se produit avec changement de célérité mais sans changement de direction lorsque cette onde arrive à la surface de séparation des deux milieux de propagation suivant une direction perpendiculaire à cette surface. On dit qu'il s'agit d'une simple transmission et l'onde est dite alors onde transmise.

$$e_1 > e_2 \Rightarrow v_1 > v_2 \Rightarrow \lambda_1 > \lambda_2$$



☒ Onde réfractée :



- **Milieu 1** : famille de rides équidistantes parallèles à la source de longueur d'onde λ_1 .
- **Milieu 2** : famille de rides équidistantes ($\lambda_2 < \lambda_1$) dont la direction de propagation est différente de celle du milieu 1.
- L'expérience montre que $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$

Lorsque l'onde passe d'un milieu plus profond à un milieu moins profond, on trouve $\lambda_2 < \lambda_1$ et $v_2 < v_1$ donc $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} < 1 \Rightarrow i_2 < i_1$. La réfraction est toujours possible.

Au niveau de la surface de séparation de deux milieux de propagation, l'onde mécanique subit un changement de direction de propagation : c'est le phénomène de réfraction.

La réfraction d'une onde mécanique se fait avec un changement de sa longueur d'onde λ et de sa célérité.

La réfraction d'une onde mécanique est vérifiée par la relation $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$.

Dispersion

☒ Dispersion de la lumière :

➤ Lumière monochromatique :

Onde électromagnétique progressive sinusoïdale de fréquence donnée. La couleur de cette lumière est liée à la valeur de sa fréquence.

- ✓ La fréquence d'une onde lumineuse monochromatique est invariante quel que soit le milieu transparent traversé.
- ✓ La fréquence caractérise cette onde.
- ✓ La longueur d'onde, dépend du milieu dans lequel l'onde se propage.
- ✓ La célérité d'une onde électromagnétique dépend du milieu de propagation.

- Pour une radiation de fréquence donnée, l'indice de réfraction noté n d'un milieu homogène et transparent est égal au rapport de la célérité c de la lumière dans le vide à la célérité v de la lumière dans ce milieu transparent.

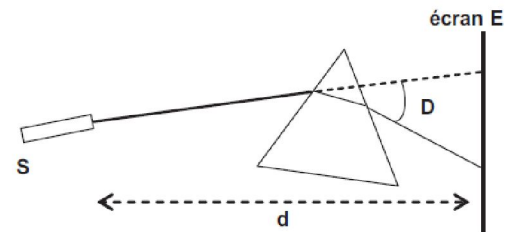
$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0 v}{\lambda v} \Rightarrow n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

- Un milieu est dispersif lorsque la célérité v de l'onde qui se propage dans ce milieu dépend de la fréquence v de l'onde.

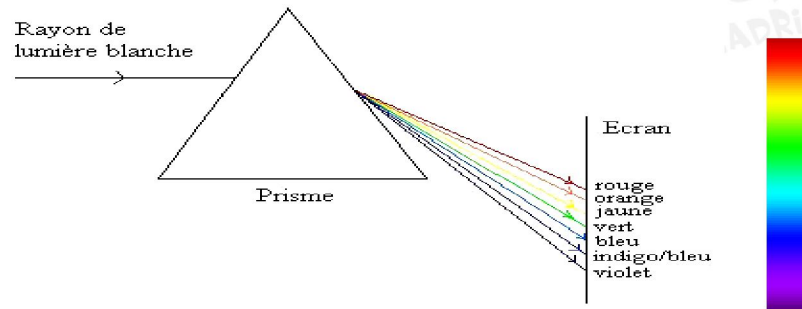
Par conséquent l'indice de réfraction d'un milieu dispersif, qui fait intervenir la vitesse de propagation v de l'onde ($n = \frac{3 \cdot 10^8}{v}$) dépend également de la fréquence de l'onde.

➤ Décomposition d'une lumière polychromatique par un prisme :

- ✓ On appelle lumière polychromatique une lumière composée de plusieurs ondes monochromatiques de fréquences différentes. La lumière blanche est une lumière polychromatique.



- ✓ Les différentes radiations constituant la lumière blanche ne sont pas déviées du même angle D par un prisme d'indice n .
- ✓ Le phénomène de dispersion de la lumière est la variation de sa célérité v dans un milieu transparent d'indice n , en fonction de sa fréquence ν .
- ✓ Tout milieu transparent d'indice de réfraction n , où la célérité d'une radiation lumineuse dépend de sa fréquence est appelé milieu dispersif.
- ✓ Le prisme est un milieu dispersif.



☒ Dispersion d'une onde mécanique :

Quand la célérité v d'une onde mécanique dans un milieu de propagation donné ne dépend pas uniquement de la nature de ce milieu, mais dépend aussi de sa fréquence N , on dit qu'il s'agit du phénomène de dispersion d'onde mécanique.

➤ Milieu dispersif :

- ✓ Eau pour une onde mécanique
- ✓ Prisme pour une onde lumineuse

➤ Milieu non dispersif :

- ✓ L'air pour une onde lumineuse
- ✓ L'air pour une onde sonore

Exercice n°1

Expérience n°1 : A l'aide d'une réglette (R) qui affleure la surface libre de l'eau contenue dans une cuve à ondes, on produit des ondes progressives sinusoïdales d'amplitude a et de fréquence $N = 40\text{Hz}$.

Les ondes se propagent à la surface de l'eau avec la célérité V supposée constante. Ces ondes traversent une fente de largeur f réglable pratiquée dans une en plaque (P) disposée parallèlement à (R).

Pour une valeur f de même ordre de grandeur que la longueur d'onde λ , le phénomène observé à la surface de l'eau correspond au schéma de la **figure 1** reproduit en vraie grandeur.

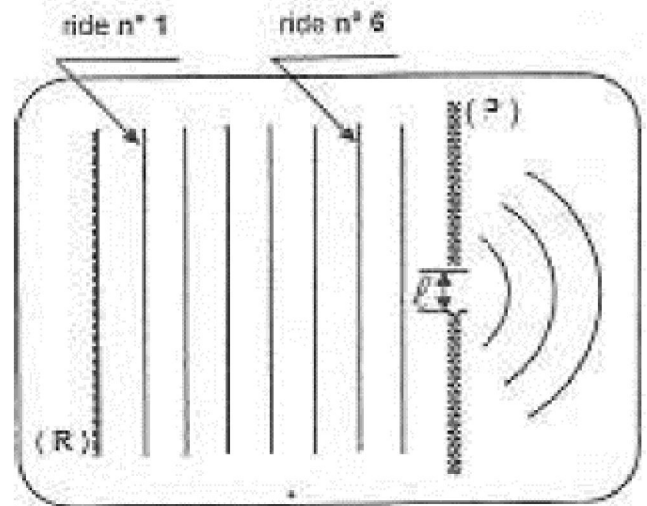
1- Nommer le phénomène observé.

2- En exploitant le schéma de la figure 1, calculer la longueur d'onde λ de l'onde considérée. En déduire sa célérité V .

Expérience n°2 : On éclaire une fente (F) très fine de largeur $a = 0,1\text{ mm}$ par un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 630\text{ nm}$, on observe sur un écran E placé à une distance $D = 2\text{m}$ de (F) une figure de diffraction dont la tache centrale est de largeur L .

1- a- Qu'appelle-t-on lumière monochromatique ?

b- Décrire la figure de diffraction observée.



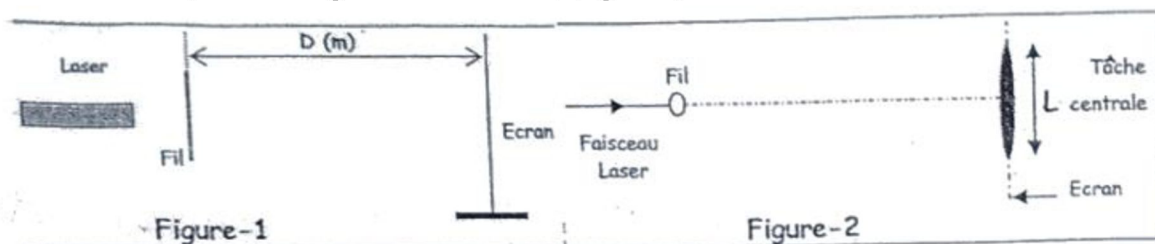
c- En procédant à une comparaison entre les résultats des deux expériences, conclure quant au caractère de la lumière.

2- Calculer la largeur L de la tache centrale.

3- En remplaçant la fente (F), dans l'expérience n°2, par un cheveu de diamètre d , la largeur de la tache centrale devient $L' = 1,5$ cm. Calculer d .

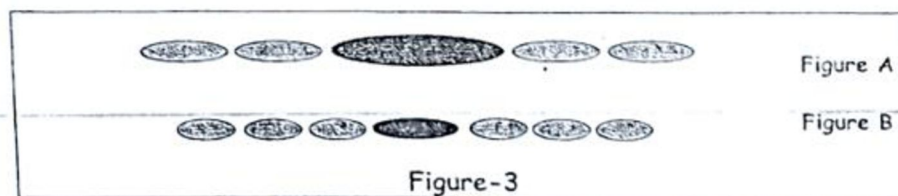
Exercice n°2

Un faisceau de lumière parallèle monochromatique de longueurs 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 la distance D de ce fil (D est très grande devant ' a ') (figure1).



- 1- On observe sur la figure 2 en vue de dessus le phénomène observé sur l'écran.
 - a- Nommer ce phénomène. Quel renseignement apporte-t-il sur la nature de la lumière ?
 - b- Exprimer la demi largeur angulaire θ de la tâche centrale en fonction de D et L .
 - c- Donner l'expression qui lie θ , λ et a .
 - d- Montrer que $L = 2\lambda D/a$.

2- On dispose de deux fils (F1) et (F2) 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



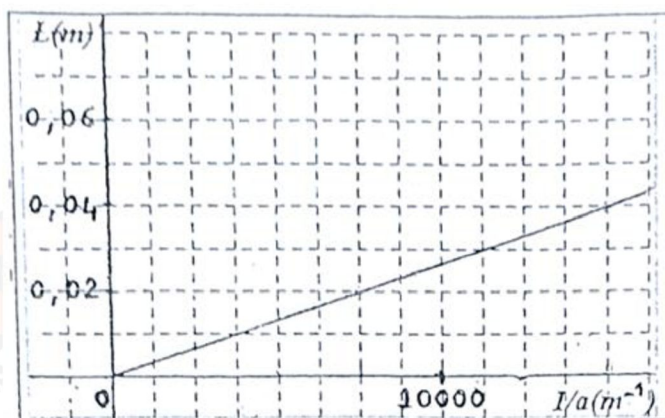
représenté par la figure 1. On obtient sur l'écran deux figures distinctes notées A et B (figure3) Associer en le justifiant à chacun des deux fils la figure qui lui correspond.

3- On cherche maintenant à déterminer expérimentalement la longueur d'onde λ dans le vide de la lumière monochromatique émise par la source laser utilisée. Pour cela, on place devant le faisceau laser des fils calibrés verticaux. On désigne par ' a ' le diamètre d'un fil. La figure obtenue est observée sur un écran situé à une distance $D = 2,5$ m des fils. Pour chacun des fils, on mesure la largeur de la tâche centrale. On trace la courbe $L = f(1/a)$, on obtient la figure ci-dessous.

a- Justifier théoriquement l'allure de cette courbe.

b- Déduire la valeur de λ .

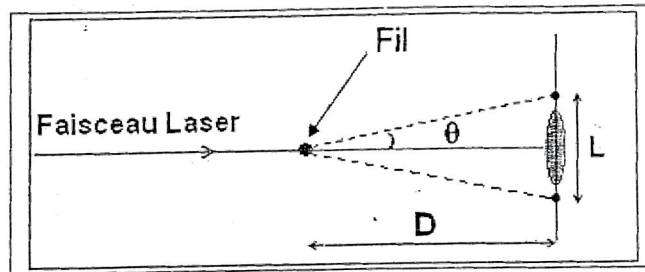
c- Calculer la fréquence de la lumière monochromatique ν émise par la source laser sachant que la célérité de la lumière dans le vide est $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.



Exercice n°3

On donne : la célérité de la lumière dans le vide est $C=3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Un faisceau de lumière parallèle monochromatique de longueurs 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 la distance D de ce fil (D est très grande devant ' a '). La figure ci-dessous est en vue de dessus.



- 1- Quel renseignement sur la nature de la lumière ce phénomène apporte-t-il ? Nommer ce phénomène.
- 2- Quelle expression mathématique lie les grandeurs λ , a et l'écart angulaire ou demi-angle de diffraction θ ? On supposera que la loi est la même que pour une fente de largeur a .
- 3- Exprimer cet écart angulaire en fonction de la largeur L de la tâche centrale et la distance D entre le fil diffractant et l'écran.
- 4- En utilisant les résultats précédents montrer que la largeur L de la tâche centrale de diffraction s'exprime : $L=2\lambda D/a$.
- 5- 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. On désigne par ' a ' le diamètre d'un fil. La figure obtenue est observée sur un écran situé à une distance $D=2,5\text{m}$ des fils. Pour chacun des fils, on mesure la largeur de la tâche centrale de diffraction.

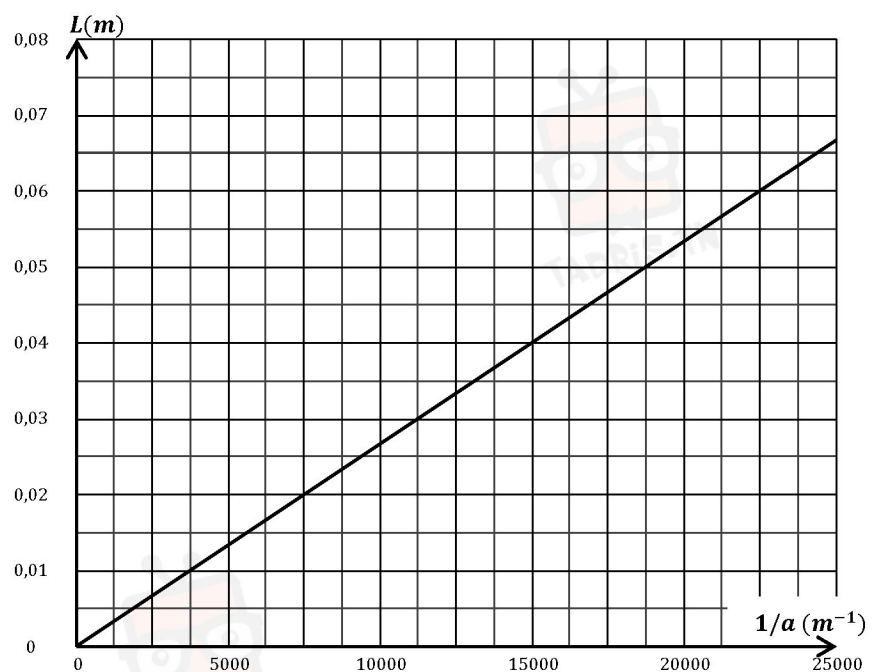
On trace la courbe $L=f(1/a)$ ci-contre.

a- La lumière émise par la source laser est dite monochromatique . Quelle est la signification de ce terme ?

b- Donner l'équation de la courbe $L=f(1/a)$ et déduire la valeur de longueur d'onde λ .

c- Calculer la fréquence de la lumière monochromatique ν émise par la source laser.

d- On éclaire avec cette source laser un verre d'indice $n=1,64$. A la traversée de ce milieu transparent dispersif, les valeurs de la fréquence, de la vitesse et de la longueur d'onde de la radiation varient-elles ? Calculer les.



Exercice n°4

On considère une cuve à onde contenant de l'eau. A l'aide d'une réglette (P) fixée à un vibreur, on produit à la surface de cette eau une onde rectiligne progressive de fréquence $N=20\text{Hz}$.

A une distance $L_1=8\text{cm}$ de (P), on place une plaque de verre de longueur L_2 . La figure (1) montre la position des rides crêtes dans le milieu (1) et dans le milieu (2) le moins profond à une date t_1 .

1- Le point M1 de la première ride crête, située à une distance $x_1=0,8\text{cm}$ de (P) vibre en opposition de phase avec le point S de (P).

a- Montrer que la longueur d'onde dans le milieu (1) est $\lambda_1=1,6\text{cm}$.

b- Calculer la célérité v_1 des ondes dans le milieu (1).

c- Calculer le déphasage $\varphi_A-\varphi_S$.

2- La distance entre la première et la 5^{ème} ride crête dans le milieu (2) est $4,8\text{cm}$. Déduire les valeurs de λ_2 et v_2 .

3- Soit B le point situé à une distance $(L_1 + L_2)$ de (P).

a- Exprimer le déphasage $\varphi_B-\varphi_S$ en fonction de L_2 .

b- On dispose de deux plaques l'une de longueur $5,4\text{cm}$ et l'autre de longueur $7,2\text{cm}$. Laquelle faut-il choisir pour que B vibre en phase avec S ?

4- On enlève la plaque précédente et on la remplace par une autre de façon que la surface de séparation des 2 milieux fait un angle $\alpha=30^\circ$ avec (P). La longueur d'onde dans le milieu (2) est $\lambda_2=1,2\text{cm}$.

a- Déterminer les valeurs de l'angle d'incidence i_1 et de l'angle de réfraction i_2 .

b- Représenter quelques rides crêtes dans le milieu (2).

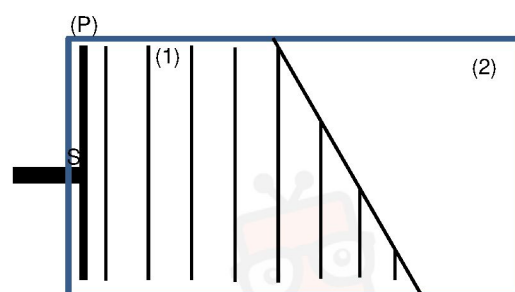
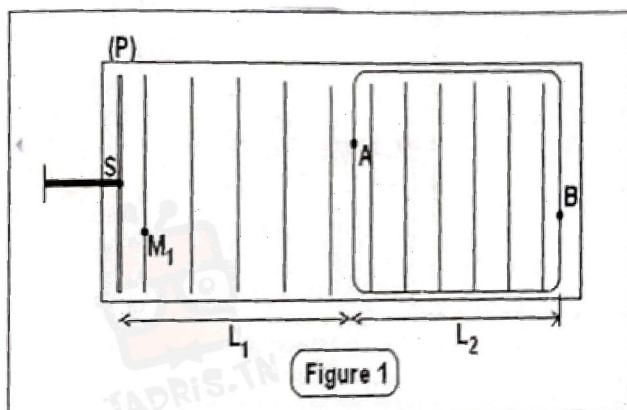


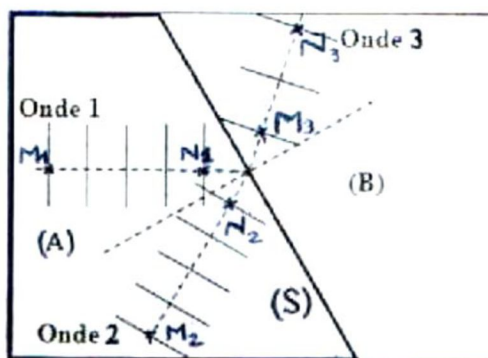
Figure 2

Exercice n°5

Une lame (L) vibrante produit une onde mécanique rectiligne progressive à la surface libre d'une eau au repos d'une cuve à ondes. Une plaque trapézoïdale (P) de faible épaisseur est posée à plat sur le fond de la cuve à ondes du côté de (L). Avec (P), on crée deux milieux de propagations différents (A) et (B). L'éclairage stroboscopique permet d'obtenir la figure ci-contre représentant les rides d'amplitudes maximales à l'échelle 1/5.

On donne les distances :

$M_1N_1=2,3\text{cm}$, $M_2N_2=2,3\text{cm}$ et $M_3N_3=1,6\text{cm}$.



- 1-a- Comment s'appellent les phénomènes qui se produisent au niveau de la surface (S) de séparation ?
- b- Identifier par son numéro l'onde incidente, l'onde réfléchiée et l'onde réfractée.
- 2-a- Expliquer pourquoi les deux milieux (A) et (B) sont différents
- b- Lequel des deux milieux est plus réfringent ?
- c- Avec quel appareil peut-on mettre en évidence le fait que la fréquence reste inchangée lorsqu'on passe dans cette expérience d'un milieu à un autre.
- 3-a- Déterminer graphiquement le rapport des longueurs d'ondes de l'onde réfractée λ_{ref} et de l'onde incidente λ_i . Déduire le rapport des célérités V_i et V_{ref} de l'onde incidente et de l'onde réfractée respectivement.
- b- Déterminer graphiquement le rapport des sinus des angles de réfraction i_{ref} et d'incidence i_i .
- c- Déduire la deuxième loi de Descartes.

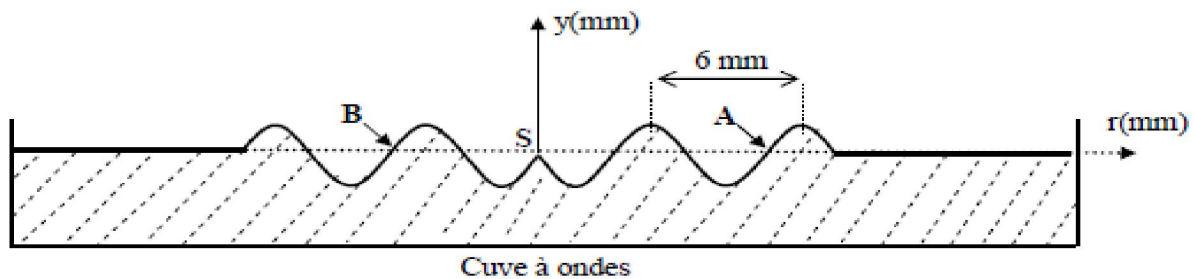
Exercice n°6

Partie 1

Une pointe fixée à un vibreur est animée d'un mouvement vertical, sinusoïdal, d'amplitude $a = 2 \text{ mm}$ et de fréquence N , frappe la surface libre d'un liquide homogène et au repos en un point S situé au centre d'une cuve à ondes. Une onde circulaire transversale d'amplitude a se propage alors à partir de S avec une célérité v . On suppose qu'il n'y a ni réflexion ni amortissement de l'onde.

Le mouvement de S débute à $t = 0 \text{ s}$ et admet comme équation horaire $y_s(t) = a \sin(2\pi N t)$.

Le graphe de la figure ci-dessous représente une coupe de l'aspect de la surface du liquide, à l'instant $t_1 = 0,2 \text{ s}$, suivant un plan vertical passant par S.

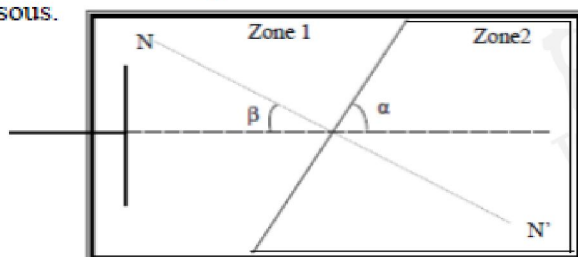


- 1°) Déterminer à partir du graphe :
 - a- La longueur d'onde λ .
 - b- La célérité v de l'onde à la surface du liquide.
 - c- Montrer que la valeur de la fréquence est $N = 10 \text{ Hz}$.
- 2°) On éclaire la surface du liquide à l'aide d'un stroboscope qui émet des éclairs périodiques de fréquence $N_e = 10 \text{ Hz}$. Expliquer l'immobilité apparente des rides observées.
- 3°) a- Etablir l'équation horaire du mouvement d'un point M de la surface du liquide situé sur cercle de rayon $SM = r$
- b- Comparer les mouvements des deux points A et B de la surface du liquide.

Partie 2

Le vibreur précédent est relié maintenant à une lame rectangulaire, vibrant avec une fréquence $N = 20 \text{ Hz}$

- 1°) Sachant que la distance qui sépare la troisième et la cinquième ride est $d = 0,6 \text{ cm}$, déterminer la longueur d'onde λ_1 et déduire la célérité v_1 de l'onde dans ce milieu.
- 2°) On place parallèlement à la lame un obstacle muni d'une fente de largeur $a' = 2 \text{ mm}$.
 - a- Donner le nom du phénomène observé et justifier son existence.
 - b- Faire un schéma simple de l'aspect de la surface du liquide à une date t quelconque.
- 3°) On enlève l'obstacle et on place au fond de la cuve à ondes, loin de la lame, une plaque plane, en plexiglas transparente de façon à obtenir deux zones d'eau de profondeurs différentes. La surface de séparation fait un angle $\alpha = 60^\circ$ avec la direction de propagation de l'onde incidente. Voir figure ci-dessous.



- Nommer le phénomène qui se produit.
- Que représente l'angle β ? Donner sa valeur.
- La mesure de la distance entre cinq rides consécutives de même nature dans la zone 2, est $d_2 = 1 \text{ cm}$.
 - * Justifier que la longueur d'onde dans la zone 2 est $\lambda_2 = 2,5 \text{ mm}$.
 - * Déterminer la valeur de l'angle i_2 que fait la direction de la propagation de l'onde qui se propage dans la zone 2 avec la normale à la surface de séparation entre les deux zones.
- Sur l'annexe jointe, qui représente une vue de dessus de la surface de l'eau, représenter à l'échelle 2, quelques lignes d'onde dans les deux zones en indiquant l'angle d'incidence i_1 et l'angle i_2

Annexe

