

TP 3 : Un cas particulier d'ondes progressives mécaniques : Les ondes périodiques

Corrigé

Nous avons considéré précédemment (en cours) des sources créant des perturbations brèves. Si la source impose une perturbation périodique, c'est-à-dire qui se reproduit identique à elle-même à intervalles de temps réguliers, l'onde résultante est une onde progressive périodique.

Objectifs du TP :

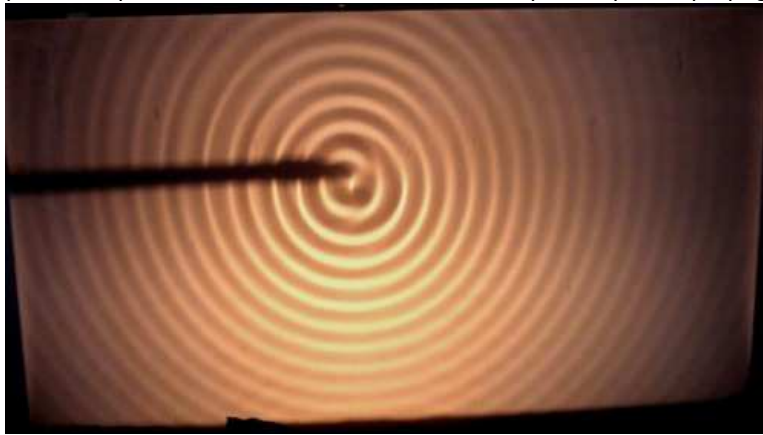
- Découvrir la double périodicité des ondes progressives périodiques.
- Etudier le phénomène de diffraction dans le cas des ondes progressives sinusoïdales.

I. Quelles sont les caractéristiques d'une onde progressive périodique ?

I.1. Observation d'ondes progressives périodiques à la surface de l'eau :

a) Dispositif expérimental :

On utilise la cuve à onde équipée d'une pointe vibrante : des ondes circulaires périodiques se propagent à la surface de l'eau.



b) Etude de l'onde :

❖ Périodicité temporelle :

Observer un point de la surface de l'eau : que peut-on dire de l'intervalle de temps séparant deux vagues successives ?
L'intervalle de temps séparant deux vagues successives est constant.

❖ Périodicité spatiale :

Observer et schématiser la surface de l'eau à un instant donné (utilisation de l'éclairage stroboscopique) : que peut-on dire de la distance séparant deux vagues successives ?
On observe que la distance séparant deux vagues successives est constante.

II.2. Cas des ondes progressives sinusoïdales : exemple des ultrasons :

a) Dispositif expérimental :

- Avant toutes choses, effectuer les réglages initiaux des deux voies de l'oscilloscope.
- Placer l'émetteur et le récepteur d'ultrasons face à face sur le banc d'optique à une dizaine de centimètres l'un de l'autre.
- Régler la fréquence du générateur basse fréquence (GBF) à environ **40 kHz** (vérifier le calibre du GBF) et placer le bouton d'amplitude à mi-course.

FAIRE VERIFIER LE REGLAGE DU GBF

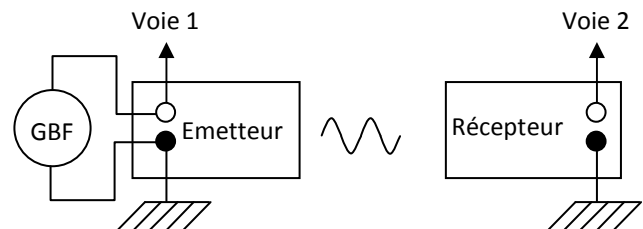
- Alimenter l'émetteur avec le GBF et le relier à la voie 1 de l'oscilloscope.

- Relier le récepteur à la voie 2 de l'oscilloscope. Il doit apparaître deux courbes.

- Sur le GBF, modifier légèrement la fréquence, au voisinage de 40 kHz, de façon à ce que le signal sur la voie 2 ait une amplitude maximale. Noter cette fréquence.

La fréquence obtenue, pour laquelle l'amplitude captée est maximale est $f = 40,154$ kHz (fréquence lue)

FAIRE VERIFIER LE MONTAGE



b) Etude de l'onde :

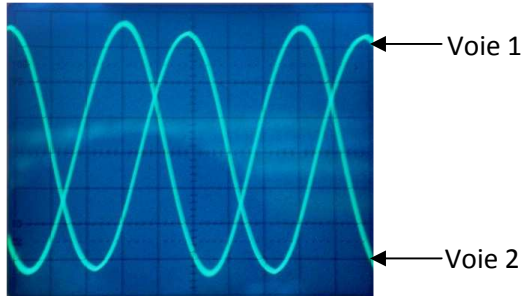
❖ Périodicité temporelle :

- Peut-on parler de périodicité temporelle de l'onde ultrasonore ? Pourquoi ?

On peut parler de périodicité temporelle de l'onde ultrasonore car on observe à l'oscilloscope que le signal reçu par le récepteur se reproduit identique à lui-même, à des intervalles de temps réguliers.

- Adapter les réglages de l'oscilloscope pour obtenir un oscillogramme bien "lisible" (s'étalant horizontalement sur 1 à 2 périodes et occupant l'écran verticalement au maximum).

- Représenter l'oscillogramme ci-dessous et compléter les réglages.



• Vitesse de balayage : $S_H = 5 \mu\text{s}/\text{DIV}$

• Sensibilité verticale :

Voie 1 : $S_V = 2 \text{ V}/\text{DIV}$

Voie 2 : $S_V = 0,2 \text{ V}/\text{DIV}$

- Indiquer les grandeurs correspondant à l'abscisse et à l'ordonnée d'une courbe sur l'oscilloscope.

La grandeur physique correspondant à l'abscisse est le temps.

La grandeur physique correspondant à l'ordonnée est la tension.

- Vérifier que la période des 2 signaux est bien la même. A quel nombre de divisions horizontales (noté x) correspond-t-elle ?

La période correspond à $x = 5,0 \text{ DIV}$

- En déduire la valeur de la période T de l'onde ultrasonore. Cette périodicité observée à l'oscilloscope est la périodicité temporelle.

$$T = 5,0 \times 5 \cdot 10^{-6} \quad (\text{on peut considérer que le calibre est défini parfaitement})$$

$$T = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

- Calculer la fréquence f de cette onde ultrasonore.

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-5}}$$

$$f = 4,0 \cdot 10^4 \text{ Hz} = 40 \text{ kHz}$$

- Pourquoi peut-on dire que la fréquence de l'onde est imposée par la source ?

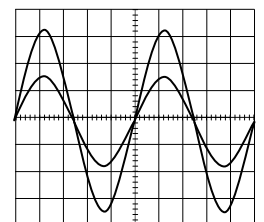
La fréquence de l'onde est en effet imposée par la source, car les ondes sont créées par vibration du piézoélectrique constituant l'émetteur. Or l'émetteur vibre à la fréquence d'excitation de la source. Ainsi les ondes ultrasonores ont la fréquence de $f = 40 \text{ kHz}$

❖ **Périodicité spatiale :**

- L'émetteur restant fixe, déplacer le récepteur tout en regardant les signaux à l'oscilloscope. Peut-on parler de périodicité spatiale de l'onde ultrasonore ?

Oui, on peut parler de périodicité spatiale car lorsque l'on déplace le récepteur, on peut retrouver les mêmes signaux à l'écran (seule l'amplitude du signal de la voie 2 change). Ainsi, on peut trouver des positions du récepteur pour lesquelles le signal reçu est le même. On peut donc parler, au même titre que la cuve à ondes de périodicité spatiale.

- Placer le récepteur à une distance d_1 de l'émetteur telle que les deux signaux soient en phase (c'est-à-dire que leurs maxima et leurs minima sont atteints en même temps : voir figure ci-contre). Noter d_1 .



Ne plus toucher à l'émetteur.

$$d_1 = 11,9 \text{ cm}$$

- A partir de cette position 0, éloigner lentement le récepteur pour obtenir à nouveau les signaux en phase. Le récepteur est alors en position 1.

En ces 2 positions, l'état de l'onde reçue par le récepteur est donc exactement le même.

La **distance** qui sépare la position 0 et la position 1 représente donc la **période spatiale** ou **longueur d'onde λ** de l'onde sinusoïdale.

- Pour améliorer la précision, déplacer non pas une fois mais 10 fois le récepteur pour retrouver les signaux en phase à partir de la position 0.

- Noter alors la distance d_2 qui sépare le récepteur de l'émetteur en position 10 (les distances d_1 et d_2 seront déterminées par lecture sur le banc d'optique).

$$d_2 = 20,9 \text{ cm}$$

- Déterminer la distance séparant les positions 0 et 10.

La distance entre les positions 0 et 10 est :

$$D = d_2 - d_1$$

$$D = 20,9 - 11,9$$

$$D = 9,0 \text{ cm}$$

- Que représente cette distance ? En déduire la valeur de la longueur d'onde λ des ultrasons étudiés.

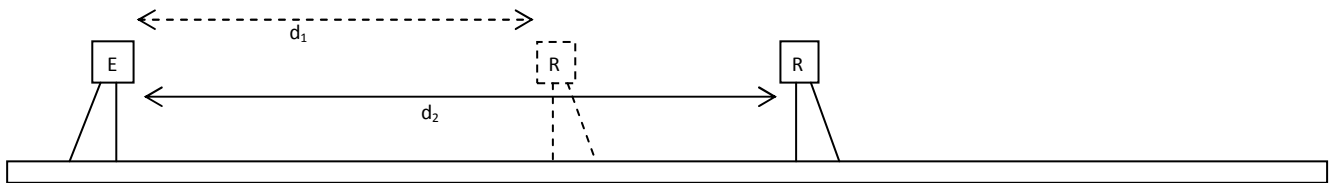
Cette distance représente 10 longueurs d'ondes :

$$D = 10 \cdot \lambda$$

$$\lambda = D/10$$

$$\lambda = 9,0/10$$

$$\lambda = 9,0 \text{ mm}$$



❖ **Célérité de l'onde ultrasonore dans l'air :**

Pendant une période T , l'onde avance de la distance λ en se propageant à la célérité v .

- Donner une relation entre ces trois grandeurs. Préciser les unités.

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{avec} \quad v : \text{la célérité des ondes ultrasonores en } m \cdot s^{-1}$$

T : la période temporelle des ondes ultrasonores en s

λ : la période spatiale (longueur d'onde) des ondes ultrasonores en m

- En déduire la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'air à température ambiante et la comparer à celle du son.

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

$$v = \frac{9,0 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-5}}$$

$$v = 3,6 \cdot 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

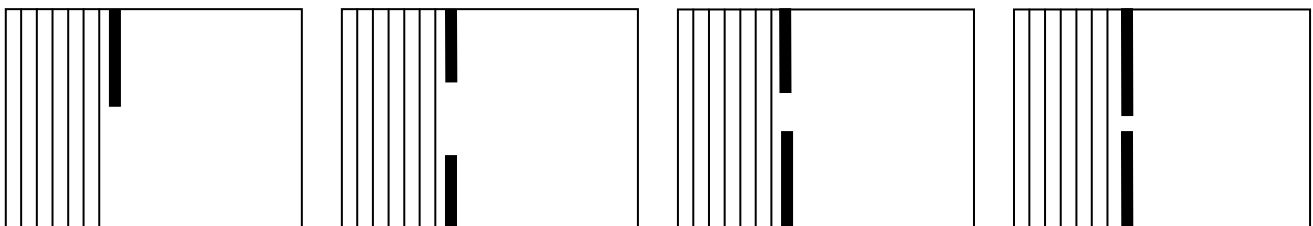
II. Comment une onde périodique se comporte-t-elle quand elle rencontre un obstacle ?

II.1. Observation du phénomène de diffraction : exemple de la cuve à ondes

On utilise la cuve à ondes munie de la lame vibrante : des ondes progressives rectilignes périodiques se propagent à la surface de l'eau. On place alors un obstacle ou une ouverture sur le trajet des ondes.

❖ **Réflexion préliminaire**

Pour chaque cas ci-dessous, compléter le schéma en dessinant ce que vous pensez observer après l'obstacle.



❖ **Diffraction par un obstacle :**

Les ondes sont-elles toujours rectilignes après l'obstacle ? Faire un schéma.

Quelles parties de l'obstacle jouent un rôle dans la modification des ondes ?

Les ondes peuvent-elles atteindre la « zone d'ombre » située derrière l'obstacle ?

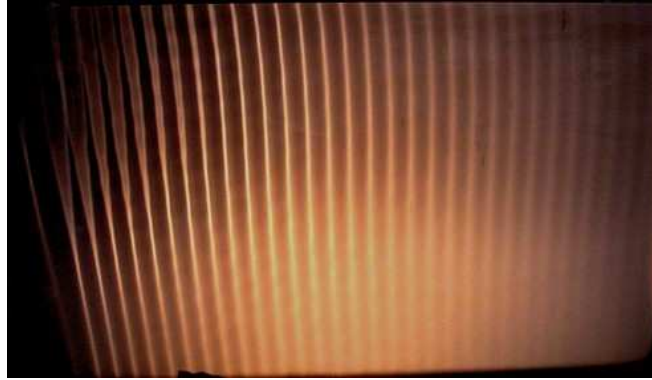
❖ **Diffraction par une fente :**

Quand la fente est large, comment et où les ondes sont-elles modifiées ? Faire un schéma.

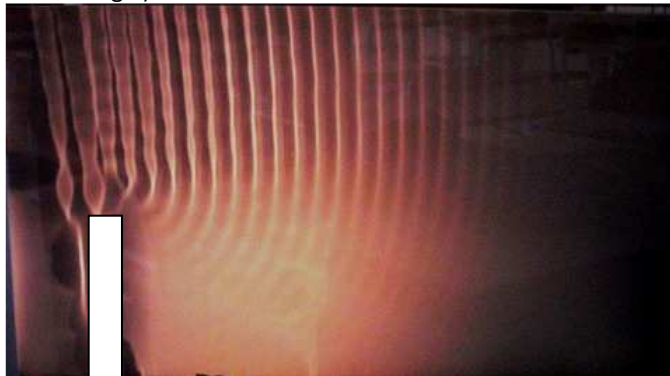
Quelle forme prennent les ondes quand on diminue la largeur de la fente ? Faire un schéma.

En comparant cette forme avec celle des ondes de la partie I, expliquer que l'on puisse dire que la fente se comporte comme une source d'ondes.

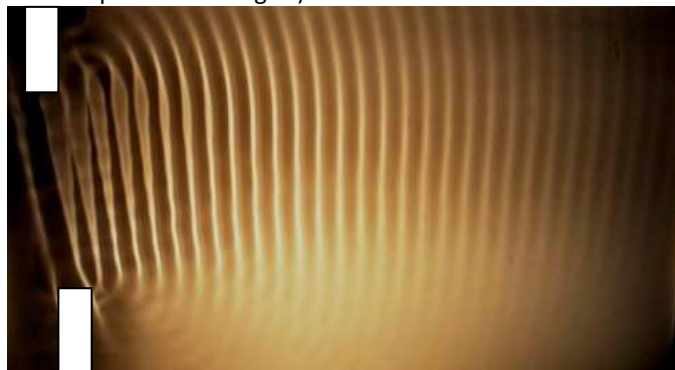
Sans parois :



Avec une paroi (schématisée par un rectangle):



Avec deux parois éloignées (schématisée par des rectangles):



Avec deux parois rapprochées (schématisée par des rectangles):



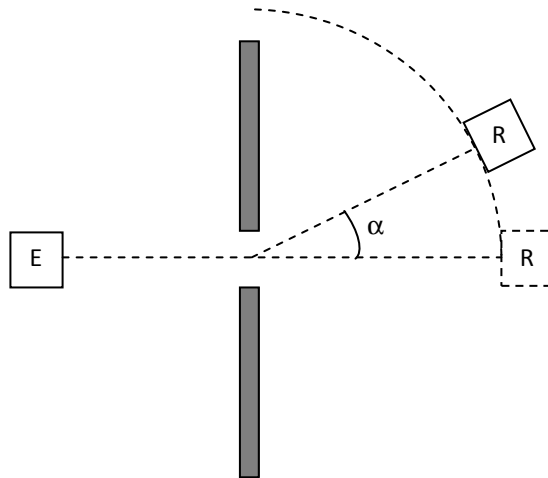
II.2. Influence de la taille de l'objet diffractant : exemple des ultrasons

a) Dispositif expérimental :

On utilise le dispositif de la partie I (émetteur et récepteur ultrasonores, GBF de fréquence bien réglée, oscilloscope) ainsi que deux plaques permettant de réaliser une fente plus ou moins large.

Au départ, le récepteur est placé face à l'émetteur, sans la fente.

Réaliser alors le montage avec une fente de 3 cm (voir schéma ci-dessous). Vérifier l'alignement émetteur-fente-récepteur : quand le récepteur est en face de la graduation 0, l'amplitude de son signal doit être maximale. Réajuster si nécessaire les positions de l'émetteur, du récepteur et de la fente.



Pour étudier le phénomène de diffraction de l'onde ultrasonore par la fente, on va mesurer l'amplitude de l'onde reçue derrière la fente. On déplace ainsi l'émetteur en maintenant la distance émetteur-récepteur constante, donc suivant un arc de cercle. La position du récepteur est repérée par l'angle α . Pour des raisons de symétrie, on pourra se contenter de faire des mesures sur un quart de cercle.

b) Mesures :

Relever, à l'aide de l'oscilloscope, les valeurs de l'amplitude U_m de la tension aux bornes du récepteur en fonction de l'angle α (faire attention à ce que le signal sur l'écran de l'oscilloscope soit bien centré et de taille optimale). On note U_0 la valeur maximale de la tension détectée (cette valeur correspond à $\alpha = 0^\circ$).

$U_0 = 6,0 \text{ V}$

α (°)	0	10	20	30	40	50	60
U_m (V)	0,56	0,30	0,14	0,12	0,07	0,08	0,05
U_m/U_0	$9,3 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$

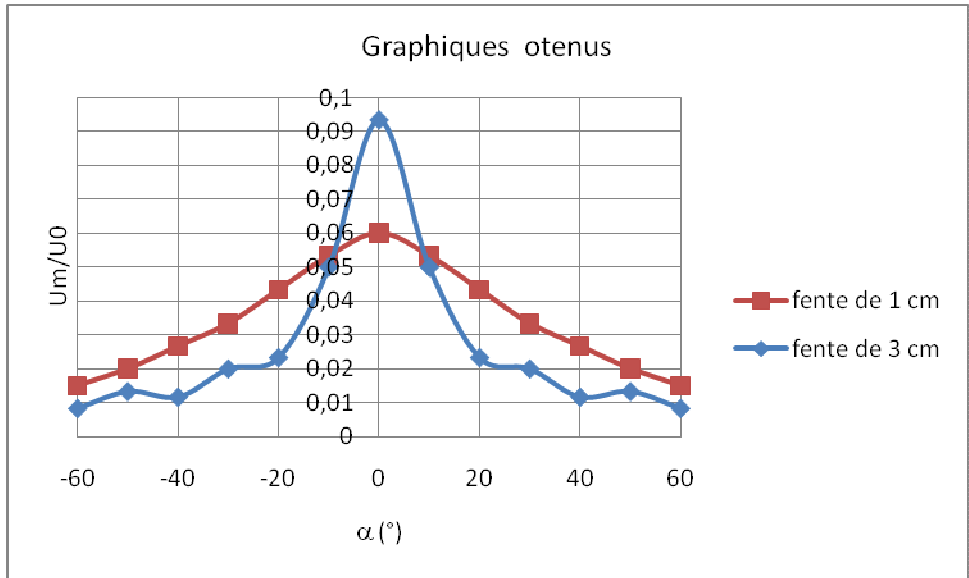
Recommencer les mesures avec une fente de 1 cm de largeur.

α (°)	0	10	20	30	40	50	60
U_m (V)	0,36	0,32	0,26	0,20	0,16	0,12	0,09
U_m/U_0	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$

c) Exploitation:

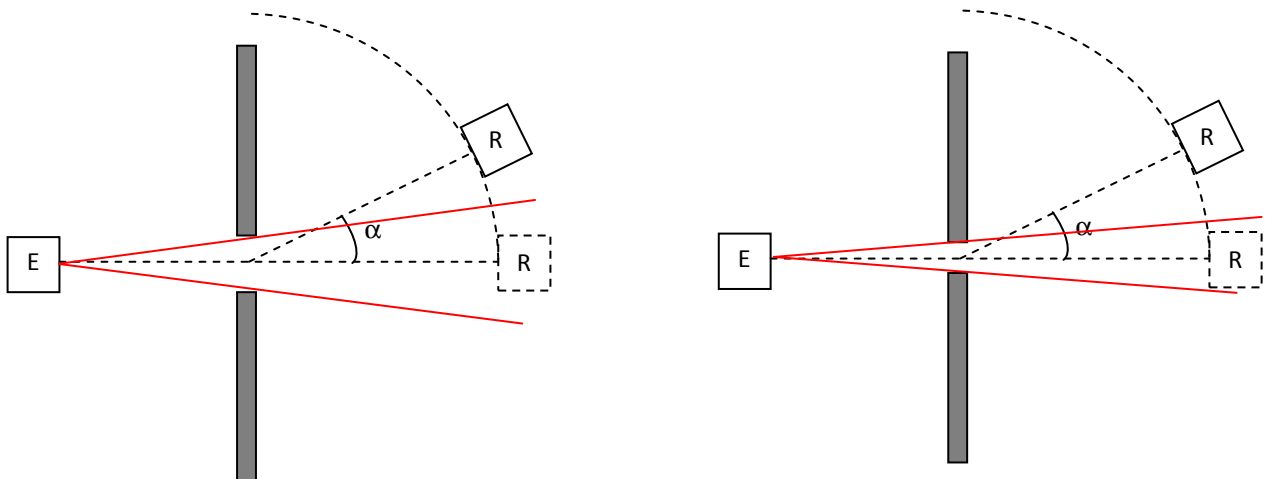
Tracer sur un même graphique les courbes $\frac{U_m}{U_0} = f(\alpha)$ pour les différentes largeurs de fente.

(attention : $-60^\circ < \alpha < +60^\circ$)



Montrer sur un schéma du montage dans quel secteur angulaire on s'attendait à recevoir une amplitude non nulle. (Aidez-vous d'une construction géométrique à partir du schéma ci-dessus. Pour simplifier, on considèrera que l'émetteur est une source ponctuelle.)

Schématiquement :



On peut s'attendre à ce que plus la fente est fine et plus le secteur angulaire où on s'attend à recevoir une amplitude non nulle est petit.

Qu'en est-il en réalité ?

La réalité est que l'on obtient un signal dans des zones non attendues, et que contrairement à ce que l'on pouvait s'attendre, plus la fente est fine, plus le secteur angulaire où on reçoit une amplitude non nulle est grand.

Pour quelle largeur de la fente le phénomène de diffraction est-il le plus marqué ?

Comparer cette largeur à la longueur d'onde λ de l'onde ultrasonore.

On remarque que la largeur de la fente est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de l'onde ultrasonore.

❖ **Réflexion annexe :**

Observera-t-on le phénomène de diffraction dans le cas des ondes sonores ?

Il existe en effet le même phénomène pour les ondes sonores.

Pour quelles dimensions d'obstacle ou d'ouverture sera-t-il le plus marqué ?

Si la fente doit avoir une dimension de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde, on obtient :

Les ondes sonores se situent dans le domaine : $20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$

Pour les sons graves $f \approx 1.10^2 \text{ Hz}$;

$$\lambda = v.T = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{340}{1.10^2}$$

$$\lambda = 3m$$

Pour des sons graves, une fente de l'ordre du mètre fera l'affaire.

Pour les sons graves $f \approx 1.10^4$ Hz ;

$$\lambda = v.T = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{340}{1.10^4}$$

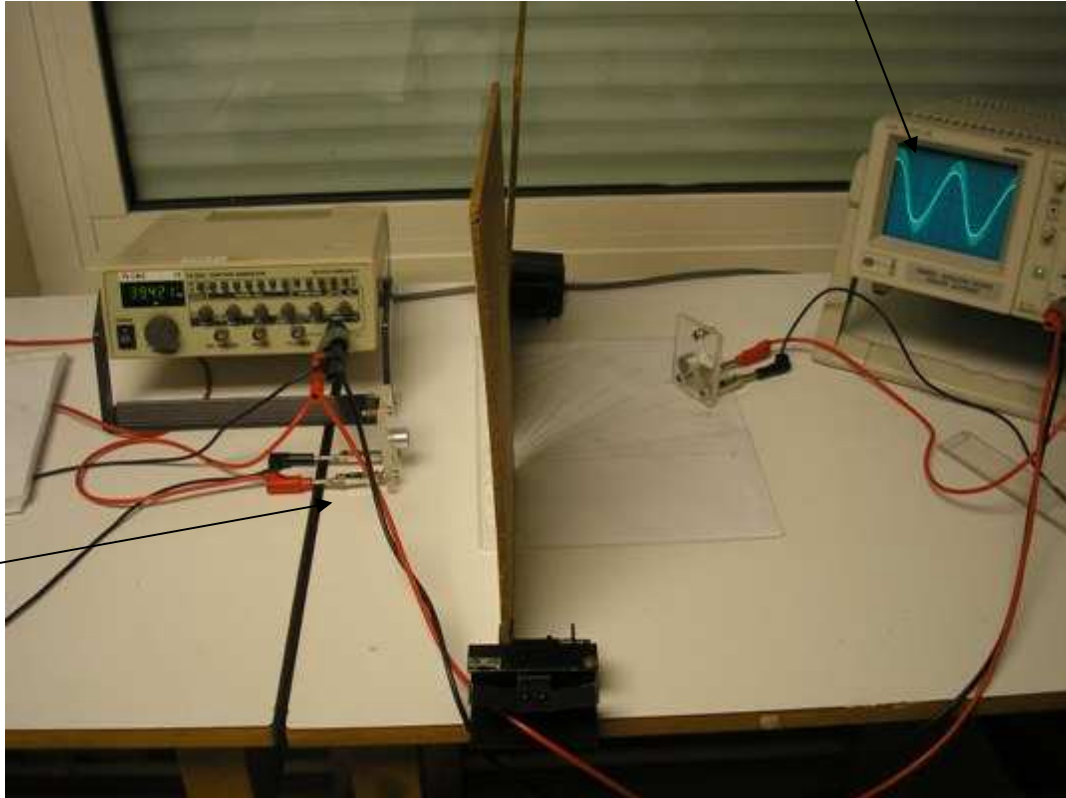
$$\lambda = 3.10^{-2}m$$

Pour des sons aigues, une fente de l'ordre du centimètre fera l'affaire.

Remarque pour que l'expérience de diffraction se passe bien :

1. Utiliser des pinces croco pour dégager l'émetteur et le récepteur.
2. Dégager les fils
3. Régler la distance entre fente/récepteur en s'assurant que les deux signaux (GBF et récepteur) soient toujours en phase (permet le réglage de la distance au mm près)

Illustration photo visuelle :



ONDES PROGRESSIVES PERIODIQUES matériel

Du 21 au 25 septembre 2009

PAILLASSE PROF

Cuve à ondes et accessoires

Matériel pour diffraction :

Fiche « *Remarque pour que l'expérience de diffraction se passe bien* » :

2 planchettes (écran optique) + 2 supports pour écran optique

4 pinces croco

Un GBF

Un Oscillo

Une fiche avec les angles (présentes dans la corbeille des émetteurs récepteurs ondes ultrasonores)

6 fils

3 fiches BNC

PAILLASSES ELEVES

GBF

Oscillo

Emetteur et récepteur ultrasonores

3 fiches BNC

6 fils de connexion